L'ART DE BATIR

CHEZ

LES ROMAINS

TEXTE

L'ART DE BATIR

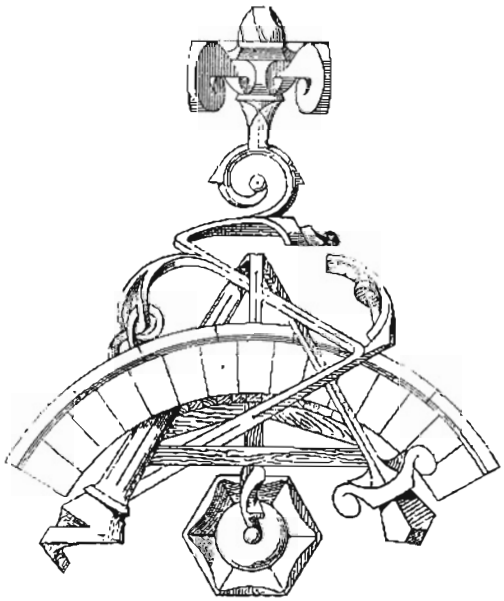
CHEZ

LES ROMAINS

PAR

AUGUSTE CHOISY

ANCIEN ÉLÈVE DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE, INGÉNIEUR DES PONTS ET CHAUSSÉES



PARIS

LIBRAIRIE GÉNÉRALE DE L'ARCHITECTURE ET DES TRAVAUX PUBLICS

DUCHER ET Cie

ÉDITEURS, RUE DES ÉCOLES, 51

MDCCCLXXIII

INTRODUCTION

Les édifices de l'antiquité ont été bien des fois décrits au point de vue de l'architecture, mais les détails de leur construction sont encore très-vaguement connus. Lorsqu'aux premières années du quinzième siècle les architectes remirent en honneur les débris de ces monuments longtemps oubliés, ils songeaient avant tout à créer un art nouveau en imitant les modèles classiques. Guidés par cette idée, ils ont dû observer principalement les formes, les proportions, les ornements qu'ils voulaient faire revivre par de nouvelles applications; et l'impulsion donnée par eux aux recherches d'archéologie s'est fait sentir jusqu'à nos jours : leurs élèves, suivant la voie qu'ils trouvaient ouverte, ont remué le sol de la Grèce et de l'Italie pour continuer l'œuvre de restauration commencée; pendant trois siècles entiers les découvertes se sont multipliées avec une extrême rapidité, mais l'esprit d'investigation ne s'est pas sensiblement modifié : on s'est arrêté à la surface des monuments sans en étudier le squelette, et le progrès consista surtout à mieux connaître et mieux apprécier les beautés extérieures de l'architecture antique.

Aujourd'hui les résultats de tant de travaux se sont à peu près classés, les fragments épars ont repris leurs places, et nous pouvons sans grand effort nous figurer les monuments de Rome ou d'Athènes dans toute la splendeur de leur décoration primitive. Pour compléter l'entreprise de nos devanciers, il resterait à faire connaître la

structure des édifices dont ils ont si savamment interprété les formes. Sans doute leurs écrits jettent quelque lumière sur les moyens de construction ; mais les indications qu'ils nous offrent à cet égard sont ordinairement très-sommaires ; elles se présentent presque toujours incidemment, comme des faits isolés, comme de simples remarques qui ne se rattachent les unes aux autres par aucun lien théorique. Ces aperçus généraux suffisent pour éveiller notre curiosité, mais sont loin de la satisfaire ; ils nous font plutôt comprendre l'utilité d'une étude spéciale où les règles pratiques qui furent observées dans l'antiquité seraient réunies et exposées avec plus d'exactitude et de développements.

Une semblable revue de méthodes abandonnées n'offrirait pas seulement le vague intérêt qui s'attache aux origines de l'industrie humaine : la construction telle que nous la font entrevoir les détails disséminés dans les descriptions des ruines, semble ingénieuse autant qu'elle est puissante ; elle résume une longue et laborieuse expérience consacrée par des monuments qui ont subi l'épreuve des siècles ; elle permet d'apprécier l'étendue et la nature des ressources dont les anciens peuples ont fait usage, le développement que les sciences appliquées avaient pris de leur temps : en un mot, les circonstances de la construction antique font partie de l'histoire intérieure des peuples qui nous ont précédés, et à plus d'un titre les questions qu'elles soulèvent méritent de notre part une sérieuse attention.

J'aborderai dans le mémoire qui va suivre quelques-unes de ces questions, en insistant spécialement sur celles qui se rapportent à l'art romain. Chez les Grecs, l'analyse de la construction se mêlerait tellement à celle de l'architecture, qu'il serait difficile de l'isoler pour l'envisager à part : mais l'embarras cesse dès qu'on aborde les monuments élevés sous la domination de Rome. Leurs auteurs se souciaient assez peu des délicatesses de la forme : l'arrangement des plans, le choix des moyens d'exécution convenaient mieux à la tournure toute pratique de leurs esprits. Comme s'ils s'étaient sentis incapables d'embrasser, à l'exemple des Grecs, l'architecture dans son ensemble et de mener de front les diverses opérations qu'elle comporte, ils établirent une division bien nette entre la structure qu'ils savaient traiter en maîtres, et la décoration pour laquelle ils affectaient une indifférence dédaigneuse : ils laissèrent à d'autres le soin d'orner leurs édifices, eux-mêmes se chargèrent de les disposer et de les bâtir, et la double question qu'ils s'étaient réservée, ils la traitèrent d'une façon vraiment romaine. On a souvent remarqué comment ils imprimèrent dans la distribution de leurs vastes ouvrages la trace de leur caractère, de leurs besoins

et de leurs mœurs ; ce qu'ils ont fait dans l'art de bâtir est moins connu, mais là aussi l'on doit s'attendre à rencontrer l'empreinte de leur génie organisateur, et l'usage de procédés sans précédents, en rapport avec la nature exceptionnelle de leurs ressources.

En effet, les vestiges de construction qui remontent aux bonnes époques de l'art romain offrent des dispositions qu'on aurait peine à trouver même indiquées dans les monuments d'une autre période : il suffit d'observer une de ces voûtes qui signalent par leur présence tous les points où s'étendit l'empire romain, pour être frappé d'une série de détails qui établissent entre les méthodes anciennes et les nôtres de profondes différences. Ce sont de toutes parts des arcs engagés dans l'épaisseur des maçonneries, des chaînes de soutènement d'une forme inusitée, des armatures de diverses sortes dissimulées autrefois au milieu des massifs ou voilées sous les enduits, et que la ruine des édifices nous découvre par portions souvent défigurées ou incomplètes. Quelle fonction remplissaient autrefois ces curieux débris? à quoi servirent ces grands arceaux d'une construction grossière, noyés dans les remplissages des voûtes, ces claires-voies de brique qui souvent en tapissent les surfaces? d'après quelles règles et dans quelle vue étaient combinés les membres de cette ossature empâtée dans le corps des maçonneries, toujours légère, établie à peu de frais, à la hâte, sans précision? Rien ne répond dans nos constructions à ces ouvrages auxiliaires : et pourtant, à juger de leur importance par la généralité de leur emploi, ils paraissent jouer un rôle capital dans l'économie des édifices romains. Sans doute ils n'y servaient point à l'ornement, ils étaient trop irréguliers et installés avec une précipitation trop évidente pour qu'on songeât à les laisser apparents : ils constituaient une sorte de charpente interne des monuments, où les idées pratiques se manifestaient de la façon la plus sincère et la plus libre, parce qu'aucune exigence d'architecture ne venait, soit en compliquer, soit en gêner l'expression. Aussi les règles de l'art de bâtir sont, pour ainsi dire, écrites dans ces singuliers ouvrages, et s'il fallait faire choix de certains détails pour caractériser les méthodes de construction chez les Romains, aucune étude partielle de leurs édifices ne serait mieux appropriée à cet objet que celle des armatures dont ils étayaient leurs voûtes.

Ces idées m'ont vivement frappé le jour où je me trouvai pour la première fois en présence des restes de l'ancienne Rome, et elles ont servi de point de départ à mes recherches sur les monuments antiques : il me sembla que l'histoire de ces monuments, envisagés au point de vue de l'art de l'ingénieur, pouvait se faire aisément et

s'exposer sans confusion, si l'on profitait, pour mettre quelque unité dans le travail, de l'étroite liaison qui rattache en général les détails de la construction romaine aux principes qui régissent l'établissement des voûtes. Me plaçant spécialement à ce point de vue, guidé d'ailleurs et soutenu par les conseils et la bienveillance d'un maître qui unit à la science de l'ingénieur les talents de l'architecte, je me suis efforcé, dans une série de voyages que l'administration des ponts et chaussées a bien voulu encourager ou prescrire, de rassembler les principaux documents propres à éclaircir les questions techniques qui ont trait aux monuments de l'art romain. Ce sont les résultats de cette étude que je publie aujourd'hui : sans entreprendre de reconstituer dans toutes ses parties un système de construction perdu, je tâcherai du moins de faire connaître divers détails trop imparfaitement décrits jusqu'à présent, de rendre compte des procédés dont le sens m'a paru clair, et de signaler simplement ceux que j'ai dû constater sans parvenir à les comprendre.

A vrai dire, j'ai moins songé à faire une histoire de la construction chez les anciens, qu'à fournir des documents pour cette histoire; et j'ai dû avant tout me mettre en garde, dans une matière où les observations sont souvent délicates, contre les documents d'origine douteuse, capables d'égarer la critique : aussi je me suis imposé comme une condition expresse de ne citer aucune circonstance sans en avoir constaté personnellement l'exactitude, ou sans faire connaître par des indications formelles les sources où j'ai puisé. Quelquefois il m'a fallu compléter les résultats constatés par des restitutions hypothétiques : je ne l'ai fait dans aucun cas sans marquer d'une manière bien nette le point où cesse l'observation et où commence l'hypothèse.

Quant aux explications théoriques, j'aurais voulu les entourer des mêmes garanties, en m'astreignant à n'en avancer aucune sans la confirmer par les témoignages écrits des anciens; mais cette vérification ne m'a pas toujours été possible, et le guide sur lequel j'avais le plus compté pour assurer ma marche m'a trop souvent fait défaut : Vitruve ne parle des voûtes qu'incidemment, avec des expressions vagues et une concision qui ne semble point en rapport avec l'importance du sujet. C'est qu'en effet, de son temps, la construction voûtée n'avait point à beaucoup près reçu le développement qu'elle a pris dans la suite : aucune voûte de très-grande ouverture et établie dans le système de maçonnerie brute qui fut plus tard si répandu, ne peut être attribuée avec certitude à une époque antérieure à celle de Vitruve; l'auteur du seul traité ancien qui nous reste sur la construction assista tout au plus vers la fin de sa vie à ces colossales entreprises qui nous rappellent les noms d'Auguste et d'Agrippa

et qui ont marqué dans l'architecture romaine l'avénement d'une ère nouvelle : lui-même n'eut point de part au magnifique essor qui produisit les Thermes d'Agrippa et le Panthéon de Rome ; et son livre, œuvre de sa vieillesse, nous offre moins un tableau des innovations de l'époque contemporaine qu'un souvenir des procédés en usage aux derniers temps de la république, une sorte de retour vers des méthodes qu'il avait appliquées pendant le cours de sa longue carrière.

Vitruve mis à part, les écrivains anciens ne traitent pas de la construction avec assez de détails pour qu'on soit en droit d'attendre d'eux des données vraiment utiles : Pline, voué avant tout à des observations spéculatives, développe moins les méthodes suivies dans l'emploi des matériaux que l'histoire naturelle de ces matériaux eux-mêmes ; Frontin envisage la construction en administrateur plutôt qu'en architecte : et s'il mentionne souvent les ouvrages voûtés qui s'élevaient sous ses yeux ou sous sa conduite, nulle part il n'entre dans le détail des procédés. Restent peut-être les écrits sur l'agriculture romaine ou sur l'art militaire, dans lesquels se rencontrent de courtes descriptions relatives à des travaux de construction : mais ces constructions ont un objet trop spécial, et les écrits qui en traitent brièvement ne peuvent jeter qu'un jour douteux sur les principes généraux d'architecture pratique ; d'ailleurs les rares allusions qu'ils font aux procédés ordinaires sont fort obscures, et beaucoup demeureraient, je pense, inintelligibles si les ruines n'étaient là pour leur servir de commentaire.

Le silence presque absolu des auteurs me réduisait à interpréter par conjecture les faits observés : mais les hypothèses explicatives se présentèrent heureusement avec des caractères d'extrême vraisemblance, et la clarté parfaite que les anciens ont mise dans toutes les applications de l'art de bâtir suppléa dans une certaine mesure aux lacunes des traités qu'ils nous ont laissés. Un calcul de sévère économie se manifesta évidemment pour moi comme la principale raison d'où découlent les diverses dispositions de la construction antique ; et malgré la défiance très-naturelle que m'inspirait une semblable hypothèse appliquée aux monuments de la toute-puissance romaine, elle se représentait sans cesse au terme de mes études comme une conclusion inévitable vers laquelle je me trouvais ramené malgré moi.

Je m'aperçus dès lors qu'on s'habitue trop volontiers à regarder les Romains comme un peuple qui, disposant de richesses immenses, n'eut jamais à compter avec les moyens matériels, et put dédaigner sans scrupule les expédients que nous suggère quelquefois l'insuffisance de nos ressources. La passion des grandes choses ne fut

assurément étrangère à aucune de leurs entreprises, mais le génie des Romains sut concilier l'étendue des projets et la facilité des moyens d'exécution; à mesure que j'observais de plus près les restes de leurs monuments, il me semblait impossible d'y méconnaître l'emploi d'une foule d'artifices ayant pour objet, sinon de réduire la main-d'œuvre, du moins de la simplifier : tandis que les architectes ont visé dans leurs conceptions d'ensemble à une majesté d'effet et une durée dignes de la puissance et de l'éternité du peuple romain, une pensée évidente de rigoureuse épargne les guida dans l'exécution de toutes les parties : toujours ils aspirèrent à réaliser par l'emploi de procédés aussi faciles que simples le double mérite d'une solidité parfaite et d'une incomparable grandeur.

Cette observation m'amenait à envisager la construction romaine sous un aspect pratique que je n'avais pas soupçonné en commençant : puisque les Romains ont cherché l'économie dans leurs édifices, peut-être aurions-nous avantage à renouveler quelques-uns de leurs procédés; tous les jours nous empruntons aux anciens des formes de décoration, apparemment ils ont aussi quelque chose à nous apprendre sur l'art de bâtir, et l'histoire de leurs édifices plus complétement connue peut intéresser l'avenir de l'art des constructions aussi bien que celui de l'architecture. Cette conjecture paraît incontestable, mais elle n'est pas absolue, et pour apprécier l'importance et le degré de fidélité que comportent de notre temps les imitations de procédés antiques, il faut tenir grand compte des différences amenées par un intervalle de quinze siècles entre les ressources des Romains et les nôtres.

Je ne parlerai point ici des esclaves que les Romains employaient si fréquemment aux travaux de bâtisse : ils avaient, surtout dans les provinces, une ressource d'exécution plus ordinaire et plus puissante encore, qui consistait à faire travailler aux édifices publics la population corvéable de leur empire. Ils recrutaient par corvées autant de manœuvres qu'ils en voulaient employer : mais ces ouvriers improvisés, arrachés à leurs occupations habituelles et traînés de force sur des chantiers de construction, se trouvaient généralement mal préparés à leur nouveau rôle; les Romains se croyaient le droit de ne point leur épargner la fatigue, mais ils étaient contraints de proportionner à leur inexpérience les difficultés de leur tâche : il fallait n'exiger d'eux que des efforts purement matériels, et réduire le plus possible la part laissée à leur intelligence et à leur habileté. Grâce au progrès des institutions, de telles ressources et les méthodes qui en facilitaient l'application nous sont maintenant interdites.

Du reste, les méthodes usitées chez les Romains n'ont pas toutes ce cachet exceptionnel, elles ne présentent pas toutes cette corrélation étroite avec un régime social qui a cessé depuis longtemps de peser sur le monde : et à côté des moyens d'exécution dont l'étude appartient désormais exclusivement à l'histoire, nous trouvons chez les Romains un bon nombre d'artifices d'un caractère moins spécial, qui pourraient être employés de nos jours comme ils l'étaient au temps des Césars. Tels sont les expédients imaginés par les anciens pour réduire, ainsi que nous le verrons, l'importance des ouvrages auxiliaires, des cintres, par exemple, ou des échafaudages, et en général de ces accessoires dispendieux qui entravent la marche des travaux et en exagèrent le prix : l'esprit des Romains répugnait à l'adoption de tout procédé complexe, de toute marche détournée. Les efforts matériels leur coûtaient peu, et nulle part ils ne les ont épargnés dans les parties durables de la bâtisse, mais nulle part aussi ils ne les ont dépensés qu'à regret pour des ouvrages provisoires; la règle qu'ils suivirent fut au contraire d'utiliser de la façon la plus simple en travaux permanents l'ensemble des ressources affectées à l'exécution de leurs édifices : cette règle bien élémentaire rendra compte de la plupart des artifices particuliers à l'art romain que nous aurons à faire connaître.

Ainsi, indépendamment des méthodes dont nous ne saurions renouveler l'usage sans nous mettre en désaccord formel avec le régime économique de notre temps, il se rencontre dans les vieilles traditions de l'art de bâtir des procédés dont le mérite ne résulte point exclusivement de convenances propres aux peuples qui les observèrent, et que leur généralité permet d'étendre à de nouvelles applications. Toutefois les principes très-généraux suivis par les anciens sont en petit nombre; la reproduction des procédés qui en découlent sera toujours soumise à certaines réserves, et pour les accommoder à nos besoins il faudrait souvent y apporter des modifications plus ou moins profondes. Mais alors même que l'imitation nous en serait à peu près interdite, ces procédés mériteraient d'être étudiés : ce serait connaître imparfaitement les monuments antiques que de s'attacher exclusivement à leurs formes; et la description de ces monuments au point de vue des procédés matériels aidera tout au moins à combler quelques lacunes dans l'histoire d'une architecture justement célèbre.

PREMIÈRE PARTIE

DE LA CONSTRUCTION ROMAINE EN PETITS MATÉRIAUX MAÇONNÉS

CHAPITRE PREMIER

MODES DIVERS D'EXÉCUTION DES MAÇONNERIES ROMAINES

Pendant plusieurs siècles les Romains n'eurent point de procédés d'architecture qui leur fussent propres. Leurs massives constructions ressemblaient entièrement à celles des Étrusques : des blocs énormes de pierres brutes ou taillées, mais toujours posées sans ciment, constituaient par leur solide assemblage les monuments élevés, aux premiers temps de Rome, sous la conduite et peut-être par les mains d'artisans appelés de l'Étrurie. Quand ensuite Rome s'affranchit de la tutelle de l'Étrurie pour passer sous celle de la Grèce, la rude architecture qu'elle avait d'abord admise se modifia dans les formes, mais en demeurant au fond ce qu'elle avait été dans l'origine, et la bâtisse en grands matériaux sans mortier continua, jusqu'au dernier siècle avant notre ère, d'être générale dans les monuments de la République.

Cette construction, où chaque pierre éveille l'idée d'une difficulté vaincue, convenait trop à l'expression de la puissance romaine pour tomber en désuétude le jour où Rome parvenait au terme de sa grandeur : aussi ne fut-elle abandonnée à aucune époque ; les colonnes de granit dressées dans les monuments de l'Empire, ces monolithes lourds et massifs comme des obélisques égyptiens qui portent la retombée des grandes voûtes, ces quartiers de roche taillée qui forment l'enceinte des amphithéâtres, tous ces fastueux revêtements que les architectes des bas temps appliquaient à leurs grands édifices, montrent assez, malgré la différence des styles, que les constructeurs

de Rome n'ont jamais entièrement oublié les antiques traditions puisées à l'école des maîtres étrusques.

Mais l'esprit pratique des Romains, leur goût instinctif pour les choses simples, les poussaient à faire, dans les cas ordinaires, un emploi plus fructueux de leurs immenses richesses : au lieu de composer le corps de leurs monuments de grands blocs péniblement amoncelés, ils cherchèrent dans des procédés moins dispendieux des ressources jusque-là inconnues : ils inaugurèrent l'emploi en grand de matériaux irréguliers réduits en fragments et reliés les uns aux autres par du mortier.

Faut-il attribuer aux Romains l'idée de composer artificiellement des massifs monolithes au moyen de menus éclats de pierre agglomérés? doit-on, au contraire, rapporter cette innovation aux Étrusques, ou même la faire remonter, comme tant d'autres inventions, aux anciens habitants de l'Égypte ou de l'Assyrie? Tout au moins il paraît assuré que jamais, avant l'époque romaine, on n'avait songé à fonder sur l'emploi de pareils éléments un système de construction monumentale ; les Romains surent apercevoir toutes les ressources qu'un moyen d'exécution aussi simple pouvait offrir à l'art; les premiers ils l'appliquèrent avec méthode, ils l'adaptèrent avec une rare sagacité à des besoins nouveaux; profitant enfin de la facilité avec laquelle la maçonnerie en cailloux et mortier s'accommode aux matériaux les plus divers, ils en firent un mode de bâtisse pour ainsi dire universel, et l'utilisèrent avec un succès presque égal sur tous les points de leur empire.

Les matériaux dont ils firent usage n'étaient spéciaux à aucune contrée : les moellons les plus informes, les éclats de roche dure les moins propres à la taille, les menus fragments de pierre qui seraient rejetés de nos jours comme des débris de carrières, suffisaient aux plus vastes projets.

Quant à la main-d'œuvre, elle était d'une simplicité parfaite : les monuments, composés d'une sorte de matière plastique, se modelaient pour ainsi dire au gré de l'architecte, et pouvaient être élevés par les mains les plus étrangères à l'art de bâtir ; il ne fallait pour réaliser ces travaux qu'un simple déploiement d'efforts ; à défaut de maçons exercés, les esclaves qui se trouvaient sur les lieux mêmes, les sujets corvéables, les armées, satisfaisaient aux besoins d'un chantier où toutes les opérations se réduisent — on le verra par la suite — à corroyer des mortiers et répandre sur eux des pierrailles par couches uniformes.

Je me propose de donner dans ce chapitre le détail des procédés suivis pour exécuter ces mélanges de mortier et de pierrailles qui constituaient la maçonnerie

romaine; mais, avant d'en aborder la description, il importe de distinguer très-nettement deux sortes de maçonnerie qui répondent chacune à des procédés bien caractérisés, et qui n'ont, à ma connaissance, jamais été employées indistinctement l'une pour l'autre.

La différence que je voudrais rendre sensible tient au rôle que la compression jouait dans les maçonneries romaines : elles avaient pour ainsi dire une physionomie spéciale et servaient à des usages particuliers, suivant que le pilonnage intervenait ou non dans leur confection. — Nous examinerons d'abord les maçonneries battues, leur mode de préparation et les circonstances de leur emploi; et, pour mieux fixer les idées, nous admettrons qu'il s'agisse d'exécuter un massif ordinaire à parements verticaux, un mur droit, par exemple.

MAÇONNERIES FAITES PAR COMPRESSION

La figure suivante rendra compte du procédé appliqué par les anciens dans la préparation d'une maçonnerie battue : elle représente un arrachement fictif pratiqué à travers un massif très-épais qu'on supposera établi entre des parements en fortes pierres de taille.

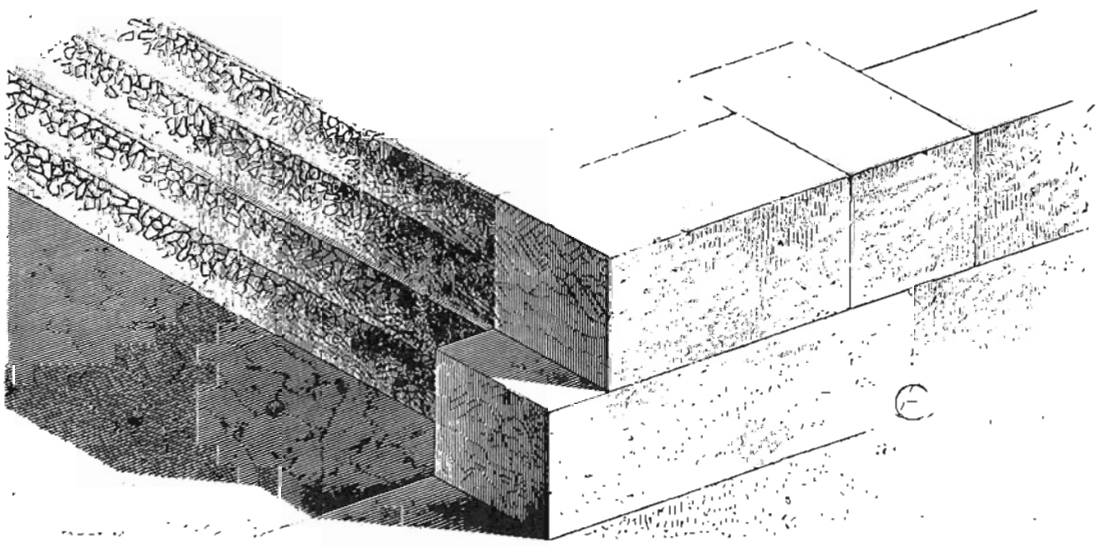


Fig. 1.

Voici comment les Romains procédaient :

Entre les pierres formant les deux parements du massif à construire, ils étendaient une couche très-épaisse (10 à 15 centimètres au moins) de mortier fait à Rome de chaux et de pouzzolane, ailleurs de chaux et de gros sable. Par-dessus ils répandaient à la pelle des fragments de pierre réduits presque à la dimension des cailloux employés pour l'entretien des routes modernes, c'est-à-dire des cailloux pouvant traverser un anneau de 8 à 10 centimètres de diamètre environ. Lorsque la couche de cailloux amoncelés avait atteint une épaisseur égale ou légèrement supérieure à celle de la couche de mortier, elle était soumise à un battage, dont l'effet était de faire refluer le mortier dans tous les interstices.

Ces dépôts alternatifs se succédaient dans toute la hauteur d'une assise de parement. Après chaque nouveau chargement de cailloux on donnait une nouvelle compression, et dès que le niveau supérieur d'une assise de parement était atteint, les ouvriers jetaient sur le dernier lit de cailloux répandu les poussières provenant de la taille des pierres dont se composait le revêtement extérieur du massif. Alors avait lieu un pilonnage encore plus énergique que les précédents : le mortier, soumis à cette compression, achevait de s'infiltrer dans les intervalles; mais, grâce à la présence de la poussière de pierre, il lui était impossible, en remontant à la surface, de venir adhérer aux instruments compresseurs et aux pieds des manœuvres. — La même série d'opérations, chargement de mortier, chargement de pierres cassées et battage, se renouvelait de proche en proche, et un massif construit comme nous venons de le dire pouvait être assimilé à une sorte de remblai pilonné, composé de couches successives de mortier et de pierrailles.

Ainsi furent bâtis les massifs de presque tous les tombeaux qui longent les voies antiques à leur sortie de Rome, en particulier ceux de la voie Appienne : les cailloux employés étaient tantôt des fragments de tuf compacte, tantôt des éclats de lave noire, dont les carrières étaient à peu de distance des chantiers. En observant les ruines de ces massifs, on se rendra aisément compte du système qui a présidé à leur construction : sauf quelques exceptions peut-être, partout la maçonnerie fut établie suivant la méthode que je viens de décrire. Ainsi l'on distingue dans la tranche des massifs des étages exclusivement composés de mortier, puis des étages où la pierre cassée domine; les petites pierres se trouvent serrées les unes contre les autres dans le voisinage des surfaces où la compression s'est fait directement sentir; même on voit de temps à autre des cailloux en partie écrasés par leur frottement mutuel, ou endus sous l'action des chocs; d'autres pénètrent par leur pointe dans le lit épais

de mortier qui les reçoit. Enfin les plans horizontaux sur lesquels la compression s'est exercée s'accusent par des traces régulières : de sorte qu'il est, je crois, impossible de ne pas lire dans les débris des massifs la marche du battage systématique qui vient d'être décrit.

A part ce cas d'emploi des maçonneries damées dans les massifs à parements de pierre, la seule application de la construction pilonnée qui me soit connue s'observe dans les substructions des édifices de Rome : cette nouvelle application était d'ailleurs tout naturellement indiquée.

Le sol, dans la campagne de Rome, est formé de produits volcaniques plus ou moins agrégés, et se coupe verticalement, pourvu qu'on ait soin de maintenir par un faible blindage les parois à pic des fouilles. De cette sorte, la tranchée elle-même forme un moule résistant où l'on peut commodément pilonner des maçonneries : les Romains mirent cette circonstance à profit pour exécuter par compression les fondements de leurs principaux édifices : à peu d'exceptions près, les maçonneries souterraines des monuments de Rome sont faites par couches de mortier épaisses et fortement tassées.

Telles sont les substructions de l'édifice connu sous le nom, d'ailleurs fort contestable, de Cirque de Salluste.

Tels sont encore les massifs qui maintiennent actuellement le terre-plein adossé à la Basilique de Constantin. Il ne faudrait pas voir en eux des murs bâtis exprès pour soutenir des terres : l'ancien mur affecté à cette destination est tombé, laissant à nu ces massifs autrefois souterrains, et qui n'étaient originairement autre chose que des fondements d'édifices depuis longtemps détruits. — Des éboulements tout semblables à ceux que je viens d'indiquer ont mis en évidence sur le pourtour du Palatin des fondations antiques, qu'on prendrait aussi pour des murs de soutènement, mais qui, en réalité, furent construits dans des fouilles blindées, et n'ont servi à retenir les terres que depuis l'époque où la véritable muraille destinée à ce rôle a été renversée. Ces ouvrages, aussi bien que les précédents, ont été faits dans le système de la maçonnerie comprimée.

Au même système se rattachent, au moins en partie, les remplissages entassés par Hadrien pour porter la plate-forme du Temple de Vénus et de Rome : partout où les substructions de la plate-forme furent bâties en déblai, partout où les excavations pratiquées pour les recevoir offraient à ces maçonneries un moule naturel, les

Romains les ont composées de couches alternatives épaisses de cailloux et de mortier unis par compression.

Citons enfin, comme les exemples peut-être les plus remarquables de ces travaux faits par pilonnage dans des tranchées blindées, les massifs récemment découverts dans les fouilles des jardins Farnèse; on peut les regarder comme des types dont l'étude attentive permettra de rétablir par la pensée les formes quelquefois très-frustes des autres ouvrages précédemment cités. — J'ai essayé de préciser par une figure l'aspect actuel de ces fondations, et celui qu'elles présentèrent lors de leur établissement.

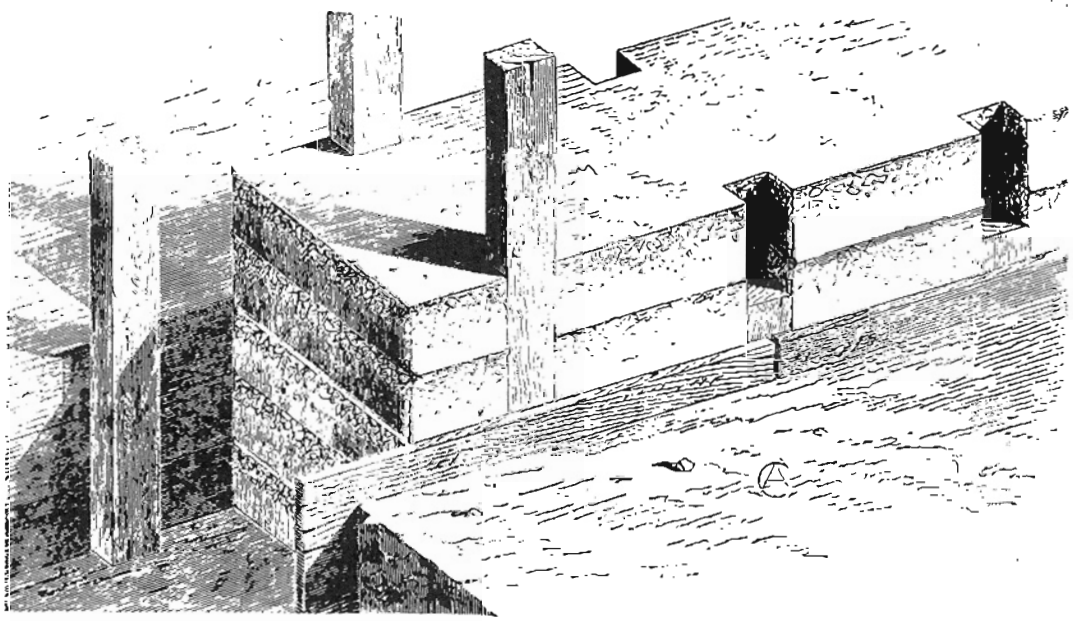


Fig. 2.

L'empreinte laissée par les planches et par les piédroits du blindage se voit en creux avec une netteté parfaite; et il suffit d'imaginer des pièces de bois dans les cavités de cette espèce de moule pour retrouver de point en point et sans aucune restauration hypothétique les dispositions du blindage représenté par la partie inférieure du dessin : les piédroits contre lesquels s'appuyaient les planches servant de revêtement à la fouille sont marqués dans les massifs sous la forme de rainures verticales profondes; les planches se distinguent les unes des autres par de longues traînées horizontales de mortier. Souvent même le mortier, injecté par compression et filtrant dans les interstices du blindage, a pénétré jusqu'à la paroi même de la tranchée contre laquelle il s'est arrêté en bourrelets aplatis; les planches

se sont moulées dans ces bavures, puis elles ont pourri sur place; et la pureté de leurs empreintes accuse toute l'énergie avec laquelle la maçonnerie fut comprimée.

Quant à sa composition, la maçonnerie battue des fondations ressemble à celle que nous avons décrite en parlant des murs à parements de pierre (page 13); mais ici les lits de poussière font entièrement défaut. — Cette circonstance d'ailleurs s'explique d'elle-même : on employait la poussière de pierre dans les remplissages des murs pour utiliser les débris provenant de la taille des parements; son interposition entre les lits est pour ainsi dire un fait accidentel, et ne constitue qu'une différence très-secondaire entre les deux principales applications que la maçonnerie comprimée a reçues chez les anciens.

MAÇONNERIES FAITES SANS COMPRESSION

La maçonnerie battue que nous venons d'examiner s'exécutait promptement, et la main-d'œuvre en était extrêmement simple : double avantage dont les Romains, mieux que personne, devaient apprécier la portée. Il ne paraît pas toutefois qu'ils se soient attachés à en généraliser l'emploi; ils l'adoptèrent, avons-nous dit, pour les massifs à parements de pierre ou pour les ouvrages souterrains : mais à part ces cas spéciaux, la maçonnerie comprimée était pour ainsi dire hors d'usage; et c'est le second genre de construction dont il nous reste à parler qu'il faut regarder comme le mode normal admis dans l'antiquité romaine.

Je crois inutile de préciser par un dessin de détail l'exposé de ce nouveau système : on s'en fera d'ailleurs une idée assez nette en se reportant aux coupes de murs figurées à la planche I.

