

## CHAPITRE X

### LES DIVERSES ESPÈCES DE VOUTES

---

**SOMMAIRE.** — La géométrie des voûtes. — Leur génération. — Voûte en berceau. — Arcs-doubleaux. — Voûte en arc de cloître. — Plan carré, rectangulaire, polygonal. — Voûte sphérique. — Lanterne. — Voûte d'arête. — Piliers. — Éclairage. — Les salles de thermes. — Les pénétrations. — Voûtes d'arête et pénétrations surélevées. — Bonnet d'évêque. — Voûte torique ou quasi-torique. — Voûte sphérique sur pendentifs. — Interruptions, tambours et coupoles. — Voûtes sur arcs (moyen âge). — Croisée d'ogives.

Tout ce que je viens de vous dire s'applique aux voûtes en général. Il nous reste à voir les raisons qui feront adopter dans chaque cas particulier un système de voûte plutôt qu'un autre. Pour cela, il me faut passer rapidement en revue les diverses espèces de voûtes, non au point de vue de la stéréotomie, mais dans leurs rapports avec la composition générale.

Ce n'est pas que vous puissiez jamais, en matière de voûte, faire abstraction de la stéréotomie; au contraire, vous ne pourrez jamais ni composer ni étudier des voûtes si vous ne commencez par en comprendre parfaitement la génération géométrique. Les voûtes élémentaires ont une génération bien déterminée; ainsi dans l'antiquité romaine, les voûtes sont nettement cylindriques ou sphériques. Plus tard, la génération des

surfaces n'est plus aussi simple; il y a, par exemple, des voûtes d'arête surhaussées, de celles qu'on dit *en bonnet d'évêque* dont la surface est assez incertaine au premier abord; de même des trompes ou certaines pénétrations. Je ne puis à cet égard que vous donner des conseils généraux : d'abord, vous recommander l'étude très sérieuse de la stéréotomie; puis vous conseiller de voir le plus possible de voûtes en vous posant tout d'abord ces questions : quelle est cette surface? Comment cette surface est-elle engendrée? Est-elle développable? Et dans le cas contraire, quel peut être le procédé naturel pour son étude?

Remarquez-le bien en effet : c'est surtout pour l'étude des voûtes que l'architecte a besoin de tout ce qu'il a appris en géométrie, élémentaire et descriptive, et cela pour leur tracé seul, sans parler des méthodes qu'il devra employer pour la vérification de leur stabilité. Il y a un grand art dans les voûtes, mais cet art est interdit à qui n'a pas d'abord la science nécessaire.

La voûte la plus simple est la voûte en berceau, purement cylindrique, que sa section soit plein cintre, elliptique ou à plusieurs centres. Elle appelle des murs de résistance égale; son caractère doit répondre à cette fonction, et généralement sa décoration accuse par son unité même l'unité de composition et d'action de la voûte.

En général, la voûte en berceau est longue; son caractère est d'indiquer une direction, la salle est voûtée dans un sens unique, et il ne doit pas y avoir à cet égard d'hésitation. La voûte en berceau sur un plan carré ou presque carré est donc peu satisfaisante, on se demande alors pourquoi la salle est voûtée sur ce sens plutôt que sur l'autre. Cependant si les tympanes sont ajourés pour l'éclairage, la disposition se justifie; ou encore si la voûte en berceau fait suite à d'autres parties voûtées, comme

par exemple les chapelles latérales d'une église dont les bas côtés sont voûtés en arête. La voûte en berceau joue alors presque le rôle d'un arc-doubleau.

Si la voûte en berceau est tout unie de construction, sa décoration consistera naturellement soit en caissons, soit en compartiments avec cadres en saillie, soit enfin en peintures. Ce n'est que par un développement que vous pourrez étudier ces dispositions.

Souvent aussi elle sera divisée par des arcs-doubleaux, soit au point de vue de l'aspect, soit parce que à l'étage supérieur il faudra supporter des murs ou cloisons. L'arc-doubleau est donc ou constructif ou simplement décoratif. Cette fonction sera une première condition de son étude, et s'il est chargé d'une façon spéciale, il faudra avant tout satisfaire à cette nécessité, dont l'effet se répercutera sur le plan, en appelant des contreforts ou tout autre moyen de résistance supplémentaire au droit de ces arcs.

Si les arcs-doubleaux ne sont que décoratifs, l'architecte, avant de déterminer leur saillie sur l'intrados de la voûte, doit tout d'abord décider s'il veut de préférence accentuer la longueur du vaisseau ou au contraire accuser la coupure par travées : dans le premier cas, les arcs-doubleaux seront peu saillants ; dans le second, ils seront plus prononcés. Et comme la saillie des arcs dépend des saillies ménagées dans le plan, c'est dès l'étude du plan qu'il faudra prévoir cette recherche d'aspect.

La voûte en berceau risque, comme je l'ai dit, d'être obscure. Telles sont souvent les voûtes de la première époque romane. Mais, dans les églises, on s'est habitué, tout au moins en France et dans les pays du Nord, à cette obscurité des voûtes dont on a fait une expression mystique. Ailleurs, ce défaut serait plus vivement senti. Aussi les grandes voûtes en berceau appellent-

elles des moyens d'éclairage, grâce à des pénétrations de fenêtres d'espèce particulière, qui souvent seront d'une forme spéciale, comme les œils-de-bœuf. Je ne saurais mieux faire que vous citer la salle des Pas-Perdus du Palais. (Voir plus haut, fig. 73.) Les tympans, à chaque extrémité, sont ouverts au moyen de grands jours demi-circulaires, et dans chaque travée existe un œil-de-bœuf; ces éclairages réunis donnent à la voûte une lumière égale qui permet d'en bien voir la disposition. Un des plus beaux exemples de voûte en berceau avec des jours en pénétration est la voûte du vestibule de Saint-Pierre de Rome.

Le plus souvent, les pénétrations ont la forme de fenêtres cintrées du haut, rectangulaires par en bas. Telles sont celles de nombreuses voûtes d'églises modernes. Ce genre de pénétrations est analogue aux voûtes d'arête dont nous parlerons tout à l'heure.

Enfin, il a été fait, mais rarement, des pénétrations rectangulaires; elles ont toujours un certain aspect de sécheresse contradictoire avec la forme souple de la voûte.

Quant à la décoration des voûtes en berceau, elle est infinie, depuis la disposition monumentale des grands caissons accentuant avant tout le caractère solennel de l'édifice, comme à l'Arc de l'Étoile, jusqu'aux étincelantes richesses de la Galerie d'Apolon, de la Galerie dorée de la Banque, de la Galerie des Glaces de Versailles, — et en passant par les sublimités de la chapelle Sixtine !

La voûte en arc de cloître n'est autre chose que la voûte en berceau sur deux sens au lieu d'un sens unique. C'est l'intersection de deux cylindres dont les génératrices sont respectivement parallèles aux quatre murs d'une salle qui leur servent de retombées.

La voûte en arc de cloître parfaite est établie sur plan carré. Mais souvent, le carré absolu n'est pas possible dans une composition déterminée, et la salle est rectangulaire. La voûte en arc de cloître est dans ce cas composée de deux cylindres de section différente; par exemple, l'un sera demi-circulaire et l'autre demi-elliptique. Mais s'il n'y a pas à cela de difficultés au point de vue de la construction, l'aspect se contente mal de sections trop différentes l'une de l'autre; on est choqué du contraste entre quatre parties d'une voûte totale dont deux sont très cintrées et deux très aplaties. Le rectangle servant de base à une voûte en arc de cloître ne peut pas s'éloigner beaucoup du carré.

Il en est tout autrement de la voûte qui se compose de deux extrémités en arc de cloître aux deux bouts d'une voûte en berceau. Telle est, par exemple, la voûte de la Galerie d'Apolon; alors, le cintre est le même partout, et les deux demi-voûtes en arc de cloître ont leurs clefs reliées en quelque sorte par une ligne de faitage. Cette combinaison se prête mal à un plan trop voisin du carré, et au contraire convient surtout aux longues galeries, par la franchise qu'acquiert alors le parti.

Le plan polygonal se couvre aussi tout naturellement par une voûte en arc de cloître.

Comme la voûte en berceau, la voûte en arc de cloître risque d'être obscure. Ce que j'ai dit à ce sujet en parlant du berceau s'applique aussi ici, la voûte en arc de cloître se prêtant à toutes les combinaisons d'éclairage par pénétrations qu'admet le berceau.

Et quant à la décoration, on peut dire que la voûte en arc de cloître est la voûte décorative par excellence. Très simple, elle décore déjà par la souplesse et la régularité de ses lignes; vous pouvez en voir des exemples au rez-de-chaussée du Louvre.

Richement décorée, elle se prête admirablement aux plus belles combinaisons, et il me suffira de vous en citer quelques exemples : en Italie, les admirables voûtes du Palais Pitti (fig. 464) et des appartements Borgia au Vatican — et tant d'autres : — sous vos yeux, la Galerie d'Apollon, la Galerie

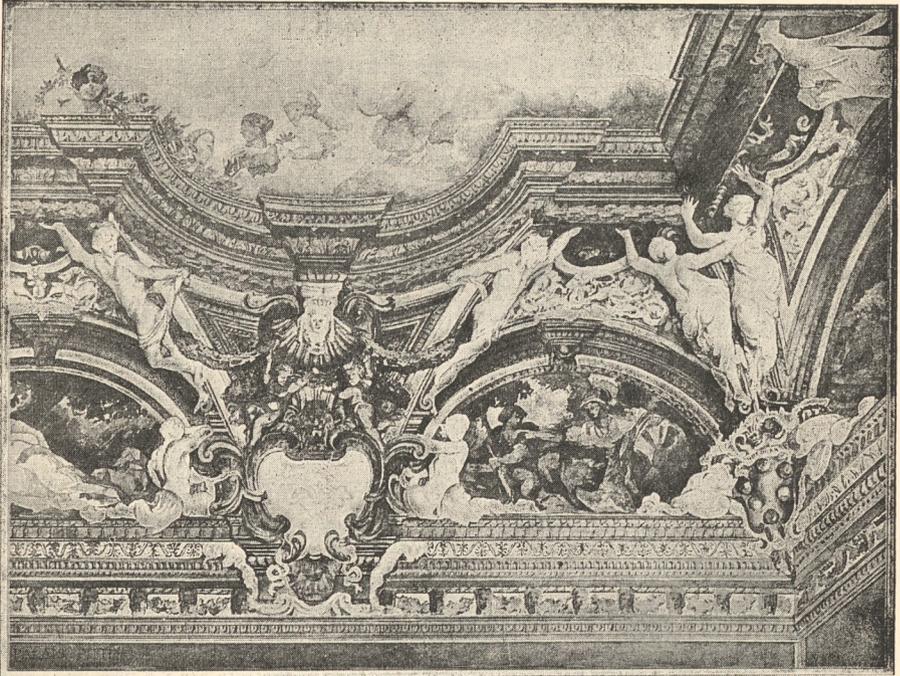


Fig. 464. — Voûte du Palais Pitti, à Florence (d'après un dessin de M. Daumet).

dorée de la Banque (plutôt berceaux que voûtes en arc de cloître) et surtout les magnifiques salles du premier étage du Palais de Versailles, dites Salons de la Paix et de la Guerre; enfin, dans des données plus modernes, le Salon carré et la Salle des sept cheminées au Louvre. Ayez soin seulement que la décoration fasse valoir le parti de la voûte, en accentuant sa courbure et son élévation. La décoration qui n'accuse pas nette-

ment une voûte la tue : c'est ainsi que, à Florence, la voûte en arc de cloître de la coupole centrale de la cathédrale, qui cependant est très surélevée, est absolument tuée par la peinture de Vasari : on ne sait en la regardant si c'est une voûte ou un plafond, et cela parce que les lignes constitutives de la voûte — qui sont ici les arêtières concaves — sont masquées par une peinture sans divisions qui, sous prétexte d'unité, n'est plus que du désordre.

