

Plafonds d'église, survol historique et remarques acoustiques

Autor(en): **Desarnaulds, Victor / Carvalho, Antonio P.O.**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Ingénieurs et architectes suisses**

Band (Jahr): **127 (2001)**

Heft 23

PDF erstellt am: **25.04.2015**

Persistenter Link: <http://dx.doi.org/10.5169/seals-80078>

Nutzungsbedingungen

Mit dem Zugriff auf den vorliegenden Inhalt gelten die Nutzungsbedingungen als akzeptiert. Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern. Die angebotenen Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungshinweisen und unter deren Einhaltung weitergegeben werden. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Plafonds d'église, survol historique et remarques acoustiques

Le style architectural s'exprime autant dans la conception d'un volume que par le biais des matériaux retenus, deux éléments qui déterminent aussi de manière essentielle les conditions acoustiques d'un espace donné. Dans la conception et la réalisation des églises, l'évolution importante de ces paramètres au cours des siècles a donc induit des modifications sensibles de l'acoustique de tels lieux selon leur style architectural [1]¹. Le présent article se propose de retracer brièvement l'évolution historique de la forme des plafonds des églises, élément fondamental de l'architecture, ainsi que ses conséquences au niveau de l'acoustique.

Effets acoustiques liés à la composition des plafonds

Le plafond d'une salle se définit essentiellement par sa forme, sa hauteur et sa matérialisation, trois paramètres qui s'avèrent capitaux non seulement du point de vue de l'architecture mais également de l'acoustique.

En effet, la forme du plafond détermine l'orientation des réflexions qui diffuseront ou focaliseront le son. L'architecte Lachèz [2] remarquait déjà en 1879 que « les voûtes et les plafonds à courbures [...] offrent des masses d'air nuisibles à la pureté des sons ; elles donnent lieu à des résonances, mais le plus souvent elles produisent des échos plus ou moins sensibles, par la concentration des ondes réfléchies en certains points, concentration qui est le résultat nécessaire des réflexions sur les parois à simple ou double courbure ». Afin

d'éviter de tels effets, il formule alors cette invitation : « c'est un très bon exercice pour un architecte qui veut devenir acousticien, que de faire des épures pour se rendre compte graphiquement des phénomènes de réflexion des ondes sonores, et se familiariser avec tous les résultats qui se présentent dans la pratique de son Art, lorsqu'il s'agit d'acoustique ». L'importance et les effets acoustiques des voûtes ont été confirmés par diverses études scientifiques [3] montrant notamment que la présence de voûtes induisait une concentration de l'énergie acoustique, en particulier si le rayon de courbure du plafond est de l'ordre de grandeur de la hauteur (fig. 1) et si la source et le récepteur sont situés dans le plan de symétrie longitudinal. Cette inhomogénéité spatiale peut être recherchée, mais elle est, dans bien des cas, néfaste à la qualité acoustique de l'édifice.

La hauteur du plafond détermine principalement le retard entre le son arrivant directement à l'auditeur et celui issu de la réflexion par le plafond. Cette différence de chemin doit être inférieure à 12 m pour ne pas perturber la parole (un peu plus pour la musique). Par ailleurs, le temps de réverbération, qui est un des paramètres acoustiques les plus importants, est généralement proportionnel à la hauteur.

Enfin, selon la matérialisation du plafond, les ondes incidentes seront plus ou moins réfléchies (surfaces lisses et rigides), absorbées (surfaces absorbantes) ou diffusées (surfaces texturées). Ces phénomènes, qui varient en fréquence, déterminent la réverbération du volume.

¹ Les chiffres entre crochets renvoient aux références en fin d'article.

