

PRESSES UNIVERSITAIRES DE BRUXELLES

**P.U.B.**  
COURS-LIBRAIRIE

ULB

UNIVERSITÉ LIBRE DE BRUXELLES, UNIVERSITÉ D'EUROPE

# Psychologie de la perception

## Etonnante acoustique des bâtiments anciens

---

**Marc CRUNELLE**

---

D/1999/0098/225

1e édition – Tirage 2010-11/10

PSYC-P-100\_A



Collection Connaissances sensibles de l'espace

Conformément à la loi du 30 juin 1994, modifiée par la loi du 22 mai 2005, sur le droit d'auteur, **toute reproduction partielle ou totale du contenu de cet ouvrage –par quelque moyen que ce soit– est formellement interdite.**

Toute citation ne peut être autorisée que par l'auteur et l'éditeur. La demande doit être adressée exclusivement aux **Presses Universitaires de Bruxelles a.s.b.l.**, avenue Paul Héger 42, 1000 Bruxelles,

Tél. : 02-649 97 80 – Fax : 02-647 79 62 – [Http://:www.ulb.ac.be/pub](http://www.ulb.ac.be/pub) – E-mail : [mpardoen@ulb.ac.be](mailto:mpardoen@ulb.ac.be)

« C'est l'éducation, l'instruction qui décideront de l'émancipation de la femme et de l'homme, de leur tolérance et de leur capacité à dialoguer. »

**Lucia de Brouckère (1904-1982)**

Docteur en chimie de l'ULB, première femme à enseigner dans une faculté de sciences en Belgique, militante de la laïcité et du libre-examen.

# Le label FSC : la garantie d'une gestion responsable des forêts

## Les Presses Universitaires de Bruxelles s'engagent !

Les P.U.B. impriment depuis de nombreuses années les syllabus sur du papier recyclé. Les différences de qualité constatées au niveau des papiers recyclés ont cependant poussé les P.U.B. à se tourner vers un papier de meilleure qualité et surtout porteur du label FSC.

Sensibles aux objectifs du FSC et soucieuses d'adopter une démarche responsable, les P.U.B. se sont conformé aux exigences du FSC et ont obtenu en avril 2010 la certification FSC (n° de certificat COC spécifique aux P.U.B. : CU-COC-809718-HA).

Seule l'obtention de ce certificat autorise les P.U.B. à utiliser le label FSC selon des règles strictes. Fortes de leur engagement en faveur de la gestion durable des forêts, les P.U.B. souhaitent dorénavant imprimer tous les syllabus sur du papier certifié FSC. Le label FSC repris sur les syllabus vous en donnera la garantie.

### Qu'est-ce que le FSC ?

FSC signifie "Forest Stewardship Council" ou "Conseil de bonne gestion forestière". Il s'agit d'une organisation internationale, non gouvernementale, à but non lucratif qui a pour mission de promouvoir dans le monde une gestion responsable et durable des forêts.

Se basant sur dix principes et critères généraux, le FSC veille à travers la certification des forêts au respect des exigences sociales, écologiques et économiques très poussées sur le plan de la gestion forestière.

### Quelles garanties ?

Le système FSC repose également sur la traçabilité du produit depuis la forêt certifiée dont il est issu jusqu'au consommateur final. Cette traçabilité est assurée par le contrôle de chaque maillon de la chaîne de commercialisation/transformation du produit (Chaîne de Contrôle : Chain of Custody – COC). Dans le cas du papier et afin de garantir cette traçabilité, aussi bien le producteur de pâte à papier que le fabricant de papier, le grossiste et l'imprimeur doivent être contrôlés. Ces contrôles sont effectués par des organismes de certification indépendants.

### Les 10 principes et critères du FSC

1. L'aménagement forestier doit respecter les lois nationales, les traités internationaux et les principes et critères du FSC.
2. La sécurité foncière et les droits d'usage à long terme sur les terres et les ressources forestières doivent être clairement définis, documentés et légalement établis.
3. Les droits légaux et coutumiers des peuples indigènes à la propriété, à l'usage et à la gestion de leurs territoires et de leurs ressources doivent être reconnus et respectés.
4. La gestion forestière doit maintenir ou améliorer le bien-être social et économique à long terme des travailleurs forestiers et des communautés locales.
5. La gestion forestière doit encourager l'utilisation efficace des multiples produits et services de la forêt pour en garantir la viabilité économique ainsi qu'une large variété de prestations environnementales et sociales.
6. Les fonctions écologiques et la diversité biologique de la forêt doivent être protégées.
7. Un plan d'aménagement doit être écrit et mis en œuvre. Il doit clairement indiquer les objectifs poursuivis et les moyens d'y parvenir.
8. Un suivi doit être effectué afin d'évaluer les impacts de la gestion forestière.
9. Les forêts à haute valeur pour la conservation doivent être maintenues (par ex : les forêts dont la richesse biologique est exceptionnelle ou qui présentent un intérêt culturel ou religieux important). La gestion de ces forêts doit toujours être fondée sur un principe de précaution.
10. Les plantations doivent compléter les forêts naturelles, mais ne peuvent pas les remplacer. Elles doivent réduire la pression exercée sur les forêts naturelles et promouvoir leur restauration et leur conservation. Les principes de 1 à 9 s'appliquent également aux plantations.



Le label FSC apposé sur des produits en papier ou en bois apporte la garantie que ceux-ci proviennent de forêts gérées selon les principes et critères FSC.

® FSC A.C. FSC-SECR-0045

**FSC, le label du bois et du papier responsable**

*Plus d'informations ?*

[www.fsc.be](http://www.fsc.be)

*A la recherche de produits FSC ?*

[www.jechedufsc.be](http://www.jechedufsc.be)

Tout au long de l'histoire de l'architecture apparaissent des bâtiments contenant certains phénomènes acoustiques particuliers ou remarquables, souvent étonnants et parfois même spectaculaires. Si de l'ensemble de ces bâtiments, nous retirons ceux ayant pour fonction principale le spectacle musical ou la parole (théâtres, salles de concert, odéons) et que l'on ne garde que les autres, nous remarquons qu'il reste néanmoins une importante série de constructions réparties au long des siècles. C'est ici que se pose la question : les édifices dans lesquels on rencontre ces phénomènes sont-ils des réalisations résultant d'un intérêt local et momentané pour certaines préoccupations auditives, ou encore des points nous permettant de retracer une préoccupation acoustique constante s'étendant sur une très vaste période, ou au contraire, les effets rencontrés ne sont-ils que fortuits et ne résultant que du seul hasard ?

La réponse n'est pas aisée. Certaines idées et pratiques acoustiques s'étendent dans l'espace et dans le temps, se perdant parfois puis réapparaissant de plus belle après un long temps mort. Je pense aux résonateurs, employés par les Grecs et les Romains dans leur théâtres et qu'on retrouve mille ans plus tard, dans toute l'Europe cette fois et principalement dans les églises romanes, depuis la Scandinavie jusqu'en Yougoslavie, de la Bretagne jusqu'à Moscou. Certains phénomènes sont le résultat inhérent à la construction et à la forme géométrique du bâtiment qui les contient. C'est l'exemple des galeries des murmures qui, selon l'acousticien américain Beranek, ont toutes été conçues sans volonté acoustique particulière. Autre cas, résultant apparemment aussi de la construction seule, est la propagation des ondes sous une voûte elliptique, permettant à une personne de converser à distance et en secret, en chuchotant avec une autre personne placée à proximité du foyer opposé. On relèvera encore certains bâtiments contenant des effets d'échos multiples et pas mal d'autres renfermant une réverbération assez importante.

Examinons ces différentes caractéristiques cas par cas.