Mais la décoration judicieuse, c'est le plan qui la permettra. Si la salle à décorer n'a que des parois unies, avec de simples portes d'accès, la voûte se reporte sur des murs, et la décoration reste très libre. Mais si les parois sont très ouvertes par des arcades ou colonnades, ces divisions pourront commander en partie la décoration ; surtout, la décoration sera très gênée si la salle ne présente pas des angles d'une certaine valeur. Le plan est toujours la clef de toutes les prévoyances.

De la voûte d'une salle polygonale à la voûte d'une salle circulaire, la transition est toute naturelle : en géométrie, on considère le cercle comme un polygone d'un nombre infini de côtés. Cependant, entre ces deux voûtes, la différence est profonde. Tandis que la voûte en arc de cloître, comme le berceau, est une surface réglée, développable, la voûte sphérique ou plus généralement toute voûte sur plan circulaire, quelle que soit sa section, est une surface de révolution, non développable, dont chaque portion est courbe en plan aussi bien qu'en élévation. Les voûtes cylindriques ont des génératrices droites s'appuyant sur des directrices courbes ; les voûtes en coupole ont des méridiens et des parallèles : les méridiens, circulaires, elliptiques, paraboliques, etc. ; les parallèles, circulaires.

De là résulte une propriété spéciale à la coupole : c'est d'être

déjà une voûte complète après que chaque rang horizontal de voussoirs est clos, et de pouvoir par conséquent être interrompue à telle hauteur qu'il plaira à l'architecte, sans qu'il soit nécessaire de la clore par une clef finale, comme les voûtes cylindriques.

Supposez, en effet, que vous construisiez une voûte sphérique, stéréotomique (fig. 465). Vous

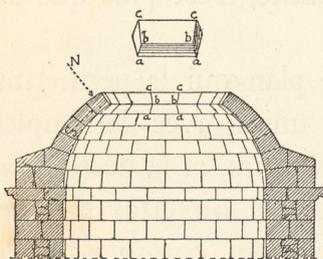


Fig. 465. — Voûte sphérique interrompue.

avez élevé dix ou douze assises de voussoirs, et de cette douzième la dernière pierre est posée, cette assise est complète. Arrêtez-vous là, si vous voulez, ne fussiez-vous qu'au tiers ou à la moitié de votre voûte, vous le pouvez. Comment, en effet, une pierre de cette assise pourrait-elle être ren-

versée? Par une action *S* dans le sens de la section ou des méridiens? Non, car cette pierre est plus large en *a* que en *b*; dans le sens *N*, normal à la sphère? Pas davantage, car *c* est plus grand que *b*. Vous pouvez donc faire, dans la voûte en coupole, un *ciel-ouvert* de telle dimension qu'il vous plaira. Nous retrouverons plus loin cette considération.

Souvent donc la voûte en coupole s'éclaire par le haut, au moyen d'une *lanterne* circulaire, parfois aussi par des pénétrations.

Mais à ce sujet, permettez-moi quelques avis à propos des lanternes vitrées; et pour cela, prenons pour point de départ le Panthéon de Rome, salle circulaire, couverte d'une voûte sphérique avec un *ciel-ouvert*, au sens absolu du mot, c'est-à-dire *hypètre*. Par cet *oculus* entrent la pluie et aussi les oiseaux.

Chez nous, cela serait difficilement supporté, et de ce *ciel-ouvert* on ferait sûrement une lanterne vitrée. Et alors qu'arriverait-il? Tandis qu'à l'intérieur du Panthéon de Rome il pleut

— lorsqu'il pleut — dans cet autre Panthéon avec lanterne vitrée, il pleuvrait par le plus beau temps du monde. Qu'il y ait en effet une grande affluence de monde dans le monument, de la vapeur d'eau en suspension et un courant ascendant vers la lanterne — ce qui est inévitable — la vapeur d'eau se condensera sur ces vitres froides, et retombera en pluie; la pluie n'est pas autre chose que de la vapeur condensée.

Il faut donc que les lanternes séparent la salle d'un espace qui ne soit pas froid : ce ne peut être l'air extérieur, et de là une nécessité de plus d'interposer des combles entre nos voûtes et l'atmosphère.

N'acceptez donc pas légèrement les critiques qu'on a parfois faites au sujet des grandes coupes, Saint-Pierre, les Invalides, le Val-de-Grâce, le Panthéon, etc., dont la silhouette extérieure ne reproduit pas la section intérieure. Je crois bien que cette différence provient le plus souvent d'une volonté de l'architecte au point de vue de l'effet et de la silhouette. Mais, voulue ou non, il y a cette autre raison, l'égalité de température si nécessaire pour éviter les refroidissements et la condensation. Sous une autre forme, c'est la reproduction de la disposition des églises : la voûte, et au-dessus de la voûte le comble.

Je n'ai rien de particulier à vous dire de la décoration des voûtes circulaires. Leur régularité se prête à la décoration par caissons ou par compartiments, faites en sorte seulement que le sens des méridiens soit bien accusé. Une voûte sphérique qui n'a que des lignes annulaires horizontales, en d'autres termes que des parallèles, paraît plate, quelle que soit sa section. Du reste, l'appareil même de la voûte, lorsqu'il est bien traité, est déjà une décoration, et beaucoup de voûtes circulaires sont d'une grande sobriété décorative.

A la voûte sphérique et à celle en berceau, on peut rattacher

la voûte annulaire. En théorie, elle ne diffère pas de la voûte en berceau, et n'appelle aucune remarque particulière.

Les voûtes dont je vous ai parlé jusqu'ici sont, saut au moyen âge sur lequel je reviendrai, des voûtes à poussée uniforme. Et ici, je crois devoir insister de nouveau sur cette décomposition des voûtes en deux grandes familles : les voûtes à poussées uniformes, les voûtes à poussées localisées. Cela est d'une importance capitale pour l'étude des plans : il est interdit à l'architecte d'arrêter son plan s'il n'est pas fixé sur les variétés de voûtes qu'il emploiera ; c'est ainsi seulement qu'il arrivera à cette perfection de l'étude : éviter les épaisseurs de points d'appui soit inutiles, soit insuffisantes.

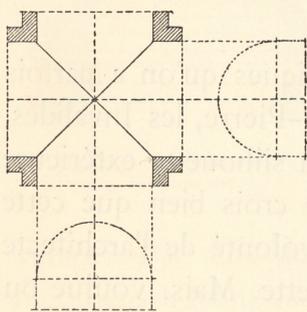


Fig. 466. — Voûte d'arête cylindrique sur plan carré.

Ceci rappelé une fois de plus, supposez qu'une salle ou plutôt une galerie, voûtée en berceau cylindrique, est coupée perpendiculairement à sa longueur par une galerie semblable, voûtée de même, avec même largeur, même naissance et même cintre. L'intersection de ces deux voûtes est la *voûte d'arête*, bien caractérisée en effet par ses arêtes qui se présentent sinon en saillie, du moins en convexité, suivant un angle dièdre qui va en s'ouvrant depuis la naissance où il est de  $90^\circ$  jusqu'à la clef où il est  $0^\circ$ .

La voûte d'arête que je suppose ici est la voûte d'arête parfaite, sur plan carré (fig. 466).

Elle peut être sur plan rectangulaire, l'une des galeries étant plus large que l'autre, mais alors les cintres seront différents. Ils auront même hauteur avec des largeurs différentes, et dès lors si le moins large est plein cintre, le plus large sera elliptique

(fig. 467) — elliptique, remarquez-le bien, et non en anse de panier ou à plusieurs centres, car il faut que la courbe des arêtes reste plane, dans un plan vertical : cette courbe arêtière ne peut donc être ici qu'une ellipse, et par conséquent appartenir à un cylindre elliptique, et c'est cette condition qui détermine la section de l'une des voûtes, la première une fois déterminée. Faites-en l'épure et vous vérifierez ce que je vous dis ici.

Enfin, si les deux galeries sont de dimensions très différentes, on sera souvent amené à renoncer à faire la voûte d'arête, qui obligerait à trop surbaissier l'une des voûtes, et établirait de trop grandes différences entre les assises. On a alors des *pénétrations*. Nous y reviendrons.

Tels sont les éléments originaires de la voûte d'arêtes. Elle a bien d'autres applications, et certainement vous ne la rencontrez que rarement à l'intersection de deux galeries — par exemple au transept d'une église, — tandis que vous la rencontrez journellement en séries dans un portique.

Mais si je vous la présente d'abord ainsi, ce n'est pas sans motif. C'est pour vous bien faire comprendre d'une part qu'elle résulte de l'intersection de deux berceaux normaux l'un à l'autre, et d'autre part que cette voûte appelle des points d'appui en disposition *cruciale* (fig. 468). Ils seront longs, ils seront courts, accompagnés ou non d'arcs-dou-

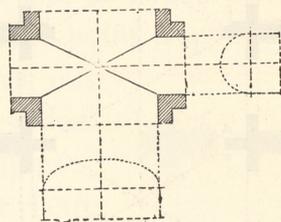


Fig. 467. — Voûte d'arête cylindrique sur plan rectangulaire.