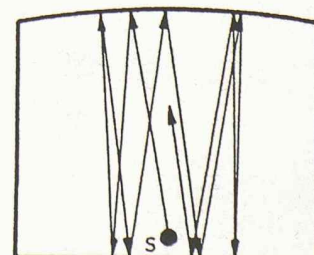
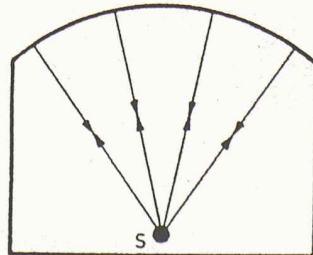
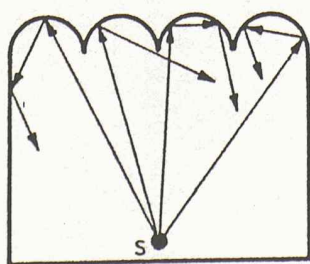


Fig. 1 : Effet de diffusion ou de focalisation d'une voûte en fonction de son rayon de courbure et de sa hauteur

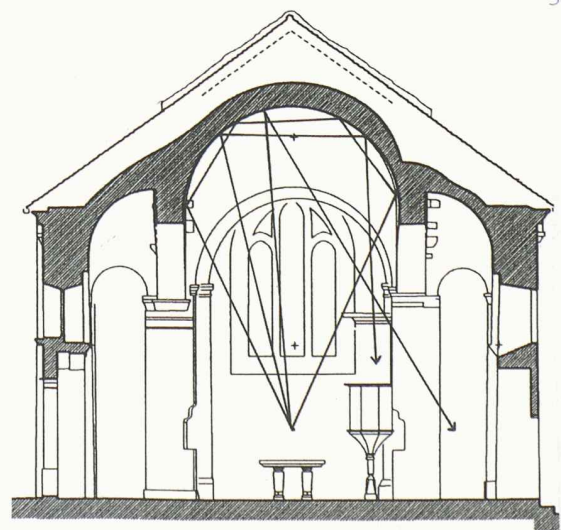
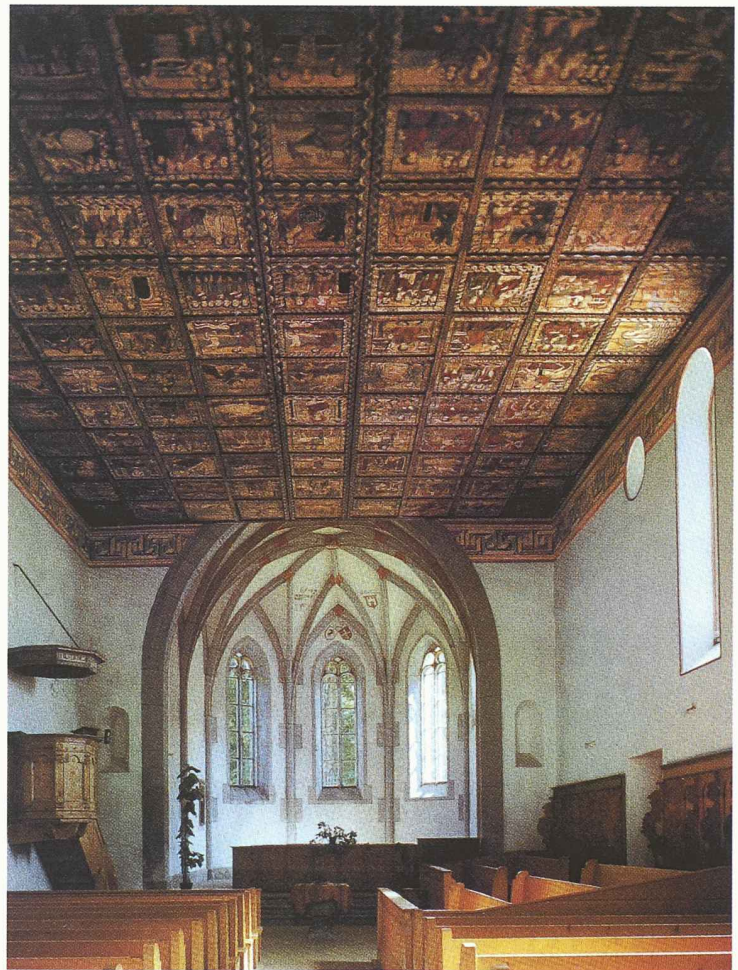
Fig. 2 : Plafond en bois de l'église de Zillis, dans les Grisons