Dans le premier système que nous avons étudié, des couches de 15 centimètres de mortier alternaient avec des amas semblables de cailloux entassés; ici, au contraire, chaque pierre est posée directement sur un lit de mortier; en d'autres termes, le nouveau mode de maçonnerie constitue un blocage régulier, et ne se distingue par aucun caractère essentiel des blocages modernes : imaginez les lits de mortier un peu plus minces et des moellons au lieu de petits cailloux; et l'espèce d'ouvrages qui nous occupe ne différera pas des blocages en moellons bruts tels que nous les exécutons aujourd'hui.

Dans la maçonnerie battue on trouvait les fragments de pierre disposés sous les orientations les plus variables, on les rencontrait indifféremment en délit ou sur lit de carrière; et le seul ordre qui régnât dans la masse résultait de la distribution des pierrailles en grandes traînées horizontales séparées les unes des autres par des dépôts de mortier. — Au contraire, la maçonnerie commune n'offre aucune de ces incorrections : c'est une superposition bien uniforme de couches de mortier de 3 à 4 centimètres au plus, qui alternent avec des assises de cailloux; tous les fragments sont posés à plat et sur lit de carrière; et si parfois des tuileaux ou des débris de poteries sont employés à la place des éclats de pierre, l'orientation de leurs faces suivant des plans horizontaux se manifeste toujours avec une entière évidence.

Une opinion assez répandue consiste à voir dans cette maçonnerie ordinaire une sorte de béton, c'est-à-dire un mélange préparé à l'avance et employé par coulage de pierrailles et de mortier: mais l'orientation invariable des fragments de pierre, qui tournent constamment leur plus grande dimension suivant des plans horizontaux, exclut, je crois, cette hypothèse.

Celle-ci deviendra plus invraisemblable encore si l'on tient compte du volume qu'atteignaient les cailloux dans les massifs : il n'est pas rare d'en trouver qui présentent moyennement de $0^m,12$ à $0^m,15$ de côté sur $0^m,07$ d'épaisseur; j'en ai observé un grand nombre à la Basilique de Constantin, aux Thermes de Dioclétien et de Caracalla, au Temple de Vénus et Rome, etc., qui avaient au moins ces dimensions; aux Thermes d'Agrippa, j'en ai mesuré de plus gros encore : — mêler au mortier de pareils moellons pour les employer par coulage, c'eût été une opération tout au moins bien pénible.

Une dernière remarque paraîtra peut-être plus décisive encore : les Romains, malgré le soin qu'ils y apportaient, ne sont pas toujours parvenus à remplir de mortier les joints verticaux qui séparent deux à deux les fragments de pierre formant une même assise; des fragments sont enveloppés de mortier d'une façon incomplète; autrement dit, la couche sur laquelle ils reposent et celle qui les recouvre n'ont pas pénétré assez profondément entre les joints verticaux pour les combler, et il reste à mi-hauteur du joint un vide, une soufflure. De semblables lacunes ne se seraient jamais produites, si les matériaux avaient été mêlés d'avance et coulés d'un seul jet. — Ces lacunes sont rarement très-apparentes; pourtant, elles ne sont point du tout des singularités ou des défauts exceptionnels, et il existe peu de monuments à Rome,

même parmi ceux qui datent des meilleures époques, où l'on ne puisse les signaler au moins sur quelques points.

Nous sommes donc suffisamment fondés à admettre que le béton n'était pas la maçonnerie ordinaire des murs antiques. Il ne faudrait pas conclure que les Romains en eussent ignoré la fabrication et les usages : Vitruve parle du béton en termes peu équivoques; il le conseille, par exemple, pour les ouvrages à la mer exécutés sans épuisements; rien, d'ailleurs, n'indique, dans les expressions dont il se sert, qu'il entende décrire une matière d'un usage courant et général.—Et, en effet, les Romains étaient trop sagement économes pour préférer à la maçonnerie que nous venons de définir l'usage du béton, qui, sans offrir plus de solidité, les eût entraînés à un surcroît notable de dépense : leur maçonnerie ordinaire, nous l'avons dit, ressemble assez au béton pour qu'on l'ait confondue avec lui, mais elle devait être beaucoup moins chère. Le mélange des pierres avec le mortier exige une certaine dépense de main-d'œuvre, et représente un travail pénible dont les Romains cherchèrent à s'affranchir : les bras ne leur manquaient point pour faire en grand cette préparation, mais la préparation leur semblait inutile; au lieu d'opérer d'avance le mélange des matières, ils l'exécutaient sur place : les cailloux étaient peut-être moins bien unis au mortier, mais leur arrangement régulier rachetait en partie ce défaut; et l'on peut résumer les propriétés de leur maçonnerie commune en disant qu'elle avait tous les avantages du béton, et permettait d'épargner une bonne partie de la main-d'œuvre qu'eût exigée le mélange préalable.

En somme, la maçonnerie ordinaire des anciens repose essentiellement sur l'emploi séparé du mortier et des cailloux. Mais on peut aller plus loin et en préciser davantage le mode de fabrication :

Si, en effet, on examine avec attention un mur romain en ruine, on reconnaîtra que les lits tantôt s'enflent progressivement, tantôt diminuent d'épaisseur, suivant une loi lente et continue. — Cette allure des couches de mortier me paraît significative : elle montre que la matière fut répandue par grandes surfaces qu'on recouvrait de pierrailles à mesure qu'elles s'étendaient. Le mortier était appliqué par jet à la pelle; et ce mode d'emploi explique non-seulement les ondulations régulières qui se manifestent dans l'épaisseur des lits, mais en même temps la présence de ces vides ou soufflures qui s'aperçoivent quelquefois vers le milieu de la hauteur des joints verticaux.

Enfin, si l'on admet que le mortier ait été posé ainsi par grandes couches continues, toute la distribution du travail dans les ateliers de construction se trouvera pour ainsi

dire tracée : une première compagnie d'ouvriers répandait le mortier à la pelle, une autre immergeait sans retard les cailloux dans la couche préparée pour les recevoir; le travail était ainsi divisé en deux opérations bien distinctes, et ce partage en accélérait la marche, en même temps qu'il était une garantie d'exécution régulière. — Je n'indique cette organisation des chantiers romains qu'à titre de conjecture, mais cette hypothèse a tout au moins l'avantage de rendre un compte très-complet de la constitution intérieure des massifs, et, du reste, elle s'accorde fort heureusement avec les habitudes d'organisateurs qui se révèlent jusque dans les détails des entreprises dont les Romains ont réglé la marche.

Nous pouvons maintenant comparer entre eux les deux modes de construction que nous avons décrits, et rechercher les motifs qui, selon les cas, firent adopter l'un ou l'autre. Motifs de pure économie, comme on le verra, et qui montrent quelle large place les considérations pratiques occupaient dans l'esprit des architectes romains.

Ce que les Romains se proposaient avant tout, c'était de réduire les frais et de rendre l'exécution rapide; ils redoutaient dans leurs chantiers la moindre complication, la moindre entrave, et évitaient par principe, je dirais presque par système, tout travail menant d'une façon indirecte au but qu'ils avaient en vue. — Or la maçonnerie comprimée ne peut, dans bien des cas, s'appliquer qu'à la condition d'être exécutée dans des encaissements provisoires; en comprimant une masse de blocages toute pénétrée de mortier à demi fluide, on développe des poussées horizontales qui agissent dans le sens indiqué par les flèches de la figure suivante, c'est-à-dire tendent à renverser les parements du mur vers le vide.

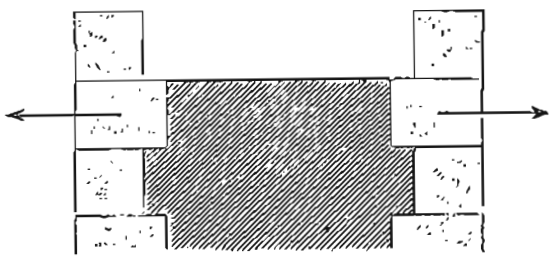


Fig. 3.

Si donc les parements ne présentent pas par eux-mêmes une bonne stabilité, il faudra, pour appliquer aux maçonneries qu'ils enveloppent une compression éner-

gique, armer le mur d'une charpente de défense, d'une sorte de blindage extérieur ou d'encaissement, et c'est là une complication dont les anciens cherchèrent à s'affranchir. — Voici, à cet égard, la règle qu'ils ont invariablement suivie : toutes les fois que les Romains devaient maçonner dans une enceinte très-résistante, ils profitaient des simplifications que comporte le système de la maçonnerie comprimée ; dans tous les autres cas, ils renonçaient au procédé par compression.

Cela explique, sans qu'il soit utile de rien ajouter au simple énoncé des conséquences, l'usage de la maçonnerie battue pour les massifs de fondations établis dans des tranchées à pic ; ainsi s'explique également l'emploi de la maçonnerie pilonnée dans les murs à parements composés de lourdes pierres de taille. — Au contraire, dans les murs ordinaires, les parements étaient trop minces et trop peu stables pour faire obstacle au renversement ; aussi la compression ne jouait aucun rôle dans l'exécution de ces murs ; il suffit de jeter un coup d'œil sur leurs parements pour comprendre qu'en effet le procédé par compression eût été impraticable.

Le revêtement d'un mur ordinaire en maçonnerie se compose de très-petits moellons cubiques arrangés de façon à dessiner par leurs joints des figures élégantes ou variées ; plus souvent encore, les parements étaient faits au moyen de briques triangulaires dont une coupe horizontale fera saisir l'arrangement.

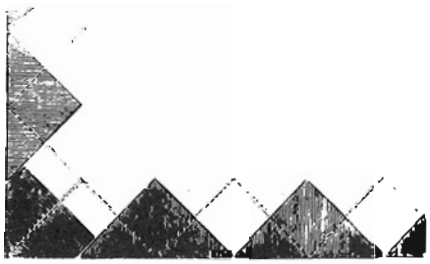


Fig. 4.

Ce système permettait d'obtenir, moyennant une dépense insignifiante, une liaison très-intime entre ces briques triangulaires et le noyau de maçonnerie brute ; mais le parement, bien loin de pouvoir arrêter un effort d'écartement exercé par ce noyau de maçonnerie (fig. 3), ne se tenait debout que par l'effet de son adhérence avec les remplissages : c'était une simple enveloppe, excellente pour protéger le mur contre les pluies, d'ailleurs absolument incapable de résister à une poussée agissant du dedans au dehors ; et, pour appliquer au remplissage qu'elle abrite le mode d'exécution usité

dans les tombeaux de la Voie Appienne (page 13, fig. 1), on eût été contraint d'accepter les complications qu'entraînent toujours avec elles les installations provisoires.

La règle concorde, on le voit, avec l'ensemble des faits; elle s'accorde également avec les indications des textes. Vitruve signale l'emploi de la maçonnerie comprimée dans deux cas seulement : 1° Il la recommande pour la construction des citernes souterraines; or, voici comment il en développe l'application (liv. VIII, chapitre dernier). On creusera dans le sol un fossé correspondant aux parois d'enceinte, et l'on y pilonnera soit du béton, soit de la maçonnerie semblable à celle que nous avons décrite; on videra ensuite la partie centrale de la citerne pour en exécuter le fond par pilonnage. — 2° L'autre exemple mentionné par Vitruve se rapporte à l'établissement des noyaux de maçonnerie formant remplissage entre des parements en pierre (liv. II, chap. VIII). — Dans les deux cas tout encaissement auxiliaire était évidemment inutile; et nous trouvons ainsi dans les textes de nouvelles vérifications à l'appui d'une règle théorique que le seul examen des ruines mettait d'ailleurs dans un jour très-suffisant.

Que les Romains aient connu et pratiqué la bâtisse par encaissement, cela ne semble donner lieu à aucun doute, et, entre autres textes très-formels, un passage de Varron (*de Re rust.*, liv. I, 14) montre qu'ils en ont fait usage au moins pour des clôtures en terre établies sans emploi de chaux, et qui ne pouvaient s'exécuter que par moulage. Peut-être ont-ils étendu, dans certains cas, ce procédé aux travaux de maçonnerie proprement dits, mais nulle part je n'en ai constaté l'application d'une manière assurée; et si la maçonnerie par encaissement fut employée chez les Romains, je voudrais du moins établir qu'elle ne prit jamais dans l'antiquité le caractère d'une méthode générale.

Je sais que l'aspect extérieur des édifices romains prête au premier abord un certain degré de vraisemblance à l'hypothèse qui les assimilerait à des massifs coulés dans des moules mobiles; des trous multipliés percent en effet ces murs à différents niveaux, et rappellent assez bien ceux qui marquent, dans nos constructions en pisé, la place occupée par les traverses en bois du coffrage.

Les moules servant à fabriquer ces sortes de constructions se composent habituellement de deux panneaux de planches portés à leur partie inférieure par des tra-

verses horizontales, et maintenus à une distance invariable par une liaison assez simple qu'un croquis me dispensera de décrire.

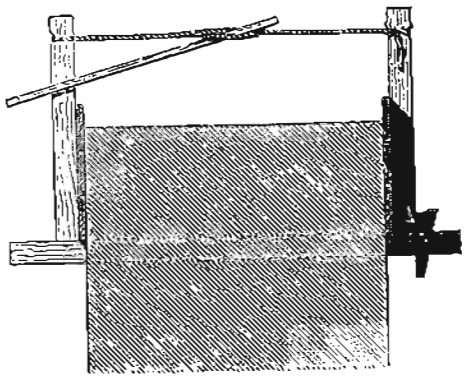


Fig. 5.

Les matériaux du mur sont entassés dans ces encaissements; les traverses qui portent les panneaux s'enlèvent après l'achèvement du travail et laissent au travers des murs des trous de même apparence que ceux des maçonneries romaines.

L'analogie de fabrication qu'on serait tenté d'admettre d'après cette ressemblance extérieure serait, je crois, très-hasardée; il serait inexact, en effet, de regarder ces cavités horizontales comme traversant régulièrement les murs antiques : le mur est-il mince[1], elles le pénètrent de part en part; le mur est-il très-épais, elles s'arrêtent d'ordinaire à une faible distance des parements [2], et rien alors n'autorise à penser qu'elles aient été remplies après coup dans leur partie centrale. — Il semble donc très-naturel d'admettre qu'elles ont contenu non la charpente d'un coffrage provisoire servant de moule aux maçonneries, mais le solivage des échafauds; c'étaient plutôt de simples boulins, où les madriers portant les planchers de service s'engageaient tantôt complétement, tantôt seulement par leurs extrémités. Ces cellules présentent l'empreinte exacte des solives qui les ont autrefois remplies. On voit, par la figure tortueuse de ces empreintes, combien les bois d'échafaudages étaient imparfaitement dressés et équarris; et l'espacement souvent fort inégal des cellules montre assez avec quelle précipitation ces solives ont été mises en place, avec quelle économie de soins et de travail l'échafaudage entier a été bâti. Mais ce qui frappe surtout, c'est l'irrégularité de forme qu'affectent les empreintes des bois d'échafaudages : ces empreintes sont quelquefois assez bizarrement contournées pour qu'on soit

[1] Villa Hadriana; murs rayonnants du Colisée dans le voisinage de l'arène.

[2] Thermes de Caracalla, basilique de Constantin, temple de Vénus et de Rome, thermes de Dioclétien.

en droit d'affirmer que les bois n'en sont jamais sortis; cette circonstance se remarque en particulier dans les murs d'un édifice antique conservé aux abords de la ville d'Autun, d'une grande tour carrée connue sous le nom de temple de Janus, et dont je donne ici une coupe horizontale.

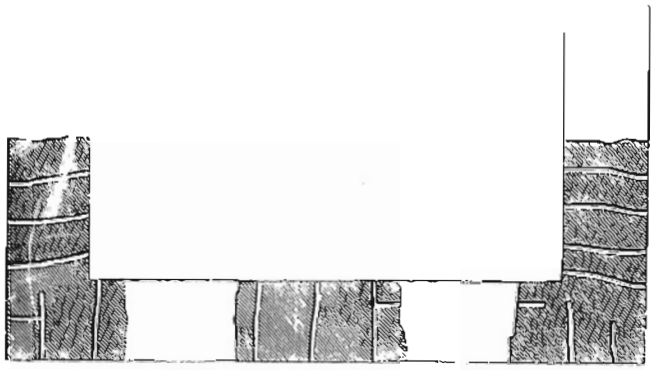


Fig. 6.

Plus ou moins accusée, suivant les cas, la pratique d'abandonner au milieu des maçonneries les solives d'échafaudages paraît avoir été constante chez les Romains. On choisissait pour porter les planchers de service des bois de peu de valeur, et, au lieu de les extraire après l'achèvement des travaux, on se bornait à les receper, à les scier à fleur des parements, de manière à se débarrasser seulement des extrémités en saillie sur la surface des murs. Les parties de madriers qui demeuraient ainsi enclavées au milieu des massifs de maçonnerie ont dû pourrir, à la longue, en laissant vide la place qu'elles ont autrefois occupée.

La présence de ces vides dans la masse des murs ne semble être qu'un détail de médiocre importance, et leur explication n'offre par elle-même qu'un intérêt secondaire; mais comme plusieurs observateurs ont cru voir dans les cavités des maçonneries des indices d'un système de construction différent de celui que j'ai décrit, il est peut-être utile d'insister davantage sur l'origine et le rôle que je leur attribue.

Supposons pour un instant que les bois logés dans ces cellules des murs antiques en eussent été extraits : les vides formés par leur suppression auraient été comblés par des remplissages quelconques dont il resterait des vestiges; les pluies étaient sans action sur ces remplissages; et rien, d'ailleurs, ne les sollicitait au glissement, puisque les cellules étaient horizontales; assurément, ils se retrouveraient s'ils avaient jamais existé; et le moyen d'expliquer leur absence, c'est d'admettre que les solives

d'échafaudages soient restées dans l'intérieur des murailles et qu'elles aient pourri sur place. — Ce dernier fait admis, il devient aisé de rétablir par la pensée les dispositions originelles des murs romains : un dessin théorique les résumera toutes.

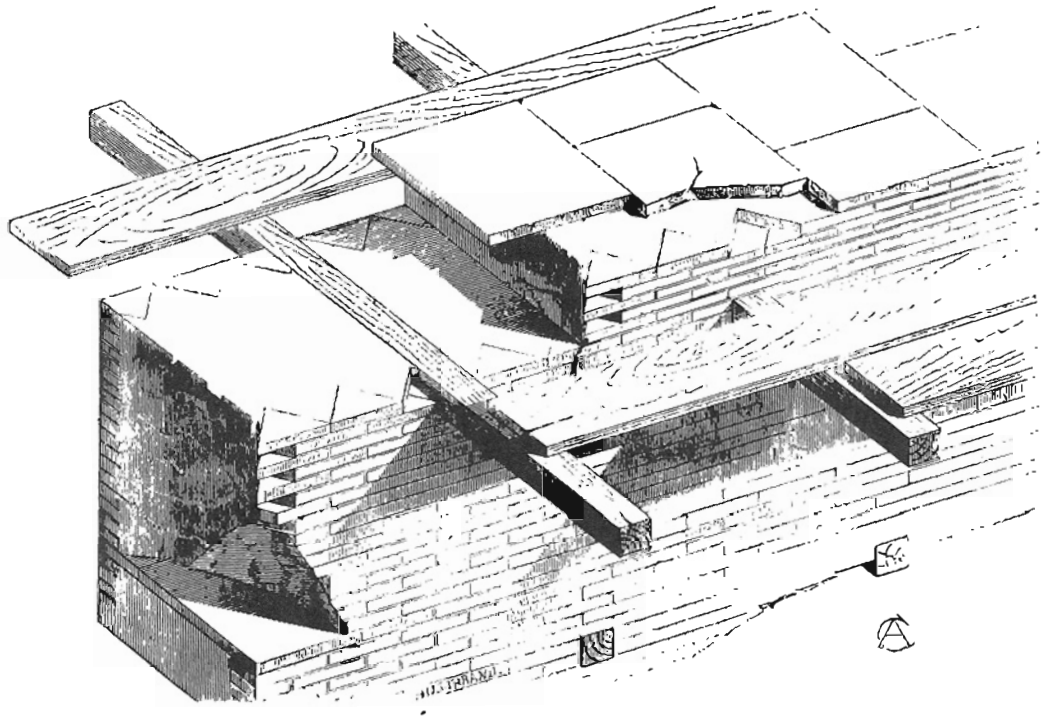


Fig. 7.

J'ai tâché, en traçant cette figure, de mettre en relief l'aspect que les madriers enclavés présentent tour à tour pendant l'exécution des travaux et après leur achèvement. Inutile d'insister sur leur rôle pendant les travaux, la figure est assez explicite à cet égard; le fait important que je tiens à signaler, c'est leur abandon dans l'épaisseur des murs.

La pratique qui consistait à laisser ainsi des pièces de charpente au milieu des murs en maçonnerie peut paraître étrange, parce qu'elle est en désaccord avec les usages de la construction moderne; mais elle est assurément trop judicieuse pour qu'on soit en droit de la regarder comme invraisemblable.

D'abord, en sciant les solives d'échafaudages à fleur des parements au lieu de les retirer, on mettait les maçonneries à l'abri des ébranlements que l'extraction eût forcément causés; il eût fallu, pour dégager ces morceaux de bois souvent gauches et de figure sinueuse, exercer sur eux des chocs, ou les arracher de force en s'exposant à

compromettre la prise des mortiers encore mal consolidés; dès qu'on renonce à les extraire, on échappe à toutes ces chances d'ébranlement. — Et d'ailleurs, le sacrifice de ces bois n'entraîne pas, à vrai dire, une perte, car nous connaissons la qualité moins que médiocre des solives employées par les anciens comme supports de leurs échafaudages.

Mais le principal mérite des madriers enclavés dans les murs, c'était d'en relier les deux parements ensemble : ces tronçons de bois dirigés d'un parement à l'autre rappellent par leur disposition les longues pierres transversales que les appareilleurs ménagent, sous le nom de parpaings, dans les murs en matériaux réguliers, pour établir une liaison entre les blocs. Et ce n'est pas là un rapprochement de pure fantaisie : l'analogie est de tout point exacte, et le rôle des solives passantes dans ces constructions en blocage était bien réellement le même que celui des parpaings dans les murs en pierre de taille; la forme des pièces, leur position, leur adhérence avec les deux parements, tout est semblable de part et d'autre. Si, d'ailleurs, le témoignage des écrivains était nécessaire ici pour conclure de l'analogie des formes à la similitude des rôles, un texte très-clair de Vitruve mettrait au besoin hors de doute l'hypothèse que je viens d'émettre : — il s'agit de l'établissement d'une ville : « Dans l'épaisseur des maçonneries, dit-il, il convient d'encastrer des madriers de bois d'olivier légèrement charbonnés, qui traversent la masse de part en part, de manière à relier, à clouer en quelque sorte les deux parements l'un à l'autre. » (Liv. I, chap. v.)

Et Vitruve, après avoir expliqué sa préférence pour le bois d'olivier (qui, dit-il, se décompose moins que les autres à l'humidité), ajoute : « Non-seulement les murailles de défense, mais encore les fondations et les parois auxquelles il faudra donner une très-grande épaisseur, liaisonnées comme il vient d'être dit, résisteront longtemps aux causes d'altération. »

Je n'ai besoin de rien ajouter à une déclaration aussi formelle. Bien loin d'infirmer notre explication, Vitruve la précise et la complète; les anciens songeaient si peu à extraire des massifs les bois d'échafaudage accidentellement engagés, qu'il leur arrivait de disposer à dessein dans l'épaisseur des murs des parpaings de bois, lors même que le besoin de porter les planchers de service n'aurait pas conduit à noyer ainsi des madriers au travers des massifs.

Les parpaings de bois formaient donc une première liaison dans l'épaisseur des maçonneries; mais les Romains en pratiquaient une autre plus efficace comme aussi plus coûteuse : c'était de traverser les murs à divers niveaux par des assises isolées de

très-grandes briques, dont l'effet était de rattacher ensemble les deux parements. Les briques qu'ils employaient à cet usage étaient ordinairement des carreaux de 60 centimètres environ (2 pieds antiques) de côté, sur 4 à 5 centimètres d'épaisseur. J'ai cherché, dans la figure 7 (page 25), à faire sentir le rôle et la disposition qu'affectent ces grandes briques dans les murs des anciens : elles y forment pour ainsi dire des lits réguliers d'arasement, qu'on peut comparer à des carrelages horizontaux empâtés dans la masse. Dans la plupart des murs, ces carrelages étaient simples en épaisseur ; quelquefois deux ou trois carrelages se superposaient les uns aux autres, mais ce luxe de construction était rare; on se contentait plus souvent d'assises simples en carreaux de terre cuite, qui traversaient horizontalement les murs à des intervalles successifs compris entre 1m,50 et 3 mètres; tout le mur, dans l'intervalle de deux étages de grandes briques, consistait en une maçonnerie exécutée sans compression ; en d'autres termes, la masse du mur entre deux arasements successifs se composait d'assises de pierrailles alternant avec des lits de mortier, et enfermées entre des parements légers en briques triangulaires ou en moellons de très-petit échantillon.

La grandeur extraordinaire des carreaux composant ces assises isolées qui revenaient dans les maçonneries antiques à des intervalles égaux, par exemple de vingt en vingt lits, s'explique suffisamment par le rôle de liaison que les anciens attribuaient à ces assises elles-mêmes. Mais il ne semble pas aussi facile de justifier l'extrême petitesse des moellons constituant les assises intermédiaires : on comprend fort bien que les Romains aient réduit les cailloux en très-menus fragments, quand il s'agissait de faire filtrer entre eux du mortier par battage; on s'explique également bien que les modernes fractionnent leurs pierres en petits éclats, lorsqu'ils veulent les mêler au mortier pour en faire du béton : la division des matières en rend le mélange, le corroyage plus facile. Mais, ici, ne suffisait-il pas que les moellons employés pussent être posés à la main sans effort? Il semble étrange de voir les Romains s'astreindre à cette singulière sujétion, de n'employer pour ainsi dire aucun fragment dépassant en volume une certaine moyenne qu'on peut évaluer, par approximation, à 1 décimètre cube au plus. — Vitruve, heureusement, a pris soin de nous l'expliquer : « Quelque espèce de maçonnerie qu'on emploie, dit-il dans ses généralités sur la construction (liv. II, chap. VII), on doit faire les remplissages en cailloux très-menus, afin que les murs, pénétrés dans toutes leurs parties et comme abreuvés de mortier de chaux et sable, se conservent plus longtemps. » Vitruve revient d'ailleurs plusieurs

fois, dans le cours de son traité, sur cette même prescription, à laquelle il semble attacher une importance capitale. Ainsi, à propos du mode de construction des temples (liv. IV, chap. IV) : « Si la cella doit être en maçonnerie, qu'elle se compose de fragments de pierre aussi petits qu'il sera possible. » Et cette idée était si peu personnelle à Vitruve ou propre à son siècle, que nous la trouvons appliquée dans les monuments des plus bas temps de l'art romain, et énoncée dans le plus ancien document écrit qui nous reste sur les procédés de la construction romaine. Cent ans environ avant Vitruve, un marché de travaux publics, qui nous a été conservé par une inscription en vieille langue latine, connue sous le nom de « Lex puteolana parieti faciundo, » énonce dans les termes les plus précis une limite de grosseur que ne devront point excéder les matériaux destinés à la restauration d'un mur en maçonnerie dépendant du temple de Sérapis, à Pouzzoles : « Que l'entrepreneur n'emploie pas en maçonnerie de pierre cassée plus lourde que celle qui pèse sèche... etc. » Ce règlement, dont la date est fixée sans aucune contestation possible par les noms des consuls, remonte à l'an 104 avant notre ère; il précède de beaucoup tous les monuments romains de date certaine où la construction en petits matériaux se trouve appliquée; et les Romains ne se sont jamais départis, au moins dans leurs grands édifices, des sages précautions qu'il énonce.

Ces divers textes montrent la constance du procédé et l'importance que les anciens lui attachaient; mais le premier seul nous en fournit la raison. Des pierres dont le volume est considérable par rapport à celui du mortier interposé entre elles, dessèchent rapidement le mortier et le réduisent à un état pulvérulent, « elles le brûlent; » et c'est pour éviter les effets désastreux de ce desséchement brusque, que les anciens divisaient les pierres en très-petits éclats et les englobaient dans des masses de mortier assez abondantes pour que l'absorption de l'humidité par les pores fût sans danger. Cette précaution était surtout utile à Rome, où les matériaux ordinaires étaient des tufs d'origine volcanique, spongieux et très-avides d'humidité; on pourrait presque affirmer, en suivant par induction l'ordre d'idées indiqué par Vitruve, que ces matériaux n'étaient mis en œuvre qu'après avoir été rendus moins absorbants par une immersion préalable; cela s'accorde d'ailleurs très-bien avec les termes du Marché de Pouzzoles, qui, en indiquant le poids des moellons « secs, » semble faire allusion à la pratique de les immerger avant l'emploi.

Tels sont dans leur ensemble les procédés de la maçonnerie romaine. Variables,

d'ailleurs, dans leurs détails, suivant la nature des matériaux, ces procédés se transforment pour ainsi dire à l'infini, et n'ont souvent, d'un point à l'autre de l'Empire, d'autre analogie qu'une évidente communauté de principes. Il convenait donc de nous borner à quelques vues générales, sans nous astreindre à poser des règles précises dont le simple énoncé aurait, par sa forme absolue, impliqué une idée fausse. Une semblable réserve nous sera commandée dans toute la suite de cette étude, et notre but, en présentant le tableau des méthodes romaines, sera moins de réduire ces méthodes en formules que de faire apercevoir les idées dominantes qui présidaient à leur application. Au point où nous sommes parvenus, nous n'avons rempli que la plus faible partie de ce programme : le mécanisme seul de la bâtisse antique nous est connu. Nous avons étudié, pour ainsi dire, le métier des constructeurs ; l'examen des applications reste tout entier à faire. Nous l'aborderons dans le chapitre qui va suivre, et les développements où nous devrons entrer fourniront plus d'une occasion de compléter par de nouveaux détails un exposé de méthodes déjà long et pourtant trop sommaire.

CHAPITRE II

CONSTRUCTION DES VOUTES EN MAÇONNERIE

Les voûtes maçonnées ne furent nulle part d'un usage aussi général que chez les Romains : les ruines sont remplies de leurs débris, partout des massifs de blocage hardiment jetés sur le vide couvrent l'espace des salles antiques; ou, tout au moins, des fragments de maçonnerie en surplomb sur les parements des murs subsistent comme des témoins de la structure primitive, et marquent pour nous la disposition des voûtes que le temps a détruites. Ces voûtes en petits matériaux se diversifient, pour ainsi dire, à l'infini : on les voit tour à tour abriter des enceintes rectangulaires, des rotondes, des exèdres, des surfaces polygonales; exécutées par moulage, elles se prêtaient également bien aux plans les plus variés et aux exigences les plus multiples de la distribution. D'ailleurs plusieurs d'entre elles semblaient faites pour défier les siècles, et la majestueuse simplicité de leurs formes donnait aux édifices une grandeur sévère qui convenait aux monuments de la puissance romaine : jamais mode de bâtisse ne fut mieux approprié aux besoins matériels ou moraux d'un peuple; et l'on s'explique que les Romains aient fondé sur l'emploi d'un semblable système leur architecture tout entière.

C'est un problème aussi ancien que l'art de bâtir, de remplacer les charpentes en bois par des ouvrages à la fois plus solides et plus durables; mais, avant l'apparition des voûtes maçonnées, aucune solution vraiment pratique n'était connue. Les

dallages ou les plates-bandes en pierre des temples de l'Égypte ou de la Grèce exigeaient des matériaux d'une extraction pénible et d'un maniement coûteux. On trouve dans les architectures primitives quelques voûtes faites de rangées de pierres surplombant progressivement les unes par rapport aux autres ; on trouve même des voûtes composées de claveaux dont les joints convergent vers un axe horizontal ; mais, par ignorance ou par système, les constructeurs de ces premiers âges posaient presque toujours les claveaux de leurs voûtes à sec, sans intercaler entre deux blocs aucun ciment, aucun mortier, aucune matière servant à compenser les irrégularités de la taille. De là l'obligation de donner aux pierres employées une forme très-correcte, de là des difficultés pratiques qui devaient évidemment limiter les applications dont les voûtes appareillées eussent été susceptibles. Les Étrusques sont parmi les anciens peuples celui chez qui les voûtes d'appareil furent le plus usitées ; pourtant ils n'en firent eux-mêmes qu'un usage très-restreint : ils voûtaient les égouts, les émissaires souterrains servant à dessécher les plaines humides, les aqueducs, les portes des villes ; mais, dans les édifices étrusques affectés aux besoins de la vie ordinaire, ou même dans les édifices destinés au culte, la construction voûtée ne fut jamais régulièrement suivie ; on employait des poutres en bois telles que celles du temple toscan décrit par Vitruve, ou des architraves en pierre semblables à celles que simulent les façades taillées dans le roc de quelques monuments parvenus jusqu'à nous.

Quant aux Grecs, malgré leurs rapports incessants avec l'Étrurie, il ne paraît pas qu'ils aient jamais songé à reproduire les types de voûtes à joints convergents employées par les Etrusques. On rencontre dans les édifices primitifs de la Grèce, à Mycènes, et surtout dans l'île d'Eubée, des voûtes par encorbellements successifs, mais les voûtes composées de claveaux convergents ne furent point admises par les Grecs avant la conquête romaine : les formes de la bâtisse par plates-bandes avaient fourni à leurs architectes la plus haute expression des idées d'ordre et de régularité ; aussi les Grecs s'étaient attachés à ces formes comme à la plus belle création de leur génie : elles faisaient en quelque sorte partie de leur gloire nationale, et ils les observèrent tant que dura leur indépendance. Ils assistèrent donc sans y prendre part à la formation de la bâtisse voûtée, et laissèrent aux architectes de l'Italie l'honneur de généraliser ce système en le rendant simple et pratique par l'emploi de petits matériaux artificiellement agrégés.

Que les Romains soient ou non les inventeurs des voûtes maçonnées, c'est-à-dire

faites de pierres agglomérées par des mortiers, du moins aucun peuple avant eux n'avait songé à construire les voûtes à grande portée en maçonnerie de menus matériaux. Eux-mêmes semblent avoir longtemps négligé ou ignoré les ressources que cette construction pouvait offrir; et nous ne la trouvons régulièrement usitée que vers la fin du dernier siècle avant l'ère chrétienne: elle paraît s'être développée pendant la période de prospérité matérielle qui suivit l'achèvement des conquêtes lointaines et l'apaisement des discordes civiles. Ses progrès furent alors extrêmement rapides; une véritable révolution s'accomplit dans l'art de bâtir. Les voûtes une fois adoptées pour les grandes salles des édifices entraînèrent à changer l'arrangement entier des plans; les points d'appui, soumis à des efforts d'un nouveau genre, durent affecter des formes autrefois inusitées; il fallut modifier le groupement des salles pour ménager un contre-butement énergique aux poussées des voûtes. Jusque-là les constructeurs avaient pour ainsi dire vécu sur le fonds de la Grèce et de l'Étrurie: à cette époque seulement les procédés de bâtisse se dégagent des entraves de la tradition; tout un système de construction vraiment romain prend naissance, ou du moins se régularise et s'étend.