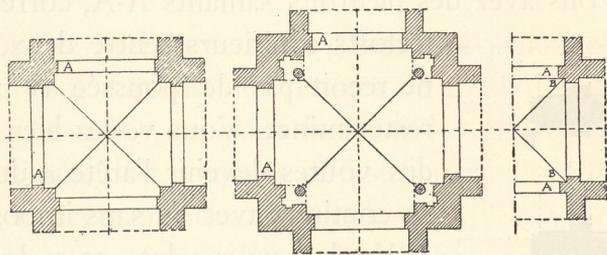


Fig. 468. — Retombées des voûtes d'arête.

bleaux (A), peu importe : il faut, dirai-je, que l'arête de la voûte soit continuée par une arête du piédroit. Ce ne sera que dans la hauteur d'un entablement si vous avez une colonne sous la retombée; mais cette retombée est nécessaire pour l'effet, et rien n'est irrationnel et désagréable comme les voûtes d'arête qui commencent ou retombent avec rien, comme cela s'est fait parfois (B. fig. 468.)

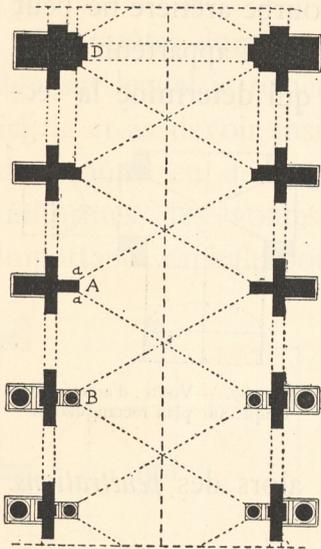


Fig. 469. — Pied droit de voûtes d'arête et contreforts.

Aussi, tandis que la voûte en arc de cloître appelle des angles *concaves* dans ses piédroits et sous ses intersections, la voûte d'arête appelle des angles *convexes*. L'une et l'autre pour le même motif : afin que l'effet, concave ou convexe, de la voûte se continue dans la verticalité des piédroits.

Soit un plan de galerie avec série de voûtes d'arêtes (fig. 469) Vous avez des piédroits saillants A-A, correspondant à des contreforts extérieurs; entre deux, un simple mur qui ne reçoit pas de poussée et peut par conséquent rester mince. Vous voyez bien par la pensée l'arête des voûtes devenir l'arête *a* du piédroit : la forme se continue avec ou sans imposte.

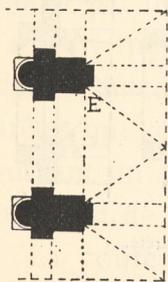


Fig. 470.  
Retombée illogique de voûte d'arête.

Voulez-vous des arcs-doubleaux ? Ils vont s'ajouter en saillie sur ou plutôt sous vos voûtes, et ils vont commander des saillies D sur vos piédroits; mais vous aurez soin que vos voûtes d'arête aient toujours une retombée propre, vous ne ferez pas, par exemple, un plan comme ci-contre E (fig. 470) où l'arête finirait à rien.

Voulez-vous, au lieu de simples éperons, des colonnes ? C'est facile, car sur vos colonnes (B) l'entablement refait l'éperon de tout à l'heure, et votre plan peut parfaitement devenir le pilier B au lieu du pilier A, il n'y a pour ainsi dire que la décoration de changée.

Les retombées des voûtes d'arête peuvent être de largeurs différentes. Voici, par exemple (fig. 471), en C un point d'appui de portique : vous y voyez les deux arêtes, les arcs-doubleaux  $d d'$ , les retombées  $r$  et  $r'$ , l'un est deux ou trois fois plus large que l'autre, peu importe : votre voûte est portée comme elle doit l'être, tout est d'accord entre la voûte et les piédroits.

Ces considérations sont très importantes ; leur évidence vous frappera, si vous voulez bien par la pensée concevoir vos plans à leur partie supérieure ; c'est ce que je ne cesse de vous répéter : dans l'étude d'un plan, ce sont les parties hautes qu'il faut toujours avoir présentes à l'esprit.

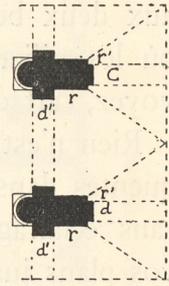


Fig. 471. — Retombées de largeurs différentes.

A part notre hypothèse initiale de deux galeries se pénétrant réciproquement, pourquoi fait-on des voûtes d'arête ? Pour éclairer les voûtes et les salles, ou pour localiser les efforts de poussée. Une voûte d'arête doit toujours se justifier par l'un ou l'autre de ces motifs, souvent par tous les deux.

Prenons pour exemple une église. Il y a, je suppose, un transept : ici, c'est la rencontre de deux galeries, la voûte d'arête résulte de la pénétration réciproque de deux berceaux. Mais chacune des nefs est elle-même voûtée en voûtes d'arête. Pourquoi ? Il peut y avoir ici plusieurs raisons.

Si l'église ne comporte qu'une nef et pas de bas côtés, comme la cathédrale d'Albi dont je vous montrais le plan, une

voûte en berceau avec sa poussée continue et ses résistances continues, ne présenterait pas de difficultés de construction. Cette église est voûtée en voûtes d'arête pour permettre l'éclairage dans la hauteur des voûtes. Mais si, de plus, comme je vous l'ai montré dans le plan de Saint-Front, dans celui de Noyon, on veut, sous une forme ou une autre, des élargissements de la nef, bas côtés ou tribunes, la voûte d'arête répond aux deux besoins : éclairage, report des résistances aux points où les piliers n'encombrent pas. C'est toujours, comme vous voyez, l'art des voûtes mis au service de l'art des plans.

Rien n'est donc plus illogique que ces dispositions trop fréquentes dans vos projets : des voûtes d'arête avec des tympans sans éclairage, ou sans que les combinaisons d'épaisseurs dans vos plans justifie la voûte d'arête. Nous voyons dans vos projets des voûtes d'arête aveugles, et projetées sur un plan de galerie uniformément entourée d'un mur de même épaisseur partout. C'est doublement fautif.

A l'occasion des voûtes d'arête, je dois vous parler de leur plus monumentale expression, les salles des thermes des Romains, ou la basilique de Constantin. Ces salles sont simplement admirables. Voyez-en les plans (fig. 472), avec ces grands éperons qui contrebutent la résultante des voûtes d'arête, reliés eux-mêmes par de grandes voûtes en berceau ; puis les huit colonnes partant du sol, qui portent les retombées des voûtes d'arête, dont le centre est encore surhaussé au-dessus des entablements qui forment imposte ; dans les tympans des voûtes d'arête, ces grands jours qui éclairent la salle par-dessus les toitures des berceaux secondaires. Tout cela sur des dimensions colossales, avec les moyens d'exécution les plus simples et les plus judicieux. C'est l'architecture prise en flagrant délit de composition parfaite. Je regrette de ne pouvoir vous en citer des

exemples à votre proximité ; mais je vous dis cependant : méditez et étudiez les salles de thermes ; elles sont à notre architec-

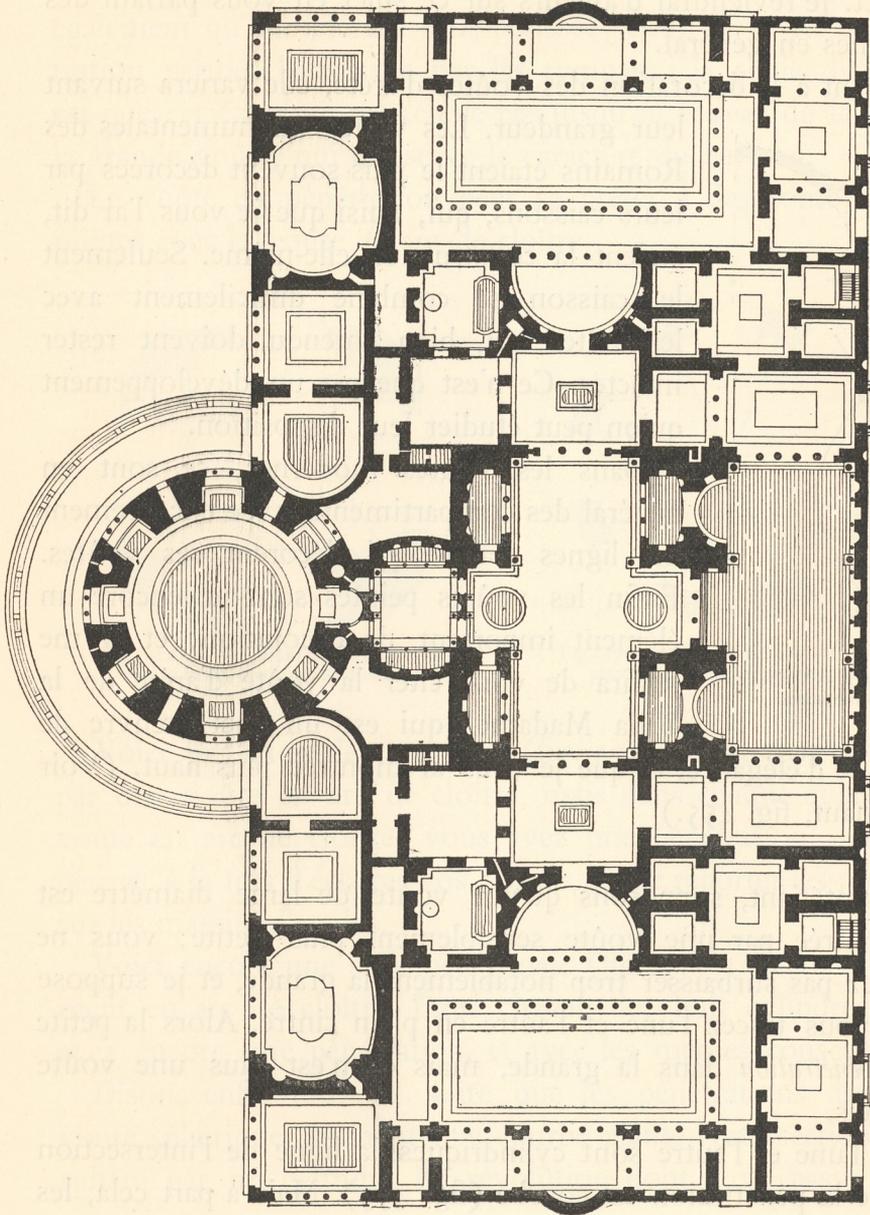


Fig. 472. — Plan de l'édifice central des Thermes de Caracalla.

ture de voûtes ce que les ordres grecs sont à nos colonnades, le modèle auquel il faut se reporter, l'ancêtre qu'il faut saluer avec respect. Je reviendrai d'ailleurs sur ce sujet en vous parlant des Thermes en général.

Quant à la décoration des voûtes d'arête, elle variera suivant

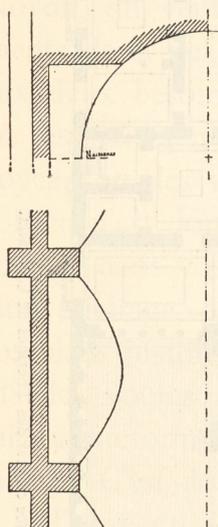


Fig. 473. — Voûtes en pénétration.

leur grandeur. Les voûtes monumentales des Romains étaient le plus souvent décorées par leurs caissons, qui, ainsi que je vous l'ai dit, étaient la construction elle-même. Seulement le caisson se combine difficilement avec les arêtes qui, bien entendu, doivent rester intactes. Ce n'est que par un développement qu'on peut étudier leur disposition.