Fig. 3 : Eglise de Grandson. Diffusion du son par une voûte en berceau ($R = h/4$)

Eglises romanes et gothiques

Les églises paroissiales romanes avaient bien souvent un plafond relativement bas, plan, en bois, favorable du point de vue acoustique, dont il nous reste un magnifique exemple à Zillis (environ 1130, fig. 2). Les plus grandes églises ou abbayes de cette époque (par exemple Payerne ou Grandson) sont généralement dotées de voûtes en berceau, présentant toutefois des faibles rayons de courbures qui permettent d'éviter les phénomènes de focalisation (fig. 3). C'est à partir du XI^e siècle que l'on trouve, dans certains cas, des vases acoustiques en terre cuite dans les voûtes pour améliorer les conditions d'écoute et notamment diminuer les effets de focalisation [4]. Dans d'autres cas particuliers, on a tiré parti de tels phénomènes de focalisation. Ainsi, la mise en place d'une estrade dans l'abside en cul-de-four (plafond en quart de sphère) de l'église de Griarsun (XIII^e) permet à l'officiant de se situer à une hauteur (correspondant à la moitié du rayon du plafond, soit la focale de l'approximation parabolique de celui-ci), où le plafond joue le rôle d'amplificateur naturel pour l'ensemble de l'assemblée. Quant à la présence de voûtes en berceau brisé convenablement dimensionnées, elle confère à certains édifices (tels les abbayes provençales de Silvacane, Sénanque et Thoronet) une sonorité exceptionnelle, en particulier pour le plain-chant [5]. Elle permet d'acheminer l'essentiel des réflexions sonores d'une manière cohérente, de renforcer le son dans la nef ou dans les stalles suivant la position de la source.

Le symbolisme architectural incarne, en particulier au Moyen Age, la montée vers le ciel. Les prouesses techniques - dont notamment à l'époque gothique les arcs-boutants et les voûtes d'ogive (qui entraînent une diffusion favorable) - se succèdent pour augmenter la hauteur des édifices. Cela a pour conséquence acoustique d'augmenter les volumes et d'induire des réflexions tardives néfastes sur le plan acoustique (fig. 4). A partir du XIV^e siècle, on assiste alors à la mise en place des chaires [6] munies d'abat-voix [7] à l'intérieur des églises pour diminuer ces effets. Ces hauteurs importantes seront mises à profit plus tard pour installer des grandes orgues sur une tribune occidentale [8]. On assiste



également à l'époque gothique à la multiplication du nombre de colonnes et décorations (statues) qui, pour leur part, augmentent favorablement la diffusion acoustique. Quant à l'allègement des murs, il permettra de mettre en place de grandes surfaces de vitraux contribuant à absorber les sons aux basses fréquences.

Après la Réforme

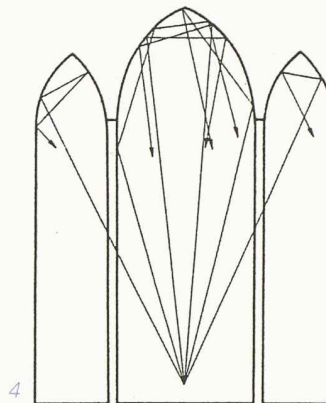
Au XVI^e siècle et parallèlement à de profondes modifications liturgiques, la Réforme entraîne une désacralisation des lieux de culte et l'émergence d'une architecture relativement fonctionnelle² - faite notamment pour favoriser l'intelligibilité avec des plafonds moins hauts et en bois, l'emploi de ce matériau entraînant une baisse du temps de réverbération aux basses fréquences [9]. A l'inverse, la Contre-Réforme catholique s'oriente plutôt vers une glorification de Dieu à travers une architecture fastueuse et richement décorée; la forme des plafonds devient souvent défavorable du point de vue acoustique³, mais elle est généralement compensée par la présence abondante de stucs permettant d'augmenter la diffusion (fig. 5).