Sans doute cette transformation qui s'accomplit aux dernières années de la république s'était depuis longtemps préparée: mais, soit que les premiers exemples de la construction voûtée en maçonnerie aient disparu pendant le long intervalle qui nous sépare des Romains, soit plutôt que ces constructions primitives aient fait place aux somptueux édifices élevés par les empereurs, les traces de cette intéressante série d'essais et de perfectionnements qui précédèrent l'époque d'Auguste se sont pour ainsi dire effacées: le Panthéon se présente à nous en même temps comme le chef-d'œuvre de l'art romain et comme un des premiers monuments de son histoire; et les exemples de date antérieure sont trop rares ou trop incertains pour accuser les progrès successifs de l'art de bâtir sous la république romaine. Nous ne chercherons pas à rétablir par conjectures le tableau de ses origines: nous examinerons immédiatement les voûtes en maçonnerie dans leur état de complet développement; nous décrirons les circonstances de leur construction, et nous essayerons de rattacher cet ensemble de faits à un petit nombre d'idées simples qui semblent dominer tout le système de la bâtisse voûtée chez les Romains.

Si l'on jette les yeux sur un monument romain voûté en maçonnerie, si l'on examine par exemple une de ces longues files d'aqueducs qui sillonnent la campagne de Rome, on aperçoit des arcs de tête en briques ou en moellons dont les joints convergent vers un centre commun, puis, derrière ces arcs de tête, une maçonnerie brute faite de fragments de tuf ou de débris de tuileaux, et qui ressemble à du béton. Une masse compacte de blocages comprise entre deux parements à joints convergents, telle est la construction que semble révéler une inspection sommaire des ruines. Mais si l'on observe de plus près ces massifs d'apparence entièrement brute, on découvrira incrustées en eux des chaînes d'une structure toute différente, de véritables nervures engagées, quelquefois des réseaux entiers de briques formant dans le corps des blocages une charpente interne, une sorte de squelette léger, qui se ramifie, se subdivise et s'étend au milieu des maçonneries grossières dont il est enveloppé.

Il ne faudrait pas voir dans l'ossature d'une voûte une série d'arceaux résistants, construits en même temps que les blocages et destinés à les renforcer, quelque chose en un mot d'analogue aux chaînes en pierre des édifices modernes. Les chaînes en briques noyées dans les voûtes romaines furent établies les premières, et les maçonneries brutes furent faites ensuite, ainsi que l'indique la discordance des lits de remplissage et des lits de l'ossature (fig. 8).

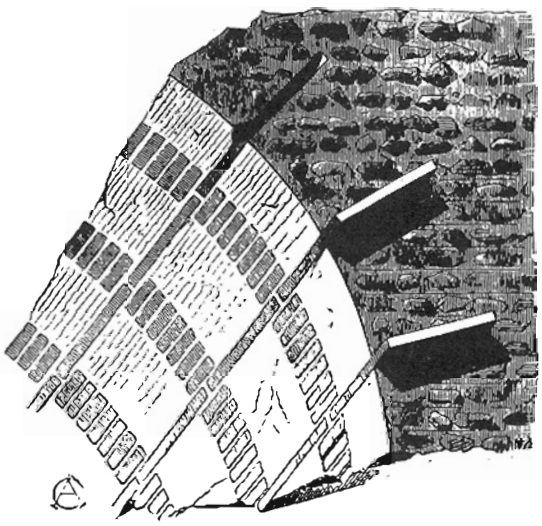


Fig. 8.

Cette ossature légère, cette carcasse engagée dans les voûtes se compose, aussi bien que les arceaux de tête qui la terminent, de briques à joints convergents, et à ce point

de vue sa constitution ressemble, dans une certaine mesure, à celle de nos voûtes en maçonnerie : mais là s'arrête l'analogie ; et si nous cessons d'envisager la charpente intérieure des voûtes pour observer les blocages mêmes, nous trouverons dans leurs massifs une simplicité de structure qui sort entièrement des habitudes de la construction moderne.

Le nom de voûte éveille l'idée d'une construction dont les joints se dirigent vers un centre commun : et cette idée répond en effet à la composition des voûtes romaines faites en pierres de taille posées à joints vifs ; elle convient également, ainsi que nous venons de le dire, à ces arcs en brique qui se trouvent enfermés comme une carcasse solide au milieu des massifs ; mais appliquée à ces massifs eux-mêmes, elle serait entièrement erronée : les assises composant le corps d'une voûte romaine en maçonnerie brute, gardent, de la naissance au sommet, l'horizontalité la plus exacte : et, à voir ces assises marquées par leurs traces dans les déchirures des ruines, on songe presque involontairement aux lits de niveau qui se dessinent quelquefois avec une netteté si parfaite dans les coupes de terrains stratifiés. Une semblable disposition des joints est assez insolite pour qu'il paraisse utile de la préciser par une traduction graphique : je rapproche donc, dans deux esquisses comparatives l'aspect intérieur des voûtes construites suivant l'un et l'autre système :

Une voûte moderne aurait ses joints dirigés conformément aux indications de la première de ces deux figures.

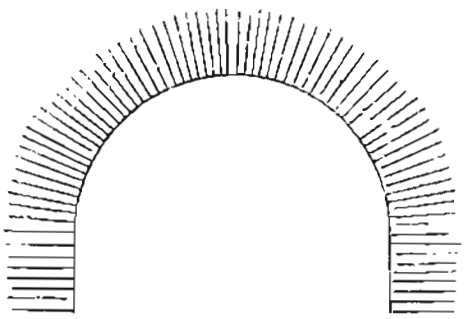


Fig. 9.

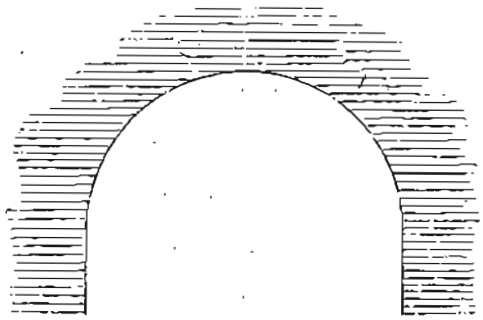


Fig. 10

C'est également sous cette forme que se disposent les joints dans une voûte romaine appareillée et construite à pierres sèches.

Au contraire, dans une voûte romaine en petits matériaux maçonnés, la direction des joints est invariablement celle que représentent les hachures dans la seconde des coupes théoriques qui précèdent (fig. 10).

— Ainsi les Romains, selon qu'ils bâtissaient en pierre de taille ou bien en cailloux maçonnés, donnaient aux joints une convergence régulière ou bien un parallélisme rigoureux. Ces deux pratiques inverses n'impliquent d'ailleurs aucune incohérence, aucune contradiction dans les méthodes antiques, car les conditions d'équilibre des voûtes à pierres sèches et celles des voûtes maçonnées diffèrent profondément entre elles :

Dans un cas, les pierres ne tiennent qu'à raison de leurs formes, et il faut donner à leurs joints des directions convergentes; dans l'autre cas, la matière d'agrégation fait de tout l'ensemble un bloc unique, où les lits de mortier et les couches de pierres se trouvent confondus en une masse homogène et continue : la direction de ces assises est donc à peu près indifférente au point de vue de la stabilité; et les Romains ont mis cette circonstance à profit pour introduire dans leurs travaux une importante simplification : ils se sont résolûment affranchis de toutes les sujétions que peut entraîner la convergence des lits. — De cette sorte, le massif de leurs voûtes n'est autre chose qu'une continuation des piédroits en surplomb sur le vide : supprimez l'ossature qui se trouve empatée dans les blocages, il restera une maçonnerie entièrement semblable quant à la direction des assises à celle des murailles mêmes qui la supportent.

— Nous avons dit, à l'occasion des murs antiques, que les Romains avaient à leur disposition deux sortes de maçonnerie, la maçonnerie non comprimée, et la maçonnerie battue; et nous avons observé que la première seulement était admise pour la construction des murs à parements de briques minces, parce que seule elle peut s'exécuter sans ouvrages auxiliaires, encaissements ou blindages mobiles. Des considérations de même ordre s'appliquent aux voûtes, et permettent de prévoir lequel des deux genres de maçonnerie dut leur être appliqué. Pour les voûtes, on ne pouvait se soustraire à l'établissement d'un moule intérieur, d'un noyau donnant aux blocages la forme qui leur convenait : mais, si ce moule, si ce noyau était inévitable, en d'autres termes, s'il fallait à une voûte un cintrage, au moins pouvait-on s'attacher à rendre peu coûteuse l'installation de ce cintrage : et cette condition dut fixer le choix des Romains entre les deux systèmes de maçonnerie qui se trouvaient en présence. S'ils avaient employé le système de la maçonnerie battue, pilonnée, ils auraient exposé les cintres à des trépidations capables d'en ébranler les assemblages; mais, avant tout, cet emploi aurait eu pour effet de soumettre la charpente des cintres à de violentes déformations : les

cintres se seraient trouvés resserrés (fig. 11) dans la région voisine des naissances, et, en même temps, les parements extérieurs auraient été sollicités à se déverser vers le dehors :

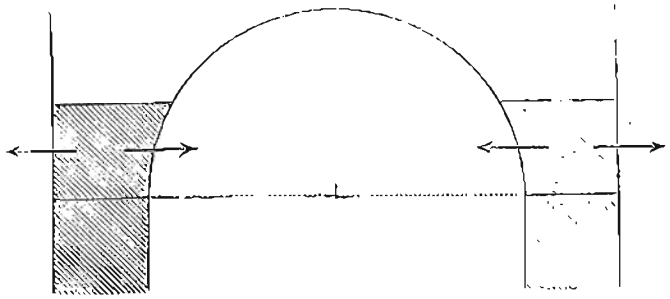


Fig. 11.

Pour résister à de pareils efforts, ce n'était pas seulement un cintrage intérieur qu'il aurait fallu établir, mais encore un encaissement extérieur ; cintre et encaissement, toutes les parties de la charpente provisoire auraient dû offrir une rigidité extrême pour s'opposer aux efforts d'écartement et à l'action incessante des chocs : en face de ces difficultés, le parti le plus sage était évidemment de renoncer à la construction par pilonnage.

Ainsi raisonnèrent les architectes romains : la maçonnerie de leurs voûtes, partout où j'en ai pu constater la nature, est exécutée exactement suivant les mêmes procédés que celle des murs ordinaires. Quelquefois les matériaux des voûtes sont plus légers que ceux des murs, mais le mode d'emploi est le même dans les deux cas : la maçonnerie des voûtes n'est jamais comprimée.

Quoique le genre de construction eût été choisi en vue de ménager le cintrage, les actions exercées par les voûtes sur leurs supports ne laissaient pas d'être, dans certains cas, très-énergiques. Tant que les massifs s'élevaient peu au-dessus des naissances, ils se soutenaient, à très-peu près, par eux-mêmes ; leurs assises en encorbellement successif se reliaient en effet au prolongement vertical des piédroits, comme une sorte d'appendice ABS en surplomb, encastré suivant AB (fig. 12) ; la forme de cette partie ABS ne différait pas notablement du profil théorique qui convient à un solide encastré dans un mur et soumis à la seule action de son poids, et par suite l'étaiement n'en était ni difficile ni coûteux. La voûte aurait pu au besoin, dans cette région inférieure, se passer d'échafaudages de soutènement, il suffisait

qu'un gabarit donnât à ses parements la forme, la courbure qu'ils devaient affecter.

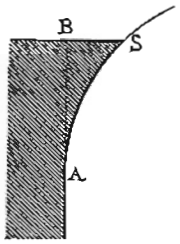


Fig. 12.

Mais cette facilité d'exécution diminue à mesure que la voûte s'élève; sa partie en surplomb presse progressivement sur les cintres, et la charge croît avec une extrême rapidité dès qu'on approche du sommet. Bientôt la voûte se présente comme une masse demi-fluide appuyant de tout son poids sur les ouvrages qui la portent; les cintres, qui tout à l'heure étaient presque superflus, réclament en ce moment une résistance énergique et d'autant plus parfaite que les voûtes doivent être plus compactes et plus massives ; or les voûtes romaines n'étaient jamais légères : la structure grossière de leurs blocages commandait de leur donner des dimensions parfois énormes.

Bien plus, il importait d'étayer cet amas de matériaux encore mal agrégés par des supports incapables de fléchir. Grave difficulté, car le moindre affaissement, laissant en porte-à-faux des maçonneries en voie de consolidation, eût entraîné dans le blocage des mouvements intérieurs, peut-être même une entière rupture.

Dans une voûte ordinaire en claveaux convergents, les tassements des cintres, quoique regrettables, sont rarement désastreux : quelques lits de mortier s'ouvriront peut-être, mais la stabilité de l'ouvrage ne tient pas exclusivement à la solidité de ces joints; le mortier, dans ces sortes de voûtes, sert avant tout à régulariser, à transmettre les pressions : ce n'est pas une matière d'agrégation, c'est un simple matelas interposé entre les claveaux; que ce mortier vienne à se fendre ou même à disparaître, l'existence de la voûte ne sera pas nécessairement compromise : et sa présence est si peu nécessaire que les anciens ne l'ont jamais employé dans leurs constructions d'appareil.

Mais dans les voûtes maçonnées, telles que les anciens les entendaient, le rôle du mortier n'a plus ce caractère accessoire : c'est lui, et lui seul, qui établit un lien

entre les éléments de la bâtisse ; ce lien une fois détruit, il ne restera qu'une sorte de monolithe brisé, un massif en ruine.

Ainsi, pour bâtir une voûte romaine en petits matériaux, il fallait assurer aux cintres une invariabilité absolue : c'était là, pour ainsi dire, la première condition du succès ; et cette condition de rigidité ne pouvait être que bien difficilement remplie en faisant usage de simples cintres en charpente. Exagérer la masse des bois, multiplier les assemblages, en rendre la précision parfaite, ce n'est pas résoudre entièrement la difficulté : les bois, même les mieux assemblés, jouent, travaillent, se tourmentent au moindre changement de température ; et une voûte monolithe, incapable de suivre dans ses déformations la charpente qui lui a servi de moule, sera sans cesse menacée, par suite du retrait ou des affaissements éventuels des cintres, de se trouver sans appui.

J'ajoute qu'une semblable importance donnée à des ouvrages provisoires serait étrange de la part des constructeurs romains : habitués à n'envisager comme des travaux vraiment utiles que ceux qui durent, habitués surtout à rechercher les solutions simples, on s'étonnerait de les voir, dans un cas unique, admettre des ouvrages auxiliaires si compliqués et si coûteux.

Si enfin on tient compte de la composition des chantiers antiques, on sera ramené, par une voie différente, à la même conclusion. Les Romains, qui disposaient sur tous les points de leur empire d'un nombre illimité de bras, ne trouvaient pas partout avec une égale facilité des ouvriers à qui pussent être confiés de grands travaux de charpente. Lorsque des massifs à construire exigeront une simple dépense d'efforts matériels, il sera aisé de recruter des manœuvres chez les populations soumises, dans les armées, parmi les esclaves. Mais, dès qu'il s'agira de constructions savantes et difficiles — telles que des cintres rigides et indéformables — alors les ressources d'exécution deviendront plus restreintes; obligés de réunir à grands frais une multitude d'artisans habiles, les architectes devront en outre se résigner à d'inévitables lenteurs. Et quand, à force d'argent et de temps, ils seront arrivés à mettre en œuvre des forêts entières pour porter sans chances d'affaissements les blocages de leurs grandes voûtes, au lendemain des travaux toutes les dépenses de cette installation provisoire seront pour ainsi dire perdues, tout cet attirail ruineux disparaîtra sans laisser de traces. Ce sacrifice d'une main-d'œuvre coûteuse et pénible répugnait à l'esprit pratique des Romains; ils cherchèrent à s'y soustraire, et leurs efforts pour échapper en partie à la sujétion des cintres provisoires leur suggérèrent l'idée ingénieuse autant

que simple de donner aux voûtes cette sorte de charpente intérieure en briques qui en soutenait les masses pendant la construction et empêchait les maçonneries de presser sur les cintres avec toute l'énergie de leur poids.

Les premières planches annexées à ce mémoire donnent l'aspect général des diverses ossatures de voûtes en les montrant engagées dans les massifs qu'elles ont portés, et les esquisses réparties dans le texte préciseront les détails de leur structure : mais on peut dès à présent concevoir, au moins d'une manière générale, la nature et l'importance de leur rôle.

Je prends parmi les diverses espèces d'armatures un type simple, et j'essaye de reproduire dans la figure suivante l'aspect des chantiers pendant l'exécution des travaux :

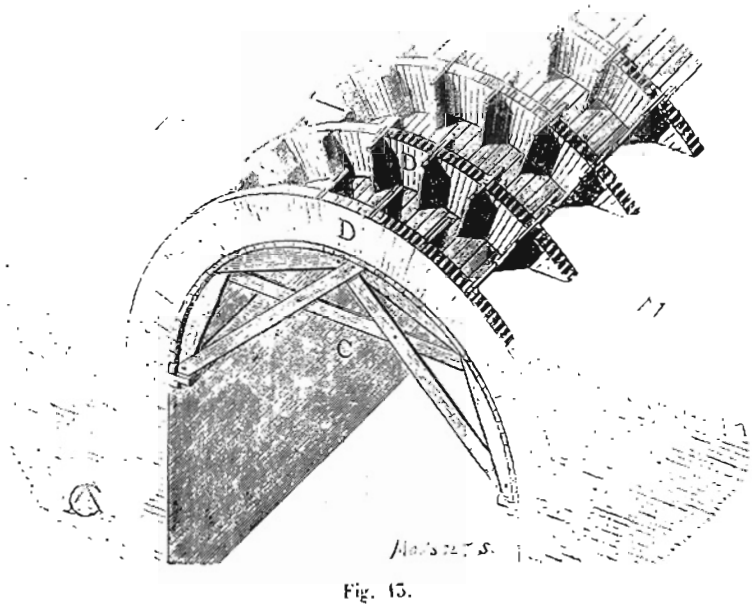


Fig. 15.

On distingue, dans la figure, des cintres provisoires C, une carcasse légère en briques D, portée directement sur ces cintres, et enfin des massifs de blocage M, qui, après leur achèvement, formeront la voûte proprement dite.

Dans le système de la bâtisse moderne, les cintres provisoires C auraient étayé la voûte tout entière ; ils auraient dû être très-résistants, donc très-coûteux. Ici, au contraire, les cintres en bois ne supportent pour ainsi dire que le squelette D de la voûte : différence capitale, qui permettra de réduire la résistance de ces cintres dans le rap-

port des charges à soutenir, c'est-à-dire d'en diminuer la force — et, par suite aussi, la dépense — dans une très-notable proportion.

L'oubliée de cette claire-voie résistante qui la revêt et la protége, la charpente provisoire C se trouve mise à l'abri de toute action destructive; elle donnera son empreinte aux massifs, mais sans en subir le poids; une fois en place, l'armature en briques de la voûte en est devenue le vrai cintre : cintre essentiellement durable, qui se retrouve dans la masse des constructions, fait corps avec elles, et concourt, au même titre que la maçonnerie brute, à la solidité et à la conservation de l'œuvre.

Ce second cintrage en briques ainsi incorporé aux massifs coûte assurément plus cher que la portion de blocage dont il tient la place : mais combien ce surcroît de dépense paraîtra négligeable, si on le met en parallèle avec l'économie qui en résulte sur la charpente provisoire! — Et, du reste, le surcroît de dépense, envisagé en lui-même, avait une bien médiocre importance.

Les matériaux dont les armatures se composent consistent simplement en briques — de grande dimension il est vrai — mais dont la fabrication était peu dispendieuse aux environs de Rome.

— D'un autre côté, ces briques, malgré leur bas prix, étaient employées avec une épargne vraiment remarquable :

Au lieu de donner au revêtement qui double et renforce les cintres la forme d'une voûte continue, nous avons vu que les Romains le réduisaient à un réseau ajouré, supprimant de la sorte près de la moitié des briques qui eussent été nécessaires pour former une enveloppe continue autour des cintres (pl. I).

Souvent ils se bornaient à des chaînes isolées, pour ainsi dire à des arcs-doubleaux noyés dans l'épaisseur des blocages (pl. II, III, VII, VIII, IX, X, XI). Et ces arcs-doubleaux, ce n'est pas en maçonnerie compacte qu'ils sont faits; ils ne sont jamais pleins, mais évidés en tous sens, ce sont des claires-voies de briques tapissant de distance en distance des zones étroites de la voûte.

Enfin, dans certains cas, pour atténuer la dépense qu'entraîne à raison de son épaisseur une voûte en briques de champ, les Romains construisaient des armatures en briques posées à plat et formant sur la surface des cintres une sorte de carrelage courbe (planche IV, fig. 1). Quelquefois deux carrelages de cette espèce se superposaient l'un à l'autre : mais alors le second était ordinairement discontinu (planche IV, fig. 3). Il était impossible de pousser l'économie plus loin dans l'emploi de la matière.

Quant à la dépense de main-d'œuvre, elle était moindre qu'on ne serait porté à le

croire d'après les combinaisons ingénieuses et, dans certains cas, recherchées, que les dessins indiquent : tout était exécuté de la façon la plus rapide, je dirais presque la plus grossière. En présence d'un monument romain, on sent que les ouvriers de l'antiquité étaient parvenus, à force de pratique, à monter les nervures en briques des voûtes d'une manière courante, et à réaliser en elles toutes les économies de temps et de soins compatibles avec la nature du travail : l'aspect de ces ouvrages auxiliaires accuse l'exécution la plus précipitée ; et l'incorrection des formes y est quelquefois si grande, que j'ai dû, pour rendre intelligible la pensée des constructeurs, attribuer dans mes dessins une régularité aux armatures, que l'examen des ruines pourrait dans plus d'un cas démentir.

Gardons-nous toutefois de reprocher aux Romains une négligence inconsidérée : ici, un travail accéléré au point de devenir incorrect était peut-être un mérite bien plus qu'un défaut. Dans les ouvrages auxiliaires de la bâtisse, toute dépense de temps qui n'est pas rigoureusement commandée par d'impérieux besoins, doit être regardée comme inutile ; et l'apparence grossière que les ouvriers de Rome donnaient au squelette de leurs voûtes, montre chez eux un sentiment très-juste du caractère qui lui convenait. Il suffisait que cette carcasse en briques fût assez bien établie pour tenir jusqu'à l'achèvement des massifs : une fois les maçonneries terminées, tout se trouvait englobé, emprisonné dans leurs masses ; et, lors des travaux de décoration, les dernières traces du réseau de soutènement qui pouvaient demeurer apparentes à l'intrados disparaissaient par l'application d'épais enduits : quel eût été dans ces conditions l'avantage d'une exécution plus soignée? Les armatures très-négligées des voûtes romaines ont suffi ; des soins plus minutieux apportés à leur confection eussent été dépensés en pure perte.

Mais, à part le motif d'économie, les Romains avaient une raison majeure pour éviter les lenteurs. Il faut, pour s'expliquer complétement la précipitation apportée par eux dans les travaux de soutènement des voûtes, se rendre un compte exact de l'état d'un chantier au moment où les constructions auxiliaires en briques allaient être installées. On a terminé la maçonnerie des piédroits, et le cintrage en charpente vient d'être mis en place. — L'architecte se trouve alors dans une singulière alternative. En continuant l'exécution des massifs il s'expose à écraser les cintres ; s'il suspend au contraire le travail des maçonneries brutes pour le reprendre quand l'armature de la voûte sera finie, il s'expose à laisser inoccupée toute sa troupe de manœuvres et d'esclaves. — Le seul moyen pour lui de tout concilier, c'est de hâter assez la pose de

cette armature pour l'avoir terminée dans la période où les massifs n'exercent point encore de pression sur les cintres. Si AB par exemple représente le niveau où les pressions commencent, il faut qu'au moment où les massifs affleureront en AB, les arcs de soutènement soient tous fermés à la clef, et que le travail présente l'aspect indiqué par cette esquisse :

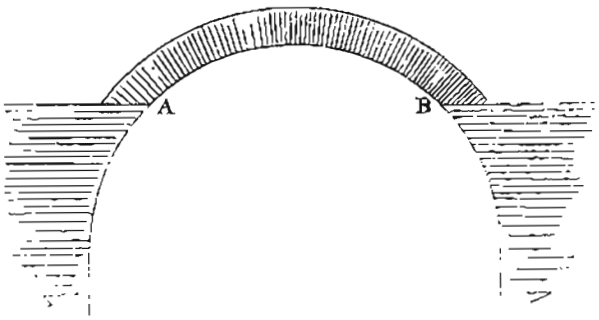


Fig. 14

Ainsi, armature et massifs, tout l'ensemble du travail est commencé à la fois, mais l'armature doit être montée et mise en état d'agir, pendant le court intervalle où la maçonnerie des massifs se soutient par elle-même. De là cette précipitation si marquée : le motif, on le voit, en était grave, il ne s'agissait de rien moins que de réduire à une inaction momentanée ces nombreux manœuvres que les Romains chargeaient de la partie matérielle et courante de leurs grandes constructions.

Cette première période, où la charpente intérieure de la voûte devait s'élever tout entière et en très-grande hâte, était du reste le seul instant critique des travaux : la voûte s'achevait sur ce support invariable avec la même facilité qu'un massif ordinaire; et quand arrivait enfin le moment de l'abandonner à elle-même, le décintrement (opération si délicate dans les autres systèmes) se faisait sans danger, ou plutôt le décintrement était une opération fictive : on pouvait enlever sans risque les charpentes en bois ayant servi de moule : le vrai cintre, c'était l'armature elle-même; et, engagé au milieu des blocages, ce cintre demeurait dans l'espace pour supporter le poids des voûtes jusqu'à l'entier durcissement des mortiers.

On conçoit maintenant dans son ensemble, et la marche suivie dans la construction romaine, et les avantages attachés à la structure des voûtes antiques : elle repose, on le voit, sur des principes essentiellement simples et pratiques ; et même plusieurs de ces principes sur lesquels elle est fondée se présentaient si naturellement à l'esprit, qu'on les retrouve sous d'autres formes dans l'architecture la plus différente en appa-

rence de celle des Romains, je veux parler de l'architecture française du moyen âge. Les voûtes sur nervures de nos cathédrales ne ressemblent assurément aux voûtes des Romains ni par leur aspect extérieur, ni par leurs conditions d'équilibre ; les unes se maintiennent par un jeu complexe et savant de poussées qui s'entre-détruisent : dans les autres, la stabilité résulte simplement de la constitution monolithe offerte par leurs massifs ; mais, au point de vue des procédés d'exécution, l'analogie est frappante, et d'autant plus remarquable qu'elle est peut-être fortuite. Qui n'aperçoit, en effet, dans les nervures de ces voûtes du moyen âge l'équivalent des armatures antiques? — Dans un cas les nervures sont faites de briques et noyées au milieu des blocages, dans l'autre elles sont en relief et soutiennent des panneaux d'appareil. Mais peu importent ici les distinctions de forme ou de matière : la donnée fondamentale est la même de part et d'autre ; engagées ou saillantes, les nervures jouent, au moins pendant la période des travaux, des rôles équivalents ; et plus l'aspect extérieur diffère, mieux on sent combien la conception des voûtes sur un second cintrage en maçonnerie est naturelle et générale. Il ne m'appartient pas de préjuger les transformations que l'avenir réserve encore à cette ingénieuse idée; du moins les applications si diverses qu'elle a tour à tour reçues dans deux architectures profondément distinctes nous répondent, je crois, de sa fécondité : et l'examen des ressources qu'une semblable solution peut offrir de nos jours serait assurément digne de toute l'attention des constructeurs.

En terminant cette première étude des voûtes d'après les monuments, il serait utile de comparer l'ensemble de nos hypothèses aux indications des textes. Malheureusement les renseignements positifs sont à cet égard bien incomplets et les allusions fort obscures. Vitruve prononce plusieurs fois le nom des voûtes, cependant il n'entre dans aucun détail sur les moyens de les établir ; et si l'on analyse tout son traité, on aura peine à y trouver un seul passage éclaircissant d'une manière sérieuse la question la plus importante peut-être de toute l'histoire de la construction antique. Il s'étend sur les moyens d'imiter les voûtes à l'aide d'une charpente courbe en tringles de bois entrelacées de joncs et recouvertes d'un enduit ; quant aux voûtes proprement dites, on en chercherait vainement la description. — Doit-on voir dans cette étrange lacune une omission commise par l'auteur, ou le résultat d'une mutilation de ses œuvres? Est-ce enfin un indice de l'état de l'art de bâtir à l'époque de Vitruve? Je pencherais volontiers vers cette dernière conjecture ; et la date des plus anciennes voûtes de grande

dimension qui nous restent lui donnerait, on doit l'avouer, une extrême vraisemblance.

Malgré ses lacunes et ses obscurités, Vitruve ne cessa d'être une autorité chez les Romains ; et les écrivains qui sont venus après lui se sont contentés, pour la plupart, de reproduire, sous une forme moins lourde, moins diffuse, mais souvent aussi moins exacte, les indications de son traité. Ainsi Pline, qui écrivait à une date où les voûtes sur armatures étaient très-répandues, Pline n'entre dans aucun détail sur les moyens de les établir ; l'agriculteur Palladius et l'abréviateur anonyme de Vitruve, ont gardé le même silence sur les procédés relatifs aux voûtes proprement dites, pour s'étendre, à l'exemple de l'auteur original qu'ils copiaient, sur ces constructions d'un intérêt bien médiocre qui simulent la courbure des voûtes sans en avoir la stabilité ni la durée.

Mais, si le contrôle des textes nous fait défaut, nous pouvons du moins invoquer celui des traditions. Les Italiens, de nos jours, sont très-avares de constructions provisoires en bois lorsqu'il s'agit du cintrage de leurs voûtes ; ainsi, il n'est pas rare de leur voir employer des dispositions telles que celle-ci (fig. 15) :

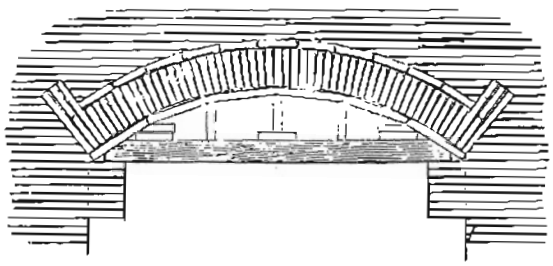


Fig. 15.

Le cintrage permanent des anciens se trouve ici représenté par une couche de briques à plat, soutenue sur une traverse de mauvais bois et quelques briques posées de champ en manière de cales ; quelquefois les Italiens font disparaître la couche en briques à plat lors du décintrement, les Romains la laissaient ordinairement subsister. Pourtant, même dans les constructions modernes de l'Italie, j'ai plus d'une fois rencontré des voûtes doublées, après leur achèvement, du carrelage courbe qui leur a primitivement servi de moule et de support.

Voici (fig. 16) un autre système d'échafaudage en briques conçu à peu près dans le même esprit :

Le moule de la voûte se réduit vers les naissances à un système de deux pilastres

courbes, et, vers le sommet, il est formé d'un tympan en briques, ajouré et porté par une traverse en bois.

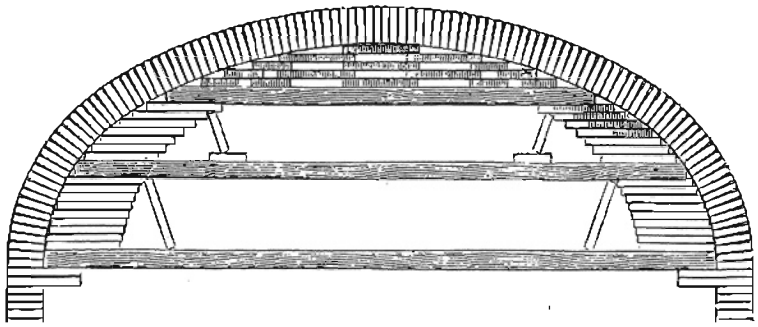


Fig. 16.

Je donne enfin, comme dernier exemple (fig. 17), une charpente de cintre composée de deux pièces de bois qui butent l'une contre l'autre et soutiennent une garniture

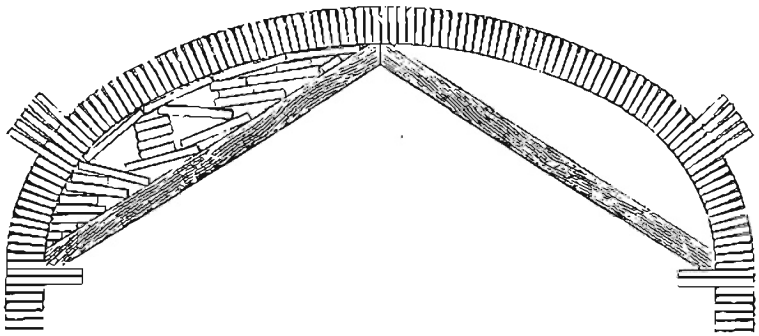


Fig. 17.

en briques, une sorte de tympan de construction irrégulière, ayant pour rôle de porter pendant la période des travaux la maçonnerie de la voûte.

Probablement aucun de ces trois types de cintres modernes ne répond exactement aux dispositions antiques; mais il est, je crois, impossible de méconnaître de part et d'autre une remarquable conformité de principes : même tendance, par exemple, à réduire les ouvrages en charpente à la plus grande simplicité; les briques jouant dans les deux cas un rôle important comme matériaux des cintres, et employées, par raison d'économie ou de légèreté, sous forme de carrelages courbes ou de tympans à jour. Nous retrouverons d'ailleurs, dans la suite de cette étude, plus d'une analogie entre la construction antique et la construction moderne en Italie; plus d'une fois l'observation des procédés actuels nous aidera à comprendre des pratiques romaines incomplétement accusées par les ruines, ou du moins ajoutera de nouvelles garanties aux hypothèses explicatives que nous devrons émettre. — Revenons maintenant aux

armatures romaines. Elles se répartissent, comme on l'a vu, en deux groupes, dont l'un comprend toutes les combinaisons fondées sur l'emploi d'arcs ou de réseaux à joints convergents, et l'autre, toutes celles qui reposent sur l'emploi de carrelages faits de briques à plat : nous envisagerons tour à tour les deux solutions dans les diverses sortes de voûtes, et en premier lieu dans les voûtes en berceau.

I. — Voutes sur armatures a joints convergents.

Les armatures à joints convergents se composent ordinairement de deux sortes de briques, de briques carrées de 2 pieds antiques de côté (un peu moins de $0^m,60$) et de briques rectangulaires de 2 pieds sur un demi-pied environ ($0^m,15$).