Dans les voûtes modernes, ce sont en général des compartiments, avec encadrement des lignes d'arête qui décorent ces voûtes. Enfin les voûtes peintes sont ici encore un élément important de décoration, et il me suffira de vous citer la voûte d'arête de la Villa Madame, qui est un chef-d'œuvre de

goût et d'élégance, et que je vous ai montrée plus haut. (Voir plus haut, fig. 455.)

Maintenant, supposons qu'une voûte de large diamètre est rencontrée par une voûte sensiblement plus petite; vous ne voulez pas surbaïsser trop notablement la grande, et je suppose que vous tracez l'une et l'autre en plein cintre. Alors la petite fait *pénétration* dans la grande, mais ce n'est plus une voûte d'arêtes.

Si l'une et l'autre sont cylindriques, la ligne de l'intersection ou de la pénétration est courbe (fig. 473). Mais à part cela, les

considérations exposées plus haut à propos de la voûte d'arête trouvent encore ici leur application. Les poussées sont localisées sur les mêmes piédroits ou éperons, le mur de tympan n'est également qu'une clôture sans poussée; enfin la voûte en pénétration permet l'éclairage par les tympans; la seule différence est que cet éclairage ne s'élève pas jusqu'au niveau de la clef de la grande voûte, qui conserve le caractère du berceau.

La voûte en pénétration peut se prêter à des combinaisons mixtes avec la voûte en arc de cloître.

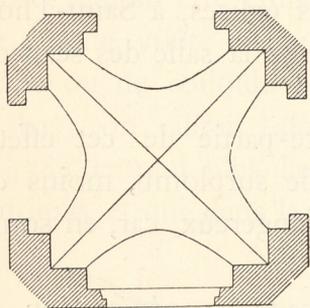


Fig. 474. — Voûte en arc de cloître sur plan carré, avec pénétrations.

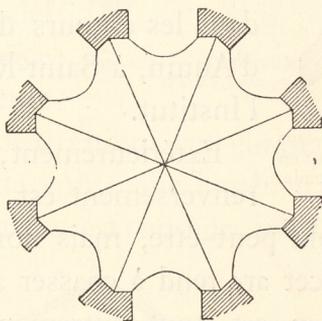


Fig. 475. — Voûte en arc de cloître sur plan polygonal, avec pénétrations.

Voici, par exemple, une salle (fig. 474) couverte d'ensemble par une voûte en arc de cloître, mais dans chaque quart de la voûte en arc de cloître, vous avez une pénétration qui vous permet à la fois d'éclairer vos voûtes, et de reporter les poussées sur les massifs d'angles.

Voici encore une salle octogonale (fig. 475), couverte également en arc de cloître. Dans chacun des huit cylindres, vous avez encore une pénétration, et avec les mêmes conséquences.

Disons enfin tout de suite que les pénétrations dans une voûte sphérique donnent une courbe plane, l'intersection d'une sphère par un cylindre de révolution dont l'axe passe par le

centre de la sphère étant un cercle. Ceci m'amène à vous dire quelques mots des ouvertures en arcade dans les salles circulaires. On projette souvent des ouvertures en arcades dans le mur dit *en tour ronde* d'une salle cylindrique. Si la courbure de ce mur est prononcée, l'aspect est déplorable, et la solidité très douteuse (fig. 476). La clef de l'arcade est tout à fait rejetée en arrière de l'aplomb de la droite qui joint ses retombées, et de là cette arcade prend un aspect de renversement extrêmement fâcheux. Vous pouvez en voir des exemples dans les chœurs de certaines églises, à Saint-Thomas d'Aquin, à Saint-Roch, et dans la salle des séances de l'Institut.

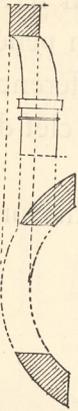


Fig. 476.  
Arcade dans  
un mur en  
tour ronde.

Extérieurement, la contre-partie de cet effet de renversement est un effet de surplomb, moins désagréable peut-être, mais non moins dangereux, car, en somme, tout cet arc tend à chasser au vide.

Il en est tout autrement de l'arcade en pénétration dans la voûte sphérique avec laquelle son intersection sera en demi-cercle, et par conséquent une courbe plane, dont l'aspect est complètement satisfaisant et dont la solidité ne doit laisser aucune crainte.

Nous aurons à nous rappeler cette dernière combinaison lorsque nous étudierons la voûte en pendentifs.

Les voûtes d'arête et les pénétrations dont je vous ai parlé jusqu'ici sont purement cylindriques. Mais souvent on cherche à donner plus d'élévation aux pénétrations, soit dans les deux sens, soit sur un seul. Ainsi, une voûte plus petite en pénètre une plus grande, comme par exemple dans une voûte d'église. Si les deux cylindres sont plein cintre, c'est une pénétration; si le plus grand est surbaissé de telle sorte que les clefs soient

de niveau, c'est une voûte d'arête, dite *barlongue*. Mais vous pouvez encore conserver à chacun des cylindres sa forme plein cintre, et cependant avoir les arêtes complètes, si la clef de la plus petite voûte s'élève de *a* en *b*, de toute la différence des deux rayons. Alors, la grande voûte restera cylindrique, la petite ne le sera plus (fig. 477).

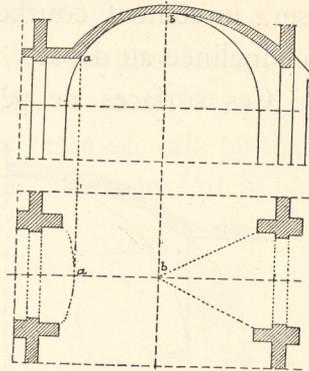


Fig. 477. — Pénétration et voûte d'arête *barlongue*.

Elle ne pourra pas non plus être conique ni conoïdale, car il faut que sa directrice puisse être tangente à la clef de la grande voûte et une génératrice de cône ou de conoïde serait tangente plus bas; on aurait alors une pénétration en ébrasement (fig. 478), entrant plus dans la grande voûte que la pénétration cylindrique, et qui, dans la figure ci-jointe, est conoïde, mais non

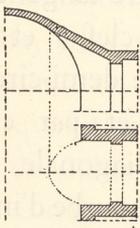


Fig. 478. — Pénétrations surélevées conoïdes.

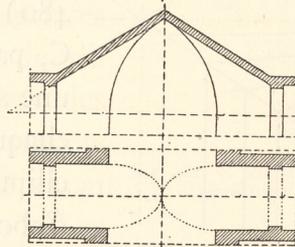


Fig. 479. — Pénétrations surélevées dans une voûte ogivale.

la voûte d'arête surélevée que nous cherchons, à moins que la plus grande voûte ne soit ogivale, ayant pour directrice deux arcs de cercle tels que la génératrice supérieure du cône ou du conoïde puisse être tangente à la clef (fig. 479), et encore faut-il remarquer que les arêtières ne seront pas des courbes planes.

De toute façon, la petite voûte doit être constituée par une surface dont la section médiane soit tangente à la clef du grand

cylindre, et qui puisse être coupée suivant un demi-cercle par le petit cylindre. Si la grande voûte est cylindrique, cette section sera forcément courbe puisqu'elle doit être horizontale à la clef et inclinée au départ.

Ces surfaces de pénétration à double courbure sont parfois très difficiles à bien déterminer géométriquement, et il faut bien dire qu'elles ont été souvent réalisées par tâtonnement plutôt que par méthode. Cependant il faudrait pour leur étude bien connaître la génération de ces surfaces, voir quelles sont les surfaces possibles, et choisir la plus pratique. Pour moi, dans le cas qui nous occupe, je définirais comme suit cette surface.

Pour avoir une courbe  $C-c$  (fig. 480) qui puisse être tangente à la clef  $C$ , passer par la clef  $c$  et permettre une section droite demi-circulaire sur chaque cylindre, et par conséquent elliptique sur la diagonale, je trouve d'abord que cette courbe d'intersection sera une demi-ellipse; par conséquent, la surface de pénétration sera une

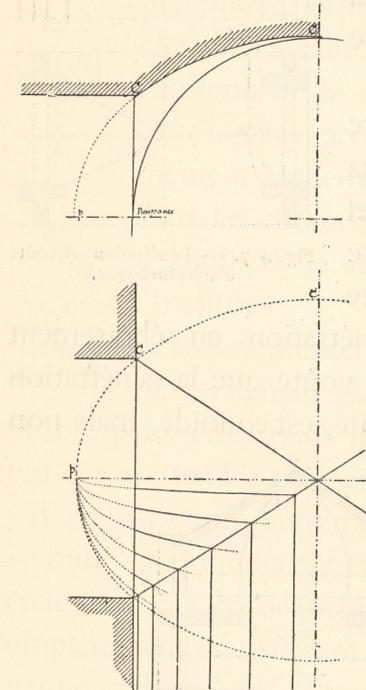


Fig. 480. — Voûte d'arête barlongue à la rencontre de deux voûtes cylindriques.

portion d'ellipsoïde de révolution; et comme dans toute surface de révolution, toutes les sections méridiennes sont identiques, cette ellipsoïde aura, en plan, la même section  $p C c$ .

Les lignes d'appareil seront dès lors les méridiens de cet ellipsoïde, se coupant sur l'arête avec les lignes d'appareil du cylindre.

La surface ainsi déterminée, vous saurez du moins ce que vous avez à étudier, tandis que, je le répète, si vous ne connais-

sez pas la génération géométrique des voûtes que vous employez, vous vous trouvez dans l'impuissance de les étudier.

Ces voûtes surélevées se font aussi sur plan carré : on a alors la voûte d'arête dite *en bonnet d'évêque*. Cela donne un aspect d'élévation souvent fort désirable à la voûte, et aussi, lorsque la voûte est au-dessous d'un étage ou d'une terrasse, cela permet de diminuer l'épaisseur du remplissage et par conséquent la charge qui pèse sur la voûte. C'est donc une pratique fort judicieuse, mais qui rend l'étude et l'exécution de la voûte plus difficile; dans tous les cas, il faut ici encore bien connaître la génération géométrique des surfaces qu'on emploie.