Fig. 1 - Localisation d'édifices contenant des vases acoustiques

## VASES ACOUSTIQUES

En ce qui concerne la première d'entre-elles, il est indubitable qu'il y ait invention, qu'il y ait réalisation d'un petit vase que les constructeurs ont inséré dans la maçonnerie afin de donner à l'espace considéré un certain rendu sonore propre, une qualité acoustique désirée. Et c'est ici que se pose une nouvelle question : cette pratique d'employer des vases acoustiques, jusqu'où remonte-t-elle? Vitruve dans ses "10 livres d'architecture" (1) nous enseigne qu'ils sont un héritage des Grecs, il nous décrit comment les dimensionner et où les placer. Apparemment leur emploi se limite aux théâtres, et encore pas tous. Uniquement à ceux construits en pierre et en marbre, ceux qui "ne produisent aucune résonance". précise-t-il. Au Moyen-Age, il réapparaissent, dans les églises cette fois, mais encore d'une curieuse manière. En effet, on les rencontre tantôt dans les basiliques et tantôt dans les chapelles, et bien que répartis dans toute l'Europe, ils ne sont pas systématiquement employés (2). A Paris, par exemple, on en trouve dans la chapelle du Conservatoire des Arts et Métiers (aujourd'hui la bibliothèque) mais pas dans les grandes églises: ni à Saint-Sulpice, ni à Notre-Dame, ni à Saint-Eustache. Par contre, au nord de Paris, on les retrouve dans la basilique de Saint-Denis, dans les cathédrales de Beauvais, Notre-Dame de Senlis, Notre-Dame d'Amiens; et à Saint-Etienne de Sens et Notre-Dame de Chartres. A Bruxelles, on n'en a pas recensé, mais bien assez près: à Saint-Rombeau de Malines. A Bologne, la cathédrale de San Petronio en contient plus de 400, et à quelques centaines de mètres de là, dans San Ietto, on n'en retrouve que 25 et de diamètres différents, etc... (bien qu'un sondage seul permette de s'assurer quels sont effectivement les poteries des trous par lesquels on fait passer les cordages depuis l'extrados des voûtes). On a ainsi dénombré à ce jour quelques 200 églises en Europe contenant ces vases acoustiques, dont la moitié rien qu'en France (fig. 1). Les nombreux exemples retrouvés sont de types si différents qu'il est difficile de tirer une conclusion générale quand à cette pratique moyenâgeuse par le fait de la diversité des formes rencontrées (de l'amphore à la jarre pansue) (fig. 2 & 3) et de la diversité des endroits d'implantation observés (tantôt dans le coeur, tantôt dans les murs latéraux ou encore dans les voûtes) d'autant plus que certains de ces vases ont été choisis et placés par des personnes ne connaissant pas réellement leur fonctionnement

# FRANCE

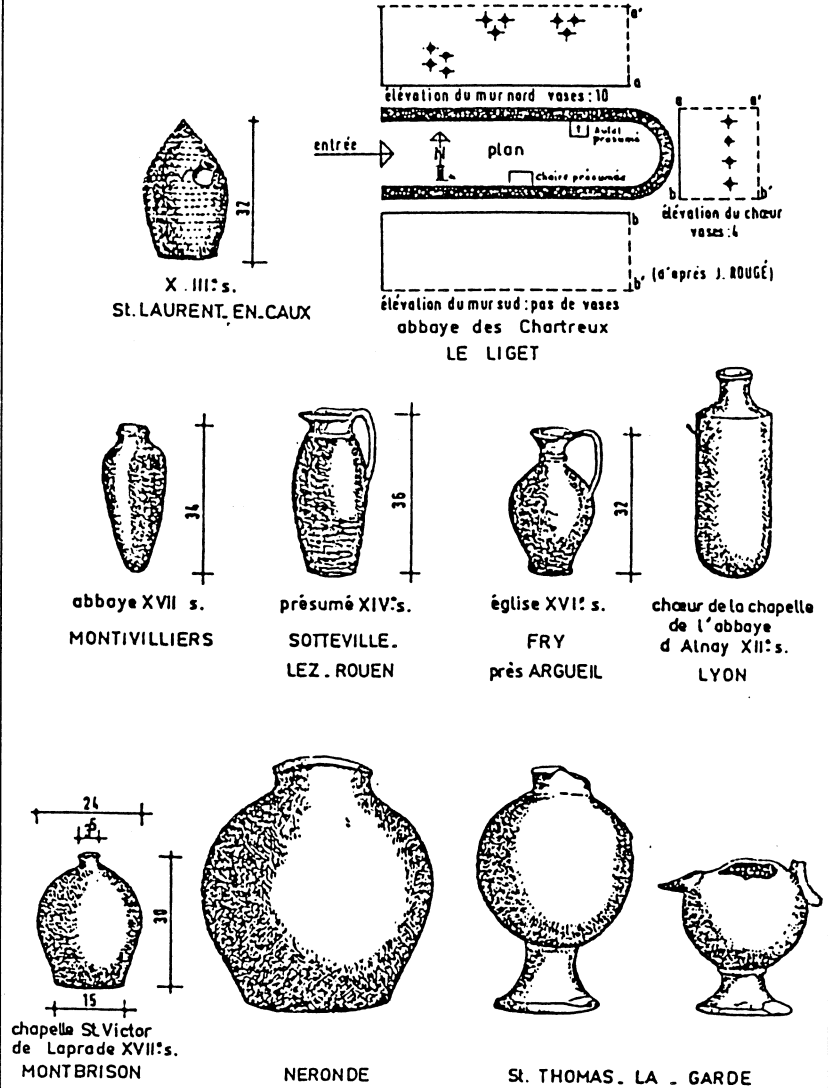


Fig. 2 - Exemples de vases acoustiques français

# ITALIE

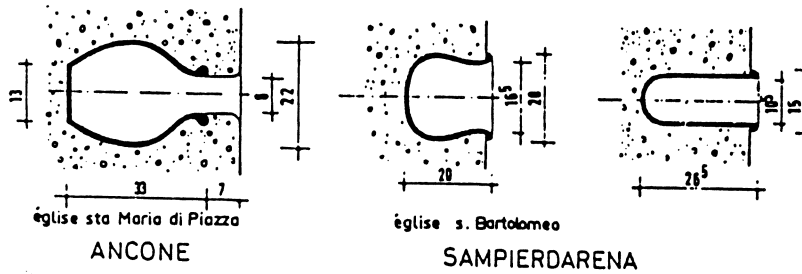
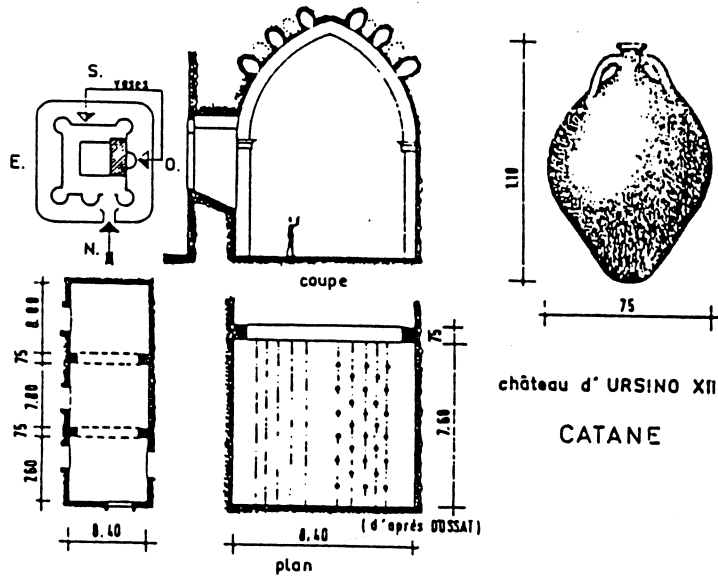


Fig. 3 - Exemples de vases acoustiques italiens

, secrètement gardé par les corporations médiévales. A tout ceci, il faut ajouter une énigme : pourquoi ne les rencontre-t-on que dans les églises, et jamais dans les palais ou les châteaux ? Néanmoins , les seules constantes que l'on peut déduire sont de quatre ordres :

- Ces vases se situent à l'intérieur de locaux clos,
- Ils sont en général de petites dimensions,
- Ils se situent loin de l'oreille des auditeurs,
- Ils sont presque toujours maçonnés, et non comme le décrit Vitruve, posés sur trois coins et pouvant vibrer plus librement. On remarquera que ces quatre points sont exactement le contraire de la tradition grecque et romaine .