Avec les briques rectangulaires, on construisait des arcs, des anneaux espacés de 2 pieds d'axe en axe, et, au moyen de grandes briques carrées de 2 pieds de côté, on reliait ces anneaux deux à deux, ainsi que l'indique la figure suivante :

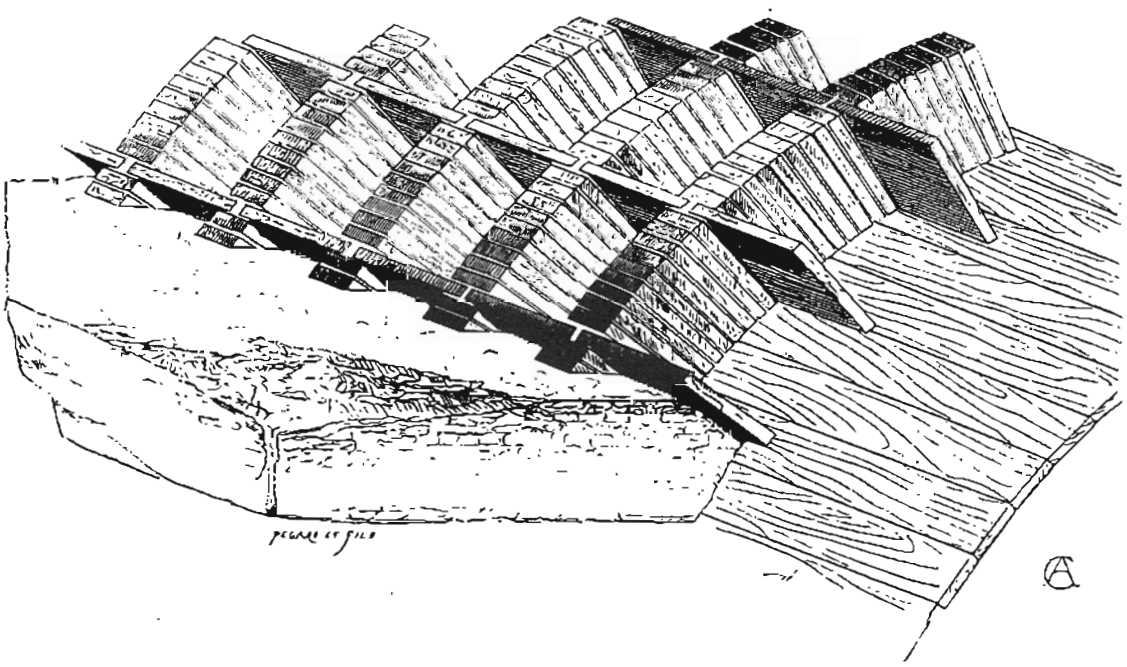


Fig. 18.

On obtenait ainsi, autour des cintres provisoires, une sorte de cage à claire-voie, qui peut être considérée comme le type le plus complet d'armature à joints convergents chez les Romains.

Quelquefois (mais cette variante est tout exceptionnelle et semble plutôt l'effet de la négligence que le résultat d'un calcul) les grands carreaux servant d'entretoises, au

lieu de se placer, comme dans le croquis n° 18, c'est-à-dire à la suite les uns des autres, suivant des génératrices du berceau, se recroisent de telle sorte qu'un même carreau embrasse la largeur totale des deux chaînes qu'il relie (fig. 19) :

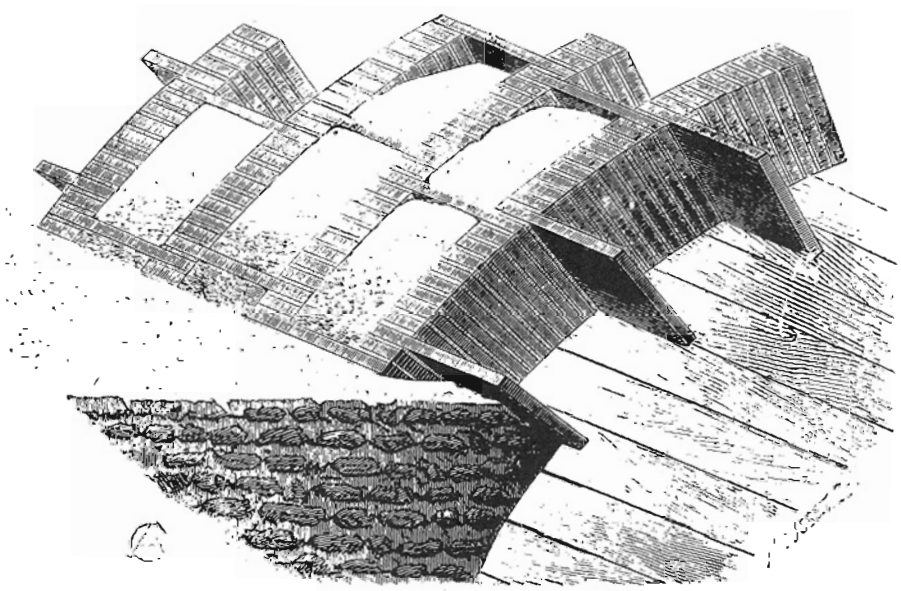


Fig. 19.

disposition doublement vicieuse, d'abord parce qu'avec une même quantité de matériaux elle ne permet de tapisser qu'une portion beaucoup moindre de la voûte à soutenir ; et ensuite parce que, les vides des cellules devenant plus étroits, il est plus difficile de maçonner des remplissages dans l'intervalle de ces cellules.

La stabilité est peut-être un peu plus assurée par suite de la plus grande multiplicité des arcs : mais, dans l'autre système, la stabilité paraissait suffisante même pour les plus larges voûtes ; et comme les armatures étaient essentiellement des constructions auxiliaires, les anciens ont agi sagement en sacrifiant ce faible surcroît de résistance à des conditions plus impérieuses d'économie et de légèreté.

Les ouvrages conformes au premier des deux types (fig. 18) ont trouvé une remarquable application dans une salle du palais des Césars à Rome, faisant partie du groupe de bâtiments qui bordaient le grand Cirque. — Je représente cette voûte à la planche première : pour mieux en faire saisir l'arrangement général et montrer la manière dont elle se raccorde avec ses appuis, j'ai tracé une série de coupes et d'arrachements qui

mettent en évidence tous les détails de la bâtisse et résument à la fois les idées acquises jusqu'à présent, tant sur la construction des voûtes que sur la constitution ordinaire des maçonneries romaines. On y constatera la similitude de construction entre les massifs des voûtes et les massifs des piédroits; l'horizontalité des assises dans les blocages de la voûte; enfin et surtout l'existence d'un réseau général remplaçant sous l'intrados du berceau les parements en briques triangulaires qui forment l'enveloppe des piédroits.

Cette planche offre peut-être le type le plus complet de l'armature antique : le réseau de briques qui s'y voit figuré réunit à un très-haut point le double mérite d'un support rigide et d'un revêtement continu. — Toutefois, cette combinaison exigeait une quantité de briques qui put paraître excessive : et les Romains, sacrifiant dans les ossatures de leurs voûtes ordinaires un avantage trop chèrement acheté, s'écartèrent peu à peu de ce type pour passer d'une continuité absolue à une discontinuité complète, des réseaux de briques aux simples nervures engagées. — J'essayerai de faire apercevoir la suite de ces simplifications ou de ces variantes. Mais, en rattachant au type qui précède les exemples qu'il me reste à citer, il est bien entendu que je ne prétends point retracer l'enchaînement historique des faits et la marche réelle que les procédés ont suivis : la date relative des diverses voûtes qu'il nous faudra comparer est d'ordinaire assez mal connue; de sorte qu'il serait téméraire de vouloir retrouver, dans l'état actuel des connaissances archéologiques, la véritable filiation des idées romaines; je me propose uniquement de faire concevoir, à travers la diversité des formes, la pensée dominante qui régit les principales dispositions attribuées à la charpente permanente des voûtes antiques.

Cette réserve une fois établie, si l'on compare à la voûte de la planche première les diverses voûtes représentées à la même échelle [1] par les planches II et III, on trouvera qu'elles se rattachent évidemment à une même idée générale dont la voûte du Palatin nous offre la plus complète expression.

Dans la première figure de la planche II, les arceaux de l'armature ne se relient plus directement l'un à l'autre par de grands carreaux en briques formant entretoises : le rapprochement seul de ces arceaux tient lieu de la continuité.

La carcasse de la voûte se réduit pour ainsi dire à un système de côtes entièrement

[1] Sur le sens qu'il faut attacher à cette communauté d'échelle, et sur le mode conventionnel de représentation que nous avons adopté, voyez, à la fin du volume, la notice qui accompagne les planches.

isolées les unes des autres ; ces côtes mesurent 0m,15 seulement de largeur dans le sens des génératrices de la voûte, et sont séparées les unes des autres par un intervalle excédant la dimension qu'on peut franchir au moyen des carreaux ordinaires de poterie romaine. Ainsi l'espace vide entre les arceaux n'est point subdivisé en cellules ; mais du moins des carreaux de deux pieds, mêlés aux briques de 0m,15, débordent à droite et à gauche de chaque côte, et forment comme des lancis dans le vide ; sans partager l'intervalle en mailles entièrement séparées les unes des autres, elles y déterminent des subdivisions nettement accusées, et font pour ainsi dire disparaître les inconvénients de la discontinuité dans la maçonnerie de l'armature. Chaque arc de soutènement, mis à nu, aurait l'aspect représenté par ce croquis :

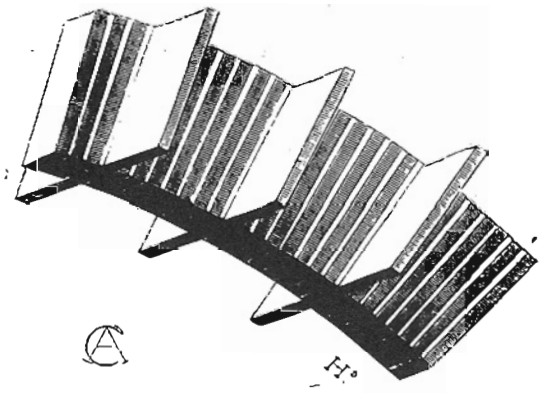


Fig. 20.

Les ailes, les amorces formées par les grandes briques accrochaient en quelque sorte les maçonneries de remplissage, et les empêchaient de peser sur les cintres ; tout au moins est-il évident que leur adhérence aux ailettes saillantes de l'armature reportait la majeure partie de leur poids sur les arcs de soutènement au lieu de la laisser appuyer sur la charpente provisoire.

La voûte représentée par la première figure de la planche II, caractérise ce premier effort des constructeurs cherchant à s'affranchir de la sujétion et des frais d'un réseau complet, tout en gardant à très-peu près les avantages de la continuité : cette voûte est empruntée aux arcades d'un aqueduc qu'on croit être celui de Néron, et dont les restes se trouvent engagés dans les murs de jardins qui bordent la rue donnant accès à l'église Saint-Étienne-le-Rond à Rome.

Il faut pour reconnaître sur les lieux les dispositions marquées par le dessin, une attention assez soutenue : les remplissages de la voûte sont en tuileaux de même teinte

que l'armature ; et l'armature elle-même est si grossièrement établie qu'il est bon d'être averti de son existence pour la suivre de l'œil à travers cette espèce de gangue de même nuance qui l'enveloppe, et ajoute une difficulté d'observation à celles qui résultent de son état de ruine, et surtout de sa construction barbare. J'ai annoncé en commençant qu'il me faudrait, pour être intelligible, prêter dans les dessins une certaine régularité aux ouvrages de soutènement exécutés par les Romains : nulle part plus qu'ici je n'aurai à faire excuser cette licence ; nulle part aussi on ne sentira mieux qu'en présence de ce curieux aqueduc l'importance que les Romains attachaient à bâtir rapidement leurs armatures. On connaît assez les raisons de cette extrême précipitation, mais jamais on ne la trouvera plus clairement écrite que dans les formes irrégulières de ces arcades.

Des arceaux isolés, tels que les représente notre dernier croquis, étaient d'une exécution facile, mais à raison de la petitesse de leur dimension transversale (0^{m},15 environ), la stabilité en était douteuse : ces arcs pouvaient se déformer par flexion latérale ou flambement ; et les Romains imaginèrent de parer à l'insuffisance de leur assiette en couplant les arceaux, et remplaçant la disposition du croquis n° 20 par celle de la figure suivante :

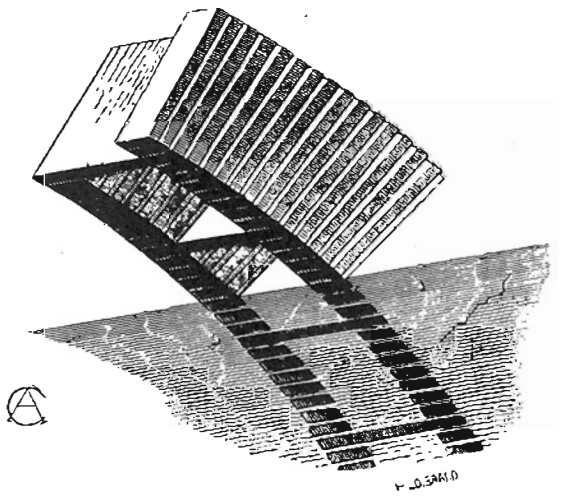


Fig. 21.

Une nervure faite de deux arceaux ainsi couplés n'est autre chose qu'une zone étroite coupée dans un réseau semblable à celui du Palatin : le groupement des arceaux ajoutant à leur assiette atténuait les chances de flambement. L'avantage de la nouvelle disposition par rapport à la précédente était notable : aussi les arceaux couplés

se trouvent appliqués en grand dans un bon nombre d'édifices, parmi lesquels nous citerons le Colisée (planche II, fig. 2) :

La figure occupant le haut de la planche II, représente une partie des galeries qui forment l'enceinte extérieure de l'amphithéâtre. Le dessin montre à la fois deux galeries parallèles et contiguës, à très-peu près d'égale ouverture : l'une d'elles seulement est bâtie sur une armature, l'autre a été maçonnée directement sur cintres.

Ainsi il ne faudrait pas considérer le mode de construction qui nous occupe comme un procédé suivi systématiquement par les architectes du Colisée : le Colisée, au point de vue de l'exécution matérielle, est pour ainsi dire un immense résumé de l'art de bâtir, où tous les procédés antiques trouvent tour à tour leur application. Soit que les voûtes aient été refaites à diverses époques, soit que la construction en ait été partagée entre divers entrepreneurs, jouissant d'une certaine indépendance quant aux procédés, on remarque dans les différentes voûtes de l'édifice, et quelquefois dans les diverses parties d'une même voûte, les méthodes les plus disparates. Généralement les berceaux paraissent avoir été faits sur des arcs engagés, dont la forme et la répartition sont suffisamment indiquées par notre dessin. D'ailleurs aucune loi absolue ne régit la distribution de ces nervures, non plus que leur construction : elles commencent tantôt à la hauteur des naissances, tantôt au contraire à un niveau beaucoup plus élevé; tantôt leurs axes correspondent aux grandes divisions de l'architecture, tantôt (et c'est le cas de la planche II) des arceaux portés sur des pilastres de pierre se posent excentriquement par rapport à l'axe des sommiers qui en reçoivent la retombée. Avec un peu de soin, les architectes auraient pu tirer de ces arceaux un élément de décoration pour leurs voûtes : ils préférèrent s'affranchir à force d'incorrections des risques attachés à une exécution trop lente de ces organes de consolidation, sauf à dissimuler après coup sous un enduit épais l'irrégularité de leur structure. Ces négligences sont communes à la plupart des armatures que nous aurons à étudier dans la suite ; mais avant d'aller plus loin il convient d'analyser d'une manière plus précise le fonctionnement de celle que nous venons de décrire.

On comprend, dira-t-on, que l'armature en briques du Palatin (planche I) puisse agir comme cintre pendant l'exécution d'une voûte : c'est un réseau continu qui supporte un effort continu, rien de plus logique. Même dans l'aqueduc de Néron (planche II, fig. 1), où les arcs sont très-rapprochés et où des briques formant amorces partent d'un arceau pour aller en quelque sorte au-devant de l'arceau voisin,

on comprend que la charpente de briques soit capable de porter en grande partie le poids des maçonneries en voie de construction : mais en sera-t-il encore de même quand l'armature de la voûte se réduira à un système d'arcs-doubleaux engagés, à des anneaux, non-seulement distincts les uns des autres, mais séparés par des intervalles de 3 mètres environ? Ne semble-t-il pas que les arceaux porteront simplement la charge des maçonneries qui posent d'aplomb sur eux ; mais, dans l'espace intermédiaire entre une arcature et la suivante, les maçonneries encore à demi fluides ne s'appuieront-elles pas sur les couchis du cintrage provisoire, exactement comme elles s'appuieraient en l'absence de ces arceaux isolés? — Telle est la difficulté : Voici, je crois, le moyen de la résoudre :

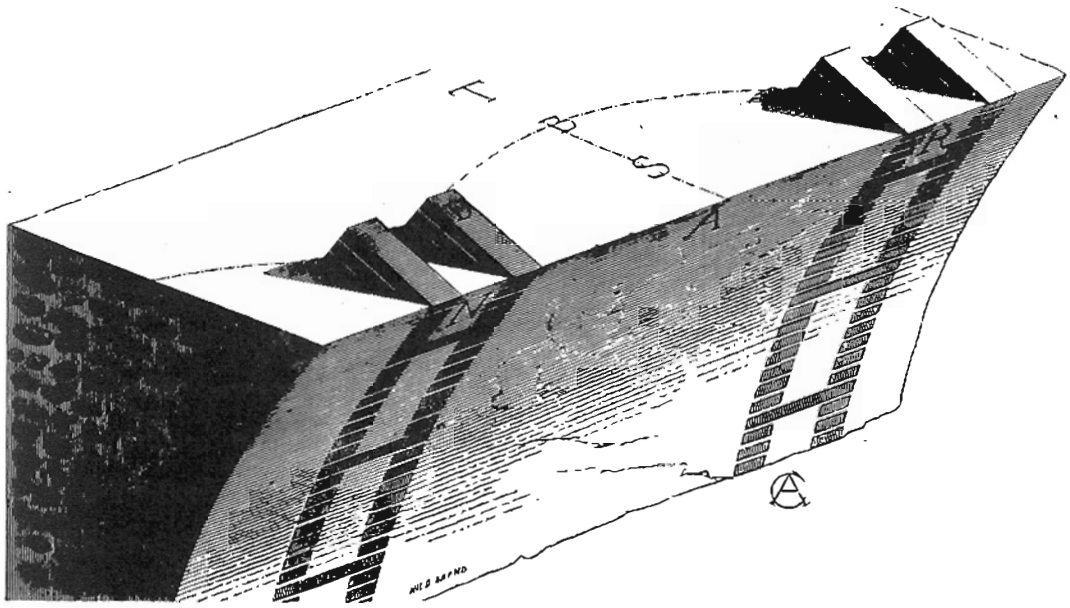


Fig. 22.

Imaginez (fig. 22) une voûte sur nervures limitée à sa partie supérieure par un plan horizontal : supposez, en d'autres termes, une voûte sur nervures interrompue en cours d'exécution ; et soient D et E deux de ses chaînes de soutènement.

Il est clair que les deux chaînes, malgré l'intervalle vide DE qu'elles laissent entre elles, suffiraient pour porter le massif de la voûte, si chacune des assises horizontales de ce massif, au lieu d'être limitée suivant une ligne droite NAR, se terminait par une courbe telle que DBE : cet effet aurait lieu, quelle que fût l'irrégularité des fragments bruts qui constituent les assises horizontales de la voûte, pourvu qu'on donnât aux diverses courbes, telles que DBE, une flèche AB, suffisamment prononcée. — D'après

on comprend que la charpente de briques soit capable de porter en grande partie le poids des maçonneries en voie de construction : mais en sera-t-il encore de même quand l'armature de la voûte se réduira à un système d'arcs-doubleaux engagés, à des anneaux, non-seulement distincts les uns des autres, mais séparés par des intervalles de 3 mètres environ? Ne semble-t-il pas que les arceaux porteront simplement la charge des maçonneries qui posent d'aplomb sur eux ; mais, dans l'espace intermédiaire entre une arcature et la suivante, les maçonneries encore à demi fluides ne s'appuieront-elles pas sur les couchis du cintrage provisoire, exactement comme elles s'appuieraient en l'absence de ces arceaux isolés? — Telle est la difficulté : Voici, je crois, le moyen de la résoudre :

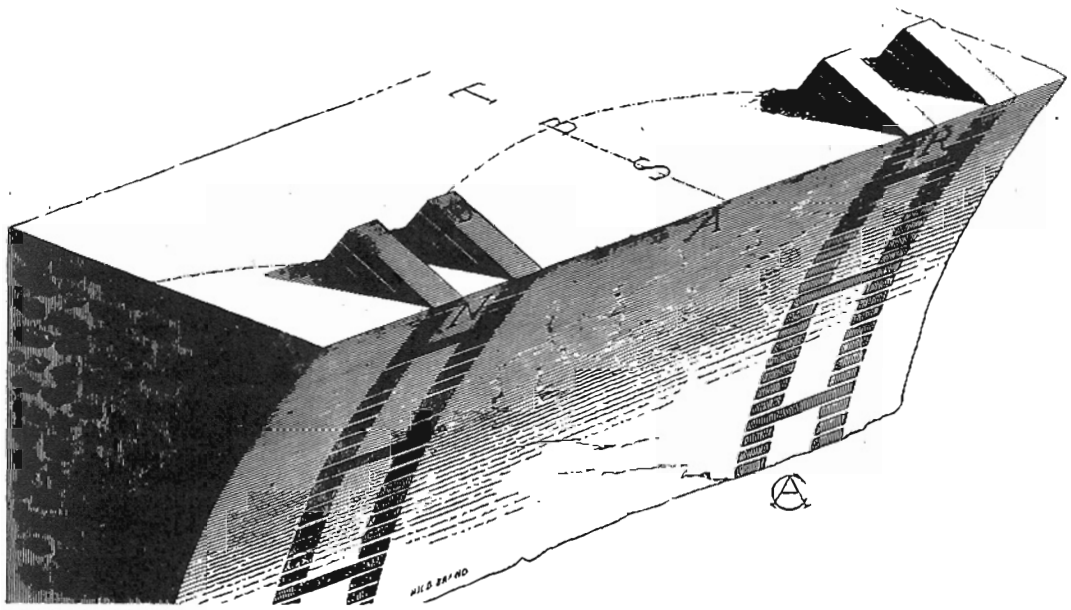


Fig. 22.

Imaginez (fig. 22) une voûte sur nervures limitée à sa partie supérieure par un plan horizontal : supposez, en d'autres termes, une voûte sur nervures interrompue en cours d'exécution ; et soient D et E deux de ses chaînes de soutènement.

Il est clair que les deux chaînes, malgré l'intervalle vide DE qu'elles laissent entre elles, suffiraient pour porter le massif de la voûte, si chacune des assises horizontales de ce massif, au lieu d'être limitée suivant une ligne droite NAR, se terminait par une courbe telle que DBE : cet effet aurait lieu, quelle que fût l'irrégularité des fragments bruts qui constituent les assises horizontales de la voûte, pourvu qu'on donnât aux diverses courbes, telles que DBE, une flèche AB, suffisamment prononcée. — D'après

cela, dans chaque assise de la maçonnerie brute, on peut par la pensée faire deux parts : une portion de l'assise, située au delà d'une certaine courbe fictive DBE, se maintiendra d'elle-même en s'appuyant comme une sorte d'arc horizontal à joints convergents, sur les nervures D et E. La partie S comprise entre cette courbe DBE et l'intrados sera comme suspendue, collée en quelque sorte à la première, par ce commencement d'adhérence que présentent les mortiers dès l'instant de leur pose.

Cette explication lève en même temps les objections qu'on pourrait fonder sur la discontinuité des armatures de soutènement, et rend compte du peu d'épaisseur et de régularité que les Romains donnaient aux pièces de bois servant de couchis, alors même que les nervures de la carcasse en brique étaient très-espacées : ces pièces de bois, dont la forme peut s'observer en beaucoup de points où elles ont laissé des empreintes, n'étaient d'ordinaire que de longues planches minces, offrant de nombreuses défectuosités, et jetées comme au hasard sur les fermettes des cintres. Leur rôle, en effet, était moins de porter les maçonneries que de leur servir de moule : tout au plus avaient-elles à soutenir, jusqu'à ce que les mortiers eussent fait prise, le poids assez insignifiant qui répond à la portion du massif marquée par la lettre S dans le croquis théorique qui précède.

Le même système de nervures isolées se retrouve, appliqué à plus grande échelle, dans la Basilique de Constantin (planche III). Tout à l'heure les voûtes à étayer couvraient des galeries d'environ 5 mètres de diamètre : au contraire, les voûtes de la Basilique de Constantin ont une ouverture supérieure à 23 mètres; c'est presque la largeur de la nef de Saint-Pierre de Rome.

Une semblable ouverture exigeait qu'on donnât aux voûtes des supports d'une force exceptionnelle; aussi l'architecte, craignant sans doute l'insuffisance des arcs simples tels qu'ils existent au Colisée, doubla ces arceaux par d'autres tout semblables, de sorte qu'une chaîne de soutènement, à la Basilique de Constantin, se compose de deux arcs-doubleaux de briques emboîtés l'un dans l'autre (planche III et détail n° 24). Cette idée de doubler l'armature pour mettre sa résistance en rapport avec la très-grande largeur des voûtes, n'avait rien que de naturel : pourtant, n'eût-il pas été préférable, au lieu d'emboîter l'un dans l'autre deux arcs élémentaires, de juxtaposer ces deux arcs l'un à l'autre en ayant soin de les liaisonner? On aurait ainsi revêtu moins incomplétement l'intrados de la voûte, et augmenté du même coup la base et la stabilité des nervures

sans accroître la quantité de briques employées. — Cela est vrai : mais cette juxtaposition des arceaux, indifférente au point de vue de la dépense de briques, n'était nullement indifférente au point de vue des frais de cintrage provisoire. Quand deux arceaux s'emboîtent et se superposent comme à la Basilique de Constantin, le premier seul a besoin d'être porté par les cintres : une fois installé, cet arc intérieur sert lui-même de support à celui qui l'enveloppe. Si, au contraire, on accole les deux arceaux au lieu de les emboîter l'un dans l'autre, tous les deux pèseront à la fois sur le cintre; et, comme ils sont sensiblement de même poids, la résistance à donner aux ouvrages provisoires devra être doublée. Ainsi, sous le rapport de l'économie dans les ouvrages provisoires, il y avait avantage à opérer comme ont fait les Romains, c'est-à-dire à composer chaque nervure de deux rouleaux en brique enveloppés l'un par l'autre.

Reste à examiner si cet avantage d'économie sur les travaux d'installation n'était pas en partie compensé par le danger des flambements.

Assurément un arc de plus de 23 mètres d'ouverture présentant $0^m,60$ d'épaisseur entre les têtes, n'aurait pu être décintré sans s'affaisser sur lui-même et tomber en ruine. Mais il ne faut pas calculer la résistance qui convient à l'armature d'une voûte en blocages d'après la condition qu'elle puisse se soutenir et recevoir une charge étrangère dès l'instant où elle est achevée. Peu importe, en effet, que cette armature, au moment où elle vient d'être terminée, soit capable de résistance, pourvu qu'à l'instant où les maçonneries brutes commenceront à peser sur elle,

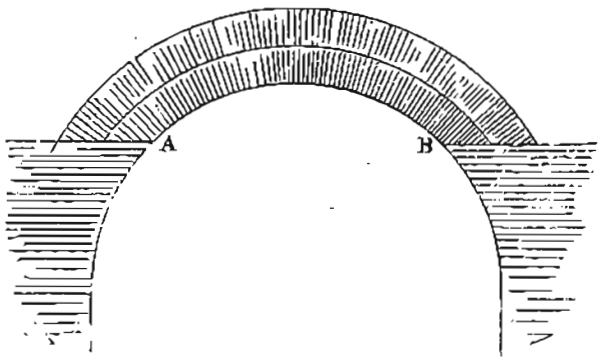


Fig. 23.

elle présente une résistance suffisante aux efforts de compression et aux causes de flambement? Or, si l'on envisage la question sous cet aspect, qui est évidemment le seul vrai, on se convaincra que des arceaux de $0^m,60$ entre les têtes devaient amplement suffire :

1° Pendant toute la période où les massifs se soutenaient sans peser sur les cintres, l'armature ne courait évidemment aucun risque, encastrée qu'elle était d'ailleurs entre les membrures de bois destinées à servir de moules aux caissons octogones de la voûte (planche III et détail n° 25).

2° Lorsque ensuite les pressions commençaient à se faire sentir, elles se manifestaient progressivement, croissant d'abord avec une extrême lenteur, puis se développant avec plus d'énergie à mesure qu'on approchait du sommet.

Dès l'instant où ces pressions commençaient, l'ouverture AB (fig. 23) de l'arc réellement agissant était déjà beaucoup moindre que celle du berceau tout entier. D'ailleurs, à mesure qu'on s'élevait, la partie agissante des nervures se réduisant toujours à leur portion non encore engagée dans les remplissages, on voit que la résistance dont l'armature était capable croissait sans cesse avec les efforts à subir : et il est fort probable qu'au moment où les masses supérieures encore humides avaient sérieusement besoin d'être soutenues, l'ouverture des portions d'arceaux non encore empatées dans le blocage, était telle, que l'armature eût acquis une résistance en rapport avec l'énergie des pressions.

En un mot, la solidité de ces nervures et leur résistance au flambement augmentaient à mesure que leur ouverture AB devenait moindre, c'est-à-dire à mesure que la résistance devenait plus nécessaire. On s'explique ainsi que des arceaux aussi minces aient pu servir d'étais dans l'établissement d'une des voûtes les plus colossales que les anciens aient élevées : un semblable résultat est assurément l'un des plus remarquables auxquels ait abouti la longue expérience des constructeurs romains.

— Si la structure de la voûte est irréprochable, il faut du moins avouer que les compartiments dont cette voûte est décorée concordent bien peu avec la répartition des chaînes qui ont servi à la construire. Je donne à grande échelle (fig. 24 et 25) le détail d'une partie des nervures de la Basilique de Constantin :

La figure de gauche (fig. 24) représente une nervure mise à nu, celle de droite (fig. 25), la même nervure engagée dans les massifs du remplissage. Comme on le voit, les nervures se développaient le long des côtes saillantes qui séparent l'un de l'autre deux des grands caissons octogones de la voûte, et en cela leur position était heureusement choisie. Mais les architectes chargés de décorer l'édifice imaginèrent d'occuper par de petits enfoncements carrés les intervalles compris entre les grands

caissons octogones : et le constructeur dut, pour se plier à cette fantaisie, échancrer les nervures sur une profondeur équivalente à celle des petits caissons carrés qu'elles traversent (détail n° 25). Il sauva la difficulté par un expédient qui peut sembler au

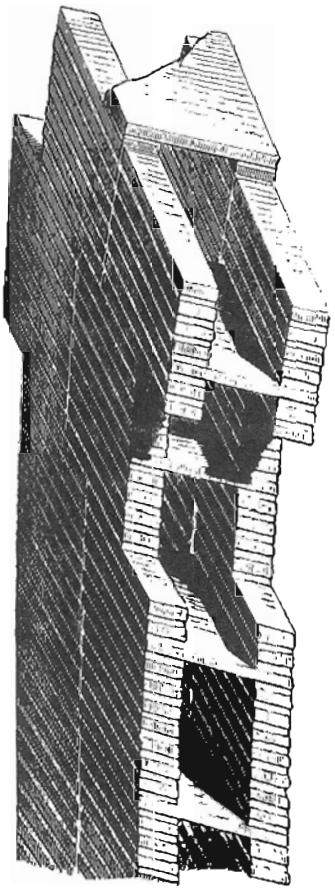


Fig. 24.

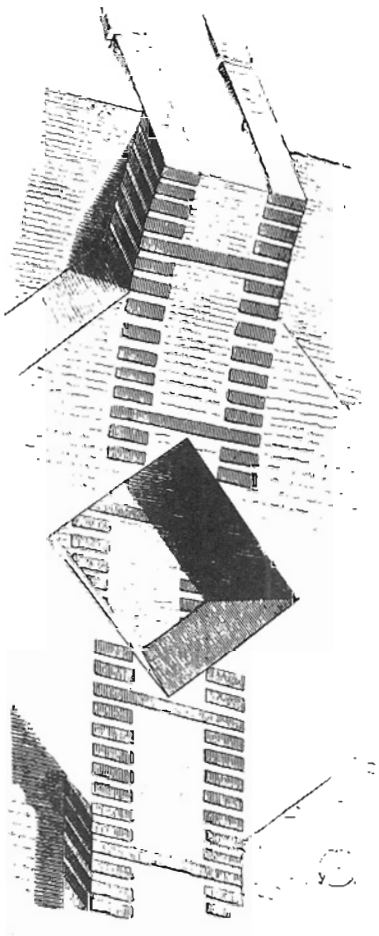


Fig. 25.

premier abord étrange, mais qu'il faut se garder, je crois, de condamner trop sévèrement au point de vue de l'art. Mettre la forme d'un édifice en contradiction avec les données fondamentales de la bâtisse, dissimuler une ossature jouant un rôle nécessaire dans l'équilibre des masses, ce serait présenter à l'œil l'aspect d'une œuvre que l'esprit désavoue, ce serait manquer au goût en blessant la raison par le spectacle d'un évident mensonge. — Mais sommes-nous fondés à dire qu'en dissimulant la charpente en briques de leurs voûtes les Romains aient caché au spectateur une des parties essentielles de la structure? — Je ne le pense pas. Qu'est-ce, en effet, que l'armature d'une voûte romaine? Un simple artifice de chantier : cette charpente

interne a servi lors de la construction seulement, elle a permis à la voûte de se constituer ; mais elle perd sa valeur et son rôle à mesure que les massifs font prise ; enfin, les mortiers une fois consolidés, elle cesse d'avoir une existence individuelle, et ne figure plus dans la voûte qu'à l'état de partie intégrante. Dès cet instant, l'architecte romain ne voit plus dans l'ensemble ni squelette ni remplissage, mais une masse concrète, et il lui est bien permis de ne point exprimer dans la décoration une distinction qui, à ses yeux, a cessé d'exister dans la structure.

Aussi les cas où les anciens ont mis en évidence le squelette de leurs voûtes sont-ils d'une extrême rareté : je ne puis guère citer, comme exemple de voûtes réalisant cette parfaite concordance entre l'ossature et la forme, que le berceau du double temple de Vénus et de Rome. Par malheur cette remarquable voûte a été détruite dans toute sa partie supérieure; et les vestiges qui restent de la partie basse sont assez incomplets et assez frustes pour qu'on doive faire dans sa restitution une part à l'hypothèse. Je donne donc, non comme certains, mais au moins comme très-probables, les détails de construction que l'examen de cette voûte m'a paru manifester, et qui se résument dans le croquis suivant :

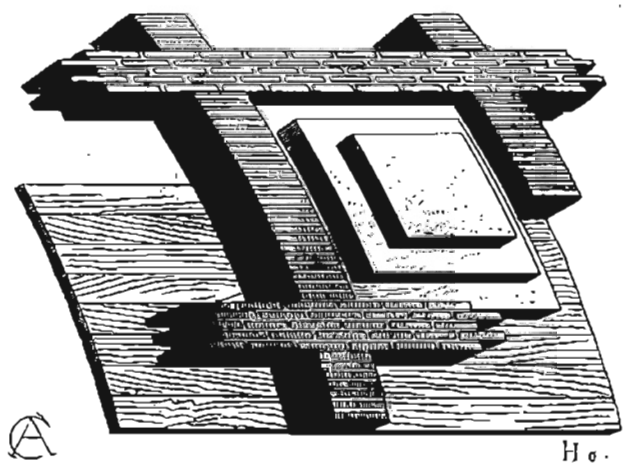


Fig. 26.