La projection horizontale des arêtiers sera la même que pour une voûte d'arête cylindrique. Quant aux surfaces de la voûte, elles peuvent être de diverses sortes; on peut employer des cônes de révolution dont les sommets  $S'$  soient en dehors de la voûte et au niveau des naissances (fig. 481). Les arêtes sont alors des arcs d'ellipses, se rencontrant à la clef sous un angle plus ou moins ouvert; en réalité, l'arc diagonal est ici un arc ogival elliptique. Mais vous remarquerez que la génératrice supérieure du cône devant être tangente à la clef des intersections diagonales, celles-ci doivent faire un angle brisé, ou un courbe ogivale, sans quoi on retomberait dans le cas ci-dessus de la pénétration conique.

On peut encore constituer chacune des quatre portions de voûtes par un conoïde à plan directeur vertical dont les section

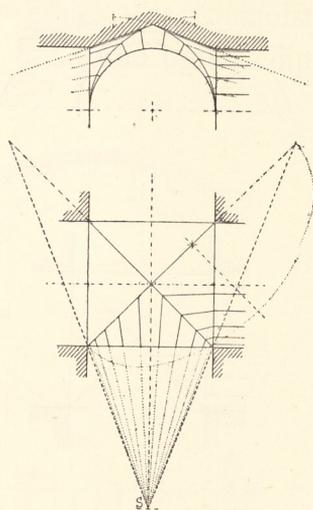


Fig. 481. — Voûte en bonnet d'évêque, génération conique.

sont respectivement un demi-cercle à la partie basse, et une demi-ellipse au centre. Toute la projection horizontale, arêtes et lignes d'assises, est alors identique à la projection de la voûte d'arêtes cylindrique; seulement les lignes d'appareil au lieu d'être horizontales sont de plus en plus inclinées, et la surface est gauche (non développable). Ce système présente donc des difficultés plus grandes, et vous verriez, en faisant l'épure complète, qu'il est impossible d'avoir partout des *plans* de joints entre les voussoirs. L'appareil en est donc très difficile, et jamais il n'est parfait.

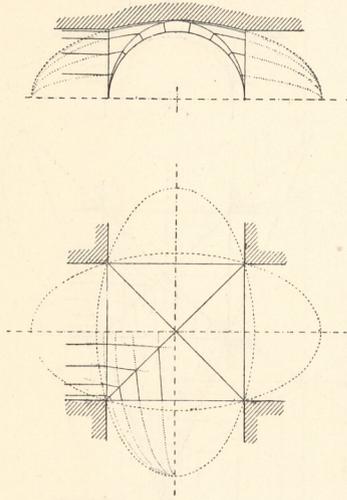


Fig. 482. — Voûte en bonnet d'évêque, insertion de deux ellipsoïdes de révolution.

Ces combinaisons ont d'ailleurs ceci de commun que la ligne des clefs est une ligne droite montante, ce qui donne un aspect de sécheresse à la voûte. On préfère généralement que cette ligne soit courbe, ainsi que nous l'avons vu pour les pénétrations.

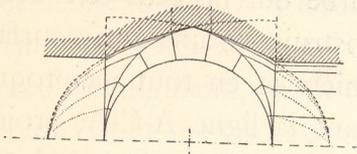
Le plus souvent, il faut le dire, on détermine *a priori* les courbes des arêtes, puis la courbe que j'appellerai *faitière*, et on tâtonne le surplus des

surfaces. Mais il vaut toujours mieux employer des surfaces bien définies, et recourir pour cela à des combinaisons géométriques.

La plus facile à concevoir est l'intersection de deux ellipsoïdes de révolution (fig. 482); mais il faut observer que, les ellipses de base étant déterminées, la hauteur de la clef en résulte nécessairement; cette hauteur au-dessus du plan de base sera précisément égale au demi petit axe de l'ellipse de base.

Aussi, ces voûtes ne peuvent être très surélevées. Leur coupe sera identique à la courbe de l'ellipse en plan, laquelle ne peut

jamais excéder beaucoup le carré inscrit. Pour obtenir une voûte plus surélevée, il y a un premier moyen, c'est d'employer des portions d'ellipsoïdes (fig. 483). Supposons, en effet, que la trace horizontale A, B, C appartienne à une demi-ellipse dont le demi grand axe sera par exemple C O, la courbe sera plus



ouverte en plan et aussi en coupe; seulement, ainsi que nous l'avons vu pour les cônes, l'arc diagonal sera un arc brisé, une ogive ellip-

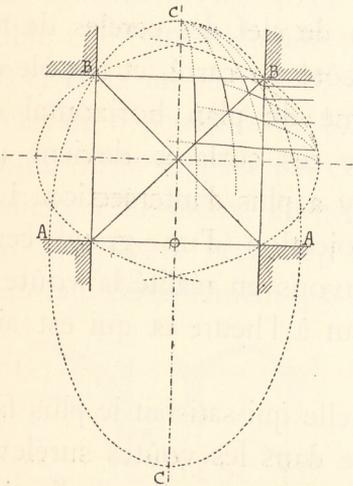


Fig. 483. — Voûte en bonnet d'évêque, intersection de portions d'ellipsoïdes de révolution.

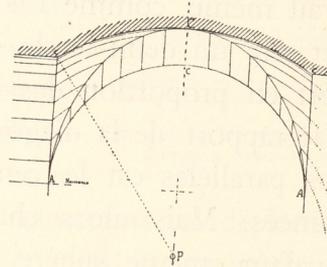
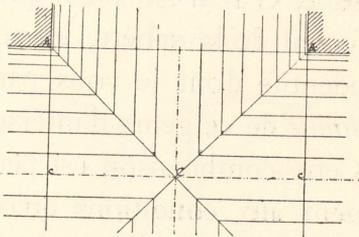


Fig. 484. — Voûte en bonnet d'évêque. Génération quasi-torique.



tique. J'ajouterai que l'angle dièdre variable le long de l'arête est forcément assez obtus.

Enfin, on peut constituer une sorte de tore (fig. 484) et non un tore proprement dit en faisant passer par les clefs  $c c$  une portion de circonférence de cercle  $c C c$  d'un rayon tel que son

centre P tombe plus bas que le plan des naissances. Si des divers points du cercle de tympan A-c, et notamment des points de rencontre des lignes d'appareil, nous faisons partir des cercles tracés de ce point P pour pôle, nous obtenons une surface de révolution dont la coupe oblique A-c sera un demi-cercle, et dont la section droite sera une courbe qui ne peut être déterminée que par points. Et si nous construisons une autre surface semblable, perpendiculaire à la première et en tout réciproque, ces deux surfaces se couperont suivant la ligne A-C-A, projection de deux demi-arêtières elliptiques, dans le cas général. On pourrait même, comme cas particulier, établir *a priori* que cet arêtier sera un demi-cercle, alors la hauteur de la clef est fixée, elle est en proportion des hauteurs de clef des cercles de tête dans le rapport de la diagonale au côté du carré, et le pôle des cercles parallèles est le centre même du plan horizontal des naissances. Mais alors chacune de ces surfaces devient une partie d'une même sphère, et il n'y a plus d'intersection. L'ellipse A C A n'est plus que la projection d'un grand cercle diagonal de la sphère, et nous trouvons en réalité la voûte en pendentifs dont je vous parlerai tout à l'heure et qui est ainsi la *limite* de ce genre d'intersections.

Cette combinaison est peut-être celle qui satisfait le plus facilement aux conditions qu'on désire dans les voûtes surélevées dites en *bonnet d'évêque*. Mais elle est d'un tracé compliqué, et comme la précédente, elle ne livre que des angles obtus pour l'intersection des deux surfaces.

Au point de vue de l'exécution, la voûte ellipsoïde a un avantage incontestable; les lignes de génération, qui seront aussi les lignes d'appareil, étant ici des courbes méridiennes, déterminent pour surface normale des *plans*, ce qui est toujours très désirable, surtout dans les voûtes appareillées, tandis que dans

la dernière combinaison de surfaces *quasi-toriques*, les lignes d'appareil étant des parallèles et non des méridiens, les surfaces normales seront coniques, ce qui est d'une exécution plus difficile.

Un genre de voûtes, plus rarement employées, a quelque analogie avec les précédentes. Ce sont les voûtes annulaires en élévation, *toriques* ou *quasi-toriques*. Supposons un espace rectangulaire, pareil en plan à celui que couvrirait une voûte d'arête barlongue. Les grandes faces A-A', B-B' seront cintrées en demi-cercles, les petites A-B, A'-B' également (fig. 485). La surface à double courbure indiquée par les lettres A-B-C'-A'-B' en plan, et B, c, C, S, B', S' en élévation peut être un tore, mais non comme on le suppose par erreur en admettant un déplacement parallèle à lui-même du petit cercle A, c, B, car on obtiendrait ainsi une voûte beaucoup trop surélevée (fig. 486), qui ne produirait certainement pas l'effet qu'on en attendrait.

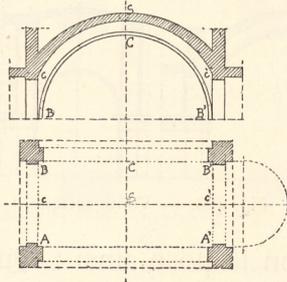


Fig. 485. — Voûte annulaire en élévation *quasi-torique*.

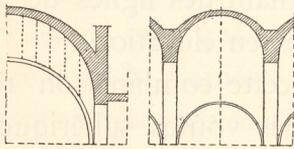


Fig. 486. — Voûte annulaire *quasi-torique*.

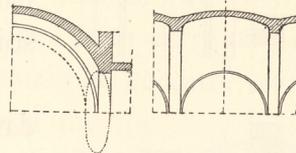


Fig. 487. — Tracé d'une voûte *torique*.

Le problème se pose comme suit : Étant donné que la section A, c, B qui est oblique par rapport au tore, sera un cercle, quelle sera la section droite de ce tore ? Il est facile de voir que ce sera une ellipse dont le grand axe égale le diamètre A B, et le petit axe égale la distance du cercle des centres au cercle méridien (fig. 487). On obtient ainsi une surface de courbure

constante, facilement appareillable, tandis que la précédente aurait une section droite constamment variable. Et l'aspect de la voûte ainsi tracée est bien préférable, ainsi qu'il est facile de le voir par les coupes transversales.

Il est clair d'ailleurs que la voûte torique ayant toujours ses retombées tangentes à la verticale, doit être reçue et arrêtée par la saillie d'une archivolte d'arc doubleau ; sa présentation architecturale sera donc à peu près celle de la figure 488.

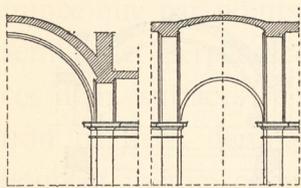


Fig. 488. — Voûte torique.

on le pose ainsi : Quelle devra être la surface géométrique telle que quatre plans verticaux parallèles deux à deux la coupent suivant des demi-cercles ? C'est évidemment une sphère. Et alors, on obtient une voûte dont la surface est nettement définie (fig. 489)

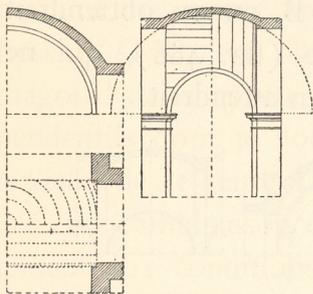


Fig. 489. — Voûte en portion de sphère.