Avec la nostalgie de la piété médiévale, on assiste au retour des grandes traditions du Moyen Age (néomédiévalisme), symbolisées par de grandes églises présentant des voûtes élevées et l'utilisation de matériaux réfléchissants, qui induisent une augmentation de la réverbération [10].

Exemples modernes

Désireuse de s'affranchir d'une tradition trop limitative, l'époque moderne est à la recherche d'un nouveau langage architectural en particulier pour les édifices sacrés. Le Corbusier a joué dans ce domaine un rôle non négligeable pour définir ce nouveau vocabulaire des formes et des espaces pour « loger la prière des hommes ». Le plafond, dont celui de Ronchamp reste emblématique, se révèle alors un des éléments fondamentaux pour sculpter l'espace. L'utilisation du béton permet par ailleurs l'émergence de nouvelles formes de plafond comme le voile inversé, qui induit une diffusion favorable du point de vue acoustique.

Cependant, une radicalisation des concepts architecturaux sans analyse des conséquences fonctionnelles induit souvent de graves conséquences au niveau acoustique. Ainsi pour l'église Saint-Pie à Meggen (1964-66), l'architecte Franz Füeg se donne comme principe la simplification structurelle et formelle pour créer « un vide que l'on vient ensuite remplir », ce qui le conduit à réaliser un édifice parallélépipédique (fig. 6). Cependant, la hauteur importante (13,5 m), associée à une faible diffusion (structure métallique très légère et ajourée) entraîne des réflexions trop tardives. Par ailleurs, les grandes surfaces parallèles et réfléchissantes (marbre translucide) induisent des échos également défavorables du point de vue acoustique. Un autre exemple de ce type de problème est dû au symbolisme poussé à l'extrême de l'église de la Sainte-Trinité à Genève (Brunoni, 1994), dont la forme semi-sphérique du plafond entraîne de graves défauts acoustiques (échos flottants, rampants, fig. 8). Idéalement, le plafond devrait procurer une bonne diffusion acoustique, comme c'est notamment le cas, grâce aux nombreux décrochements qui le caractérisent (fig. 9), dans l'église Saint-Nicolas à Hérémece (Förderer, 1970). Une des fonctions acoustiques du plafond peut aussi être de diminuer la réverbération, en particulier pour favoriser l'intelligibilité de la parole, qui devient une préoccupation importante dans l'église catholique après le Concile Vatican II (1962-65). On assiste ainsi à l'emploi, pour les plafonds, de divers matériaux absorbants tels les crépis poreux. Le bois revient également sur le devant de la scène pour les édifices sacrés [11], car il permet, comme à la chapelle Mütschi de Walchwil (fig. 10) ou à Saint-Joseph à Prilly (G. Tâche, 1994), de moduler non seulement la forme mais également l'acoustique par un choix judicieux de la composition du plafond. Selon la situation, les lames peuvent être jointives ou ajourées pour réfléchir (par exemple sur la galerie où se situent l'orgue et la chorale), respectivement absorber le son (dans les zones « parasites »). Les charpentes apparentes en bois permettent par ailleurs souvent de jouer le rôle de diffuseurs acoustiques. Cela dit, le choix de matériaux absorbants pour le plafond des églises doit être envisagé avec discernement, sous peine d'étouffer le son comme



c'est par exemple le cas des tôles perforées de la chapelle de Notre-Dame du Perpétuel Secours à Genève (Brunoni, 1994). Enfin, le plafond d'une église permet souvent de moduler non seulement l'acoustique mais également la lumière. Souvent en effet, cet élément de la construction permet à la fois de gérer la contrainte acoustique et la mise en scène de l'espace par un apport spécifique de lumière. Ainsi Botta dit-il à propos de Mogno [12]: «j'ai dessiné une chapelle en plan elliptique, avec une géométrie complexe qui, par sa section verticale (son plafond), se transforme en géométrie élémentaire. Ma recherche a porté sur une lumière zénithale "totale" ».