Il est utile de préciser une curiosité historique : on sait à peu près tout sur les résonateurs de l'époque romaine, grâce aux textes de Vitruve , bien qu'on n'en ait retrouvé aucun ; par contre on possède beaucoup d'exemples de poteries acoustiques moyenâgeuses, mais aucun texte sur leur fonction ne nous est parvenu. Le frère René Floriot (3) , qui a étudié ces vases pendant une vingtaine d'années , a démontré qu'ils sont avant tout des CORRECTEURS D'ACOUTIQUE. Leur action se jouant essentiellement sur les ondes stationnaires des fréquences propres de la salle et de ses harmoniques . De plus , ils absorberaient en partie les fréquences autour de 200 HZ et nivelleraient les pics des tracés de temps de réverbération . A l'opposé des vases d'airain dont parle Vitruve , qui rendent la voix des acteurs *"plus fort et plus claire selon le rapport de consonance qu'elle aura avec quelqu'un de ces vases"* (4), et qui sont de véritables RESONATEURS . Les vases acoustiques du moyen-âge ont un pouvoir ABSORBANT et régulateur dans les tessitures graves , celles qui ont été cataloguées parmi les plus gênantes et les plus difficiles à éliminer (5) . Enfin autre chose curieuse, est le caveau phonocampique dont M. N. Bechet (6) a signalé l'existence à la cathédrale de Noyon ( et qu'on peut voir encore de nos jours). Il le décrit ainsi : *"peut-être avez-vous pénétré dans un de ces pittoresques colombiers en briques rouges que l'on rencontre fréquemment dans les gentilhommières de Normandie. L'aspect de logettes où les pigeons roucoulent en famille, ce sont ici des vases hémisphériques en terre cuite qui, superposés horizontalement en étages circulaires, tournent leurs orifices vers le centre du caniveau . La voûte est terminée par une grille à jour qui fait communiquer l'appareil avec le chœur. Ici , l'on a supprimé la communication*

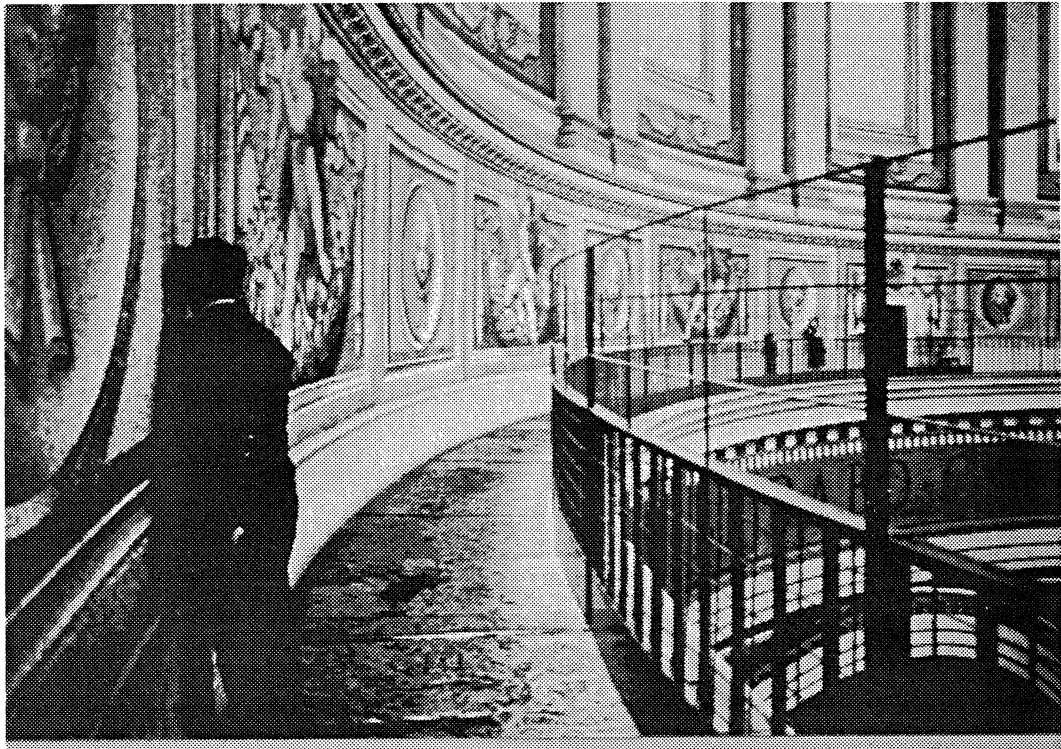


Fig. 4 - vue de la galerie des murmures à Saint-Pierre de Rome

, mais conservé le caveau, pensant qu'il pouvait aider la voix de l'officiant ".  
V. de Cuyencourt (7) dit qu'à l'ancienne église des cordeliers d'Amiens , qui datait du XIV<sup>e</sup> siècle, il y avait sous le choeur un couloir souterrain qui paraît avoir servi de caveau phonocampique .

## DES GALERIES MURMURES

En ce qui concerne un autre cas fréquemment rencontré, à savoir les galeries des murmures , à la question : est-ce un effet du hasard ou une volonté de la part des constructeurs, la réponse semble plus simple en ce sens que peu d'exemples existent et qu'on comprend mal leur utilité si fonction acoustique il y avait . En effet, la propagation d'ondes perpendiculaires à une paroi courbe ne peut se rencontrer que dans un édifice ayant un mur circulaire et lisse : tambour à la base d'une coupole , par exemple . C'est précisément ce qu'on peut observer sous les dômes de Saint-Pierre à Rome (fig. 4) , à Saint-Paul à Londres, où des personnes , la tête plaquée contre le mur concave , se parlent à voix basse , à 35 m. de distance . Le long de ces parois , le son se propage étonnement bien , et les personnes réalisant cette expérience sont toujours surprises d'entendre clairement leur interlocuteur placé à l'opposé, d'autant plus que s'ils essayent de se parler directement à travers la coupole , la dispersion des ondes sonores rend leurs paroles inaudibles . Jearl Walker , dans un texte consacré aux voûtes à échos (8) écrit que contrairement à la propagation naturelle d'un son , dont l'intensité diminue comme l'inverse du carré de la distance : "*Dans le modèle des réflexions multiples (contre la paroi) de la cathédrale Saint-Paul , l'intensité ne décroît que selon l'inverse de la distance. Cela signifie que le son qui voyage le long du mur de la galerie reste plus fort que celui transmis directement à travers la coupole.*" A l'extérieur , on retrouve ce même phénomène le long de murs circulaires de certains jardins (Kingston, par exemple), dans les exèdres qui sont des bancs circulaires appuyés le long d'un mur courbe (monument à Alphonso XII dans le parc central de Madrid, ceux du parc Sans-Soucis à Potsdam,...) ou de fortifications (enceinte de la ville d'Urbino, au bas du Palais Ducal) et aussi dans quelques théâtre antiques , où deux personnes placées à l'extrémité d'un même gradin , communiquent , la tête face au dièdre formé par le siège horizontal et le



Fig. 5 - vue des gradins au théâtre d'Orange



dossier vertical du gradin. Au théâtre romain d'Orange (fig. 5), on se chuchote ainsi à plus de 80 m l'un de l'autre. Bien que l'effet soit chaque fois frappant, c'est bien un choix géométrique et non acoustique qui a présidé dans l'élaboration du plan de tous ceux-ci.