Mais une voûte presque semblable, quoique très différente comme génération, peut encore satisfaire au problème si

on le pose ainsi : Quelle devra être la surface géométrique telle que quatre plans verticaux parallèles deux à deux la coupent suivant des demi-cercles ? C'est évidemment une sphère. Et alors, on obtient une voûte dont la surface est nettement définie (fig. 489) et s'appareillera soit par des voussoirs horizontaux, circulaires en plan, soit par des sections, par des plans verticaux parallèles, donnant des lignes de voussoirs circulaires en élévation.

Seulement cette combinaison rentre dans la série des voûtes sphériques en pendentifs que nous allons voir tout à l'heure.

Notez enfin qu'il ne faut pas confondre ces voûtes avec celle que vous connaissez à la Salle des Pas-Perdus de la Cour d'assises du Palais de Justice, composée de parties de voûtes à doubles courbures et de section plate, qui n'encadrent pas les arcs doubleaux et en sont indépendantes. Ce sont des voûtes légères, portées par des murs en maçonnerie évidés de grands arcs. (V. plus haut, fig. 77-78.)

La voûte en pendentifs, ou sur pendentifs, est une des plus belles inventions de l'architecture; le problème était étrange : étant donnée une salle carrée, la couvrir par une voûte sphérique. L'architecture antique ne s'est pas posé cette question, au moins que je sache, sauf toutefois dans les monuments de la Perse.

C'est vers la fin de l'empire romain que la voûte en pendentifs paraît avoir été introduite dans l'architecture gréco-romaine. Invention féconde, celle qui nous a valu Sainte-Sophie de Constantinople, Saint-Marc de Venise, Saint-Front de Périgueux, Saint-Pierre de Rome!

Eh bien, vous savez que tout cela est admirable : peut-être ne savez-vous pas bien le comment et le pourquoi de ces admirables choses. Revenons encore à la géométrie.

La voûte en pendentifs pure (fig. 490) est une voûte sphérique, dont le diamètre est la diagonale de la salle carrée à couvrir. C'est bien simple, comme vous voyez : il suffisait de le trouver. Supposez en effet que vous circonscrivez à un carré une circonférence dont le diamètre sera la diagonale de ce carré, et que de cette circonférence vous faites la base d'une voûte sphérique; les quatre murs de la salle, qui sont des plans verticaux, couperont la sphère suivant des cercles, la demi-sphère suivant des demi-cercles. Voilà toute la voûte en pendentifs, en plan et en coupe.

Sur la diagonale, sa coupe sera le grand cercle de la sphère (fig. 491).

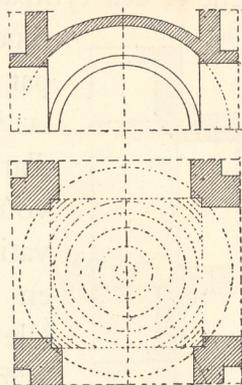


Fig. 490.  
Voûte en pendentifs.

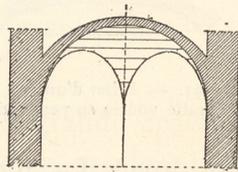


Fig. 491. — Coupe diagonale d'une voûte en pendentifs.

Remarquons tout de suite que la voûte en pendentifs a de nombreuses analogies avec la voûte d'arêtes : elle a comme celle-ci des tympans qui se prêtent à l'éclairage des salles ; elle

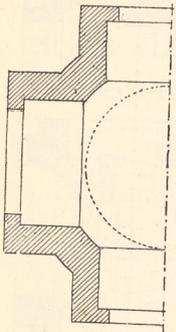


Fig. 492. — Voûte en pendentifs sur pans coupés.

reporte également les poussées sur les angles, et par conséquent les tympans peuvent être évidés ; la voûte en pendentifs peut, comme la voûte d'arêtes, se faire à la rencontre de deux galeries voûtées en berceau. Elle a de plus la surélévation, et en cela elle se rapproche de la voûte en bonnet d'évêque. Et comme cette dernière, elle ne peut se passer, lorsque les tympans sont évidés, d'arcs-doubleaux qui définissent la transition entre le berceau et la voûte surélevée.

La voûte en pendentifs sur plan carré a l'inconvénient de manquer de retombée pour la voûte sphérique (voir la coupe diagonale). Aussi, on cherche généralement à assurer cette retombée au moyen d'un petit pan coupé (fig. 492). Dès lors, la sphère a pour diamètre la diagonale entre ces pans coupés ; et ces pans coupés eux-mêmes doivent en réalité être circulaires.

Aussi, lorsque leur largeur est considérable, comme dans les coupes d'églises, si le pan coupé est droit en plan, tant qu'il ne joue que le rôle de pilier, il devient circulaire à partir de la naissance de la voûte ; l'imposte, par sa saillie, masque cette transition (fig. 493). Le plan et les coupes de la salle s'expriment alors par la figure 494.

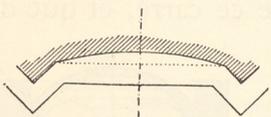


Fig. 493. — Pilier d'un pan coupé de salle voûtée en pendentifs.

Mais je vous ai dit que la voûte sphérique peut être interrompue à l'un quelconque de ses rangs annulaires. Il en est naturel-

lement de même de la voûte en pendentifs. Ainsi, elle peut l'être notamment à partir du cercle tangent aux tympan, le premier qui soit complet.

Ainsi, à Saint-Front de Périgueux (fig. 495), il y a un parti

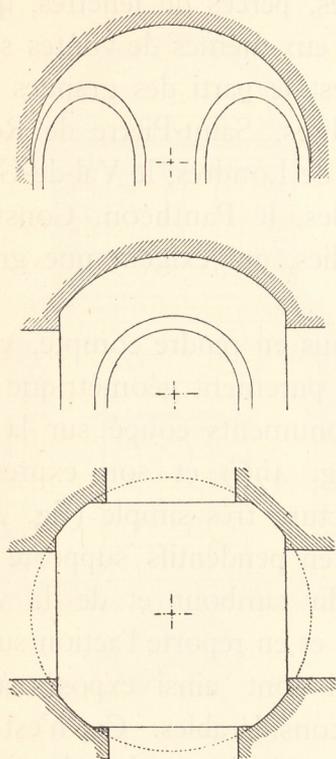


Fig. 494. — Plan et coupes d'une salle voûtée en pendentifs avec pans coupés.

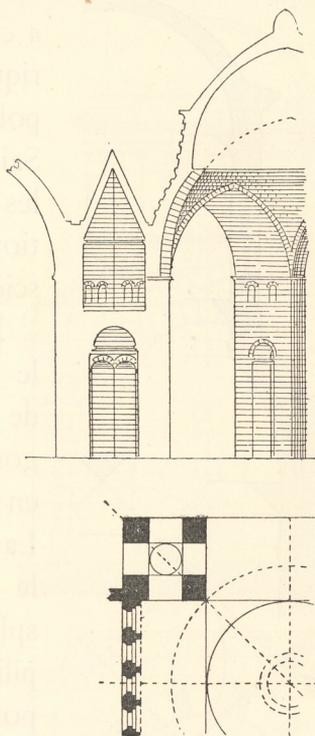


Fig. 495. — Plan et coupe diagonale de la voûte de Saint-Front de Périgueux.

très curieux. Pour assurer à la voûte la plus grande épaisseur qui est nécessaire près des naissances, la voûte en pendentifs est positivement interrompue à partir du cercle tangent aux tympan. Puis une voûte purement sphérique s'appuie sur celle-ci, la doublant là où existe la première, simple dans toute la partie haute.

Cette faculté d'interruption permet donc l'ouverture de jours circulaires horizontaux, et l'éclairage par le haut, comme par exemple à la Magdeleine. Mais on est allé plus loin. Sur cette interruption prise comme base circulaire, on a monté des murs

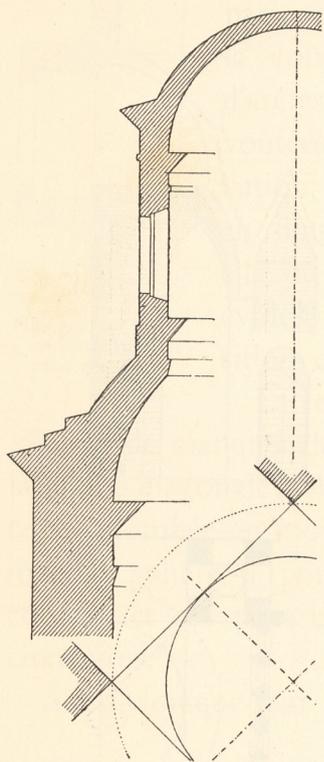


Fig- 496. — Voûte en pendentifs surmontée d'un tambour cylindrique et d'une voûte sphérique.  
(Coupe diagonale)

cylindriques, percés de fenêtres, qu'on a couverts eux-mêmes de voûtes sphériques. C'est le parti des grandes coupes d'églises, Saint-Pierre de Rome, Saint-Paul de Londres, le Val-de-Grâce, les Invalides, le Panthéon. Constructions hardies, qui exigent une grande science.

Pour vous en rendre compte, voyez le schéma purement géométrique d'un de ces monuments coupé sur la diagonale (fig. 496) et son expression en architecture très simple (fig. 497). La voûte en pendentifs supporte tout le poids du tambour et de la voûte sphérique, et en reporte l'action sur ses piliers, qui sont ainsi exposés à des poussées considérables. Ce n'est que par les combinaisons du plan qu'on peut assurer des résistances suffisantes : les plans des monuments que je viens

de vous citer sont très remarquables et instructifs; avant tous autres peut-être celui des Invalides, où la combinaison spéciale au pendentif se traduit dans l'architecture depuis la base de l'édifice jusqu'au sommet même de la coupole.

Vous voyez quelles ressources la voûte en pendentifs a créées, et comme l'architecture a su en profiter. Je vous ai cité

des exemples admirables, étudiez-les : l'architecture n'a pas de plus nobles sujets à vous proposer.

Je passe sur les voûtes spéciales, telles que berceaux rampants, vis Saint-Gilles, voûtes annulaires, voûtes d'arêtes annulaires, etc.