Dans bien des cas cependant, l'architecte se soucie davantage de la cohérence visuelle que de la qualité acoustique de son œuvre. On ne peut ainsi que déplorer les trop nombreux exemples où le souci d'une bonne acoustique n'apparaît qu'avec les plaintes des utilisateurs. Le Corbusier en est conscient lorsqu'il affirme, à propos du couvent dominicain de Sainte-Marie de La Tourette (Éveux, France), «une inquiétude à avoir, le problème de l'acoustique. Nous avons eu des tentatives et des tentations de vaincre une acoustique difficilement définissable d'avance, très difficilement. On pourrait peut-être scientifiquement le dire mais pratiquement être contourné par la réalité. Enfin, pour éviter cela, on avait décidé de faire des grands murs polygonaux pour briser le son, les reflets, etc. Seulement, comme on n'avait pas d'argent, on s'est dit: ce n'est pas la peine de les faire, on ne peut pas les faire. Et moi j'étais content de ne pas les faire parce que cela me paraissait superflu et capable d'apporter un tumulte visuel qui m'aurait déplu et qui aurait été en dehors de la belle limpidité de forme qui domine. Il y a ceci d'heureux: l'acoustique semble être excellente. Une mauvaise acoustique pouvait être passible de s'adapter à la liturgie. La liturgie l'accepte. Tant d'églises ont une si mauvaise acoustique, qu'on confond la mauvaise acoustique avec la liturgie, ça



5



6

² Les premiers temples réformés furent bâtis sur le modèle des granges ou maisons des régions où ils étaient situés.

³ Le rayon de courbure des voûtes compris entre la moitié de la hauteur et le point culminant de l'édifice induit des phénomènes d'échos.

Fig. 7: L'église Saint-Pie à Meggen (1964-66), de l'architecte Franz Füeg
(Photo Roland Schneider)

Fig. 8: L'église de la Sainte-Trinité à Genève (1994), de l'architecte Ugo Brunoni

Fig. 9: L'église d'Hérémece (1970), de l'architecte Förderer

Fig. 10: Chapelle de la maison de retraite «Mütschi» à Walchwil, de l'architecte Erich Weber