Les caissons étaient carrés, et les nervures de soutènement correspondaient à des côtes non interrompues dirigées, les unes suivant des plans qui tendent vers l'axe de la voûte, les autres suivant des plans perpendiculaires à cet axe : le tout formait un réseau continu à grandes mailles, dont les côtés se dirigent suivant des lignes de niveau et des sections droites du berceau.

Les nervures de cette voûte présentent, dans le sens des génératrices du berceau, moins de largeur que celles de la Basilique de Constantin, mais elles sont entièrement massives, au lieu d'être à claire-voie comme dans la plupart des autres édifices romains.

Quant au mode d'exécution de ces cadres en briques, de ces côtes saillantes qui se dessinent en relief sur l'intrados, il s'explique de lui-même. Ainsi que l'indique notre esquisse, les nervures en briques avec les châssis (probablement en bois) qui leur servaient de moule, formaient, avant la construction du massif, un ensemble résistant : les nervures horizontales entretoisaient les arcatures transversales ; les unes et les autres, maintenues en place par les moules des caissons, constituaient entre les cintres et les massifs une voûte légère, partie en bois, partie en maçonnerie, qui jouait un rôle de soutènement analogue à celui des claires-voies continues de briques représentées par la planche première. Ici nous trouvons une concordance exacte entre les moyens et la forme; l'architecte a utilisé accidentellement les membrures en briques comme ornements, mais rien ne l'y forçait, il était libre au point de vue de l'art ; et la concordance qui s'observe dans les voûtes du temple de Vénus et de Rome ne constitue pas, ce me semble, une supériorité sérieuse en faveur de ce dernier édifice.

Nous venons de passer en revue les principaux types d'armatures à joints convergents. Si maintenant on jette un coup d'œil d'ensemble sur les applications qu'elles ont reçues, on appréciera, sans qu'il soit besoin de rien ajouter, et les services qu'elles peuvent rendre et les garanties de succès qu'elles assurent dans la construction des voûtes. Mais, à côté de ces avantages, ne serait-on pas fondé à redouter de leur emploi quelques dangers ? Ces chaînes noyées dans l'épaisseur des voûtes semblaient former au milieu des blocages encore humides comme un noyau incompressible ; intercalées dans une maçonnerie qui se resserre sur elle-même, elles en gênaient peut-être les mouvements, et exposaient les masses à des fissures ou des lézardes. S'il en eût été réellement ainsi, les armatures qui facilitaient l'exécution des voûtes auraient hâté ou peut-être préparé leur ruine : mais heureusement les choses se passent d'une manière tout autre. Les voûtes en effet ne sont pas des masses coulées d'un jet, et la marche progressive de la construction par couches de niveau très-minces atténue singulièrement le danger des contractions ; chaque couche prend bien vite son volume définitif, le tassement se fait assise par assise : et, les mouvements d'ensemble se trouvant évités, les déchirures sont moins à craindre. Cette observation n'est point d'ailleurs

spéciale au mode d'armatures que nous venons de décrire : elle s'appliquera, sans qu'il soit besoin de la rappeler dans la suite, au nouveau genre de construction dont nous allons aborder l'étude.

II. — Voutes sur armatures en briques a plat.

Les arcatures en briques, telles que celles de la basilique de Constantin, offraient sur les réseaux continus de la planche I^re^ l'avantage d'exiger une moindre dépense de matière, et remplissaient d'une façon encore très-satisfaisante le rôle de soutènement qu'elles étaient appelées à jouer. — Pourtant, à prix égal, une armature continue eût été d'un usage plus commode; et il semblait naturel de chercher quelque disposition des matériaux qui conciliât avec les mérites du système précédent celui d'une continuité parfaite dans les surfaces portantes : telle est l'origine probable du second mode de soutènement que nous trouvons appliqué dans les voûtes romaines.

Sur la surface convexe des cintres, on posait à plat une couche de ces grandes briques carrées dont les dimensions les plus ordinaires étaient 2 pieds romains de côté (0^m^,60) sur 4 à 5^c^ d'épaisseur.

Ces grandes briques, maçonnées au moyen d'excellent plâtre ou de mortier à prise rapide, faisaient (fig. 27)

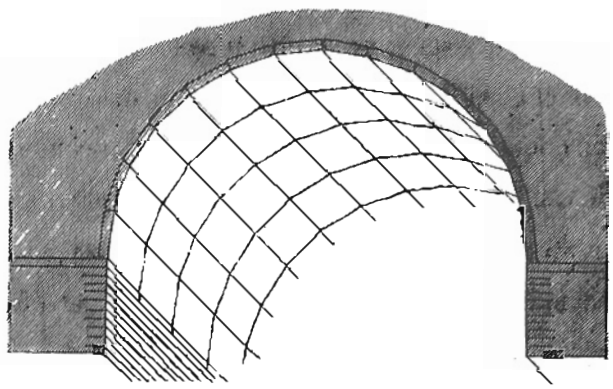


Fig. 27.

sur toute la convexité du cintrage comme une enveloppe mince et sans lacunes, qui épousait la forme de l'intrados et présentait l'aspect d'une sorte de carrelage courbe.

Ce carrelage constituait quelquefois à lui seul toute l'armature d'une voûte; ordinairement on lui en superposait un second tout semblable, mais construit en briques de moindre dimension, et qui formait sur le plancher courbe des cintres une deuxième enveloppe

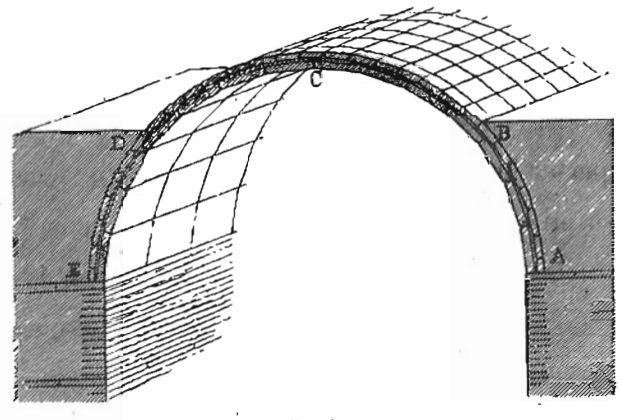


Fig. 28.

soudée à la première par l'intermédiaire d'un lit de plâtre ou de mortier.

De cette superposition résultait sur toute l'étendue du cintrage comme une croûte protectrice, une sorte de voûte légère ABCDE (fig. 28), qu'on n'eût pu décintrer aussitôt après son achèvement sans courir le risque de la voir plier sous son poids,

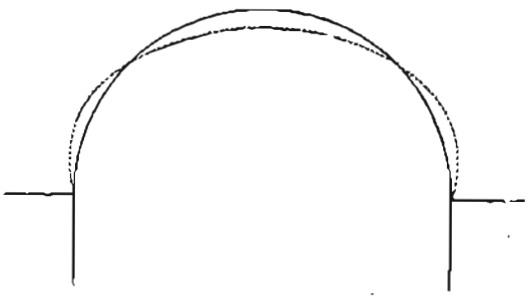


Fig. 29.

mais qui se roidit à mesure que les massifs s'élèvent, et devient enfin capable de soutenir à elle seule toute la partie haute des blocages.

En effet, l'obstacle qui se serait opposé au décintrement immédiat, résidait moins dans la faible épaisseur de la croûte solide, que dans la forme en plein cintre de sa section. Une voûte en briques à plat serait stable à la double condition d'être tracée suivant un profil en arc de cercle très-surbaissé, et d'être retenue d'une manière

invariable entre des culées fixes ; construite en plein cintre, elle acquerra la rigidité qui lui manque, pourvu qu'une garniture adossée aux reins dans la partie AB et DE (fig. 28) vienne s'opposer aux effets de flexion et empêcher une couche de maçonnerie aussi mince de s'affaisser sur elle-même. — Ce dernier cas est évidemment celui de l'armature en briques à plat dans une voûte romaine.

La voûte ne pesait point encore sur les cintres, que déjà ses premières assises avaient englobé le carrelage jusqu'à un niveau tel que BD (fig. 28); et la partie réellement destinée à porter les charges, c'est-à-dire la partie agissante du carrelage, se réduisant dès lors à un simple arc de cercle BCD, se présentait dans les meilleures conditions d'équilibre. On aurait pu même, au moment où la voûte atteignait le niveau BD, enlever le cintrage en bois, et le transporter au besoin sur un autre point : construire, en d'autres termes, la voûte par fractions, et remployer le même cintre pour les diverses portions qui se succèdent.

C'est là, en effet, la marche que les Romains ont plus d'une fois suivie : et, pour s'en convaincre, il suffit d'observer que les briques d'une armature, au lieu de se poser en découpe et de constituer un carrelage à joints chevauchés, ont, au contraire, leurs joints alignés, et se rangent simplement les unes à côté des autres comme les carrés d'un damier (fig. 27). Cette circonstance s'accorde bien avec l'idée d'une construction par tronçons; car supposez le carrelage établi à coupes chevauchées, chacun de ses tronçons se terminera en harpe, et l'on aura certaines sujétions à subir lorsqu'il s'agira de raccorder l'un d'eux au suivant; les anciens, supprimant toutes les liaisons, faisaient disparaître du même coup toutes les difficultés de raccordement.

Quant à l'économie sur les cintres, elle est évidente : il suffisait, d'après une remarque faite précédemment dans un cas analogue, que la charpente provisoire fût capable de soutenir le poids de l'un des deux carrelages; la première couche de briques sert de cintre pour construire la seconde, et les deux ensemble font comme un squelette rigide sur lequel portera le poids entier de la maçonnerie brute.

Un fragment de voûte, représenté par la figure suivante, précisera cette idée générale du procédé de soutènement fondé sur l'emploi des briques à plat : j'emprunte

cet exemple à l'édifice le plus considérable peut-être qui ait été construit dans le système qui nous occupe, aux thermes de Caracalla :

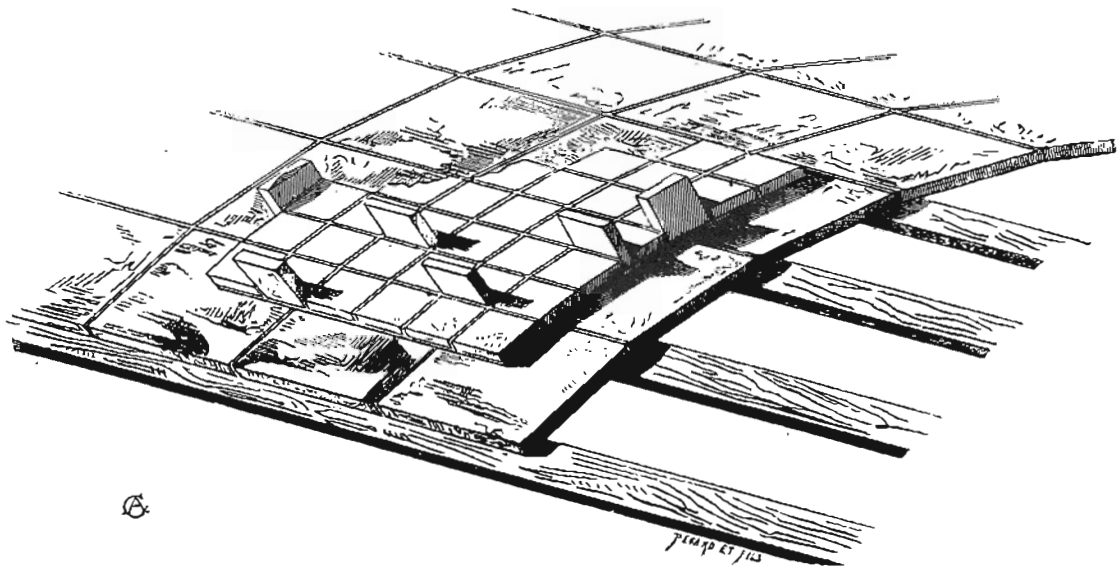


Fig. 30.

Ici, le premier des deux carrelages est fait en carreaux de 2 pieds antiques (0^{m},60) de côté sur 0^{m},04 à 0^{m},05 d'épaisseur; — le second carrelage se compose de briques plus petites, mesurant sur chaque face les deux tiers du pied antique, soit en chiffre rond 0^{m},20. — On remarquera enfin un certain nombre de briques isolées, posées de champ, et plantées dans l'épaisseur du second carrelage; briques qui forment pour ainsi dire des boutisses ou lancis en saillie sur la surface extérieure de l'armature.

— Le rôle des diverses parties de cette singulière construction s'explique d'après ce qui précède, et la marche du travail se conçoit sans peine.

Sur les fermes du cintre, on clouait, non un plancher continu, mais de simples tringles (fig. 30) espacées de 2 pieds d'axe en axe, et, sur ces tringles, on disposait en toute hâte le dallage en grands carreaux. De cette sorte, le revêtement en bois des cintres était peu coûteux; et d'ailleurs la première couche de carreaux se faisait avec une extrême célérité à raison de la grande surface occupée par chacun d'eux.

Cette première couche une fois achevée, le second dallage pouvait se terminer avec moins de précipitation, et, par suite, s'exécuter à l'aide de briques de moindre surface. Aussi voit-on toujours ce second dallage fait en briques de petit échantillon : je ne connais qu'un exemple où les deux couches se composent également de grands car-

reaux, c'est au Panthéon d'Agrippa (évidements des murs, planche XIII). La seconde des deux assises de briques était, comme nous le verrons, destinée à protéger les joints de la première; et, pour ce rôle, des briques ayant 0^{m},20 environ de côté paraissaient très-convenables.

Mais ce n'était pas assez de soutenir énergiquement les massifs des voûtes : il était bon d'assurer entre les armatures et le corps de la voûte une certaine adhérence, de telle sorte qu'après le décintrement tout l'ensemble fît une masse unique, liaisonnée et continue; et c'est dans cette pensée que furent ménagées les briques formant amorces, qu'on aperçoit de distance en distance fichées dans l'épaisseur du premier carrelage (fig. 31).

Ces briques debout servant d'amorces tendaient, par le seul effet de leur poids, à se renverser sur les cintres; aussi, dans certaines constructions faisant partie de la villa Hadriana, on eut soin de parer aux effets de culbute en adossant aux boutisses de petits tasseaux en brique dont voici l'arrangement.

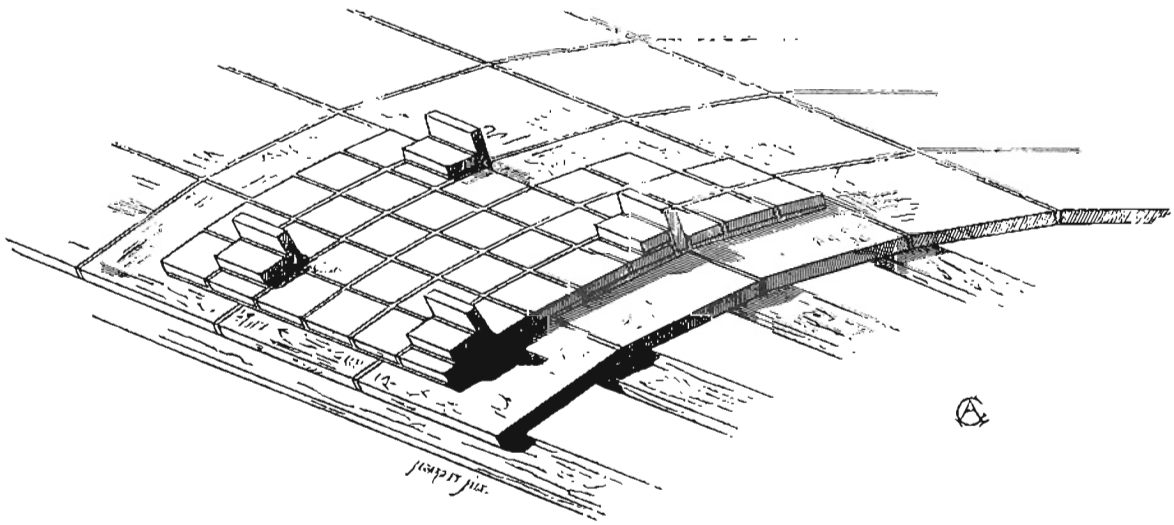


Fig. 31.

Telles étaient les voûtes à l'instant où elles furent construites; mais il ne faudrait pas s'attendre à en retrouver les dispositions intactes dans les ruines : les revêtements ont en grande partie disparu, on n'en voit d'ordinaire les débris que vers les naissances des berceaux, dans les angles rentrants formés par la rencontre des voûtes avec les murs, enfin aux points où ces carrelages fragiles étaient le mieux à l'abri des causes de destruction. — Vers le milieu des voûtes, la double enveloppe en briques est tombée,

et l'on ne peut constater l'arrangement primitif des carreaux que d'après les empreintes plus ou moins nettes laissées par eux dans les maçonneries brutes : les seules briques qui se soient partout conservées sont les boutisses, dont on distingue la tranche en légère saillie sur le parement actuel des massifs (planche IV, fig. 2); quelquefois enfin les boutisses et les tasseaux sont demeurés en place : les uns et les autres sont encastrés dans le blocage; quant au reste de l'armature, il n'en existe plus que des fragments.

En résumé, les anciens se proposaient, dans l'établissement des armatures en briques à plat, un double objet : 1° offrir aux massifs un support rigide et continu; 2° ménager entre l'armature et les massifs une bonne et solide liaison. — Nous venons de voir comment ils ont rempli cette double condition dans les voûtes de deux monuments célèbres, la villa Hadriana et les thermes de Caracalla; mais le modèle d'armatures adopté pour ces voûtes colossales pouvait, dans les cas ordinaires, se simplifier notablement; les avantages qu'il présente pouvaient se réaliser à moins de frais : et l'étude que nous avons maintenant à faire est celle des modifications imaginées par les Romains pour rendre le système applicable avec une plus grande économie soit de travail, soit de matière.

Le type d'armature qui s'écarte le moins des deux exemples précédents est celui-ci :

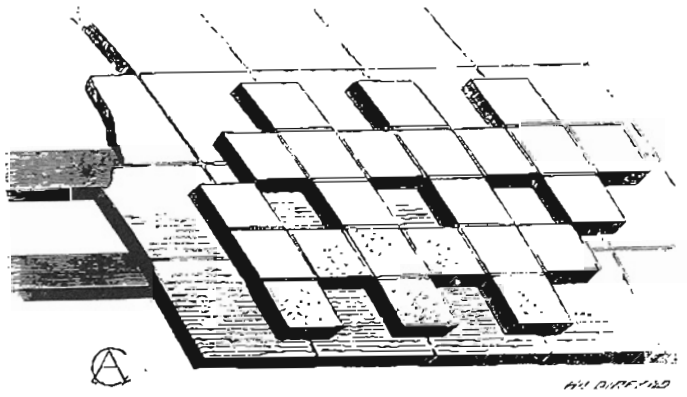


Fig. 32.

La première assise de carrelage est continue, mais la seconde est réduite à un arrangement de briques formant couvre-joints : ce modèle simplifié fut adopté pour quelques salles du palais des Césars, et, si l'on en juge par les empreintes (planche IV, fig. 4), les voûtes des Sette Sale (réservoir près des thermes de Titus) offraient à très-

peu près le même aspect. — La disposition du second carrelage avait à la fois le mérite d'exiger une moindre dépense de briques, et de procurer une bonne liaison entre l'armature et le corps de la voûte.

Les constructeurs ont été plus loin : au lieu de ranger des briques en recouvrement sur tout l'ensemble des joints du premier carrelage, ils se bornèrent (fig. 33)

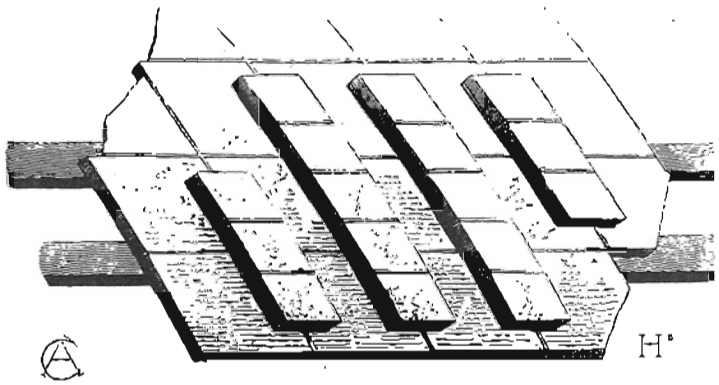


Fig. 33.

à en établir sur les joints perpendiculaires à l'axe de la voûte. — De cette sorte, l'armature dans son ensemble affecte l'aspect d'un lit continu de briques, renforcé extérieurement par des côtes en briques de moindre échantillon qui, dans la pensée des architectes romains, jouaient à la fois le rôle de couvre-joints et de nervures.

Cette combinaison est celle de plusieurs tombeaux de la voie Appienne : je donne à la planche IV (fig. 3) le détail de la voûte d'un de ces tombeaux, qui est d'une remarquable conservation. Les briques du premier carrelage ont $0^{m},45$ de côté (1 pied 1/2); celles qui forment les côtes ou couvre-joints ont seulement $0^{m},22$. Le plâtre servant au scellement de ces briques s'est délavé à la longue, de sorte qu'il est difficile d'en retrouver des traces : on en découvre plus aisément des débris dans les ruines de la villa dite des Quintilii, qui subsistent à gauche de la voie Appienne, non loin du tombeau qui vient d'être cité.

Enfin, dans plusieurs autres monuments de la voie Appienne, l'idée d'attribuer aux voûtes du second carrelage le rôle pur et simple de couvre-joints, s'exprime d'une façon plus nette et plus franche encore; dans ces monuments, les briques du second

carrelage ne forment plus des zones continues, elles sont isolées les unes des autres (fig. 34)

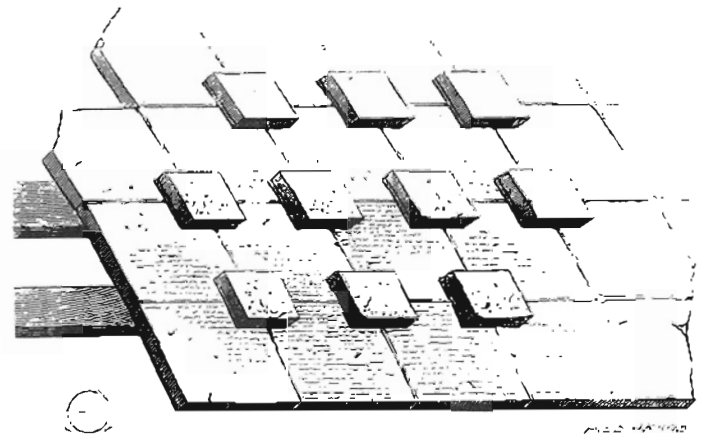


Fig. 34.

et posées précisément aux points où l'effet d'un choc ou bien d'une excessive pression pourrait être désastreux, c'est-à-dire au sommet commun où viennent se réunir quatre briques contiguës de l'armature.

Pour pousser l'économie plus loin, il fallait supprimer entièrement le second carrelage : les Romains ont franchi ce dernier pas dans la voie des simplifications, et sont arrivés à construire des voûtes sur un carrelage de soutènement unique. Du reste, les cas où l'armature se réduit ainsi à un seul dallage en briques sont relativement rares; je n'ai pu trouver dans les voûtes romaines en berceau qu'un exemple bien caractérisé de cette disposition élémentaire, c'est au cirque dit de Maxence hors de la porte Saint-Sébastien (planche IV, fig. 1) : toutes les voûtes sur lesquelles s'étagent les gradins sont portées par un carrelage unique en briques de grand modèle.

L'usage des armatures en briques à plat fut d'une extrême généralité dans les voûtes antiques : nous le rencontrerons dans les voûtes des formes les plus complexes aussi bien que dans les voûtes en berceau; nous le verrons indifféremment adopté pour les salles les plus vastes, telles que celles des Thermes de Caracalla, et pour les étroites galeries des plus modestes aqueducs. Dans ce dernier cas d'application, on trouve souvent le dallage réduit à deux carreaux de $0^{m},60$ sur $0^{m},60$ qui s'arcboutent : ainsi les armatures de nombreuses galeries d'aqueducs dé-

bouchant dans l'arène du Colisée étaient construites sur le modèle suivant (fig. 35).

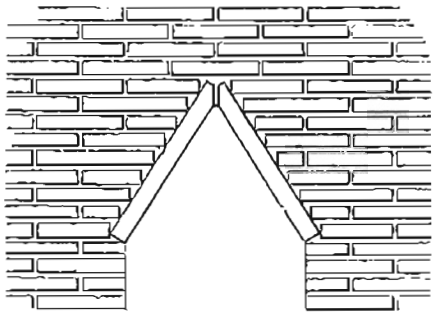


Fig. 35.

D'autres fois, au lieu de deux carreaux s'arc-boutant, on se contentait d'une dalle unique formant plafond et posée de niveau (planche XIII, fig. de détail).

Enfin, ces armatures en briques à plat ne servaient pas au soutènement des seules voûtes faites par assises horizontales de cailloux et de mortier : il est arrivé aux Romains de construire des arcs isolés en briques à joints convergents; et il est remarquable qu'alors le système des armatures en forme de carrelages se trouve invariablement suivi. Je citerai, comme exemples d'arcs isolés construits à joints convergents sur un carrelage auxiliaire, les portiques d'un amphithéâtre près de l'église Sainte-Croix de Jérusalem.

Au même type se rattache cet aqueduc des thermes de Caracalla.

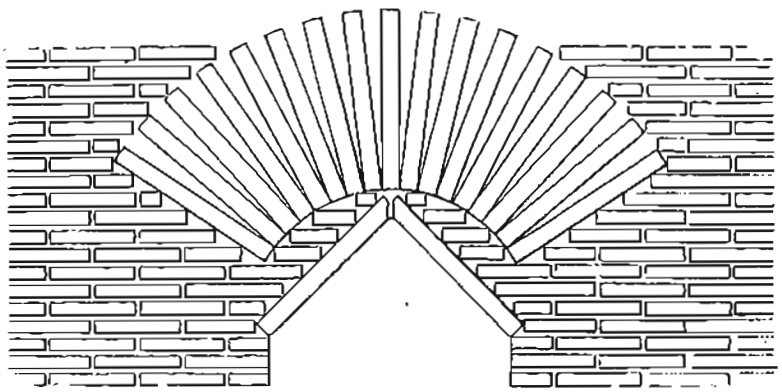


Fig. 36.

En dernier lieu, je dois appeler l'attention sur les quatre grandes voûtes formant pour ainsi dire les bas côtés de l'immense salle qui occupait le centre des thermes de Caracalla : seules dans tout l'édifice, et je pourrais ajouter seules parmi les

grandes voûtes des monuments romains que j'ai visités en Italie, ces quatre berceaux sont voûtés à joints convergents; leur maçonnerie est composée d'assises alternatives de grandes briques et de tuileaux reliées par du mortier. Je donne à la planche V la vue d'une de ces voûtes : la maçonnerie convergente qui constitue ces berceaux reposait, aussi bien que la maçonnerie brute et stratifiée des autres voûtes, sur un double carrelage en tout semblable, aux amorces près, à ceux que nous avons précédemment décrits.

On voit par ces divers exemples quelle fut dans l'architecture antique la généralité des carrelages auxiliaires employés comme armatures de soutènement des voûtes. — Ces armatures, autrefois si fréquentes, ne sont du reste pas entièrement sorties de la pratique des constructeurs italiens : j'ai plus d'une fois assisté à l'établissement de ces dallages courbes dans les mêmes contrées où ils se pratiquaient, il y a deux mille ans, avec un succès dont les ruines romaines font assez foi. L'emploi en est aujourd'hui très-fréquent à Rome même, et les voûtes en arc de cloître qui ornent les palais de la ville moderne sont pour la plupart construites au moyen de briques à plat, comme les voûtes des thermes de Caracalla; l'intrados est formé ordinairement d'une couche unique de briques reliées avec du plâtre; le reste est un blocage de maçonnerie très-grossière.

A vrai dire, la tradition a légèrement modifié l'importance relative de l'armature et des massifs. Chez les Romains d'autrefois, l'armature en brique n'était que le support auxiliaire des blocages, ceux-ci constituaient le corps même de la construction, la seule partie sur laquelle l'architecte comptât pour assurer la solidité et la durée de son œuvre. — A l'inverse de ce qui se passait alors, aujourd'hui le carrelage courbe d'une voûte en est devenu l'élément essentiel, la partie vraiment agissante : et quelquefois même ce changement est si marqué, qu'on trouve des voûtes modernes où le massif se réduit à un remplissage appliqué vers la région des naissances. Les reins seuls sont garnis en maçonnerie brute; quant à la partie voisine du sommet, elle est simplement recouverte de pierres cassées. Les ouvriers italiens donnent à ce genre d'ouvrages le nom de « volte alla volterrana; » quelquefois ils le désignent sous le nom expressif de « volte a foglio. »

Ces voûtes sont, de nos jours, peu usitées en France, mais elles ont été souvent employées pendant le dernier siècle; et les détails donnés à leur sujet par Blondel méritent d'être rappelés ici. (Voir Cours d'architecture, t. VI, chap. II.)

Les voûtes plates (ainsi appelait-on les voûtes qui nous occupent) se sont introduites brusquement dans l'architecture française vers le commencement du dix-huitième siècle; et, en les adoptant alors, les architectes ne firent que renouveler une tradition conservée depuis une antiquité très-reculée dans la pratique des maçons du Roussillon; voici comment ces ouvriers procédaient depuis un temps immémorial.

Ils disposaient parallèlement aux murs de la salle à voûter des cours de longrines (fig. 37), sur lesquelles ils installaient

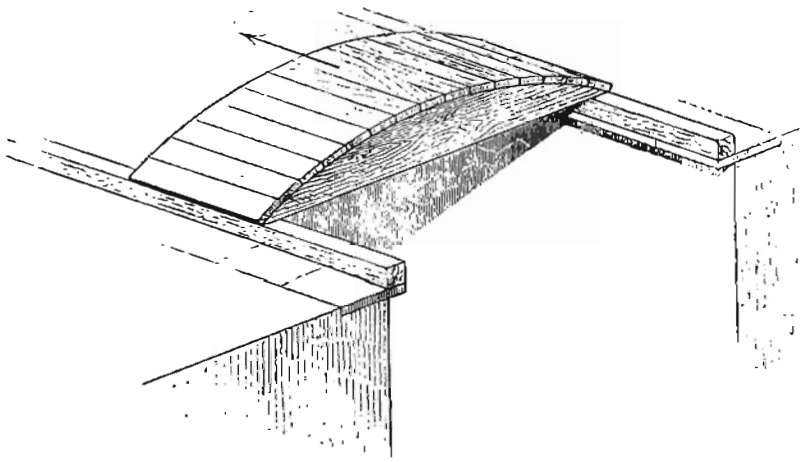


Fig. 37.

un cintre mobile, large de 2 pieds 1/2; et sur ce cintre ils établissaient un double carrelage en briques à plat. Les briques étaient scellées au plâtre, et les deux assises successives qu'elles constituaient étaient soudées l'une à l'autre par une couche de plâtre : — exactement comme en Italie, exactement comme chez les Romains eux-mêmes. Une fois la zone terminée, on poussait le petit tronçon de cintre le long des longrines (fig. 37); sur ce tronçon de cintre déplacé, on élevait une deuxième zone de carrelage, et ainsi de suite. — Puis, on doublait la voûte mince ainsi obtenue d'une garniture qui répondait sous une forme plus modeste aux massifs des voûtes antiques.

La bâtisse, on le voit, est entièrement dans l'esprit des méthodes romaines. D'ailleurs, le pays où elle se pratiquait touche aux colonies de la Provence, et probablement le mode de construction lui-même n'est qu'un souvenir romain. — Quoi qu'il en soit, l'analogie est assurément remarquable, et il n'était pas sans intérêt de

confirmer nos explications en décrivant un système de bâtisse tout récent encore, dont les détails concordent d'une manière si complète avec les conjectures que nous a suggérées le seul examen des ruines.

VOUTES D'ARÊTE

Les faits de construction cités jusqu'à présent étaient empruntés à des voûtes en berceau. Passant maintenant à l'étude des voûtes d'arête, je voudrais marquer le caractère qu'elles présentaient chez les Romains, préciser les circonstances de leur emploi, et montrer par des exemples comment les idées précédemment développées s'appliquent à ces voûtes.

D'une manière générale, on sait que les anciens ont évité les pénétrations : les amphithéâtres d'Arles et de Nîmes, où les corridors tournants et les avenues rayonnantes se coupent en tous sens, ne présentent pas un exemple de voûtes d'arête ; c'est à peine si l'on peut trouver aux arènes de Vérone quelques intersections de berceaux d'une importance insignifiante ; et l'on s'étonne, en présence des ruines du Colisée, du très-petit nombre de pénétrations qu'entraîne l'entre-croisement continuel de ses innombrables galeries.

Pour y échapper, les Romains plaçaient la naissance d'une des galeries (fig. 38) au-dessus du sommet des voûtes qui la rencontrent.

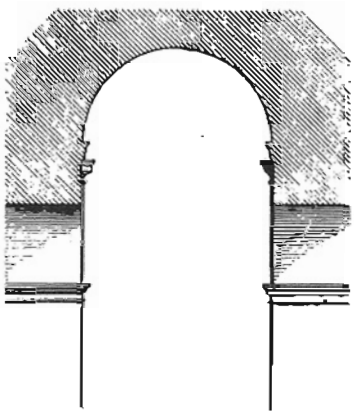


Fig. 38.

Cette solution levait toute difficulté dans les cas où elle était applicable ; mais souvent le manque de hauteur devait faire écarter l'idée d'étager ainsi les uns au-

dessus des autres les berceaux qui se coupent, et il fallait se résoudre à employer les voûtes d'arête.

— Voici une autre circonstance où les voûtes d'arête se présentaient pour ainsi dire d'elles-mêmes.

Les Romains ont eu fréquemment à voûter des salles formées d'une nef centrale flanquée de deux nefs secondaires ; et alors deux combinaisons seulement permettaient d'éclairer la nef du milieu : il fallait, ou bien en relever la voûte assez haut pour prendre des jours au-dessous de ses naissances, ou bien pratiquer dans la voûte elle-même des ouvertures, des lunettes. C'est à ce second parti que les Romains se sont ordinairement arrêtés : telle est l'origine des voûtes d'arête qui couvraient la grande nef de la basilique de Constantin (planche III); c'est à ce titre que les voûtes d'arête figurent dans la salle principale des thermes de Caracalla (planche V), et dans cette autre salle si admirablement conservée, qui est devenue au seizième siècle l'église Sainte-Marie des Anges. Peut-être le désir de mettre de la variété dans les compositions d'architecture fit-il quelquefois adopter les voûtes d'arête alors que les exigences de la construction ne les eussent pas imposées; mais les circonstances où cette espèce de voûtes fut admise pour des motifs étrangers à l'art de bâtir sont fort rares : presque partout, à côté de la raison esthétique, son emploi se trouve justifié par des convenances d'ordre matériel. — Au reste, il s'agit moins ici de discuter les cas où les Romains firent usage des voûtes d'arête que d'indiquer les moyens employés par eux pour les tracer et les construire.

Et d'abord, quel était le tracé des voûtes d'arête antiques?