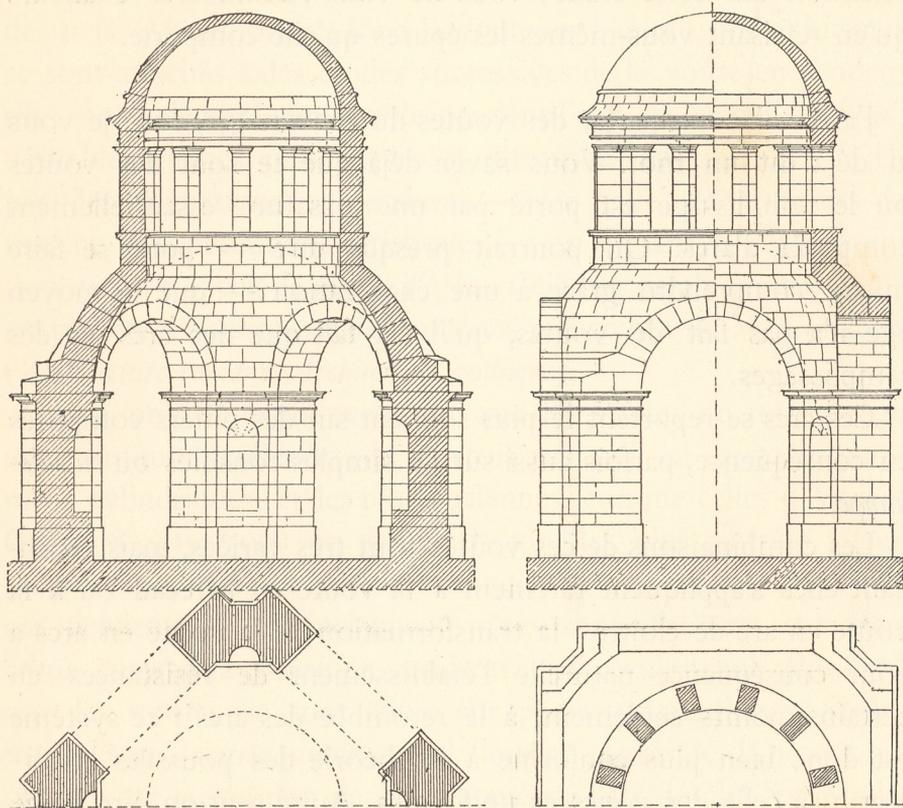


Fig. 497. — Voûte en pendentifs surmontée d'un tambour cylindrique et d'une voûte sphérique.  
Plan, coupe diagonale, coupe longitudinale, élévation.

La stéréotomie vous les définit et vous les explique, et au point de vue de la composition, vous saurez facilement reconnaître celles dont la poussée est uniforme ou localisée. Cette exposition est aride et vous la trouvez bien géométrique : elle est nécessaire ; la géométrie des voûtes est la première chose à

connaître pour qui veut voûter des édifices ; ensuite vient la stéréotomie, ou art de les appareiller. Pour la stéréotomie, je ne puis que vous renvoyer aux traités spéciaux ; je m'en tiens à ce qui est nécessaire à la composition en appelant toute votre attention sur cette étude ; vous ne vous l'assimilerez d'ailleurs qu'en refaisant vous-mêmes les épures qu'elle comporte.

J'arrive à vous parler des voûtes du moyen âge, dont je vous ai déjà dit un mot. Vous savez déjà que ce sont des voûtes où le remplissage est porté par une ossature essentiellement composée d'arcs. On pourrait presque dire — pour se faire mieux comprendre grâce à une exagération — que le moyen âge n'a pas fait de voûtes, qu'il n'a fait que des arcs et des remplissages.

Ces arcs se reportent le plus souvent sur des piliers composés en conséquence, parfois aussi sur de simples consoles ou *culs-de-lampe*.

Les combinaisons de ces voûtes sont très variées, mais cependant elles s'appliquent rarement à la voûte en berceau ou à la voûte en arc de cloître : la transformation de la voûte en arcs a pour conséquence naturelle l'établissement de résistances en certains points seulement, à la retombée des arcs : ce système est donc bien plus conforme à la théorie des poussées localisées qu'à celle des poussées uniformes. Aussi peut-on dire d'une façon générale que, postérieurement aux voûtes en berceau de l'architecture romane, les voûtes du moyen âge sont toujours des voûtes à poussées localisées.

Or, si nous restreignons l'expression « voûtes du moyen âge » aux voûtes de la période dite *ogivale* et à la fin de l'architecture romane, nous voyons jusque là surtout deux sortes de voûtes employées dans les églises : la voûte plein-cintre dans un cer-

tain nombre d'églises romanes, la voûte en pendentifs dans les églises byzantines, et dans le midi et le sud-ouest de la France.

La voûte en pendentifs, par la localisation des poussées, permettait des plans d'églises bien plus variés et hardis que la voûte en berceau; elle permettait bien mieux aussi l'éclairage des nefs. Abandonnant donc la voûte en berceau, les architectes se sont attachés à des études successives de la voûte en pendentifs; on a d'abord renforcé le pendentif par des arcs-diagonaux, véritables cintres permanents et directrices en pierre, et de là, par des transitions successives — car telle est toujours la marche des évolutions artistiques — on est arrivé à la conception qu'on a appelé la *croisée d'ogive*. Cela me paraît avoir été mis en parfaite évidence par les savantes recherches de M. Corroyer (*Architecture romane, Architecture gothique*).

Cette origine explique ce fait que les voûtes du moyen âge sont toujours surélevées; je ne crois pas qu'il en existe de purement cylindriques, et les plus anciennes, comme celles d'Anzers (fig. 498, 499, 500) ou de Laval, sont les plus cintrées: leur section à la clef est précisément celle d'une voûte sphérique sur pendentifs. Ces anciennes voûtes sont d'ailleurs sur plan carré, comme la voûte en pendentifs, et ce n'est que plus tard que les voûtes se sont faites sur plans rectangulaires. Seulement, vous remarquerez qu'ici, le plan carré de la voûte est obtenu par la réunion de deux travées: l'arc de clef, perpendiculaire aux murs latéraux, est en réalité un arc doubleau. Cela démontre encore que la tradition du plan carré, nécessaire à la voûte en pendentifs, se continuait malgré la forme rectangulaire des travées. Cette disposition est d'ailleurs fréquente au moyen âge, et nous le retrouvons notamment à Notre-Dame de Paris.

Je ne vous parle d'ailleurs de ces questions d'origine que pour

vous faire comprendre que la voûte du moyen âge ne rentre réellement dans aucune des espèces de voûtes que nous avons passées en revue, et je réserve pour l'étude de l'architecture religieuse les questions esthétiques que comporte ce sujet; ce n'est pas une voûte d'arêtes, ce n'est pas une voûte sphérique en pendentifs, c'est une combinaison d'arcs, d'un tracé très précis, avec des remplissages dont la génération est beaucoup moins déterminée, parfois très gauche. Une fois les arcs bien tracés, bien exécutés, le remplissage était un peu affaire d'inspiration *sur le tas*, les arcs seuls servant de support, de guide et de gabarrit.

La voûte du moyen âge a pour prototype la *croisée d'ogive*, combinaison de six arcs

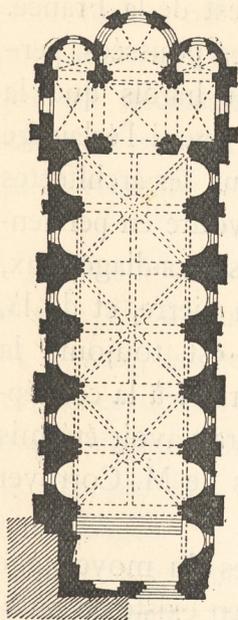


Fig. 498. — Plan de l'église de la Trinité à Angers.

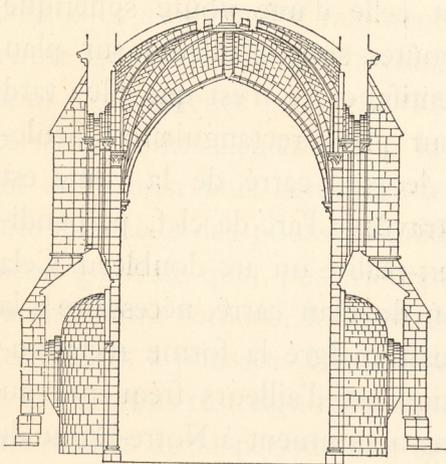


Fig. 499. — Coupe transversale de l'église de la Trinité, à Angers.

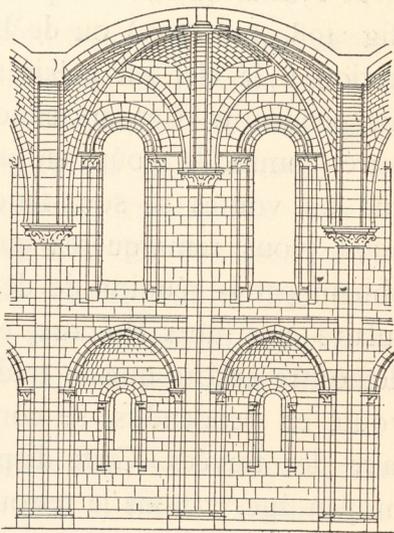


Fig. 500. — Coupe longitudinale d'une travée de l'église de la Trinité, à Angers.  
(Extrait de l'*Architecture gothique*, d'Ed. Corroyer).

jouant deux à deux le même rôle (fig. 501). Si l'on en fait le plan à la naissance, on remarque d'abord les *arcs-doubleaux* reliant les piliers opposés, puis les *arcs formerets* adossés aux murs latéraux. Les arcs-doubleaux sont jetés d'un mur à l'autre, formant cintre d'appui pour les remplissages. Les arcs formerets sont appuyés *contre* le mur extérieur, et déterminent ainsi une *feuillure* curviligne qui reçoit également le remplissage. Ces arcs sont les uns et les autres plein-cintre dans l'architecture romane, brisés dans l'architecture ogivale. Enfin, il y a les arcs diagonaux, appelés aussi *arcs-ogifs* qui forment les arêtiers. Ceux-ci sont en général elliptiques, et tracés de telle sorte que leur clef domine celle des arcs doubleaux, tandis que souvent la clef des arcs formerets est plus élevée que la clef centrale, afin de rehausser le plus possible la pénétration de la lumière.

Ces divers arcs sont en pierre de taille, appareillés avec soin; les remplissages sont en moellons, parfois en briques.

Ceci est la voûte du moyen âge toute simple; souvent elle est beaucoup plus compliquée.

D'abord les arcs-doubleaux sont parfois accompagnés de deux arcs formerets; les clefs sont souvent marquées par des arcs : D, doubleau, F, F, formerets, A arc arétier ou diagonal, C, C, arcs de clefs (fig. 502).