## **VOUTES ELLIPTIQUES**

On peut dire que dans le cas d'espaces où le croisement de deux voûtes engendre une ellipse sur les diagonales, les sons émis près d'un foyer se concentrent d'EUX-MÊME au foyer opposé, sans intervention humaine aucune, car tout ceci résulte également de la construction; le phénomène acoustique étant inhérent à la géométrie même de l'espace et aux dièdres convexes formés par la rencontre des deux voûtes. Comme dans le cas précédent, nous nous trouvons avec l'exemple de la transmission d'un son très fiable (un chuchotement) sur une distance qu'il n'aurait pas pu franchir sans l'aide de la forme du bâtiment. C'est ce qu'on peut observer dans "La salle dite de l'écho" (Salle Lavoisier) au musée du Conservatoire des Arts et Métiers de Paris, par exemple. Les diagonales ont 16 m<sup>25</sup> et le relevé de la voûte se superpose exactement au modèle mathématique (tracé de l'ellipse). Des exemples plus anciens comme la "Salle de los secretos" à L'Alhambra de Grenade, ne relèvent apparemment pas d'une préoccupation acoustique de la part des constructeurs mais plutôt d'une coutume acoustique vivante, vécue, qui soit venue s'appliquer sur l'architecture après coup; car on a probablement vite remarqué que, placée chacune au bon endroit, deux personnes pouvaient communiquer en chuchotant sans être entendues par quiconque se trouvant placé entre-elles. La tentation est forte de penser que de construire par la suite certains espaces ayant cette forme particulière de géométrie au plafond aurait été intentionnelle. Aussi, la plupart des exemples que j'ai pu observer: Loggia dei Mercanti à Milan, Passagio Lei Enzo à Bologne, Salla dei Giaganti du Pallazo del Té à Mantoue, salle dans le château de Caprarolle (Palais Farnèse), se situent en Italie et ont été construits à la Renaissance. En France, la salle des cariatides du Louvre est à rapprocher des exemples italiens. Par contre, la finalité acoustique n'est plus évidente en ce qui concerne la salle hexagonale de l'Observatoire de Paris. Néanmoins, on

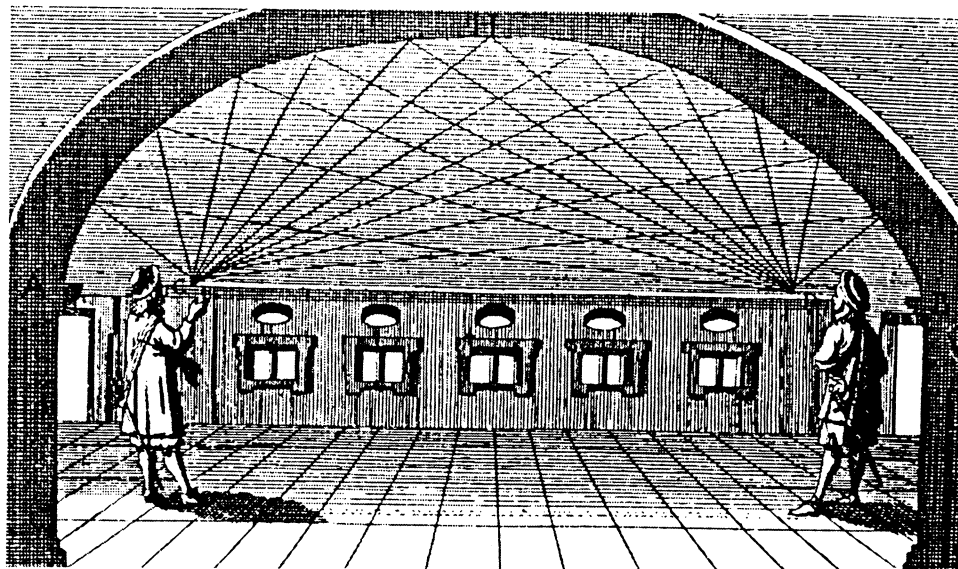


Fig. 6 - deux personnes situées près des foyers sous une voûte elliptique

rencontre parfois des emplois extraordinaires de cette possibilité: ainsi en Haute-Loire , dans une chapelle de La Chaise-Dieu, à l'endroit comportant ce phénomène, on confessait les lépreux, à distance et toujours en secret ! Enfin, selon E.J. Haslinghuis citant le cas du château de Wursburg en Allemagne, les bâtisseurs se servaient de cette particularité pour vérifier la bonne exécution des voûtes elliptiques et l'exactitude de leur tracé en les testant acoustiquement, par chuchotement d'un foyer à l'autre. (9)

Dans certaines prisons , les détenus communiquaient par ce moyen entre eux ou avec l'extérieur. Mais ce qui constitue à m'intriguer, c'est comment à Rome, dans la Basilique Saint Jean de Latran , sur les 12 bas-côtés de couvertures apparemment identiques on a découvert le seul qui contienne cette caractéristique acoustique ?

On peut encore ajouter à ces lieux cités , les suivants:

Eglise de Cublize, près de Roanne;

la Cathédrale d'Agrigente en Sicile; celle de Gloucester ;

les salles des chapitres des cathédrales de Séville et St-Jacques de Compostelle; la salle du Trésor de la cathédrale de Narbonne; la Rocca Sant'Angelo près de Perouse; le cabinet de travail dans la Maison Chinoise qui est un pavillon du château royal de Drottningholm, près de Stockholm; Bourges : La maison de Jacques Coeur , etc...

Trop d'exemples ne peuvent tous venir d'une simple coïncidence . En réalité , ce phénomène acoustique avait été "démonstré " et expliqué depuis bien longtemps et déjà le savant allemand Athanasius Kircher dans son " *Musurgia Universalis* ", publié en 1650 le décrit (p. 300: *Fabricas ellipticas fonos mirificè intendentes configuere*) (fig. 6 ) (10) .

Il est intéressant de noter qu'un peu plus tard , Antoine Furetiere, dans son "Dictionnaire universel" , publié en 1690, définit le terme écho comme ceci :

ECHO: " *en terme d'Architecture , fe dit de certaines figures de voute qui font d'ordinaire ellyptiques ,ou paraboliques, qui redoublent les fons des échos artificiels.*" (11)

En 1740, Trévoux , dans son "Dictionnaire François et Latin" reprend la même définition et ajoute le terme échométrie qu'il définit ainsi:

ECHOMETRIE : " *Science , Art de faire des échos ; de faire des bâtiments dont la difposition , et fur tout celle des voûtes forme des échos .*" (12)

Il est à remarquer que ce terme d'Echométrie a été repris par la majorité des



Fig. 7 - Villa Simonetta à Milan: vue de la cour arrière

dictionnaires jusqu'au xx<sup>e</sup> siècle. Enfin, dans une édition plus tardive de 1771, Trévoux nous donne une autre précieuse indication:

CABINET SECRET “*en physique, font des cabinets dont la construction est telle, que la voix de celui qui parle à un bout de la voute, est entendue à l'autre bout.*” (13)