Les Romains, qui avaient en toutes choses une préférence marquée pour les solutions simples, s'attachaient à réduire leurs voûtes d'arête à la pénétration de deux berceaux d'égale ouverture; ils pouvaient ainsi prendre pour les berceaux des courbes circulaires et échapper, au moins pour les fermes transversales destinées à porter ces cintres, aux tracés elliptiques.

Pour parler d'une manière plus exacte, les Romains s'imposaient rarement, entre deux berceaux qui se pénètrent, une rigoureuse égalité; s'il se trouvait entre leurs diamètres une légère différence, ils la négligeaient, et se contentaient de placer les sommets au même niveau, en conservant aux deux berceaux une courbure en plein cintre.

C'est ainsi qu'ils ont voûté la nef centrale de la basilique de Constantin :

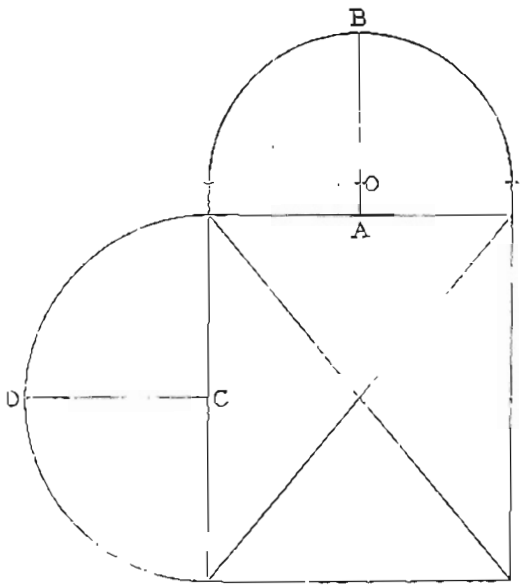


Fig. 39.

Ils ont pris pour montée commune des deux berceaux le rayon CD du plus large des deux : le profil de l'autre berceau est un demi-cercle surhaussé dont la montée totale AB est égale à CD. — Le léger surhaussement qu'ils ont été conduits à donner au berceau le plus étroit, loin de nuire à l'effet de l'édifice, prêtait au contraire à ses voûtes une extrême élégance.

Mais l'inégalité entre les deux côtés d'une salle à voûter était souvent trop grande pour que cet expédient fût admissible, et alors on cherchait à ramener la construction à celle d'une voûte sur plan carré, en faisant usage d'un artifice bien simple, défini par ce croquis :

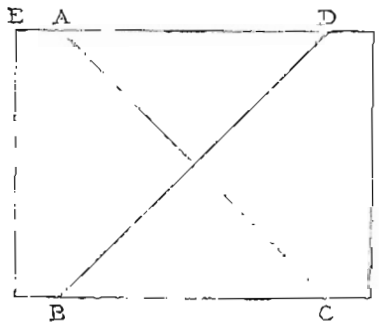


Fig. 40.

On couvrait en voûte d'arête seulement un carré ABCD pris dans la partie centrale

et mesurant sur chaque face une largeur égale à la petite dimension AB du rectangle à voûter. Quant au surplus du rectangle, il était abrité par les prolongements tels que AE du berceau longitudinal.

Cette solution est très-habituelle, pourtant il ne faudrait pas lui prêter une généralité absolue : il serait faux de dire que les Romains eussent exclu de parti pris les voûtes d'arête barlongues et les berceaux elliptiques qui sont la conséquence de leur emploi. — Ainsi, une salle demeurée presque intacte dans les Thermes de Dioclétien, présente trois travées de voûtes d'arête où le rapport entre les ouvertures des berceaux est à peu près de 2 à 3 : en voici le plan, la vue générale en est donnée pl. IX.

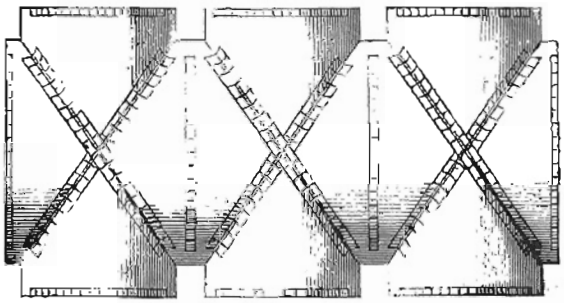


Fig. 41.

Cette voûte est franchement barlongue; c'est là du reste l'exemple le plus remarquable qui me soit connu de voûte d'arête sur plan rectangulaire allongé, mais ce n'est pas à beaucoup près le seul exemple qui existe : et les tracés en ellipse ne furent écartés qu'au jour où les architectes de Constantinople, héritiers des traditions et des tendances de l'art romain, imaginèrent de substituer aux voûtes d'arête classique la solution essentiellement pratique qu'on lit dans la figure de la page suivante (fig. 42).

Grâce à l'ingénieux arrangement des nouvelles voûtes, la forme plus ou moins irrégulière du plan cessait d'être une cause de complication dans les tracés. Qu'il existât ou non une différence entre les côtés; qu'au besoin la salle fût un quadrilatère à angles inégaux, dans tous les cas les courbes de tête pouvaient être des demi-circonférences; les courbes arêtières elles-mêmes devenaient arbitraires, de sorte que rien n'empêchait de les décrire au compas : et des fermes en plein cintre composaient à elles seules toute la charpente d'une voûte. — Mais il suffit d'indiquer ici le lien qui rattache aux idées romaines cette innovation byzantine : reprenons la question des voûtes d'arête antiques pour l'envisager au point de vue des procédés d'exécution.

Quel que fût le tracé admis pour les voûtes d'arête, les Romains ont facilité l'établissement de ces voûtes par l'emploi de procédés fort semblables — du moins dans leur principe — à ceux qui ont été développés à l'occasion des voûtes en berceau. Les unes et les autres se composent de deux parties bien distinctes : un massif en ma-

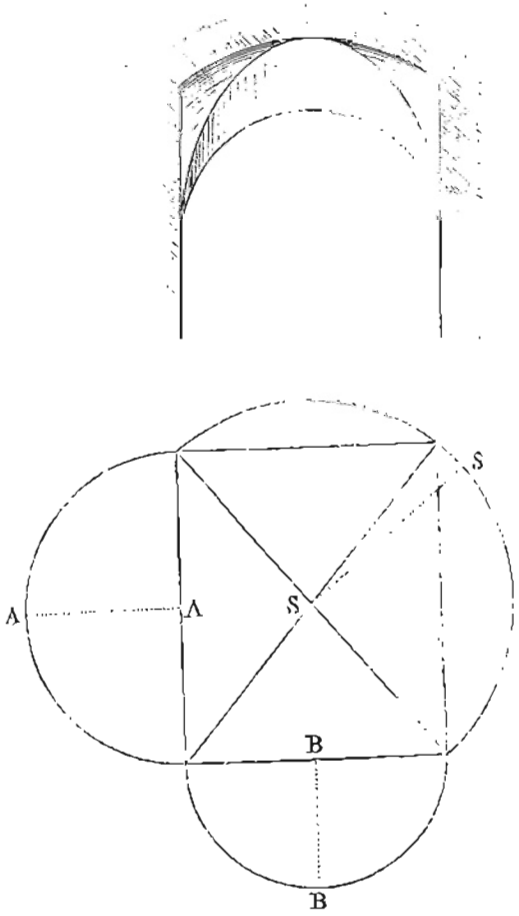


Fig. 42.

çonnerie brute, qui forme le corps de la voûte, et un réseau de brique à jour, ou un carrelage léger, qui sert d'étai au massif pendant sa construction, et se substitue au moins partiellement au cintre provisoire pour supporter la charge.

Lorsqu'ils adoptaient le système des carrelages, les Romains avaient soin de protéger l'arête par une bordure solide : si petites que fussent les briques dans le corps du revêtement, celles qui longeaient l'arête n'avaient jamais moins de $0^m,45$ de côté ; presque toujours leur dimension latérale était de $0^m,60$, et leur épaisseur de $0^m,05$ environ. Ces dalles d'angle ont pour la plupart disparu, mais les empreintes qui subsistent accusent nettement leur grandeur et leurs formes ; et l'on peut sans

indécision rétablir par la pensée l'aspect général de l'armature : vue par-dessus, avant l'établissement des massifs, elle se présentait comme il suit :

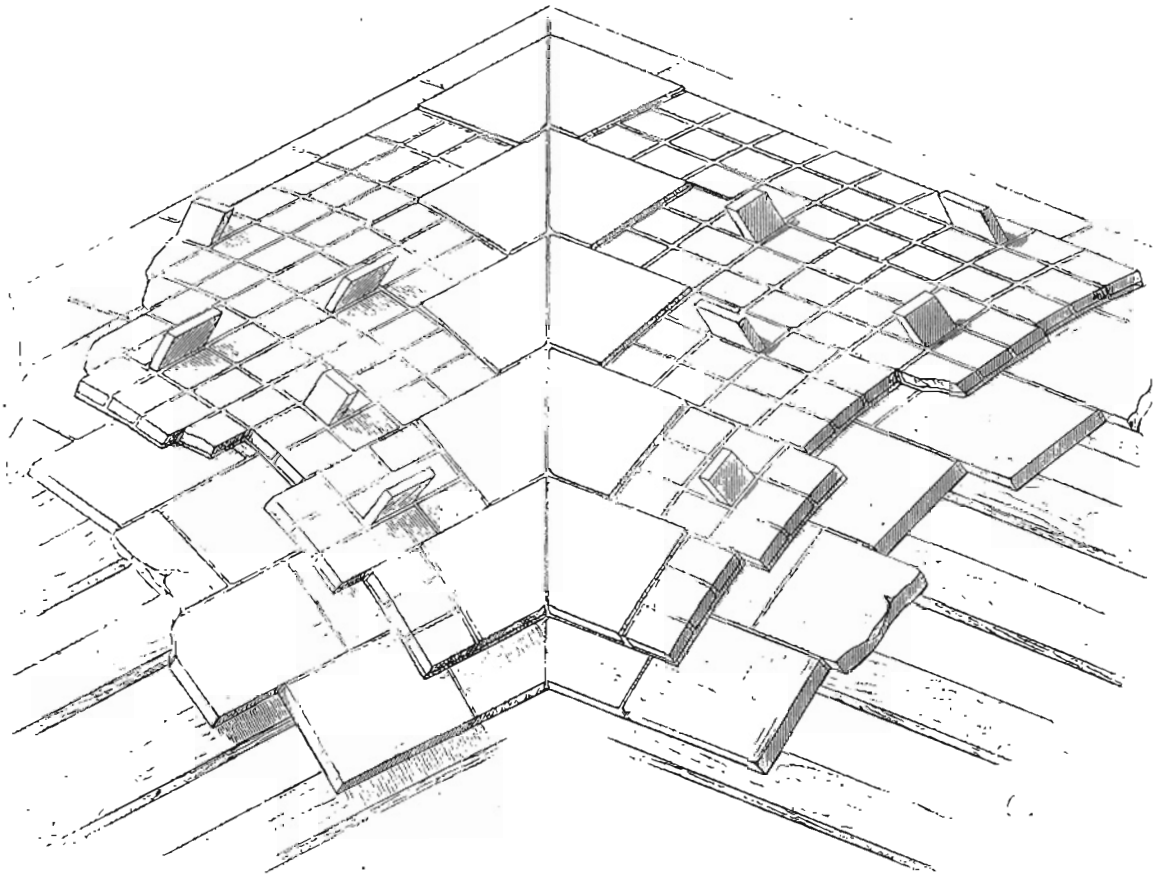


Fig. 45.

Ce dessin est emprunté à l'une des salles des Thermes de Caracalla. Le même arrangement se retrouve d'ailleurs, avec de très-légères variantes, à la villa Hadriana, au Palais des Césars, etc.

Quant au mode de soutènement par nervures, il s'appropriait plus aisément encore aux exigences d'une pénétration de voûtes; on disposait (planche IX), des nervures M et N, suivant les lignes d'intersection, et au besoin, on ajoutait à ces arcs diagonaux des chaînes secondaires R dirigées transversalement d'un piédroit à l'autre. Ces dernières ne diffèrent en rien des arcatures engagées qui servaient aux berceaux simples : je m'arrêterai seulement sur la composition des nerfs arêtiers (détail n° 44).

Trois arceaux parallèles entre eux et reliés deux à deux par des dalles en poterie, constituaient comme une échine résistante le long des arêtes. Il fallait, pour réa-

liser cet assemblage, recouper légèrement les briques de manière à les ajuster dans l'angle saillant des berceaux ; mais, au lieu d'une taille régulière sur pannеaux, on se contentait d'écorner sur place chacune des briques : et cette préparation des matériaux s'exécutait d'une façon si grossière, qu'elle n'entraînait vraiment ni dépense ni retard.

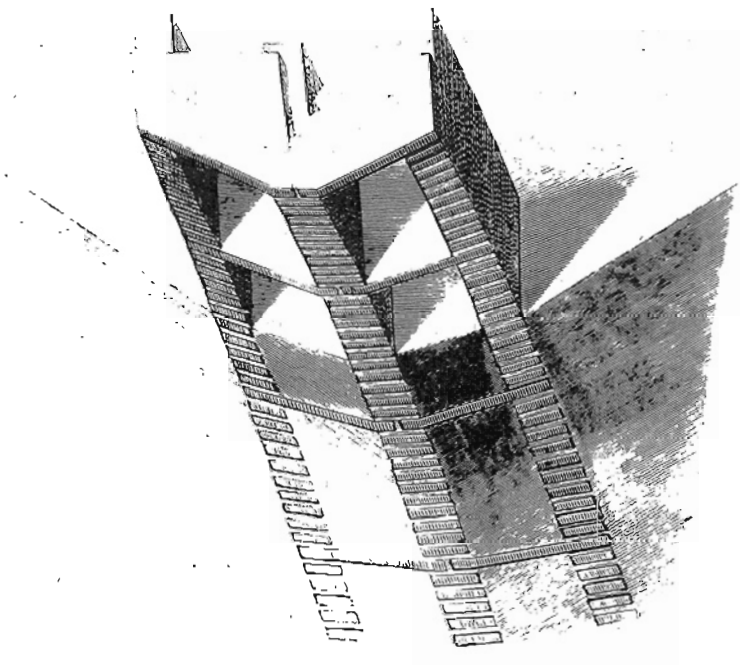


Fig. 44.

La seule opération délicate, c'était de ménager au sommet le croisement des nerfs diagonaux. On fermait sans peine l'une des deux nervures, on terminait l'arêtier M par exemple (pl. IX) ; mais quand arrivait l'instant d'achever l'autre nervure N, une difficulté se présentait : les moitiés de ce second arc, venant presser à droite et à gauche la nervure creuse M, menaçaient de l'écraser. Évidemment il fallait remplir en maçonnerie les cellules supérieures de l'arc M avant de poser les dernières briques de l'arc N : les cellules comblées devenaient capables de résister à l'effort de rapprochement ; et la construction se finissait sans le moindre embarras.

Ainsi furent établies de grandes voûtes aux Thermes de Dioclétien : et l'on peut rapporter à ce type les dispositions habituellement adoptées dans les salles dont l'ouverture atteint ou dépasse 15 mètres environ d'un piédroit à l'autre. Pour les voûtes de moindre portée, les moyens de soutènement deviendront de moins en moins énergiques ; nous verrons le squelette en briques se simplifier par degrés, et proportionner sa résistance aux efforts que le corps des blocages doit exercer sur lui. Suivant l'ordre logique des modifications possibles, les Romains seront conduits d'abord

à supprimer les arcs-doubleaux tels que R qui dans la voûte de la planche IX coupaient transversalement les berceaux; puis ils enlèveront un des trois arcs formant les chaînes d'angle : ils arriveront enfin à faire disparaître deux de ces arcs élémentaires et ramener ainsi la membrure de la voûte à n'être plus qu'un arceau isolé se développant le long de chaque arête : — l'architecture romaine nous offre de cette sorte toutes les variantes intermédiaires entre la voûte d'arête sur une ossature complète, et la voûte en blocage sans aucune ossature. Essayons de caractériser par des exemples les différents aspects que le squelette en briques présente dans cette série de transformations progressives.

1° La forme d'armature qui se rapproche le plus de celle que nous avons choisie pour type existe dans une galerie du Palatin située vers l'angle méridional de la colline (voy. planche VIII). Les arcs arêtiers sont établis exactement comme aux Thermes de Dioclétien : même nombre d'arceaux élémentaires, même mode d'entretoisement ou de liaison entre ces arceaux; mais au Palatin, les arcs transversaux ont été jugés superflus eu égard aux moindres dimensions de la salle : c'est en un mot la combinaison figurée à la planche IX, moins les arcatures R qui divisaient la voûte en travées sur plan rectangulaire.

2° Comme application de nervure diagonale faite de deux chaînes seulement, je citerai la voûte d'arête occupant la partie centrale du portique dit de Janus Quadrifrons à Rome : on trouvera dans la 2e figure de la planche VII la vue d'ensemble de la voûte, et dans ce fragment

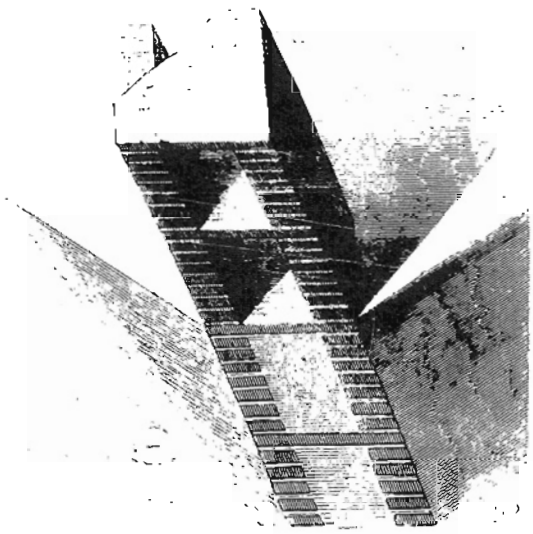


Fig. 45.

l'aspect de la nervure-arêtière dégagée de la maçonnerie brute qui l'empâte. Après les détails où nous sommes précédemment entrés, il est à peine besoin de dire ici comment l'exécution du travail fut conduite : on construisit l'un des deux arcs diagonaux sans se préoccuper de l'autre ; on remplit ensuite en béton deux ou trois cellules, dans le voisinage du sommet ; puis on ferma le second des arcs diagonaux.

3° J'arrive enfin au cas où l'arcature diagonale n'admet qu'une chaîne unique de briques.

On a un exemple de cette solution simple dans une salle du Palais des Césars (planche VII, fig. 1), dont les ruines, isolées sur la plate-forme du Palatin, dominent le vallon du Grand Cirque. — Chacun des arcs diagonaux est constitué (fig. 46)

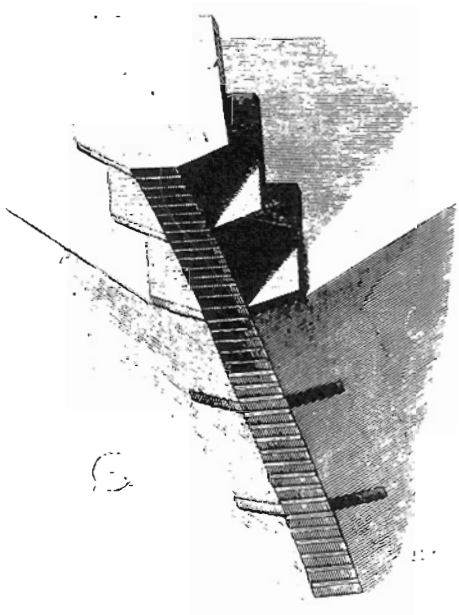


Fig. 46.

par un cordon de briques étroites auxquelles s'associent, de distance en distance, de grandes dalles carrées, modifiées par une taille sommaire. Ces dernières dépassent, à droite et à gauche, la largeur de l'arc, formant lancis dans la masse ; et elles établissent ainsi, entre le cintre en briques et les blocages, une intime liaison.

Nous sommes parvenus à la forme élémentaire de l'armature antique dans les voûtes d'arête : pour compléter le tableau des transformations que cette idée a reçues dans les

siècles qui nous ont précédés, il faudrait maintenant sortir des limites de l'art romain, et suivre à travers le moyen âge les dispositions des voûtes à pénétrations élevées du onzième au seizième siècle dans les contrées occidentales de l'Europe. Nous retrouverions dans les nerfs diagonaux et les arcs-doubleaux saillants de ces voûtes l'équivalent de l'ossature romaine ; mais ici les arceaux remplissent en outre une fonction nouvelle. Le rôle de la membrure dans les voûtes romaines est limité au temps où les blocages, encore mal consolidés, ont besoin d'un support auxiliaire : une fois la concrétion formée, ce squelette se confond dans la masse qui l'enveloppe et n'agit comme elle que par la cohésion de ses parties.—L'armature gothique, sans avoir une moindre utilité lors de la construction des voûtes, conserve un rôle distinct au delà même de l'époque de décintrement : c'est sur elle que porte tout entière la charge des panneaux en moellons taillés qui occupent l'intervalle des nervures : c'est par elle que le poids des maçonneries de remplissage se transforme en une force de poussée et vient s'amortir contre la masse des contre-forts ou la contre-poussée des arcs-boutants : le système d'équilibre est essentiellement différent dans les deux cas ; et, pour n'établir entre les deux sortes de voûtes que des rapprochements sérieux, il faut se borner à les comparer pendant la période des travaux. A ce moment du moins la ressemblance est parfaite, et les voûtes gothiques nous rendent, sous un aspect nouveau, tous les traits essentiels des voûtes d'arête élevées sous l'empire romain. Ce serait sortir de notre programme, de développer ces analogies et ces différences : nous avons montré les principales variantes qu'admettaient les armatures dans les voûtes d'arête romaines ; nous dirons dans le paragraphe suivant comment les mêmes principes de construction s'étendirent aux voûtes sur plan circulaire, c'est-à-dire aux coupoles et aux voûtes en quart de sphère.

VOUTES SUR PLAN CIRCULAIRE

Les voûtes qui chargent le moins leurs cintres sont évidemment les dômes. Chaque tranche horizontale étant de forme annulaire tend à se maintenir par elle-même en équilibre ; et il semble qu'une coupole dont le plan est un cercle parfait, réclame moins une ossature résistante qu'un moule capable de donner à chaque partie la courbure qui lui convient.

Plus d'une coupole antique fut en effet maçonnée sans autre appui que la chape

de ses cintres : ainsi fut construite la voûte du monument circulaire élevé aux portes de Rome en l'honneur de la mère de Constantin.

Mais la résistance aux déformations résultant de la courbure des surfaces s'atténue à mesure que le rayon augmente : et, pour des dômes d'un diamètre comparable à celui du Panthéon de Rome, la courbure étant presque insensible, les avantages de stabilité qu'elle procure deviennent pour ainsi dire illusoires. — Même lorsqu'ils avaient à construire sur de moindres dimensions, les Romains paraissaient redouter la disposition des massifs à s'affaisser sur leurs cintres ; et dès que la portée atteignait une vingtaine de mètres, ils regardaient les armatures en briques comme capables d'offrir aux charpentes provisoires un très-utile renfort.

Pour obtenir cette consolidation des cintres, ils tentèrent quelquefois de revêtir la surface entière d'un réseau continu en briques, analogue à celui que définit la planche I ; mais cette enveloppe s'adaptait mal à la figure convexe d'une sphère. Il fallait pour la réaliser diriger les cordons de briques suivant les divers méridiens ; les mailles variaient sans cesse de forme, se rétrécissant progressivement selon une loi lente et continue : une semblable sujétion devait évidemment restreindre les applications du système. Aussi les voûtes circulaires où ce mode de soutènement s'observe sont fort rares : la plus remarquable peut-être est celle de l'édifice connu sous le nom de Torre de' Schiavi, à gauche de la route qui conduisait de Rome à Préneste.

Le moyen d'éviter les difficultés dues au resserrement des mailles, c'était de remplacer le réseau continu par de simples chaînes isolées les unes des autres et partageant la voûte en une série de fuseaux.

On trouvera planche X une application du système ; c'est une voûte des thermes antiques qui étaient adossés au Panthéon de Rome ; j'ai figuré l'armature seulement dans le voisinage des naissances : l'arrangement des parties hautes m'a semblé trop vaguement indiqué pour donner lieu à un essai de restitution. Les chaînes de briques venaient-elles mourir brusquement en butant contre un anneau semblable à celui qui circonscrit l'œil de la voûte du Panthéon (voir plus loin fig. 49) ? — ou bien ces nervures se recroisaient-elles à la manière des arcs-arêtiers dans les voûtes à pénétrations ? — Les ruines ne contiennent pas les éléments d'une réponse ; la voûte est aujourd'hui coupée en son milieu par une rue, et la partie qui en reste comprend tout au plus l'équivalent du fragment théorique représenté par notre dessin. Ce débris,

d'ailleurs, est digne à divers titres du plus haut intérêt ; s'il provient, comme on le croit, des Thermes d'Agrippa, sa date le reporte presque au temps où Vitruve mentionnait à peine les terres cuites parmi les matériaux usuels de la construction ; ce serait, dans l'histoire de l'art de bâtir, un des plus anciens exemples des armatures en briques appliquées aux voûtes. Et assurément cette hypothèse n'est pas contredite par l'aspect général de la ruine. Un soin extrême se manifeste dans tout l'agencement des matériaux, partout on constate une attention, une recherche minutieuse apportée aux moindres détails. — De tels caractères semblent convenir assez bien à une application réfléchie de méthodes encore neuves. La pratique apprit bientôt aux constructeurs à épargner davantage leurs soins ; ici l'exécution est aussi belle que l'arrangement est heureux : et si l'on peut trouver dans des voûtes de date plus récente un squelette d'une plus grande légèreté, il ne faut chercher nulle part une facture aussi correcte, une régularité de formes aussi irréprochable.

Une voûte conçue dans le même ordre d'idées, mais qui, par sa construction grossière, contraste étrangement avec la précédente, c'est la coupole de l'édifice qui porte le nom, d'ailleurs fort contestable, de Minerva Medica. Je donne, à la planche XI, une vue partielle du monument ; quant au plan d'ensemble de la voûte, le croquis suivant suffira pour montrer toute l'irrégularité qu'il affecte.

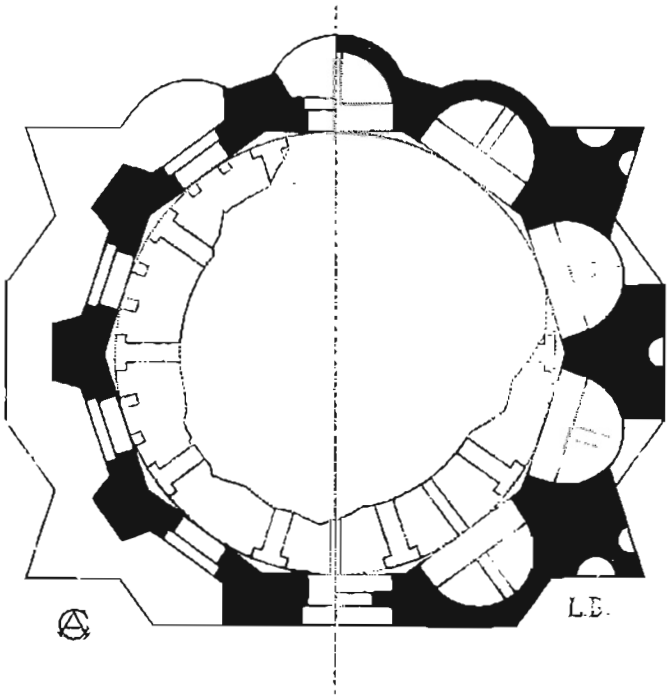


Fig. 47.

Tant qu'on s'arrête aux données générales, la pensée des constructeurs est très-nette : une coupole reposant, par l'intermédiaire de petits pendentifs, sur un tambour décagone. — Des sommets du polygone de base partent dix chaînes ou nervures qui divisent la demi-sphère en dix fuseaux égaux. Quelques-uns de ces fuseaux ont eux-mêmes leur surface partagée par des arcs secondaires, et tout l'ensemble forme une charpente bien ordonnée, qui s'explique d'elle-même et se comprend à première vue.

— Mais dès qu'on examine les détails, on trouve dans la réalisation d'une idée si simple d'étranges incorrections, et la trace évidente d'un parti mal arrêté. L'ossature, comme si elle avait été commencée par erreur avec une solidité excessive, se simplifie brusquement à quelques mètres au-dessus des naissances, soit par raison d'économie, soit que pendant le cours des travaux on ait jugé superflues ou trop dispendieuses les premières dispositions adoptées.

Les maîtresses-chaînes qui répondent aux angles de la base sont composées à leur pied de cinq arceaux élémentaires, vers leur sommet elles n'en présentent que trois. On pourrait dire que cette diminution eut lieu pour donner aux chaînes un développement transversal proportionné au périmètre de la voûte vers sa naissance : cette explication, envisagée en elle-même, serait peut-être admissible; mais, à considérer l'ensemble des faits, on reconnaît que la première hypothèse est la seule vraie, qu'en d'autres termes, l'armature est un ouvrage tronqué, dont le projet primitif, mis un instant à exécution, se modifia peu à peu dans ses principales dispositions. — Cela ressort surtout de l'examen des ouvrages intercalaires insérés dans les divers fuseaux de la coupole :

Tel fuseau contient deux arceaux secondaires interrompus presque aussitôt que commencés, et qui restent sans utilité, faute d'être fermés à la clé.

Dans tel autre fuseau de la voûte, une chaîne unique a été amorcée, montée jusqu'à une faible hauteur; puis cette chaîne s'arrête tout à coup, de sorte qu'elle demeure, comme les précédentes, sans emploi.

Enfin, pour les derniers fuseaux, le constructeur, bien convaincu de l'inutilité de ces chaînes intermédaires, y renonça tout à fait; de sorte qu'on voit dans une même voûte des secteurs subdivisés par deux chaînes inachevées, d'autres partagés par une chaîne unique, d'autres enfin sans aucune division. Ces arceaux tour à tour commencés, réduits, abandonnés, accusent des tâtonnements, une hésitation qu'on n'est point habitué à rencontrer dans les monuments de l'art romain : et en effet le

Temple de Minerva Medica est visiblement une œuvre des derniers âges de Rome; le plan, aussi bien que l'aspect extérieur de l'édifice, est empreint de caractères qui révèlent une date fort rapprochée peut-être de la renaissance byzantine. La coupole des Thermes d'Agrippa montre l'origine des procédés, celle-ci nous en présente le déclin; ce sont pour ainsi dire les deux manifestations extrêmes d'une tradition qui se perpétua pendant la longue durée de l'Empire avec une remarquable persistance.

Ce serait le lieu de dire ici comment les méthodes relatives aux voûtes sphériques se modifièrent dans les voûtes en quart de sphère ou voûtes en cul-de-four, comment enfin les combinaisons fondées sur l'emploi des briques à plat s'appliquèrent aux unes et aux autres. Les planches XI, XII et XIII répondront assez clairement, je crois, à ces diverses questions: les planches XII et XIII donnent deux modèles différents des armatures en forme de carrelages; quant à la planche XI, elle fournit des exemples de grandes niches construites dans le système des chaînes isolées.

Remarquez avec quel soin le constructeur a neutralisé par un arc très-puissant la poussée au vide exercée par la chaîne méridienne qui bute contre le plan de tête.

— J'ajouterai un seul détail. Dans les voûtes sphériques, où l'exécution d'une armature est toujours une opération délicate, les Romains s'imposaient moins que partout ailleurs de faire commencer les ouvrages de soutènement à la naissance même de la voûte: toute la partie basse des massifs, jusqu'à un certain niveau C, ils la construisaient sans aucune armature maçonnée, et quelquefois même sans aucun cintre, en se guidant à l'aide d'un fil de longueur égale au rayon, fixé au centre de courbure.

Entre autres exemples, il existe aux Thermes de Caracalla plusieurs voûtes d'exèdres où très-probablement ce procédé fut suivi.

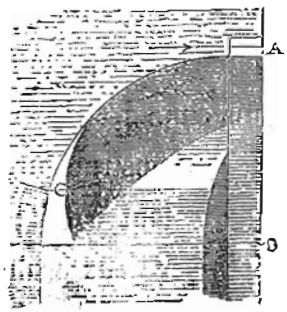


Fig. 48.

Pour rester entièrement fidèle à la règle que je m'étais imposée, de faire connaître

la construction antique par l'observation personnelle des monuments, je devrais peut-être garder le silence sur la coupole du Panthéon ; car cette voûte, enduite d'un stuc épais, n'offre pour nous qu'une série régulière de caissons, sans aucun indice apparent d'ossature. — J'essayerai, toutefois, à raison de l'importance du monument, de m'aider ici d'un témoignage étranger.

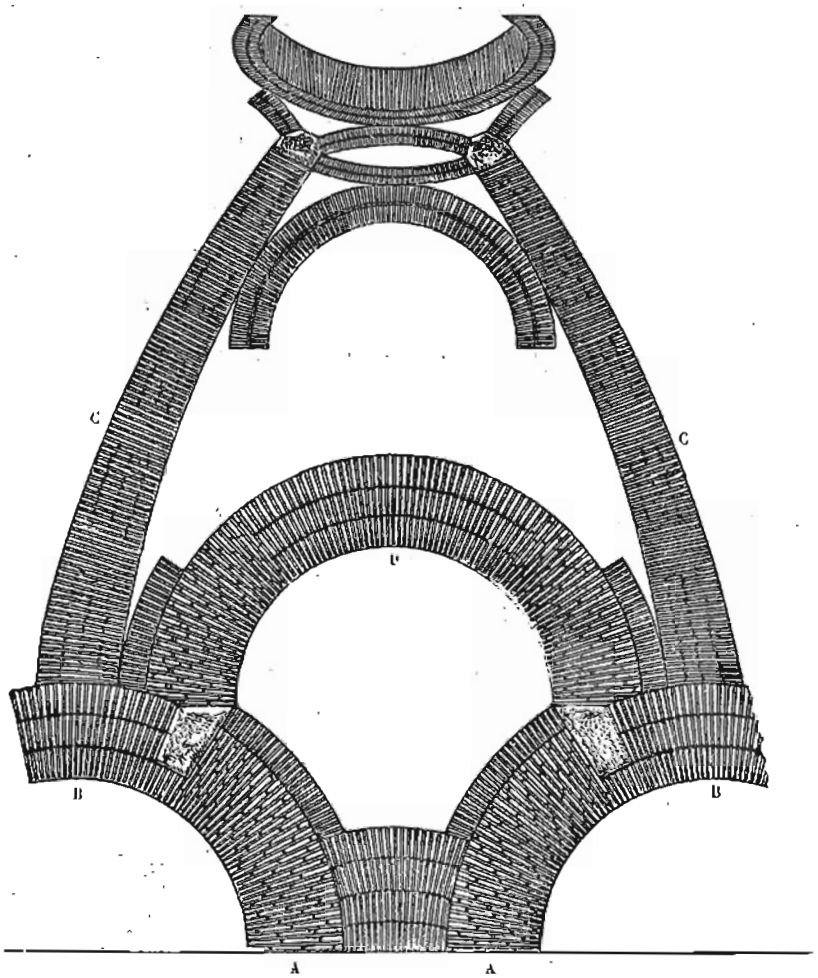


Fig. 49.