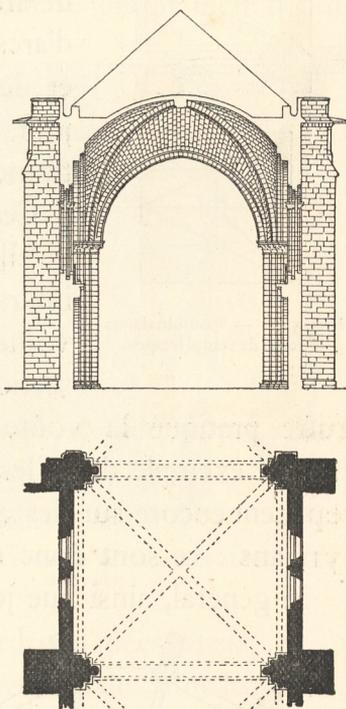


Fig. 501. — Croisée d'ogive.  
Exemple emprunté à l'église Saint-Maurice d'Angers.

C'est surtout dans les plus grandes voûtes que les arcs se multiplient, et avec raison. Toute la solidité de ces voûtes est dans les arcs; les remplissages n'ont pas de solidité par eux-mêmes. L'architecte doit donc éviter les remplissages trop grands, de même qu'il doit éviter une multiplicité d'arcs trop encombrante. Question de goût et de jugement. Mais les arcs seront toujours dans des plans verticaux, en d'autres termes des courbes planes.

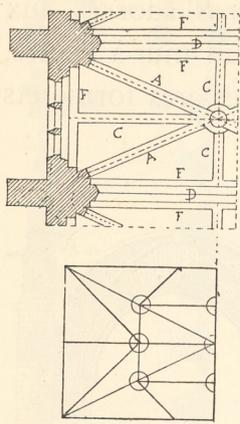


Fig. 502. — Combinaisons d'arcs et de remplissages.

Ces combinaisons d'arcs, par cela même qu'elles sont parfaitement appropriées aux intersections saillantes, comme dans les voûtes d'arête, se prêtent moins aux intersections concaves. Aussi le moyen âge n'a guère pratiqué la voûte en arc de cloître, et même dans le cas par exemple de salles polygonales (fig. 503) les voûtes se reportent encore sur des arcs, et sont encore combinées avec des tympan : ce sont donc encore des voûtes d'arête.

En général, ainsi que je vous l'ai déjà montré, à une composition particulière de la voûte correspond une composition analogue du pilier. Cependant les arcs partent souvent aussi de consoles ou de culs-de-lampe, et c'est notamment le cas lorsque l'arc arêtier part

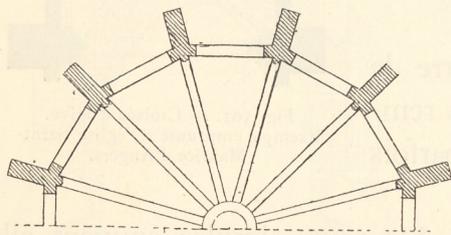


Fig. 503. — Voûte polygonale.

d'un angle concave des piédroits.

Je ne saurais entrer dans tout le détail de ces voûtes, dont les combinaisons sont infiniment variées. Je ne puis que vous renvoyer aux ouvrages spéciaux. Vous y verrez que là encore,

l'architecture a suivi la marche ordinaire de l'esprit humain. Après avoir tâtonné, elle est arrivée à l'expression logique et nécessaire de son œuvre, puis elle a cherché la hardiesse et la variété; elle a produit alors ces combinaisons élégantes et ingénieuses qui nous charment; elle est arrivée aussi au tour de force, à la recherche de la difficulté pour le plaisir d'en triompher. Arrivé là, un art a accompli son évolution, il n'a plus devant lui d'autre alternative que la décadence ou la rénovation. La Renaissance n'a pas été seulement un fait, elle était la nécessité inévitable.

Toutefois la Renaissance n'a pas abandonné tout d'abord les voûtes du moyen âge. Elle leur a imprimé son cachet, elle leur a donné l'empreinte de son

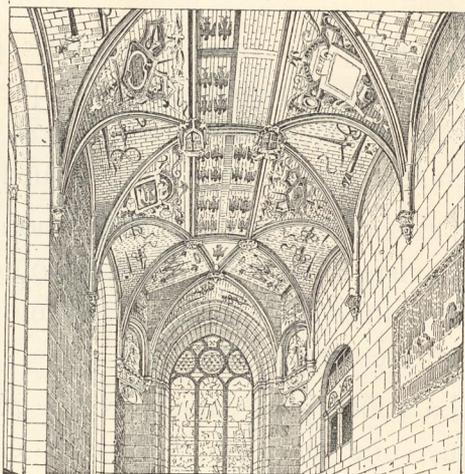


Fig. 504. — Voûtes de la chapelle du château d'Écouen.

goût et de son élégance, et dans cet ordre d'idées aussi, elle a fait des chefs-d'œuvre, ne fût-ce que les voûtes de Saint-Eustache, ou celles de la chapelle du château d'Écouen (fig. 504). On a même fait des combinaisons très ingénieuses et artistiques d'arcs et de plafonds en dalles. Un des plus remarquables exemples est la voûte de l'église de Tillières (Eure) (fig. 505).

Puis, le système de ces voûtes a complètement disparu, on n'a plus fait que la voûte stéréotomique; tout y a concouru : l'inspiration de l'antiquité — dans ses formes plus que dans sa construction — l'émulation des tailleurs de pierre dans l'art du trait, — surtout la rupture violente de l'esprit moderne avec

l'esprit du moyen âge, rupture intellectuelle qui ne pouvait se faire sans qu'il y eût aussi rupture artistique, à tel point que récemment encore cet art du moyen âge si profond, si habile, et à la fin, disons-le, si raffiné, était considéré comme l'expression barbare de ce que Quatremère de Quincy appelait une bâtisse ignorante.

Je n'ai pas à vous dire quelles peuvent être mes préférences personnelles; je crois d'ailleurs que rien n'est à rejeter, que tout ce que nous a transmis notre art mérite étude, à condition de bien le connaître et de savoir quelle en est la portée.

J'ai cherché surtout à vous montrer les différences profondes qui existent entre les diverses voûtes, et en même temps cependant l'unité de ces études. Toujours, qui dit voûte dit lutte contre le danger.

La voûte, je ne saurais trop le répéter, est un élément magnifique, une tentation séduisante, et l'esprit se portera toujours vers la voûte lorsqu'il faudra exprimer le monumental, la grandeur d'aspect, la noblesse de l'édifice. Mais pour triompher des difficultés de la voûte, de ses périls, il faut l'art et la science. La voûte, c'est l'architecture difficile, qui n'est permise qu'aux forts; son étude est faite de prudence et plus encore de prévoyance; c'est dès le début, dès la composition du plan, que vous assurerez la possibilité de vos voûtes en vous rappelant que les moyens ne seront jamais trop simples.

Je m'applaudirai quant à moi si ces quelques leçons sur ces voûtes vous ont montré que c'est là un motif d'études très sérieuses, d'études de fond; que la voûte n'est pas un simple prétexte à décorations, à caprices, à fantaisies; que l'architecte qui conçoit des voûtes doit savoir ce qu'il fait, connaître la

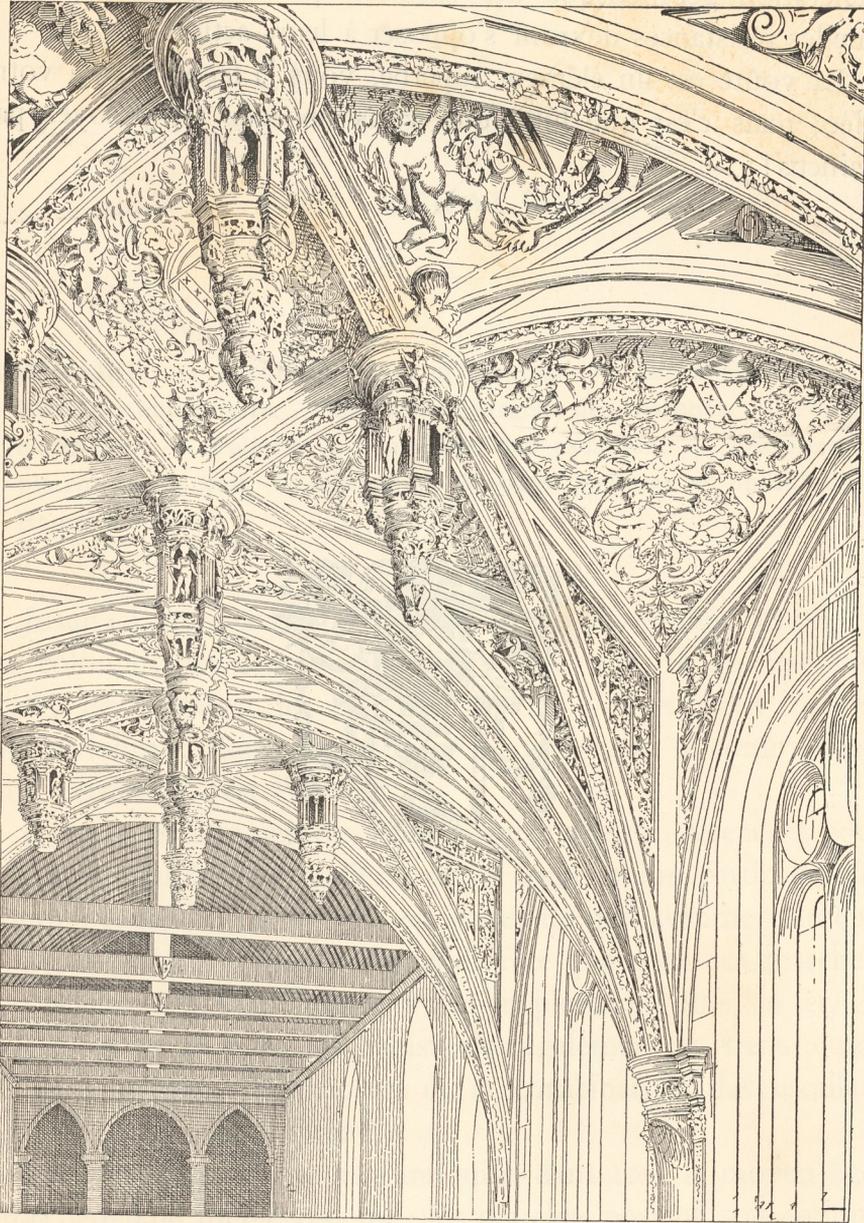


Fig. 505. — Arcatures et plafonds de pierre de l'église de Tillières.

génération géométrique des surfaces qu'il emploiera, prévoir quelles résistances devront s'opposer à leurs actions.

La voûte est un élément superbe, vous la façonnerez à votre idée; mais c'est une lutte que vous abordez : n'y soyez pas vaincus!