## ECHOS

En ce qui concerne les phénomènes d'échos proprement dit (réflexions franches contre une paroi), on en revient d'abord à penser qu'ils sont inhérents à la géométrie même du bâtiment. Les phénomènes d'échos peuvent se présenter beaucoup plus souvent qu'on ne le pense : lorsqu'on sait que par le passé, chaque ville de quelque importance, était entourée de remparts, une personne placée à distance appropriée et face à ces murs, recevait sa voix en retour ; identiquement entre les piles suffisamment espacées d'un pont, contre les berges de certaines rivières; et on dit même que les voiles des navires anciens formaient écho. “*Les lieux contribuent beaucoup à la connoissance de ce que nous cherchons, comme pourroient estre les voûtes de plâtre, les cabinets qui font au bout des iardins, aux berceaux, aux Eglises retentiffantes, aux arcades des grands ponts qui font fur les riuieres, aux caues des maifons, & aux niches & murailles recrefpies; les bois remplis de brouffailles, les chaumieres, les iardins & les palliffades, les ifles remplies de faules, les prez, & les ruts des marais. L'ingenieux Architecte mene & place l'Echo dans les iardins & dans les bois, fe ferant de l'aduantage que la nature luy prefente, comme feift autrefois l'Architecte de la galerie Olympique, & des fept tours de Byzance*” écrit en 1636, Marin Mersenne dans son traité “Harmonie Universelle” (14). Dès que l'on regarde de plus près les cas les plus célèbres, on ne peut s'empêcher de penser que la proportion des espaces et leur dimension particulière ne sont pas uniquement l'effet d'une seule volonté constructive et visuelle, mais bien qu'une attention et une préoccupation acoustiques auraient également guidé les constructeurs. A la villa Simonetta de Milan (fig. 7), la proportion de la cour arrière est de 17 mètres sur 34, et l'on sait que pour produire un écho franc, il faut 17 ou un multiple de 17 mètres entre le point d'émission et la paroi réfléchissante. Cette villa a été longtemps visitée pour ses propriétés acoustiques



Fig. 8 - L'Ekotemplet du parc Haga à Stockholm

---

remarquables ; malheureusement les bombardements de la seconde guerre mondiale l'ont grandement endommagée. L'écho ne se produit plus que deux fois seulement dans le sens du plus grand côté. Et pourtant : *“ d'une fenêtre percée à l'étage supérieur, dans l'aile gauche du château; et donnant sur la cour , un coup de pistolet est répété 40 à 50 fois, le bruit de la voix est reproduit de 24 à 30 fois . Monge et Addison ont vérifié le fait , et Bernoulli a affirmé qu'il avait compté jusqu'à 60 répétitions”*. (15)

L'écho est un phénomène que l'on rencontre d'abord dans la nature et les lieux les contenant ont été déifiés ou entourés d'une aura particulière: on leur attribuait des influences fastes ou néfastes.

La nymphe Echo, qui était une orade (nymphe des montagnes et des grottes) pour ses bavardages incessants et ses chants, fut condamnée par Héra à ne plus répéter que la dernière syllabe des mots que l'on prononcerait devant elle. Par la suite, et à cause de l'impossibilité de déclarer son amour pour Narcisse, elle alla cacher sa peine dans des cavernes solitaires. La douleur l'y consuma: ses os se changèrent en rocher, et il ne resta d'elle que sa voix. (16). Les lieux contenant la voix de la nymphe sont célèbres et ont été à l'époque romantique, présentés comme symboles de la voix de la nature. Tels sont, par ex. les rochers de Lorelei à Bingen au bord du Rhin, la forêt de Woodstock près d'Oxford où l'écho se répète dix sept fois, celui de Rosneath près de Glasgow, etc...

Si l'on considère qu'une architecture sacrée doit contenir certaines manifestations étonnantes, certaines règles représentatives des lois divines et de la cosmologie de l'époque, il est compréhensible que nos ancêtres aient voulu reproduire certains effets d'écho , à l'intérieur ou à l'extérieur d'édifices sacrés. Et ce n'est peut- être pas un hasard si, à l'âge baroque, deux jésuites donnèrent aux différents phénomènes d'écho une place non négligeable dans leurs livres décrivant les divers aspect du monde et les lois de l'univers . Josephus Blancanus y consacre dans son “Livres de la Sphère” au terme Echométrie, 30 pages, comprenant une foule de théorèmes additionnés de propositions (17), et Athanasius Kircher, dans son “Mursurgia Universalis “, 71 pages au chapitre Magia Phonocampica (10) .

Il est intéressant de noter que les hommes du passé faisaient attention à la

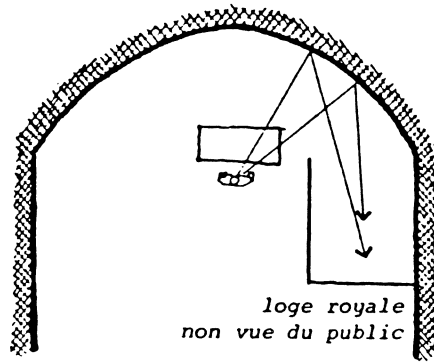


Fig. 9 - dans un château de Philippe II



Fig. 10 - figure du parc de Bomarzo

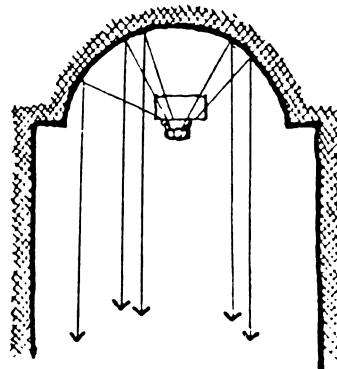


Fig. 11 - autel face à l'abside



QUALITE des échos, à leur différents rendus, découlant de la forme des lieux , de l'air et de la nature des matériaux des parois réfléchissantes : tel écho ne renvoie que certaines notes bien particulières, tel autre semble tantôt s'approcher et tantôt s'éloigner, etc... Pour en revenir à des expressions architecturales , voulues ou non , le curieux écho que l'on peut observer dans les caves du Panthéon ajoute une singulière impression dans les couloirs donnant accès aux tombes des grands hommes : en effet , un coup sec frappé sur le pan d'un vêtement produit un bruit analogue à celui d'une détonation , et lorsqu'on laisse tomber une pièce de monnaie sur le sol , il s'ensuit un bruit fortement amplifié accompagné de multiples échos . Le bruit des pas s'amplifie également et s'accompagne d'autres bruits de pas qui semblent venir de différentes directions . Le même effet de "Flutter écho" peut être observé à l'Ekotemplet, pavillon elliptique situé dans le parc Haga de Stockholm (fig. 8).

## **EFFET HAAS**

L'effet Haas que l'on rencontre en premier lieu dans la nature , avait été remarqué depuis fort longtemps. A.C. Raes (18) a montré que le Christ a utilisé cet effet lorsqu'il s'adressait aux foules et en particulier lors de sa prédication au lac de Génézareth. Ses auditeurs se plaçaient sur les bords en pente du lac et lui , se tenait sur une barque à quelque distance . Le son direct plus celui reflété sur la surface de l'eau calme s'additionnaient et il y avait de ce fait amplification . Comme l'a démontré François Canac (19) ,cet effet a été maximal dans les théâtres grecs antiques et se trouve être à la base de la réussite de ces constructions. Les acteurs jouaient devant un mur réflecteur sur une scène longue et étroite . L'emploi judicieux de ce procédé, on le retrouve 20 siècles plus tard , lorsque se généralise l'installation de chaires de vérité dans les églises . Ces chaires sont surmontées d'abat-voix qui réutilisent l'effet Haas. La voix directe du prêtre est amplifiée par les sons réfléchis sur ce petit plafond.