Piranesi a trouvé, lors des réparations faites à la voûte sous le pontificat de Benoît XIV, une occasion d'en étudier les détails. Les enduits, en partie usés par le temps, durent être arrachés sur plusieurs points et refaits à neuf : on établit alors un échafaudage mobile, roulant sur la saillie de la corniche et pivotant autour d'un axe situé au sommet du dôme ; et Piranesi, qui s'était proposé de sauver par ses dessins les vestiges de l'ancienne Rome, profita de cet ingénieux appareil pour observer les moindres détails de la coupole, dont il pouvait parcourir la surface intérieure tout entière.

Les conjectures hasardées entrent pour une part regrettable dans les travaux de Piranesi; ici toutefois son témoignage mérite une certaine confiance : les circonstances où il se trouvait placé semblent être pour nous une garantie[1] : et le soin même qu'il a mis à rendre les parties de l'édifice encore visibles répond dans une certaine mesure des faits que nous ne pouvons vérifier aujourd'hui.

La figure qui précède reproduit rigoureusement le dessin où Piranesi montre les dispositions de l'intrados pour un fuseau correspondant au huitième de la voûte.

Au Panthéon, de même qu'au temple de Minerva Medica, ce qui constitue la carcasse de la voûte, c'est un système de nervures méridiennes C, C,... — Des arcs de décharge B, B,... empêchent ces nervures de peser en porte-à-faux sur les évidements du tambour; enfin des arceaux intercalaires D, D,... subdivisent en compartiments plus petits le large intervalle du fuseau sphérique compris entre deux nervures consécutives.

Ainsi le sens de toutes les parties basses de l'armature se lit pour ainsi dire dans la forme même qu'elles affectent. — Examinons maintenant les dispositions offertes par cette charpente en briques dans sa région supérieure.

Deux croquis comparatifs (fig. 50 et 51) montreront, à deux états d'avancement, la partie haute de l'ouvrage qui fut, je crois, exécutée en deux fois.

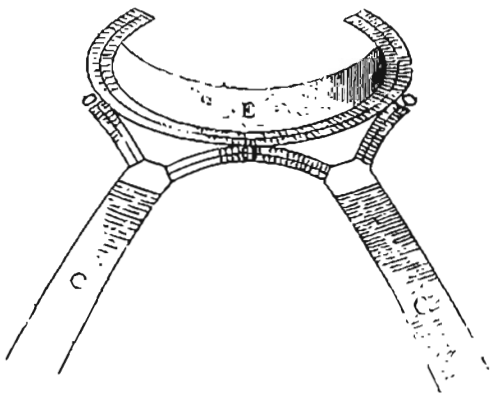


Fig. 50.

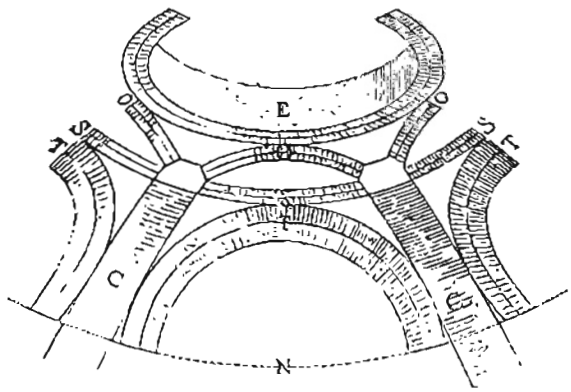


Fig. 51.

A leur sommet, les nervures méridiennes C, C,... se terminaient originairement de la manière indiquée par la figure de gauche (fig. 50) : leur tendance au rapproche-

[1] Piranesi fait valoir lui-même cette preuve en faveur de son témoignage : le dessin qu'il donne de l'intérieur de la coupole (fig. 49) la représente, dit-il, « telle qu'on la vit quand elle fut dépouillée de son enduit antique come si vidde quando fù spogliata dell' antica intonacatura). »

ment venait s'amortir contre un anneau de briques E formant la bordure de l'œil circulaire ménagé au sommet de la voûte, et leurs pressions se répartissaient sur tout le pourtour de cet œil par l'intermédiaire de huit arceaux tangents O, O,...

Épaulée par ces huit arceaux, la bordure de l'œil pouvait résister quelque temps à l'étreinte des nervures méridiennes : mais l'effort croissait à mesure que les massifs s'élevaient ; et la bordure E, de plus en plus violemment resserrée sur elle-même, menaçait de s'écraser. On jugea sa résistance suffisante tant que les blocages ne dépassèrent pas le niveau N : à ce moment du moins, il sembla prudent de doubler tout le système dans la région du sommet ; on construisit un second anneau SSS concentrique à l'œil de la voûte ; et, de même qu'on avait épaulé la bordure immédiate de l'œil par des arceaux tangents O, O,... de même ce nouveau cercle fut soutenu par un système d'arcatures désignées dans la figure de droite par les lettres T, T,...

Telle est l'origine des arcatures T et de l'anneau S, qui établissent une différence entre les deux dessins n° 50 et n° 51. — Ce n'est pas là d'ailleurs une interprétation de fantaisie : le second anneau S, concentrique à la bordure de l'œil, ne pouvait exister sans l'arceau d'épaulement T ; ce dernier à son tour ne pouvait être installé sans que les maçonneries de remplissage eussent atteint le niveau N, sinon son pied eût manqué d'appui, il eût porté sur le vide. — Donc la date relative que nous assignons aux parties hautes de l'ouvrage est assurée, nécessaire ; les grandes nervures méridiennes, pendant la première période des travaux, n'ont été maintenues à leur sommet que par la bordure E, et c'est seulement quand les remplissages ont atteint le niveau N, que cette bordure E dut être renforcée par le second anneau SS qui l'entoure à distance. Cet ordre de succession une fois admis, le rôle et la forme de l'ossature tout entière s'expliquent, et la marche qui fut suivie se conçoit sans la moindre difficulté. Quoi qu'il en soit, nous tenons à présenter notre essai d'explication comme une hypothèse sujette à contrôle, en appelant l'attention des observateurs sur les circonstances capables d'éclaircir les questions qui se posent en présence de cette voûte colossale : une durée de dix-neuf siècles semble être la meilleure garantie des procédés suivis ; et la connaissance assurée de ces méthodes fournirait à la fois une donnée précieuse pour l'avancement de l'art de bâtir, et un fait important pour l'histoire de l'architecture antique.

La coupole du Panthéon s'appuie directement sur un tambour de forme circulaire :

c'était la disposition primitive des coupoles romaines, celle de la salle ronde des Thermes d'Agrippa (pl. X), celle de toutes les salles couvertes par des dômes et élevées aux premiers temps de l'empire. Quant à l'idée des pendentifs, nous l'avons signalée en décrivant la coupole de Minerva Medica ; c'est en effet une idée introduite fort tard dans l'architecture romaine : les exemples qu'on en pourrait citer appartiennent pour la plupart à cette période de décadence qui suivit le règne de Dioclétien et précéda la renaissance byzantine. Au temple de Minerva Medica, les pendentifs raccordaient un dôme avec un plan décagone ; à la Torre de' Schiavi (p. 81), le dôme portait, par l'intermédiaire de pendentifs assez informes, sur un plan octogone. — Enfin on rencontre, dans un monument qui appartient à l'art antique plutôt qu'à l'art byzantin, une coupole sur plan carré, c'est la coupole qui occupe la partie centrale du tombeau de Placidie à Ravenne. Ainsi s'annonçait peu à peu, dans les édifices romains, la grande application des voûtes sur pendentifs d'où les architectes de Justinien devaient, au sixième siècle, faire sortir un système de construction entièrement original.

CAS PARTICULIERS DANS LA CONSTRUCTION DES VOUTES; MOYENS DE CONSOLIDATION : CONTRE-FORTS, ETC.

Jusqu'ici les ouvrages de soutènement adoptés par les anciens lors de la construction des voûtes nous ont paru se ramener à deux types : d'un côté, les armatures en briques à joints rayonnants, les réseaux à jour, les nervures isolées; de l'autre, les armatures en briques à plat, les carrelages auxiliaires. Ce classement est, de tous ceux qu'on pourrait tenter, le moins incomplet peut-être, mais il est loin de comprendre l'ensemble entier des faits. La division n'a rien d'absolu. Tantôt les Romains faisaient choix entre les deux modèles, tantôt au contraire leurs monuments nous offrent les deux types associés l'un à l'autre : c'est le cas d'une salle du Palatin (pl. VI) où la voûte présente un système d'arcs-doubleaux portés eux-mêmes sur un carrelage courbe. Les deux supports se complètent mutuellement, et l'architecte a voulu réunir dans les ouvrages servant à recevoir la voûte la continuité d'un carrelage avec la rigidité d'un squelette en briques à joints convergents.

En matière de construction, on peut dire que les anciens n'admettaient aucune règle formelle et tout à fait générale : les besoins et les ressources varient à l'infini,

et les constructeurs romains ne jugeaient point qu'une telle diversité dans les conditions à remplir fût compatible avec des méthodes entièrement fixes. Dès lors, point de préférence exclusive pour telle sorte de matériaux ou pour telle forme particulière de bâtisse : à Rome ils emploient la brique dans les ossatures de leurs voûtes : mais à Pompéi, par exemple, les matériaux des armatures seront tout autres, et par suite l'aspect des voûtes se trouvera profondément modifié. L'architecte ne s'astreindra point à l'emploi des carreaux en poterie, non plus qu'aux formes des chaînes ou dallages admises à Rome : il intercalera encore entre les cintres et les massifs un support auxiliaire, mais on ne doit plus chercher ici l'équivalent de ces réseaux savamment élégis que nous avons fait connaître : tout se réduit à une croûte continue de tufs mêlés à du mortier, pour ainsi dire un pavage en petits moellons, qui environne les cintres comme une enveloppe générale ; l'armature se transforme en une sorte de voûte mince en matériaux presque bruts, soutenant, à la manière des carrelages en briques à plat, le poids entier de la partie haute des massifs. Ce genre de support, qui est celui de la plupart des voûtes à Pompéi, se montre avec la plus entière évidence dans les corridors de l'arène, dans les galeries des deux théâtres, dans les salles de l'étage inférieur de la maison dite de Diomède, etc.

A Vérone, ce ne sont ni des tufs ni des briques qu'on emploiera pour le même objet, mais bien des galets ronds de l'Adige : ces galets constituent à eux seuls l'enveloppe des cintres et le support des voûtes dans les corridors servant de dégagements à l'amphithéâtre.

— Enfin quand la voûte à bâtir est de faible ouverture et peu élevée au-dessus du sol, les Romains, changeant de procédé, renoncent en même temps aux armatures et aux cintres, et se contentent quelquefois de couler le massif sur un noyau en terre, sur un simple remblai servant de moule. C'est le cas d'une voûte retrouvée dans un cimetière antique à Vienne [1] ; c'est aussi le cas des voûtes pratiquées à titre d'évidements dans le soubassement d'un des principaux temples qui s'élevaient sur la plate-forme du Palatin. Dans ce second exemple, les terres ayant servi de noyau aux évidements sont restées en place sous la forme même où les constructeurs les ont autrefois entassées.

[1] Aujourd'hui détruite. — Voir, pour les détails qui se rapportent à cette voûte, l'ouvrage de M. Le Blant sur les Inscriptions chrétiennes des Gaules (tome II, p. 125, inscr. n° 354) : une pierre gravée, mêlée aux remblais composant le noyau intérieur, avait laissé dans les maçonneries une empreinte évidemment caractéristique du mode de construction adopté.

Ainsi les moyens d'atteindre à l'économie des ouvrages provisoires se transformaient quoique l'idée fondamentale d'où les procédés découlent demeurât constamment la même : je voudrais montrer par quelques variantes encore quelle fut dans l'antiquité la multiplicité des aspects que cette idée a tour à tour revêtus.

Je n'ai parlé jusqu'ici que de voûtes à intrados courbe : la courbure des cintres sembla être elle-même une complication, et les Romains poussèrent la recherche de l'économie au point de renoncer aux tracés curvilignes. Ils ont tenté cette solution au théâtre de Taormine. De grandes niches présentent, au lieu d'une voûte en arc de cercle, une sorte de plafond brisé, une voûte en pointe (pl. XV, fig. 5); on concevra ce bizarre arrangement en imaginant une ogive où chaque branche deviendrait une simple ligne droite : le cintre, dans une voûte ainsi conçue, pouvait évidemment se ramener à un système de deux madriers butant l'un contre l'autre. — L'artifice, d'ailleurs, ne doit pas être regardé comme un fait isolé dans l'art romain : j'ai observé dans la plaine de Rome, non loin de l'extrémité tournante du Cirque de Maxence, des constructions antiques de modeste aspect, où de longues voûtes affectent un profil brisé semblable à celui des niches de Taormine. Le cintrage de ces berceaux simplifiés peut être assimilé avec la plus entière exactitude à la charpente d'un toit à deux versants : on ne saurait étendre davantage ni appliquer plus librement les conséquences des principes d'économie que j'ai tâché de mettre en lumière.

Avec cette liberté dans le choix des moyens, il n'était aucune circonstance que les Romains ne missent à profit. Ils avaient reconnu que les matériaux pèsent plus fortement sur les cintres vers le sommet d'une voûte qu'à ses naissances : aussi cherchaient-ils à disposer les matériaux autrement au sommet qu'aux naissances. Ainsi l'arc représenté planche XV figure 2, est formé vers ses reins d'une maçonnerie pleine en grandes briques, et se réduit vers le sommet à un réseau à jour portant un massif de blocages.

Ainsi encore (même planche, fig. 1), les grandes arcatures de l'étage inférieur du Panthéon, faites dans leur partie basse de briques chevauchées, dégénèrent brusquement en un système de trois arceaux emboîtés et indépendants, dont le premier une fois établi a servi de cintre aux deux autres[1].

[1] Ces voûtes jouent le rôle de décharges, c'est-à-dire qu'elles servent à reporter sur les parties solides de la base le poids des parties hautes. — Elles sont remplies presque entièrement de maçonnerie; mais il est clair qu'elles

— Ailleurs nous voyons les Romains utiliser l'adhérence des mortiers pour bâtir de petites voûtes entièrement sans cintres ; c'est ce qui eut lieu dans certains aqueducs construits en Grèce, et dont on peut prendre comme type celui des Propylées d'Éleusis.

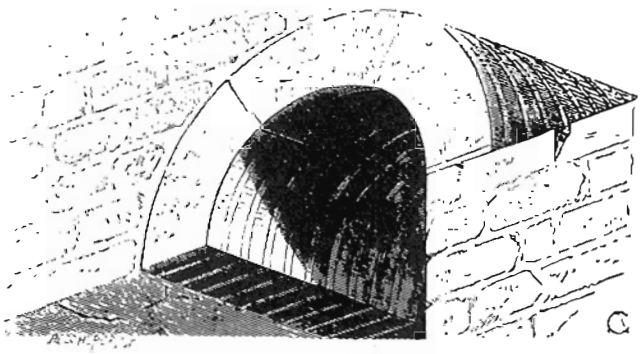


Fig. 52.

Les briques, en forme de secteur circulaire, sont posées de champ sur des couches épaisses de mortier : les deux briques voisines des naissances s'installaient aisément : une fois celles-ci mises en place et collées pour ainsi dire au tronçon d'aqueduc déjà terminé, la brique formant clé se plaçait dans l'intervalle laissé vide ; et l'ouvrage s'achevait sans aucune consolidation temporaire.

— Lorsque enfin ils avaient à renforcer sur un point spécial le berceau d'une voûte,

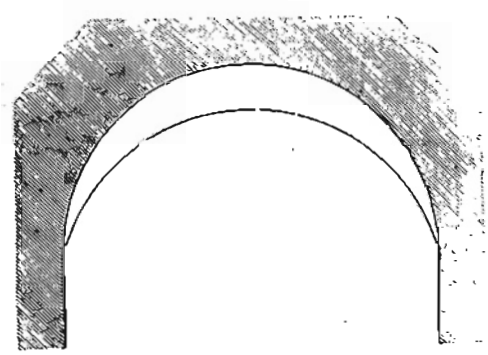


Fig. 53.

lorsqu'il leur fallait par exemple porter une surcharge isolée ou soutenir un mur de

ont dû être élevées sur des cintres, et les maçonneries intérieures établies après coup. Faire servir comme moule les maçonneries intérieures d'une arcature telle que celles dont il s'agit, c'est s'exposer à manquer le but : obtenir extérieurement les apparences d'une décharge, mais élever, en réalité, un massif continu où les pressions se propagent verticalement de haut en bas, comme elles feraient en l'absence de tout arc claré.

refend, les Romains abandonnaient momentanément la pratique d'engager les nervures portantes et remplaçaient ces nervures par des arcs-doubleaux saillants; quelquefois des pilastres recevaient la retombée, mais plus ordinairement on se contentait d'isoler les arcs-doubleaux dans le voisinage de la clé; toute la partie basse demeurait encastrée dans les massifs (voir page précédente, fig. 53).

Grâce à cette combinaison, le berceau trouve au point surchargé le renfort dont il a besoin; les pilastres sont entièrement supprimés : et la salle, débarrassée de saillies encombrantes, présente sur tout son pourtour des parois planes et continues.

Il serait, je crois, superflu de multiplier les exemples de ces dispositions spéciales aux divers cas de la pratique : on reconnaît clairement en elles autant de manifestations d'une même méthode d'économie raisonnée, dont les principes se montrent partout avec une égale évidence malgré l'apparente diversité de leurs applications. — La question des moyens d'exécution semble dès maintenant assez éclaircie; j'arrive à la question de la butée des voûtes.

Au premier abord, on se demandera si cette idée de butée ne doit pas être écartée comme étrangère au système de construction qui nous occupe? Il ne s'agit pas en effet de maintenir la poussée d'un arc divisé en claveaux : ici toutes les parties de la voûte adhèrent les unes aux autres, c'est une masse concrète, un monolithe qu'il faut soutenir; et il suffit à la rigueur de lui donner une surface d'appui assez résistante pour en supporter la charge. C'est, paraît-il, un des grands avantages des voûtes monolithes de pouvoir se maintenir sans aucun étai auxiliaire; et cette propriété était trop élémentaire pour échapper aux constructeurs romains : mais ils surent apercevoir aussi les dangers qu'il y avait à compter absolument sur elle. Un massif achevé prend charge avec plus ou moins de lenteur; il se déforme pendant une période quelquefois assez longue; le sommet s'abaisse peu à peu, et en même temps les parties inférieures de l'arc font effort pour s'écarter. Laisser le mouvement se produire, c'est s'exposer à de graves désordres pendant la période même où ce mouvement s'opère; et, quand la flexion sera complète, la masse demeurera dans un état de tension intérieure comparable à celui d'un ressort pesant posé sur deux appuis. — Ce n'est pas ainsi qu'il convient de faire agir des maçonneries; le mieux est de s'opposer au mouvement de déformation : et le moyen

le plus sûr d'y parvenir, c'est de serrer vigoureusement entre des éperons puissants les reins qui tendent à s'écarter. Telle est, je crois, l'origine des éperons appliqués aux voûtes antiques : on se fera d'ailleurs, par ce dessin d'ensemble, une idée générale de leur forme, de leur importance et de leur disposition.

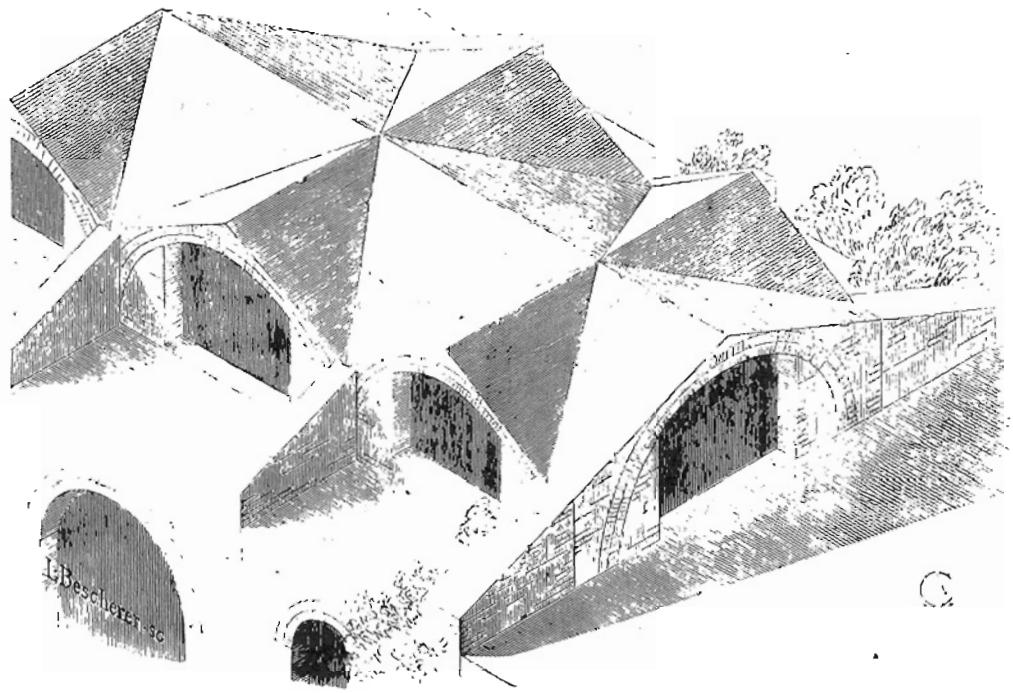


Fig. 54.

Ainsi se présentent les contre-forts de Sainte-Marie des Anges ; ainsi ceux du Temple de la Paix, et à peu de restrictions près ceux de toutes les grandes voûtes d'arête élevées par les Romains. Dans leurs salles voûtées en berceau, les contre-forts sont plus rares et moins saillants ; enfin dans les édifices circulaires, c'est presque une exception de rencontrer des éperons adossés au tambour. — Cette gradation, du reste, semble assez naturelle pour qu'il suffise de l'énoncer.

En général, les Romains n'employaient ces étais extérieurs qu'avec une extrême réserve : dans la consolidation des voûtes aussi bien que dans toutes les parties de la bâtisse, ils évitaient les ouvrages auxiliaires : au lieu d'élever des massifs spécialement affectés au rôle de contre-forts, c'est-à-dire des massifs servant à la stabilité de l'édifice sans concourir à ses usages, ils cherchaient à maintenir les voûtes par un groupement convenable des diverses parties d'une même construction ; et à cet égard l'étude détaillée des distributions offertes par leurs grands monuments

serait féconde en enseignements utiles. Je n'entreprendrai point de décrire une série de combinaisons d'équilibre claires autant qu'ingénieuses, mais qui se refusent à un exposé méthodique : l'ordre d'idées qui y préside est assez indiqué dès à présent, et l'on arrivera sans peine à concevoir l'esprit de méthode qui guidait les Romains en examinant dans leurs détails les plans de quelques grands édifices, tels que les Thermes de Caracalla, de Dioclétien, de Titus, le Palatin, etc. ; on verra avec quel soin et quelle fécondité d'expédients les Romains ont éludé les ouvrages destinés à assurer la stabilité des voûtes : presque tous les massifs qui remplissaient ces fonctions sont en même temps utilisés au profit des services intérieurs auxquels le monument est destiné.

S'agissait-il par exemple de maintenir les voûtes d'arête d'une salle rectangulaire : au lieu de faire partir les arêtes des angles mêmes de la salle, ce qui eût exigé des contre-forts en saillie, ils plaçaient les origines A des arêtes

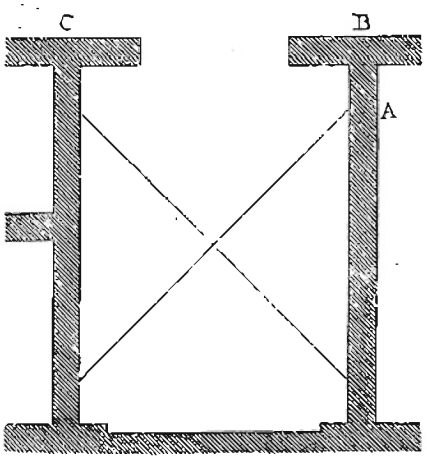


Fig. 55.

à une certaine distance des murs extérieurs BC, ainsi que l'indique le croquis : la partie extrême AB des murs de refend faisait l'office de contre-fort ; et, pourvu que la salle fût plus étroite que longue, on pouvait concilier cet avantage avec ceux qui s'attachent à l'emploi des voûtes d'arête sur plan carré (p. 73, fig. 40) : mais en même temps le contre-fort se trouvait transporté du dehors au dedans de l'édifice et formait une partie des murs intérieurs, de sorte que l'espace utile se trouvait accru sans surcroît de dépense. — Cette disposition se montre pour ainsi dire partout où l'on rencontre des pénétrations de berceaux : les Thermes de Caracalla nous en offrent surtout de nombreuses et remarquables applications.

La même idée se présente sous un aspect différent dans le plan de la Basilique de Constantin : les voûtes d'arête de la nef centrale avaient une portée trop grande pour qu'on pût les abandonner à elles-mêmes sans les épauler par d'épais contre-forts ; ces contre-forts, ce sont les murs transversaux marqués par les lettres A, C, D, B dans le croquis suivant :

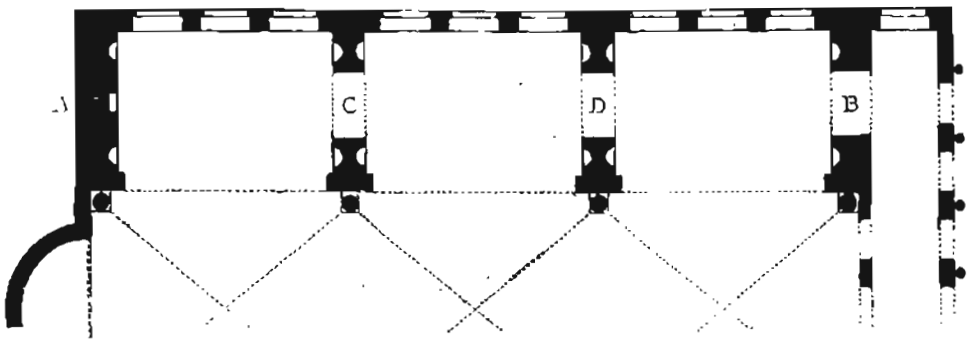


Fig. 56.

Mais, au lieu de laisser à ces murs de butée A, C, D, B, la forme d'éperons adossés aux piédroits de la grande voûte d'arête, on jeta de l'un à l'autre des voûtes en berceau, et l'on utilisa comme nef latérale l'espace AB qu'ils comprenaient entre eux.

Ainsi les contre-forts cessaient d'être un accessoire encombrant au pourtour des édifices ; ce n'étaient plus à proprement parler des ouvrages spéciaux de soutènement, et l'on rentrait dans le cas ordinaire où les diverses parties d'un monument se contre-butent mutuellement sans exiger de consolidation étrangère. — Pourtant, lorsqu'ils avaient le choix des moyens, les architectes romains préféraient instinctivement le parti plus simple qui consiste à exagérer l'épaisseur des piédroits, sauf à pratiquer dans les masses de larges cellules rendant l'exagération d'épaisseur moins coûteuse ; le Panthéon d'Agrippa est ainsi construit (pl. XIII).

Les murs du Panthéon forment, sur tout le contour de l'édifice, une sorte de tambour continu, élégi par deux étages de chambres intérieures, dont j'essaye de faire concevoir la disposition en les montrant partiellement dépouillées du parement qui les ferme et les dissimule. — Entre ces élégissements en forme d'arcatures vides, se placent d'autres évidements en forme de niches voûtées, qui tournent leur convexité du côté d'où leur viennent les poussées. — Des berceaux vides, ou des demi-cylindres voûtés en quart de sphère, tels sont les deux types habituels des cellules que les Romains réservaient au milieu des massifs soumis à des efforts

de butée : nous les rencontrons dans les piédroits des voûtes antiques, nous les retrouvons dans les murs de soutènement des remblais (pl. XIV, fig. 1) : partout leur rôle est semblable, elles augmentent l'épaisseur totale ou l'assiette de la base, et ajoutent à la stabilité sans augmenter sensiblement la dépense.

En même temps qu'ils s'attachaient à maintenir les voûtes par de volumineux massifs, les Romains cherchaient à rendre leurs efforts moins dangereux en réservant pour leur construction des matériaux d'un poids extrêmement faible : l'emploi des ponces dans les voûtes antiques est incessant ; et le grand nombre des applications nous interdit, je crois, de regarder comme fortuite la présence de ces matériaux en des points où leur légèreté devenait une qualité si précieuse. La plupart des voûtes au Colisée, aux Thermes de Titus et de Caracalla, sont ainsi faites de tufs volcaniques d'une extrême porosité ; toute pierre à tissu compacte en est soigneusement exclue. Enfin une notice, rapportée dans la compilation d'Isidore de Séville et très-probablement extraite de quelque écrivain romain, énonce formellement[1] la pratique qui consistait à réserver de parti pris les matériaux les moins lourds pour la construction des voûtes.

— Mais un détail qu'on a souvent rattaché à cette idée d'alléger les voûtes, et dont on a, selon nous, exagéré la portée, c'est la présence des vases en poterie dans les remplissages.

Le peu de place que ces vases occupent d'ordinaire dans le volume total des voûtes, et surtout la manière dont ils s'y trouvent engagés, tendraient au contraire à faire croire que leur emploi dans l'architecture romaine ne répondait nullement à des vues théoriques, à des combinaisons d'équilibre fondées sur la légèreté de ces matériaux creux. Si en effet les anciens avaient cru que l'introduction de ces vases au milieu de leurs voûtes fût un moyen d'en atténuer la poussée, nous trouverions les vases vers le sommet des voûtes, c'est-à-dire à l'endroit où le poids des matériaux est le plus à redouter. — Or il n'en est rien : et même l'inverse a lieu dans la plupart des cas. L'arrangement de ces poteries peut être observé dans un monument du quatrième siècle auquel leur présence a fait donner le nom de Torre pignattara ; il existe aussi des vases en terre cuite enclavés dans la voûte de Minerva

[1] « Spongia, lapis creatus ex aqua, levis ac fistulosus et cameris aptus. » (Origin., lib. XIX, cap. x.)

Medica (planche XI); enfin j'ai pu étudier la disposition de ces poteries dans un certain nombre de tombeaux longeant la via Labicana, et surtout au cirque dit de Maxence, hors de la porte Saint-Sébastien : partout je les ai trouvées groupées vers les reins des voûtes. On verra à la planche IV, figure 1, comment les poteries sont employées dans le dernier édifice : quelquefois on les aperçoit au-dessus du vide, mais plus ordinairement elles portent d'aplomb sur les murs formant piédroits, et elles se multiplient précisément aux points où l'on n'avait aucun profit à tirer de leur faible densité. J'en ai rencontré jusque dans le corps des murs ; et, pour donner un exemple entre beaucoup d'autres de cette disposition fort inattendue, si l'on regarde la façade principale du Temple de Minerva Medica, on distinguera, à droite, un peu au-dessus de l'archivolte de la porte, un de ces vases noyé dans les blocages mêmes du mur, et adossé au parement extérieur : — en un mot, la répartition de ces poteries semble exclure tout calcul reposant sur les avantages attachés à leur grande légèreté.

— L'origine des vases qui s'observent dans les maçonneries de Rome était apparemment celle-ci [1] :

On apportait sans cesse à Rome dans des vases de terre des produits liquides destinés à l'alimentation du peuple ; les habitants en échange n'avaient rien à exporter et se trouvaient encombrés de vieilles poteries d'une grande dimension et d'une très-faible valeur. Ils s'en débarrassaient, pense-t-on, en les jetant comme décombres en un lieu qui porte aujourd'hui le nom de Monte Testaccio : le fait est, du moins, que la colline désignée par ce nom caractéristique est formée tout entière de débris provenant de poteries romaines. L'idée dut venir aux constructeurs d'utiliser ces vases comme matériaux : c'étaient des pierres artificielles d'excellente qualité, et qui, à volume égal, ne représentaient certainement pas une dépense supérieure à celle des moellons dont elles tenaient lieu. A cause de leur plus grande légèreté, on les élevait de préférence aux pierres ordinaires vers les parties hautes des édifices. Mais la pensée de les employer pour réduire les pressions et la charge

[1] On songera peut-être, en voyant les poteries employées dans les maçonneries antiques, à ces vases d'argile qui servaient, selon Vitruve, concurremment avec les vases métalliques, à rendre plus sonores certaines salles destinées à des assemblées nombreuses. — Ce rapprochement est, je crois, purement fortuit. Le désir d'augmenter l'effet de la voix se comprend fort bien, lorsqu'il s'agit, par exemple, d'un théâtre ; mais dans des constructions de tombeaux telles que la Torre pignattara ou les monuments longeant la route de Préneste, cette condition de sonorité n'avait pas lieu d'intervenir. — D'un autre côté, Vitruve ne dit pas que les vases acoustiques aient été maçonnés dans l'épaisseur des murs des théâtres ; ils étaient simplement disposés sous les gradins : de sorte qu'à aucun point de vue l'analogie qui porterait à assimiler les deux faits, ne paraît être fondée.

des voûtes semble étrangère aux Romains ; nous la trouvons appliquée dans les constructions lombardes de Ravenne et de Milan : j'ignore si les architectes lombards ont eux-mêmes inventé les voûtes sans poussées qu'ils obtenaient à l'aide de vases enchevêtrés, du moins il paraît fort probable qu'ils n'empruntèrent pas aux Romains cette ingénieuse idée. Il est plus vraisemblable que le procédé appliqué à la coupole de Saint-Vital est arrivé en Italie par la même voie que l'architecture même de l'édifice : et dans cette hypothèse l'honneur des premières applications raisonnées des poteries aux voûtes reviendrait tout entier aux architectes de l'école de Byzance [1].

— Au reste, si l'on s'arrête aux édifices vraiment romains, l'emploi des poteries creuses n'est qu'un détail très-secondaire de leur histoire, et l'examen des usages antiques de ces poteries dans la bâtisse ne donne lieu à aucune conclusion importante, ne révèle aucune circonstance capable de compléter ou d'éclaircir les principes développés dans le cours de cette étude.

L'un de nos derniers dessins (fig. 54, p. 93), en représentant une salle romaine vue du dehors, fait ressortir une particularité remarquable des voûtes antiques : ces voûtes constituent elles-mêmes la toiture des édifices qu'elles abritent ; jamais on ne voit au-dessus d'elles une charpente, un comble. Il semble qu'aux yeux du constructeur romain ce soit un double emploi et une combinaison vicieuse, que de protéger les maçonneries d'une voûte par un comble construit en bois, matière coûteuse, altérable et de courte durée : ou bien il adopte le système des toitures en bois, et alors les voûtes sont exclues ; ou bien il admet le régime de la construction voûtée, mais cette fois la charpente est proscrite, et la voûte à elle seule tient lieu de tout : c'est sur l'extrados que poseront les lames de métal ou les tuiles sur lesquelles doivent glisser les pluies ; quelquefois même la maçonnerie, arasée en plate-forme (fig. 57), n'aura pour revêtement qu'une simple chape en béton fin et serré.