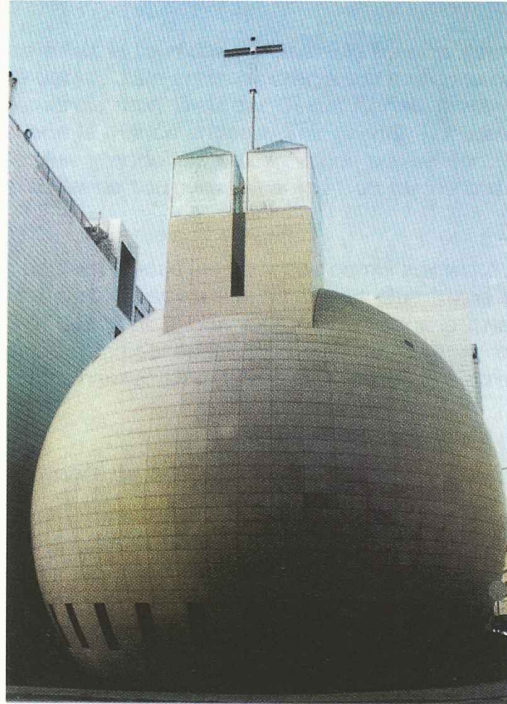


créée ce brouhaha, ce mystère, cette confusion qui charme parfois. Ici vous vous trouvez en face d'une acoustique qui peut être d'une grande pureté. Je n'en suis pas responsable, sciemment, pas tout à fait sciemment, mais admettez que j'ai eu du flair». Aujourd'hui, il faut toutefois pondérer ces propos en précisant que les utilisateurs de ce couvent se plaignent de son acoustique⁴, qu'une bonne planification des qualités acoustiques est maintenant relativement aisée avec les connaissances et outils actuels et n'implique généralement aucun coût supplémentaire. Il est par ailleurs erroné de penser que la liturgie accepte une mauvaise acoustique, qui ne peut du reste être corrigée par des moyens électroacoustiques. Si la sonorisation des églises permet certes d'augmenter le volume sonore et d'améliorer l'intelligibilité de la parole, son utilisation est souvent contraignante et ses performances demeurent limitées par les conditions acoustiques du volume. C'est à l'architecte, secondé par un acousticien, que revient le souci de créer un lieu dont l'acoustique est adaptée à son utilisation, en déterminant en particulier la forme et la matérialisation du plafond dont nous avons tenté de montrer l'importance.

⁴ Un des moines du couvent dominicain de Sainte-Marie de La Tourette affirme [13] « à l'usage, quelques autres défauts se révélaient: la sonorité de la maison [...] la mauvaise acoustique de l'église où le son est beau, mais la parole quelquefois inintelligible à cause des vibrations. Pourtant, faire un couvent silencieux en "coupant la route du bruit" et réussir l'acoustique de cette église de Prêcheurs étaient bien parmi les grandes préoccupations de l'architecte ».

Références

- [1] CARVALHO, A. P. O.: «Influence of Architectural Features and Styles on Various Acoustical Measures in Churches», Thèse de Philosophie, Florida University, USA, 1994
- [2] LACHÉZ, T.: «Acoustique et optique des salles de réunions. Principes, observations et documents à considérer pour la disposition des salles de théâtres, amphithéâtres, concerts, temples et oratoires» Chez L'auteur, Paris, 1879
- [3] MATHIEZ, A. and SANTON, F.: «Etude acoustique d'une salle voûtée» *Revue d'acoustique* Vol 36, pp. 51-56, 1976
- [4] DESARNAULDS, V. and LOERINCIC, Y.: «Vases acoustiques dans les églises du Moyen Age», *Zeitschrift des Schweizerischen Burgenvereins*. Vol 6(3), pp. 65-72, 2001
- [5] VERNHES, C.: «Analyse théorique de l'acoustique des églises des "Trois sœurs" de Provence», *Revue d'Histoire Cistercienne* Vol 50(2), pp. 24, 1999
- [6] CARVALHO, A. P. O.: «The effect of pulpits in the Rasti values within churches», INTER-NOISE '99 1999, Fort Lauderdale (USA), pp. 989-994, 1999
- [7] DESARNAULDS, V., CHAUVIN, P. and CARVALHO, A. P. O.: «Acoustic effectiveness of pulpit reflector in churches», 17 ICA 2001, Rome, 2001
- [8] DESARNAULDS, V.: «De la position des orgues dans les églises. Partie 1 : Survol historique», *La Tribune de l'Orgue* Vol 52(1), pp. 18-26, 2000
- [9] LOTTERMOSER, W.: «Nachhalzeiten in Barockkirchen», *Acustica* Vol 2, pp. 109-111, 1952
- [10] DESARNAULDS, V. and CARVALHO, A. P. O.: «Analysis of the reverberation time values for churches according to country and architectural style», 8th International Congress on Sound and Vibration (ICSV) 2001, Hongkong, pp. 749-756, 2001
- [11] OBERHOLZER et al.: «Edifices sacrés», *Bulletin bois* Vol 23, pp. 302-316, 1990
- [12] PETIT, J.: «Mario Botta. Projet pour une église à Mogno», Fidia ed. d'arte. Coll. Forces vives, 1992
- [13] Couvent dominicain Sainte-Marie de La Tourette, 2000 <http://www.couventlatourette.com/html/historique_usage.htm>



8



9



10

Remerciements

Nos sincères remerciements vont au professeur Claude Morel (Département d'architecture de l'EPFL), et au bureau d'ingénieur G. Monay à Lausanne.