## **FOCALISATION DES SONS**

Pour les cas de focalisation de sons en dehors ou dans certains édifices, on peut citer

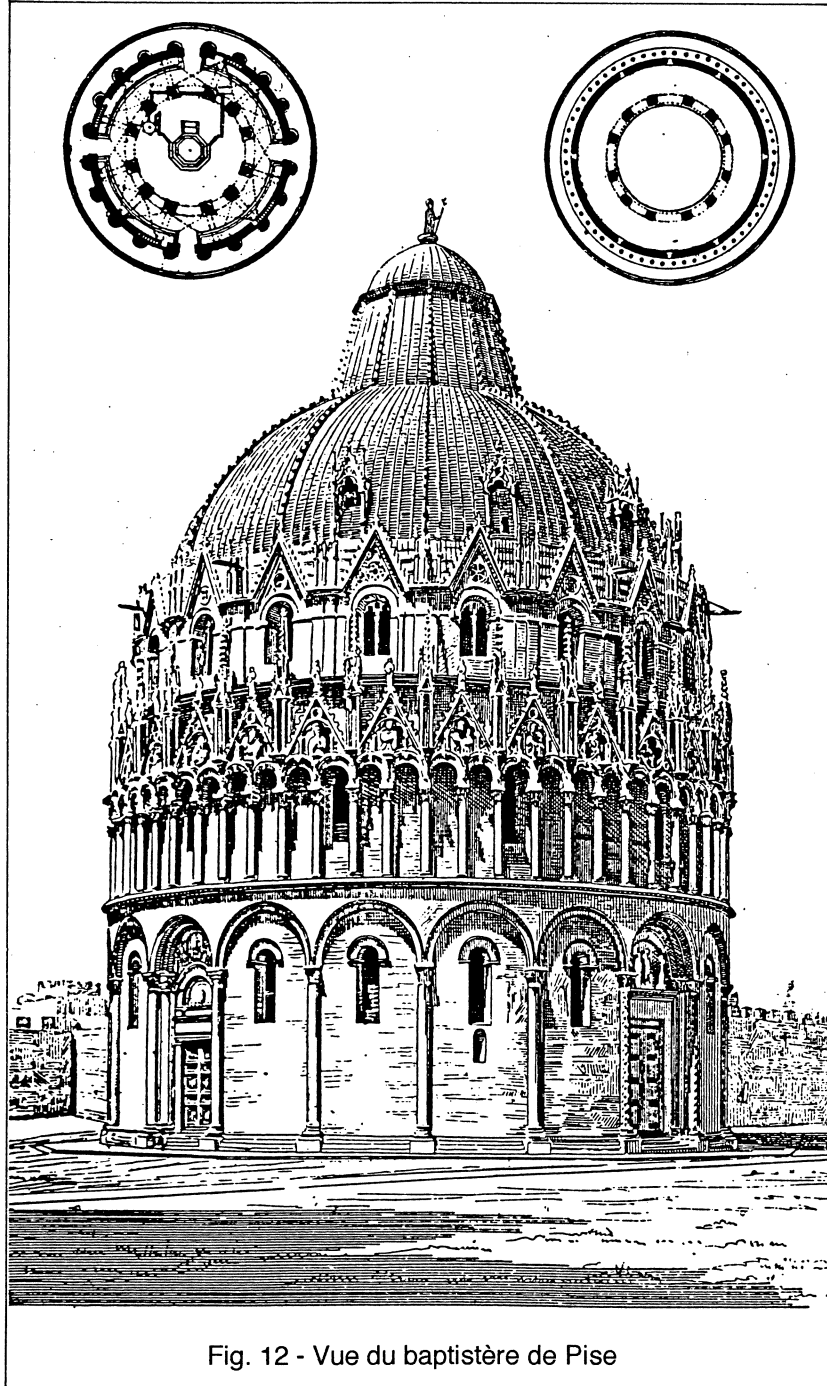


Fig. 12 - Vue du baptistère de Pise

deux exemples dont l'un est volontairement conçu. Dans un château de Philippe II, la loge royale cachée du public, reçoit les sons émis à son côté grâce à la réflexion des ondes acoustiques sur une surface concave (fig. 9) (20). L'autre exemple se situe dans le parc Bomarzo de la villa Orsini à Viterbo (fig. 10), où se trouve une grande gueule, comme un masque immense, dans lequel on peut entrer et s'asseoir autour d'une table. Lorsqu'on y parle, tout ce qui s'y dit peut être entendu à un point précis dans le parc, loin en dehors du lieu d'émission. A rapprocher de ces exemples, la forme demi-sphérique et le cul-de-four surmontant les absides des premières églises chrétiennes est aussi un réflecteur acoustique permettant au prêtre se tenant face à l'abside et donc dos aux fidèles, de se faire entendre distinctement par ces derniers (fig. 11). Dans certaines rues, les sons provenant des cloches des églises y sont plus distincts et mieux perçus qu'à d'autres endroits. Aujourd'hui encore, les amateurs de concerts de carillons, se rendent au Vlaaikensgang à Anvers ou au Clapgat à Malines afin de mieux entendre leur musique favorite, perpétuant ainsi une tradition vieille de plusieurs siècles.

## TEMPS DE REVERBERATION

Le temps de réverbération relativement long, on le retrouve dans toutes les églises et dans certains cas, il est remarquablement prolongé, c'est ce qu'on observe dans le Baptistère de Pise : 12 secondes ! lorsqu'on y chante plusieurs notes staccato, on les entend réunies en l'air en un accord pendant plusieurs secondes (fig. 12 & 13). Les églises cisterciennes sans grandes ouvertures, le sol libre de chaises et dans leur grande nudité sont particulièrement réverbérantes à tel point que dans l'abbaye du Thoronet par exemple, toute conversation parlée dans la nef est tout simplement incompréhensible. C'est à dessein que l'espace central est dédié au chant et qu'une salle plus petite, la salle capitulaire, se trouvant à côté, servait aux sermons. Ce qui reste très extraordinaire dans cette abbaye, c'est la "réponse" entière de toute la nef qui résonne au moindre bruit, au murmure même. Lorsqu'on y chante dans les fréquences basses et que notre cage thoracique se met à résonner, l'église, aux mêmes fréquences agit comme une caisse de résonance. Il y a à ce moment une unité entre le corps et

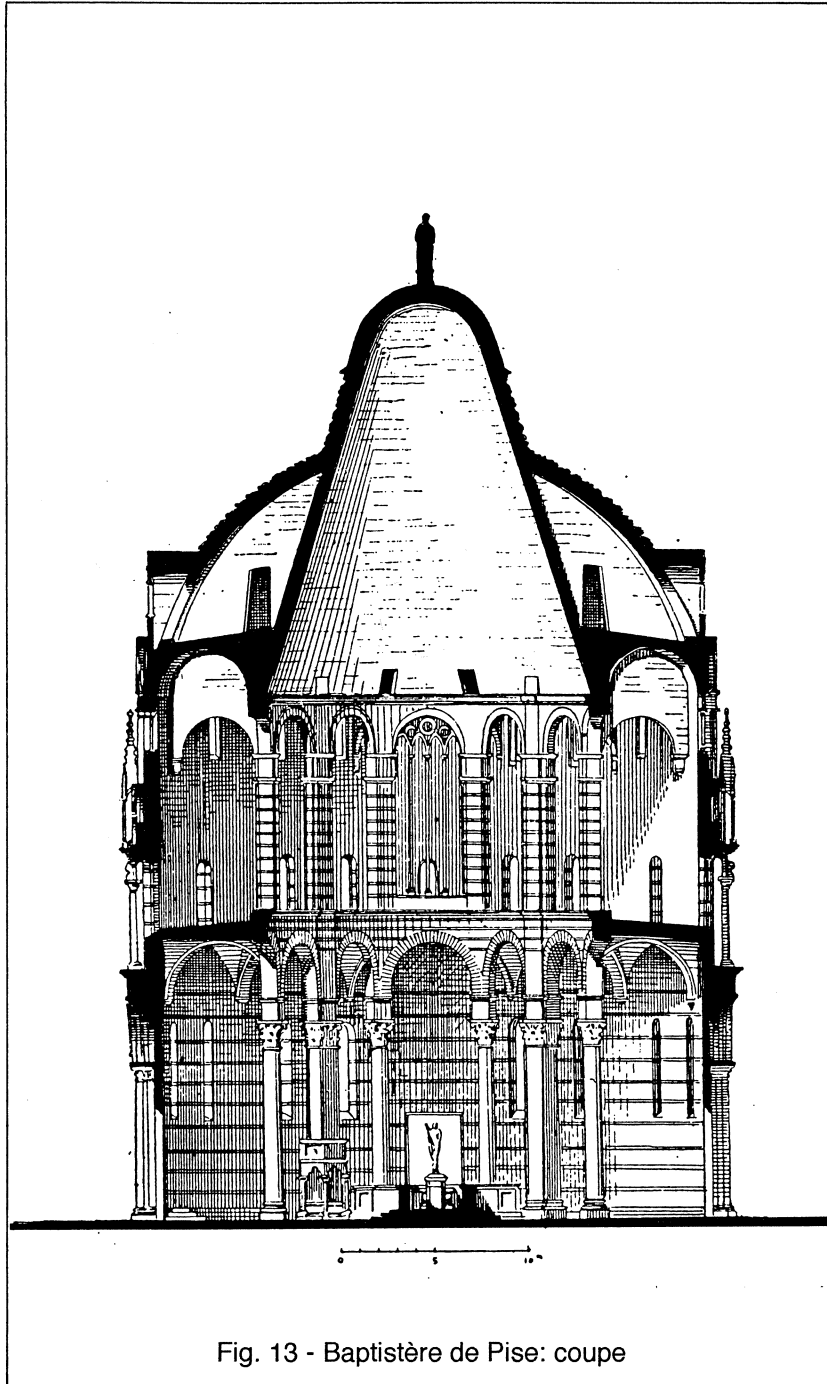


Fig. 13 - Baptistère de Pise: coupe

l'espace peu commune; le chant est porté et soutenu par l'acoustique grâce à la réverbération généreuse qui donne aux monodies une aura harmonique en transformant les intervalles mélodiques en intervalles harmoniques.

## CONDUITS ACOUSTIQUES

Il existe encore d'autres particularités acoustiques liées à l'architecture et qu'on ne peut classer dans les divers cas cités plus haut : par exemple , à Frascati, dans la villa Parizi, on écoute face à une vasque tout ce qui se dit à l'étage inférieur. On ne peut douter de l'intention acoustique d'une telle disposition qui ne peut être le fruit du hasard ou une résultante de la géométrie propre au bâtiment. Déjà, deux des trois principaux théoriciens de l'architecture du quattrocento parlent des conduits acoustiques.

Francesco di Giorgio Martini dans son traité d'architecture publié en 1490 en explique le but ainsi que la façons de les réaliser: *"Qu'il puisse se faire (on peut faire) un instrument par lequel le seigneur entend facilement tout ce qui se dit dans sa maison, "Lui absent" dit-on, et cette forme : On fait une concavité laquelle est comme une fenêtre murée de la grosseur du mur (une niche) et creusée tel un petit tube, et dans la partie supérieur on fait une concavité de la forme dessinée qui parvienne à un lieu d'où le seigneur en appuyant l'oreille entendra tout malgré que l'on parle doucement , parce que les résidus du son et de la voix dans ce lieu anguleux se fortifient et d'une certaine façon les bribes dispersées s'unissent et se fortifient comme l'expérience le démontre".* (21) Léon Battista Alberti en parle également dans son traité "De Re Aedificatori", publié en 1485 : *"Il est opportun de se rappeler combien sont utiles aux tyrans les conduits acoustiques cachés dans l'épaisseur des murs , au moyen desquels on perçoit les discours soit des hôtes, soit des familiers de la maison."* (22) Ensuite, en 1650, Athanasius Kircher, en explique la technique et la disposition dans son *Musurgia Universalis* (23). Ce système est en fait l'ancêtre des "speaking tubes" , tuyaux permettant de transmettre la parole et les informations à l'intérieur des grandes maisons et de certains hôtels du siècles passé. (24) A condition que les tuyaux soient de petit diamètres et que les parois intérieures soient lisses, le son de la voix se propage étonnamment bien.

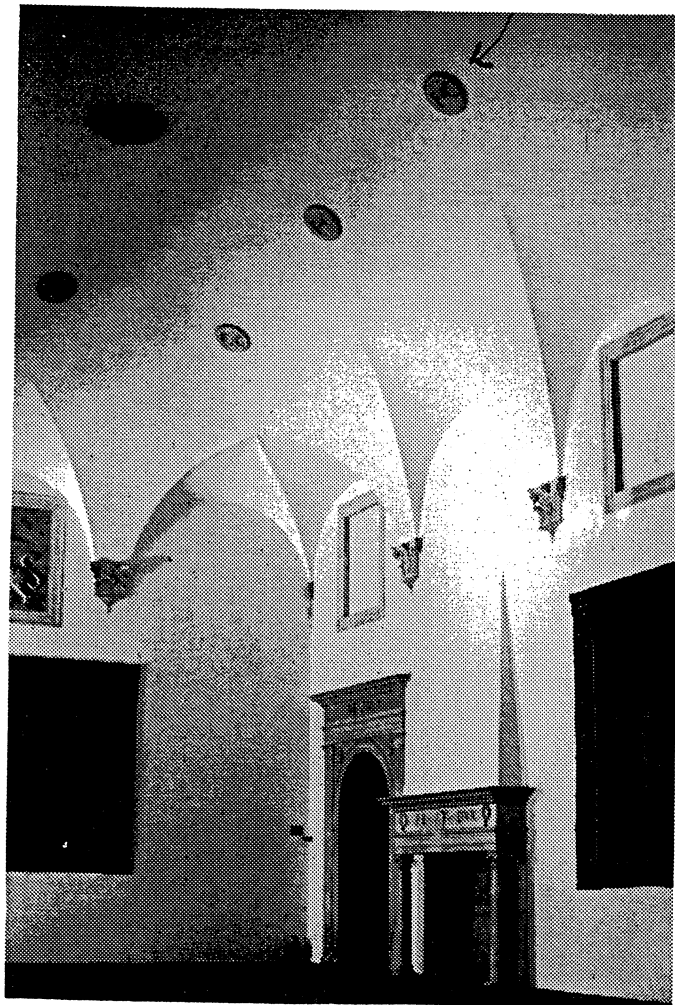


Fig. 14 - Palais Ducal d'Urbino: vue de la salle du trône

---

## AUTRES

Enfin , dernier exemple qui a retenu notre attention , est celui que l'on rencontre dans la salle du trône du palais Ducal d'Urbino. Au plafond de cette salle sont aménagés de petites ouvertures au centre de rosaces et de médaillons (fig. 14). Lorsqu'on se place sur l'extrados de ce plafond , on peut entendre (et espionner) tout ce qui se dit dans la salle même , en contrebas, et ceci par les ouvertures situées au milieu des rosaces.

A la question première, les effets rencontrés relèvent-ils d'une préoccupation acoustique déterminée de la part des constructeurs, on serait tenté de répondre par l'affirmative , bien qu'une réponse définitive ne puisse être donnée ici. Il est certain que dans un grand nombre de constructions citées, les phénomènes acoustiques ne sont pas l'effet du hasard seul. Néanmoins, à la volonté de quelques constructeurs du passé de vouloir réaliser des espaces impressionnants d'un point de vue sonore ou contenant certains effets remarquables, il est nécessaire de superposer une trame de pratiques d'acoustique vivante qui engloberait un ensemble touffu de volontés, de pratiques obscures, de légendes, de fausses rumeurs et d'heureuses coïncidences. Cela n'empêche qu'une investigation rétrospective d'une importante série de bâtiments du passé se révèle nécessaire et nous procurerait sûrement beaucoup plus de surprises qu'on ne le pense.

Enfin, il est nécessaire de se rendre compte que dans la vaste période s'étendant depuis la fin de l'empire romain jusqu'au début du XIX<sup>e</sup> siècle, l'acoustique fut présente , non sous la forme d'une science, au moins sous la forme d'expressions vivantes ABOUTIES. Cette période, oubliée des acousticiens modernes, j'ai essayé de la décrire tant soit peu . Et ceci est le but de ce texte.

## NOTES

- (1) VITRUVÉ " *10 livres d'architecture*"  
(trad. Claude Perrault, 1673) Ed. Baland, Paris, pp. 157-163
- (2) Jean DE STURLER " *Notes sur l'emploi de poteries creuses dans les édifices du Moyen-Age*", in: revue "Le Moyen-Age", n°3, Bruxelles, 1957, pp. 241-265.
- Jean DE STURLER " *Notes complémentaires sur l'emploi de poteries creuses dans les édifices du Moyen-Age*", in: revue "Le Moyen-Age", n° 4, Bruxelles, 1960, pp. 595-602.
- Y. P. CASTEL (père) " *Les systèmes de vases acoustiques anciens dans les églises du Finistère (XIV<sup>e</sup>-XVII<sup>e</sup> s.)*", Bulletin de la Société Archéologique du Finistère, Tome CIV, 1976.
- Jean-Marc FONTAINE " *Un système historique de correction sonore*", in: "Qualité acoustique des lieux d'écoute", Colloque C.N.R.S.- E.R.A. 537, Paris, 1981.
- (3) René FLOROIT (frère) " *Les vases acoustiques au Moyen-Age*", thèse faculté des sciences de l'Université d'Aix-Marseille, 1964.
- (4) VITRUVÉ op. cit. pp. 160-161.
- (5) René FLORIOT (frère) " *Les vases acoustiques du Moyen-Age*", in: bulletins du GAM, n° 98, Paris, juin 1978, p. 8.
- (6) M. A. BECHET " *Notes d'Art et d'Archéologie*", 1982, cité par Cloquet.
- L. CLOQUET " *Traité d'architecture*", Librairie Polytechnique Ch. Béranger, Paris et Liège, 1901, pp. 248-249.
- (7) V. de CUYENCOURT " *Mémoire sur l'ancienne église des Cordeliers d'Amiens*", Amiens, Yocht et Tellier, 1891, cité par Cloquet.
- (8) Jearl WALKER " *Expériences d'amateur*", in: "Pour la Science", n°14, décembre 1978, pp. 104-105.
- (9) Dr. E.J. HASSSLINGHUIS au terme "Fluistergalerij" in: " *Bouwkundige termen*", Bohn, Scheltema & Holkema, Utrecht/Antwerpen, 1986, p. 131.



- (10) Athanasius KIRCHER "Musurgia universalis sive Ars magna consoni et dissoni in X libros digesta" Romae, Haeredes Francisci Corbelletti; Ludovicus Grignanus, 1650.
- (10') *Magia fine Ars Phonocampatica est reconditio fonorum scientia, qua reflexa & multiplicatae vocis virtute, prodigiofos & canfarum ignaris miraculofos effectus p & Stames: pp. 237 à 308.*
- (11) Antoine FURETIERE "Dictionnaire universel", La Haye et Rotterdam, Arnout et Reinier, Leers, 1690 (SNL - Le Robert, Paris, 1978)
- (12) TREVoux "Dictionnaire universel François et Latin", Piere Antoine, Nancy, 1740.
- (13) TREVoux "Dictionnaire François et Latin", Compagnie des Libraires Associés, Paris, 1771
- (14) Marin MERSENNE "Harmonie universelle", Paris, 1636, facsimilé des Editions du Centre National de la Recherche Scientifique, Paris, 1986, p. 54.
- (15) R. RADAU "L'acoustique ou les phénomènes du son", Librairie Hachette et Cie, 1ère édition, 1867, pp. 121-122.
- (16) LAROUSSE "Mythologie générale", Paris, 1935, pp. 158-159.
- (17) Josephus BLANCANUS "Sphaera Mundi, seu Cosmographia Demonstrativa, ac facili Methodo tradita: in qua todius mundi fabrica, una cum novis, Tychonis, Kepleri, Galilaei, aliorumq, Astronomorum adinventis continetur accessere  
I. Brevis introductio ad Geographiam  
II. Apparatus ad Mathematicarum studium  
III. Echometria, id. est Geometrica traditio de Echo"  
Boroniae, typis Sebastiani Bononii  
Sumptibus Hieronymi Tamburini, 1620.
- (18) Auguste RAES "Isolation sonore et acoustique architecturale", Ed. Chiron, Paris, 1965, pp. 325-326.
- (19) François CANAC "L'acoustique des théâtres antiques - ses enseignements", C.N.R.S., Paris, 1967.
- (20) "Cours d'acoustique", Université de Louvain-la-Neuve, circa 1975, p. 157.

- (21) F. di GIORGIO MARTINI " *Trattati di Architettura Ingegneria e arte militare*", secondo trattato, et figures f. 24 TAV. 207 et f. 24 v TAV. 208., Edizione il Polifilo, Milano, 1966, pp. 352-353 (trad. J. Baldasso).
- (22) L. Battista ALBERTI " *De Re Aedificatoria*", (l'architettura), libro quinto, capitolo III, Edizione il Polifilo, Milano, 1966, p. 346, (trad. J. Baldasso).
- (23) Athanasius KIRSCHER Op. Cit. II, f. 303.
- (24) E. BARBEROT " *Traité de construction civile*", Librairie Polytechnique Ch. Béranger, Paris et Liège, 1920. contient de nombreux renseignements techniques quant au fonctionnement, à la réalisation et à l'application des "speaking tubes", pp. 831-832.

M'ont également aidé:

l'ouvrage de Sir James JEANS " *Science et musique*", Hermann et Cie, Paris, 1939; ainsi que les travaux d'Emile LEIPP, et en particulier son texte repris dans le bulletin du GAM n°99, novembre 1978: " *La qualité acoustique des lieux d'écoute*", Paris, 1978.

Enfin, la plupart des exemples cités, j'ai pu les observer in situ, grâce à une bourse de recherche du Ministère de la Culture Française (belge) en 1982 et une seconde du Centre National de Recherche Scientifique (français) en 1983. Une version simplifiée de ce texte a été présentée à l'Association Belge des Acousticiens en mai 1984 et en Anglais, au Banff Center for the Arts, Alberta, Canada en août 1993 ainsi qu'à l'Ecole d'architecture de l'Université Polytechnique de Catalogne à Barcelone en mai 1994, à l'Ecole d'Architecture d'Oulu (Finlande) en 1998 et à l'institut d'Acoustique du Consejo Superior de Investigaciones Cientificas de Madrid en 1998, etc...

## SOURCES DES ILLUSTRATIONS

- Fig. 1 thèse de René FLoriot: "*Les vases acoustiques au Moyen-Age*", p. 46  
Fig. 2 extrait de Jean-Marc Fontaine: "*Contribution à l'étude des vases acoustiques disposés dans les églises (XI-XVIIIè s)*", mémoire d'ingénieur C.N.A.M., Paris, 1979.
- Fig. 3 idem  
Fig. 4 vue de la galerie des murmures à St-Pierre de Rome. Photo M. Crunelle  
Fig. 5 vues des gradins au théâtre d'Orange. Photo M. Crunelle.  
Fig. 6 extrait d'Athanasius Kircher: "*Musurgia Universalis*"  
Fig. 7 extrait de R. Radeau: "*L'acoustique ou les phénomènes du son*", Librairie Hachette et Cie, Paris, 1867, p. 119.
- Fig. 8 extrait de la brochure "Förbundet för EKO PARKEN, I samarbete med", Stockholm 98, photo d'Henrik Waldenström
- Fig. 9 dessin de Marc Crunelle  
Fig. 10 dessin de Marc Crunelle  
Fig. 11 dessin de Marc Crunelle  
Fig. 12 extrait de P. Planat: "*Encyclopédie de l'architecture et de la construction*", Dujardin et Cie Edit., Paris, s.d., planche XXXIV, page 260.  
Fig. 13 extrait de P. Planat: "*Encyclopédie de l'architecture et de la construction*", Dujardin et Cie Edit., Paris, s.d., page 261.  
Fig. 14 vue du plafond de la salle du trône, Palais ducal d'Urbino. Photo de M. Crunelle.
-