Toute une série de voûtes aux Thermes de Caracalla appartiennent à ce type :

[1] Voy., pour la description des voûtes construites à l'aide de tubes creux maçonnés, l'ouvrage de M. de Dartein sur l'Architecture lombarde. M. de Dartein, qui a bien voulu mettre à ma disposition les résultats de ses propres recherches pour m'aider à éclaircir la question d'origine des voûtes en poteries creuses, considère l'emploi de ce système de construction comme remontant au moins au quatrième siècle, et l'a constaté non-seulement à Saint-Vital de Ravenne, mais au Baptistère de Ravenne, édifice restauré et décoré par saint Néon, archevêque (425-430), et dans une chapelle très-ancienne, située près de Saint-Ambroise de Milan, la chapelle de Saint-Satyre.

les massifs se terminent suivant des surfaces presque horizontales ; et la dernière assise, recouverte d'une mosaïque de marbres colorés, est utilisée comme le sol d'une magnifique terrasse.

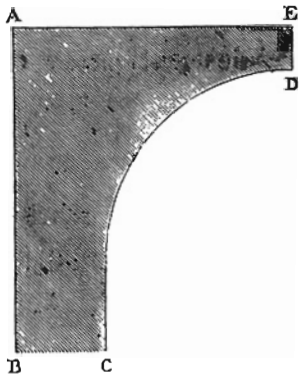


Fig. 57.

— Dans le cas au contraire où la voûte est couverte de tuiles ou de lames métalliques, elle affecte ordinairement l'aspect du toit à versants qu'elle remplace.

Nous avons une application remarquable de cette sorte d'extrados à Sainte-Marie des Anges (fig. 54). L'intérieur est formé par une série de voûtes d'arête : qu'on imagine sur chacun des berceaux une toiture spéciale, et la pénétration mutuelle de ces toitures donnera exactement la forme admise pour l'extrados des voûtes ; les noues correspondent extérieurement aux arêtes intérieures : de toutes les solutions c'était à la fois la plus naturelle et celle qui assurait aux eaux l'écoulement le plus libre. — Semblables dispositions s'observent aux Thermes de Paris, à la Basilique de Constantin, etc. : seules les voûtes sphériques étaient extradossées suivant des surfaces convexes : et leur profil le plus ordinaire était celui-ci :

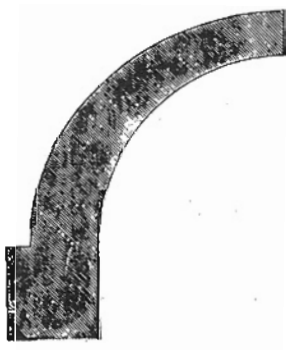


Fig. 58

— Cette exception d'ailleurs semblera suffisamment justifiée si l'on songe que pour obtenir l'extrados en terrasse, il eût fallu donner aux pleins de la maçonnerie un volume notablement supérieur à la moitié du vide ; les Romains voyaient là une exagération : et ce fut un des traits les plus marqués de leur esprit de savoir, dans un ordre d'idées où les principes ne peuvent être absolus, s'arrêter devant les conséquences extrêmes des règles pratiques qu'ils avaient admises.

Une dernière question reste à examiner au sujet des voûtes antiques : Comment les voûtes se sont-elles conservées ? Quelles causes ont amené la chute de celles qui ont péri ? Pour celles enfin dont la ruine partielle est survenue du temps des Romains, quels moyens furent employés en vue de remédier à leurs désordres et de prévenir leur destruction complète ?

— Parmi les causes de rupture auxquelles étaient exposées ces voûtes à structure concrète, nous devons rappeler en premier lieu les mouvements brusques et les tassements inégaux du sol. Venait ensuite une influence qui semble fort insignifiante, mais à laquelle les anciens attribuaient une extrême gravité, c'est l'action destructive que les grands végétaux parasites exercent en insinuant leurs racines dans les interstices des maçonneries : de tout temps les lois romaines cherchèrent à prévenir ce danger en déterminant une distance pour les plantations longeant les constructions où les fissures étaient le plus redoutables, les aqueducs. Dès l'an XI avant notre ère, il était interdit par une décision du Sénat romain de planter à moins de quinze pieds des aqueducs ; cette défense nous a été transmise dans le Traité des aqueducs de Frontin, et trois siècles plus tard nous la voyons confirmée et rendue plus formelle dans les Constitutions de Constantin [1]. — Le danger qu'il s'agissait de prévenir était grave en effet : on se figure avec peine quelles masses énormes les racines détachent à la longue ; et peut-être serait-on en droit d'attribuer une égale importance à cette cause obscure de ruine et aux ravages produits par la main même des hommes.

— Quelle que fût l'origine de ses ruptures, une voûte romaine se réparait en doublant ses massifs à l'intrados par l'addition d'une contre-voûte en briques à joints convergents. Les environs de Rome présentent plusieurs exemples de voûtes

[1] Frontin, De aquæd., n. 126 et 127. — Cod. Theod., lib. XV, tit. II, l. 1. — Cf. Cassiod., Variarum, lib. II, ep. 39; lib. V, ep. 38; lib. VII, form. 6. — Rapprochez ces remarques des anciens de celles que consigne L. B. Alberti au seizième chapitre du dixième livre de son traité De re ædificatoria.

d'aqueducs qui ont été ainsi consolidés au moyen de voûtes intérieures suppléant à l'insuffisance des anciennes armatures pour soutenir le massif rompu : la deuxième figure de la planche XIV montrera un de ces aqueducs repris en sous-œuvre : l'arcade où j'ai trouvé les éléments du dessin est une de celles qu'on observe près de la plate-forme du Latran ; les ruines en sont presque immédiatement adossées à la chapelle de la Scala Santa.

Le procédé suivi pour doubler l'arcade d'une voûte intérieure de soutènement est aussi simple qu'ingénieux. On a construit la voûte destinée à étayer les masses lézardées sans s'assujettir à faire adhérer cette voûte de consolidation avec la voûte à soutenir ; au contraire, un intervalle fut laissé à dessein entre l'extrados de la voûte en sous-œuvre et l'intrados de la voûte avariée; cet intervalle fut muré sur l'une des têtes seulement, et il resta ainsi une sorte de chambre cylindrique vide entre l'extrados d'une des voûtes et l'intrados de l'autre : du béton fortement bourré remplit l'espace intérieur de cette chambre et vint former comme un matelas intermédiaire entre l'arcade portante et l'arcade à porter.

Tel était le procédé ; quelquefois on le simplifiait en se bornant à installer sous la voûte brisée des arcs de soutènement sans fourrure intermédiaire : c'est ainsi, je pense, que furent réparés plusieurs monuments de Pompéi altérés par les commotions antérieures à la grande éruption. Les Thermes et l'Amphithéâtre sont peut-être au nombre des édifices réparés par le moyen qui vient d'être décrit. — Je citerai enfin une voûte antique connue seulement par une inscription, et qui fut, dit le texte, « étayée par des arcs de consolidation » doubles en épaisseur et portés par des piédroits spéciaux (Orelli, n° 3328[1]). On donnerait à la rigueur aux arcs de Pompéi une autre interprétation, mais le document que je viens de rapporter dispense d'entrer en ce qui les concerne dans une discussion dont les résultats demeureraient douteux : on peut hésiter sur l'explication des arceaux à Pompéi, du moins on est en droit d'affirmer que des arcatures toutes semblables étaient en usage chez les anciens pour prévenir la chute des voûtes ébranlées.

[1] Voici les termes mêmes de l'inscription :

« ...Albinus... cellam tepidariam inclinato omni pariete labent. de qua cellarum ruina pendebat erectorum a fundamentis arcuum duplici munitione fulcivit. »

DEUXIÈME PARTIE

LA CONSTRUCTION D'APPAREIL

NOTICE SOMMAIRE SUR LES OUVRAGES EN CHARPENTE DANS L'ANTIQUITÉ ROMAINE

CHAPITRE PREMIER

PROCÉDÉS GÉNÉRAUX DE LA CONSTRUCTION D'APPAREIL

Dans la construction concrète, les procédés nous ont paru découler, pour ainsi dire, d'un seul principe : une même pensée d'économie les domine et met en eux une très-grande unité. L'étude des constructions d'appareil ne laissera pas une impression aussi simple. La bâtisse concrète admettait sous le revêtement qui la cache toutes les dispositions qui n'excluent pas la solidité ; ici, au contraire, les convenances de la décoration s'ajoutaient aux exigences de l'art de bâtir ; de là une première cause de complication. Venait ensuite l'influence des traditions : jamais les Romains ne renoncèrent à l'appareil colossal dont les anciens peuples de l'Italie leur avaient transmis l'usage ; toutefois, ils surent l'employer avec réserve, et se proposèrent moins d'étaler la difficulté vaincue, que de frapper par l'ampleur des conceptions ou par la savante simplicité des méthodes. — Les architectes grecs les avaient devancés dans cette voie ; et tant qu'il suffit de suivre la trace de ces maîtres, les constructeurs de Rome se gardèrent d'inutiles et imprudentes innovations : leurs procédés d'appareil appartiennent, pour la plupart, à la Grèce ; il convient donc, pour en saisir le sens, de les examiner d'abord dans l'architecture même des Grecs. Nous le ferons en prenant comme exemple la colonnade inachevée du temple de Ségeste (pl. XXIII).

Au premier coup d'œil jeté sur cette ruine, on aperçoit, à la surface des pierres,

une série de reliefs plus ou moins irréguliers, qui semblent autant d'indices des procédés suivis pour préparer et mettre en place les matériaux de l'édifice. Ce sont, aux angles des blocs du stylobate, des cubes saillants N; suivant le joint qui réunit deux dalles consécutives de l'architrave, ce sont des bourrelets tels que A et D; des prismes verticaux B le long des arêtes des tailloirs, etc.

Quel était le rôle de ces reliefs? Doit-on voir en eux le travail préparatoire d'une décoration, ou bien un moyen de protéger les angles, les arêtes ou les parements, lors de la pose? — Ces deux raisons peuvent intervenir dans une explication complète de l'ébauche bizarre qui nous occupe; mais la seconde a, je crois, une influence dominante. Les cubes saillants N ménagés aux angles des blocs du stylobate ont dégénéré, pendant la période romaine, en longs prismes tels que ceux-ci, dont j'emprunte la forme au portique dit de l'Agora d'Athènes.

Fig. 59.

Là, évidemment, les saillies n'étaient pas de simples accessoires décoratifs; leur rôle était le même dans les monuments de l'art grec primitif : ces saillies N (pl. XXIII) servaient à garantir la pierre contre les chocs; et, selon qu'elles s'étaient altérées ou conservées intactes, on était libre, lors du ravalement, soit de les enlever, soit de les convertir en ornements.

Durant les premiers siècles de l'art grec, l'usage n'était pas de conserver ces saillies auxiliaires; on les avait réservées en vue des services qu'elles pouvaient rendre; une fois inutiles, il semblait naturel de les faire disparaître. — Plus tard, quand les soins apportés à la construction devinrent moins attentifs, quand la protection des angles fut une précaution illusoire en présence des incorrections qui s'introduisaient de toutes parts dans la bâtisse, les Grecs taillèrent encore des cubes ou des prismes en relief aux angles de leurs pierres, mais ils les ménagèrent alors comme de simples ornements, et commencèrent à les décorer de moulures. Le théâtre de Bacchus

offre des exemples de cette transformation; j'essaye de caractériser, en l'exagérant, l'aspect de quelques pierres trouvées parmi les ruines de ce curieux édifice.

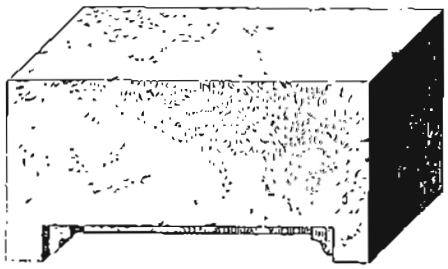


Fig. 60.

Examinons maintenant les dalles dont se compose l'architrave de Ségeste; elles donnent lieu aux mêmes observations que les pierres ébauchées du soubassement. Il est clair que les bourrelets désignés par les lettres A et D (pl. XXIII[1]) ne sont pas des motifs d'ornement; ils forment bordure partout où les blocs ont dû être mis en contact mutuel, et cette circonstance indique assez leur origine : ils ont été réservés pour empêcher deux arêtes vives de s'émousser en se heurtant au moment où les faces de joints viendraient s'accoler l'une à l'autre.

Telle est aussi l'interprétation qu'il faut donner aux rebords saillants A et D, qui longent les joints verticaux de l'architrave. — Ces rebords, lorsque la construction fut interrompue, avaient été partiellement aplanis; et, suivant en cela une marche naturellement tracée, c'est sur la face extérieure que les ouvriers les firent disparaître tout d'abord; dès que les blocs étaient en place, en d'autres termes, dès qu'on n'avait plus à redouter les chocs qui accompagnent le rapprochement mutuel de deux masses, on se hâtait d'enlever cet excès de matière qui n'avait plus aucune raison d'exister. — De tels moyens de protection auraient été superflus, si une couche de mortier avait été interposée entre les pierres, car cette couche demi-fluide eût amorti l'effet d'une rencontre brusque; mais, dans une construction à joints vifs, les chocs pouvaient entraîner, le long des arêtes, des accidents graves que les bourrelets A et D devaient prévenir.

De même, ces longs prismes B, à peu près rectangulaires, et qui bordent les arêtes verticales du tailloir, n'étaient point, à Ségeste, des ornements destinés à subsister

[1] Les prismes D de la face inférieure ont été signalés pour la première fois, je crois, dans les planches malheureusement trop peu nombreuses du magnifique ouvrage que M. Hittorff avait commencé sur les monuments antiques de la Sicile.

une fois l'édifice terminé : c'étaient visiblement des organes de défense protégeant les arêtes du chapiteau que leur forte saillie exposait à être émoussées.

De même encore, les bossages X qui occupent la partie centrale des parements du stylobate servaient avant tout à mettre ces parements à l'abri des dégradations ; ces bossages, aussi bien que les cubes d'angles N, pouvaient, selon les cas, être enlevés après la pose, ou conservés à titre d'ornement. Des bossages du même genre ont été probablement ménagés sur toutes les pierres qui composent le fronton ; on les a grattés sur le côté extérieur, en même temps qu'on effaçait les bourrelets A bordant les joints de l'architrave; mais, sur le contre-parement du fronton, les bossages sont demeurés intacts, et les pierres se montrent sous la forme même où elles furent employées.

Enfin, lorsqu'il s'agissait des colonnes, les anciens se bornaient à préparer sur le chantier les lits supérieur et inférieur de chaque tambour : toute la superficie des parements restait brute; les cannelures n'étaient qu'amorcées au sommet du tambour supérieur et à la base du tambour inférieur, et une opération de ravalement devait donner aux surfaces leur aspect définitif. — Telles sont, en particulier, les colonnes de ce temple inachevé, dont les débris décorent le mur septentrional de l'Acropole d'Athènes, et qu'on croit être des restes de l'ancien Parthénon des Pisistratides ; ces colonnes se trouvaient dans l'état qui vient d'être décrit à l'instant où l'invasion des Perses en suspendit l'exécution.

Plus tard, avons-nous dit, ce travail préparatoire fut souvent laissé en évidence; faut-il voir ici une question de goût ou d'économie? Du moins il est sûr que les Grecs n'éprouvaient aucune aversion pour ces formes soi-disant provisoires ; ils attendaient, pour opérer le ravalement du fût, que toutes les autres parties de la décoration fussent terminées; ils commençaient ce ravalement par les parties hautes de l'édifice, descendaient des corniches aux membres inférieurs des entablements, puis aux chapiteaux ; c'est alors seulement qu'ils sculptaient dans le fût des colonnes les cannelures traditionnelles ; mais souvent aussi, regardant comme superflu ce dernier perfectionnement de l'œuvre, il leur arrivait d'abandonner les colonnes à l'état d'ébauche : ainsi se présentent-elles au grand temple d'Éleusis, au portique de Thoricus, à l'un des temples de Rhamnus, dans les ruines de Délos, etc. [1].

[1] Voir, pour ces derniers exemples, l'ouvrage de Stuart et Revett sur les antiquités d'Athènes; et, à propos des fragments provenant du vieux Parthénon, l'étude de Penrose : « An investigation of the principles of athenian architecture. »

— Si, des travaux où l'art intervenait pour une large part, nous passons aux constructions plus faciles où l'absence de parements courbes semblait autoriser l'usage de procédés de taille plus élémentaires, nous retrouverons les mêmes méthodes, simplifiées, mais toujours reconnaissables.

S'agissait-il de construire un mur droit : les Grecs, dans les édifices exécutés avec soin, ne posaient pas les pierres entièrement taillées; les lits et joints seuls étaient terminés d'avance; et le parement demeurait, sinon brut, du moins très-sommairement dégrossi. Toute la surface devait être dressée dans un ravalement général; et cette dernière opération se faisait sans chance d'erreurs et sans tâtonnement, parce qu'avant la pose on avait eu soin de creuser dans chaque bloc pour ainsi dire des lignes directrices définissant avec une entière exactitude la forme des parements.

Cet artifice se manifeste dans les constructions imparfaitement achevées de l'aile sud des Propylées d'Athènes (fig. 61).

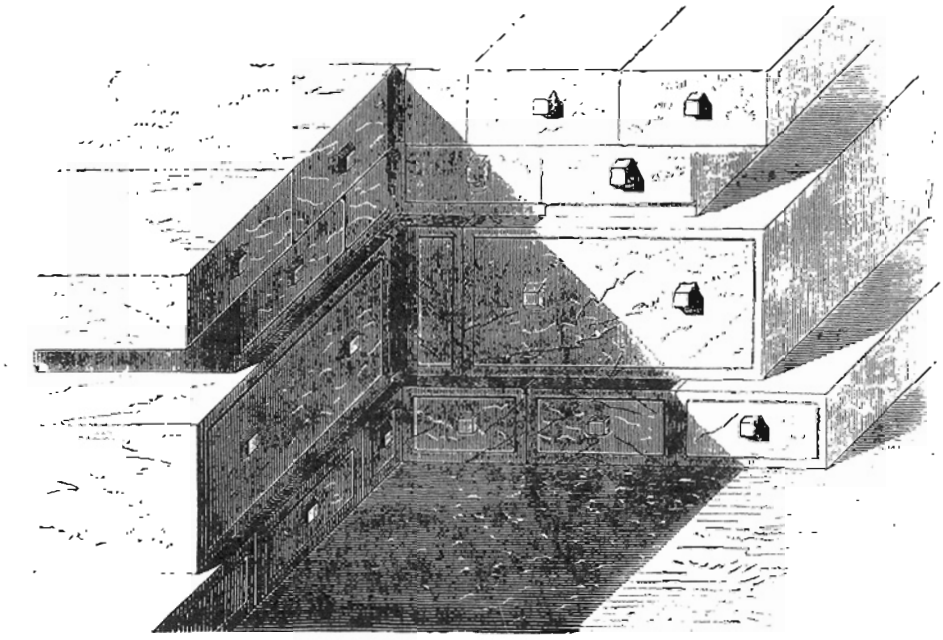


Fig. 61.

L'irrégularité des surfaces montre assez que le parement actuel n'est qu'un parement provisoire; des rainures directrices encadrent chaque panneau, ou plutôt longent les arêtes rentrantes; tout le reste devait être ravalé sur tas, et réduit après coup à l'uniformité d'aspect que présentent les parties terminées du même édifice. Les Grecs procédaient, en un mot, pour dresser un parement plan, comme pour

régler les cannelures d'une colonne : des amorces sculptées d'avance servaient, dans les deux cas, à guider le ciseau dans les opérations délicates de la taille définitive des surfaces.

Voulaient-ils, au contraire, éviter la dépense et les lenteurs d'une retaille sur tas précédée des opérations que nous avons décrites : alors, ne pouvant obtenir un raccordement rigoureux entre les diverses assises, d'ordinaire ils rompaient franchement la continuité, et recouraient à l'appareil à refends, ou bien à l'appareil par retraites successives (fig. 62).

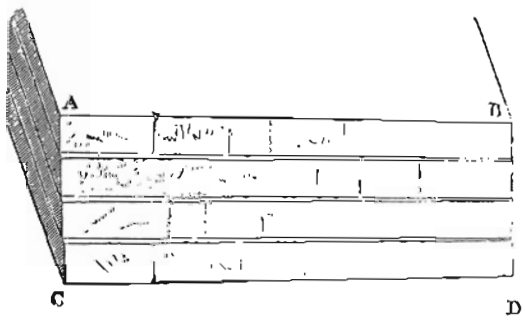


Fig. 62.

Ainsi furent exécutés les murs sans ravalements de l'Acropole d'Athènes, ceux des fortifications du Piréc, etc. — Ces derniers (fig. 63) méritent d'ailleurs une attention toute spéciale.

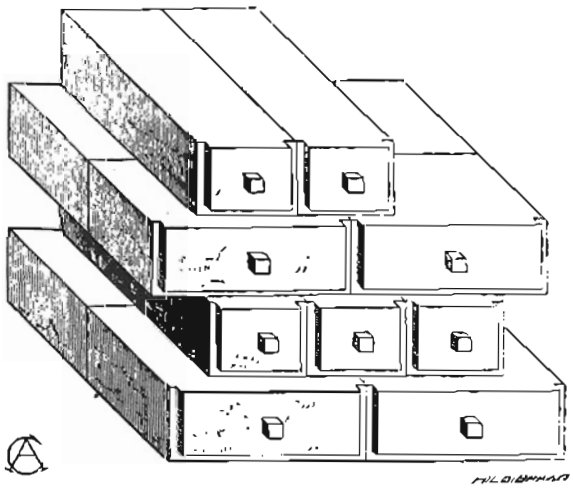


Fig. 63.

Ils nous offrent une manifestation nouvelle de cette tendance qui consistait à transformer en décoration ce qui primitivement n'était qu'un moyen pratique.

Les cadres en creux qui, aux Propylées (fig. 61), servaient uniquement à rendre le ravalement plus prompt et plus sûr, se montrent sous forme de refends dans une construction où les pierres ont gardé l'aspect qu'elles affectaient à l'instant de leur pose. Tout à l'heure ces cadres, sobrement répartis, bordaient les grands panneaux des murs; maintenant, ils se multiplient et dégénèrent en rainures profondes courant le long des arêtes des blocs.

Bien plus, les anciens Grecs avaient coutume de réserver, au milieu de chaque pierre, pour ainsi dire des tenons saillants X (pl. XXIII) : ces tenons aidaient à remuer la masse, ou bien ils marquaient l'épaisseur de pierre enlevée lors de la taille; c'étaient tantôt des instruments de levage, tantôt des « témoins » servant à fixer les bases de la rétribution due aux ouvriers[1]. — Ces saillies mêmes se transforment en ornements entre les mains des architectes grecs. Aux Propylées (fig. 61), elles devaient disparaître; de même, à Ségeste (pl. XXIII), elles semblent avoir une existence momentanée comme leur rôle; — mais aux murs de défense du Pirée (fig. 63), on les voit servir à la décoration : et il faut reconnaître que leur relief, s'associant au mouvement de retraite successive des assises, donnait aux parements une extrême élégance.

On aperçoit l'influence qu'exerça sur les dispositions de l'art antique cette pratique de la taille préparatoire dont les plus remarquables applications remontent aux sixième et cinquième siècles avant notre ère. L'aspect d'édifices souvent interrompus accoutuma les yeux aux formes provisoires de ces constructions ébauchées. Enfin elles trouvèrent dans leur ancienneté même une sorte de consécration; introduites dans l'architecture en vue de satisfaire aux exigences de la pratique, elles s'y maintinrent par la seule force des traditions, et persistèrent longtemps après l'abandon des procédés d'où elles avaient tiré leur origine. Certaines combinaisons sortaient peu à peu du domaine de l'art de bâtir pour passer dans celui de la décoration; et

[1] Il est des cas où les tenons en saillie sur les parements des pierres furent certainement employés comme moyens de levage : tels sont ceux qu'on voit répartis sur le pourtour des dalles servant de couvercles aux sarcophages antiques : chacun d'eux formait comme une anse aidant à la manœuvre de la pierre; et telle était la facilité offerte par ces saillies pour déplacer les blocs, qu'on jugea quelquefois utile de les émousser pour préserver les sépultures d'une violation trop aisée.

Mais, plus ordinairement, on ne conservait ces reliefs qu'à titre de « témoins : » c'était là leur principale, souvent même leur unique fonction; et cela est si vrai qu'on observe ces tenons jusque sur des pierres gardant des traces de trous de louve.

ainsi l'esprit de l'architecture se modifiait insensiblement, quoique les formes extérieures demeurassent à peu près invariables.

Ces changements, d'ailleurs, influèrent médiocrement sur les caractères généraux de l'appareil, et l'agencement des pierres continua d'être, aux derniers temps de l'art grec, ce qu'il avait été aux sixième et cinquième siècles. Voici en quoi il consistait ordinairement dans l'architecture primitive des Grecs; tel il fut à Rome pendant toute la durée de l'empire :

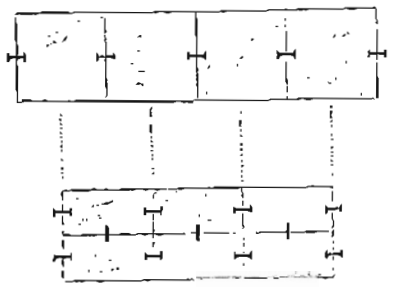


Fig. 64.

Jamais on ne voit dans une même assise certaines pierres pénétrer le mur de part en part, d'autres s'arrêter au milieu de son épaisseur : toutes les pierres dont se compose une assise traversent d'une face à l'autre, ou bien aucune d'elles ne traverse; un lit de parpaings (fig. 64, 1er croquis) alterne d'une manière régulière avec un lit composé (même figure, 2^{e} croquis) d'une double rangée de carreaux.

Ce type convenait pour les murs construits tout entiers en pierre de taille : à ce titre, il put s'appliquer à tous les cas de la construction grecque. Mais lorsqu'il fallut associer des parements d'appareil à des massifs en blocages, on dut modifier les formes consacrées, et alors les constructeurs admirent invariablement l'une ou l'autre des deux solutions représentées par les figures de la page suivante :

Ou bien ils firent alterner une rangée de boutisses avec une rangée de carreaux, ce qui donnait au parement l'aspect indiqué par le premier dessin (fig. 65); ou bien encore (et ce fut la solution la plus fréquente) ils firent alterner une assise composée tout entière de carreaux avec une assise mixte formée de carreaux et de boutisses (fig. 66). — En un mot :

Alternance d'une assise continue de boutisses avec une assise continue de carreaux,

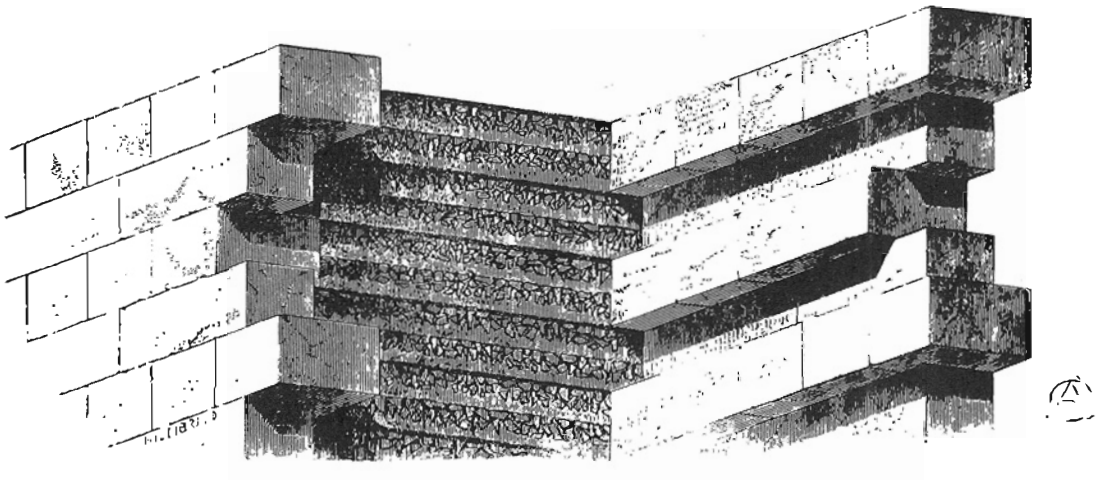


Fig. 65.

— ou bien alternance d'une assise continue de carreaux avec une assise mixte :

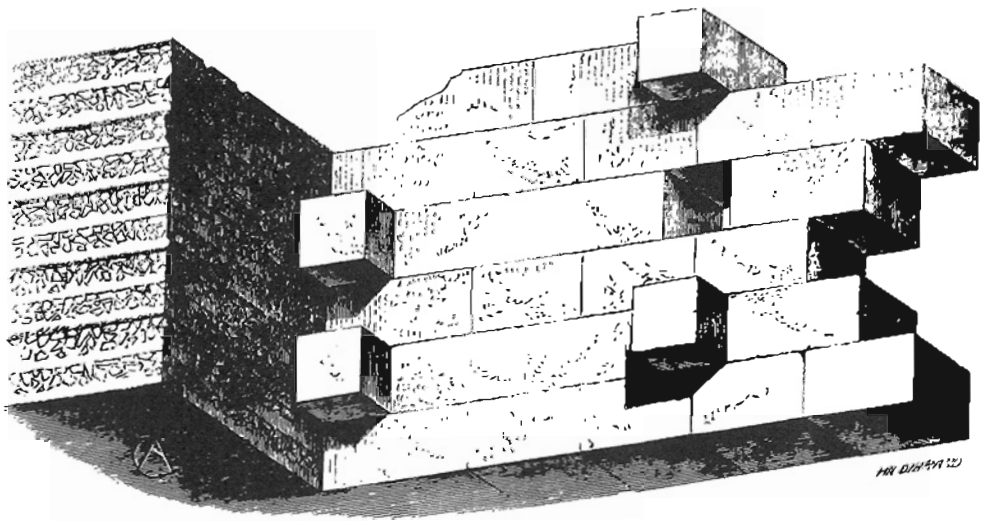


Fig. 66.

telles sont les deux variantes de l'appareil antique. Dans aucun édifice romain je n'ai trouvé deux assises mixtes superposées directement l'une à l'autre; partout un rang de carreaux s'intercale entre elles, de sorte que les pierres formant lancis dans les blocages reviennent seulement de deux en deux lits.

Cette combinaison, essentiellement économique, avait d'ailleurs des avantages de solidité qui doivent, aujourd'hui même, en recommander l'emploi.

Il ne s'agit pas, en effet, pour obtenir une bonne liaison, de multiplier le plus possible les pierres qui pénètrent dans les massifs : ces boutisses, trop voisines les unes des autres, coupent, morcèlent la maçonnerie brute dans laquelle elles s'enfoncent, et la disposent à céder au premier effort tendant à en arracher le parement. — L'appareil indiqué par notre dernière figure paraît atténuer ce danger au point de le rendre pour ainsi dire illusoire. Dans cette combinaison, les pierres-boutisses se présentent comme autant d'attaches bien isolées les unes des autres qui s'avancent de distance en distance dans l'épaisseur des maçonneries ; assez voisines pour fixer énergiquement le parement aux blocages, elles laissent entre elles, dans tous les sens, assez d'intervalle pour conserver aux masses de blocage qui les séparent une résistance assurée.

Aussi les applications de ce nouveau genre de construction sont continuelles. C'est l'appareil du soubassement qui portait le tombeau de Cecilia Metella ; c'est l'appareil de cet autre mausolée circulaire situé entre Rome et Albano, et connu sous le nom de Casale Rotondo. — Dans ces monuments, les carreaux du parement ont été presque tous arrachés de vive force ; et les boutisses, cassées à fleur des maçonneries, se distinguent comme des rectangles blancs et isolés, sur le fond grisâtre des murs. — Je citerai enfin le mur à contre-forts de construction romaine qui soutient la plate-forme du temple de Jupiter Olympien à Athènes ; en voici la disposition.

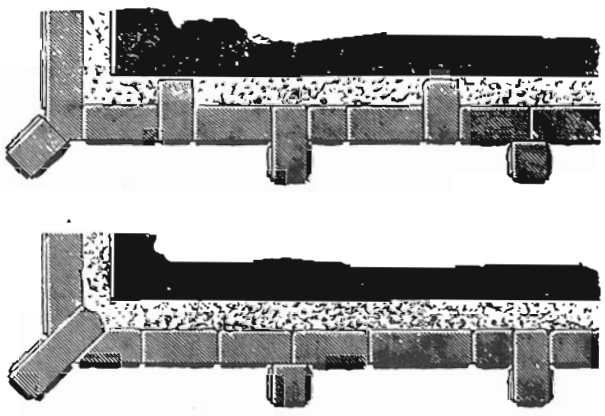


Fig. 67.

Ici encore, les lits comprenant des boutisses ne reviennent que de deux en deux ; en cela consiste pour ainsi dire le caractère essentiel de l'appareil dans les revêtements des maçonneries antiques.

Un détail très-connu, mais caractéristique, c'est l'absence de mortier entre les joints. Lors même que les pierres de taille devaient se liaisonner avec des massifs maçonnés, elles étaient toujours posées à sec; et cette pratique, bien loin d'être spéciale aux ouvrages qui concourent à la décoration, s'étend aux constructions où la finesse des joints semble le plus indifférente, à des murs de refend destinés à être enduits, et jusqu'à ces massifs de libages que les Romains bâtissaient pour en faire la basse fondation des édifices.

Il faut, pour comprendre cette singulière exclusion du mortier, remonter à l'idée même que les anciens se faisaient de son rôle : c'était pour eux une matière d'agrégation, rien de plus; jamais ils ne songèrent à l'utiliser pour transmettre ou régulariser les pressions entre les pierres. En l'adoptant dans leurs constructions concrètes, ils ne lui assignaient qu'une seule fonction : celle d'une sorte de gangue plastique, propre à réunir des cailloux en une agglomération artificielle. — Dans la construction en grands matériaux réguliers, le mortier était insuffisant pour produire un semblable résultat; dès lors ils le regardèrent comme inutile, ils en proscrivirent l'emploi, et songèrent à rendre les blocs solidaires entre eux en les réunissant par des pièces de fer fortement scellées.

Je ne m'arrêterai point à décrire les divers types de ferrements qu'ils adoptèrent pour cramponner ainsi les unes aux autres les pierres de leurs édifices; ici encore, ils trouvaient dans les monuments de la Grèce des modèles qu'ils se sont bornés à suivre.

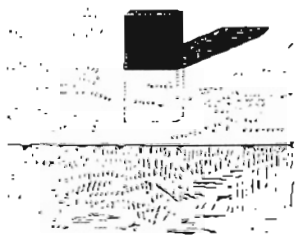


Fig. 68.

Fig. 69.

Fig. 70.

Ces agrafes, les Grecs les exécutaient en fer; jamais ils ne les ont faites en bronze; et le plomb était la seule matière qui leur servît pour souder les ferrements à la pierre. — Les Romains se conformèrent à cette tradition : les types de scellements indiqués par nos trois derniers croquis se retrouvent dans leurs édifices; quelquefois ils substituèrent à ces agrafes des queues d'aronde en métal, en bois, ou même en marbre;

la figure 71, empruntée à un pont du midi des Gaules (pont de Gallargues) montre

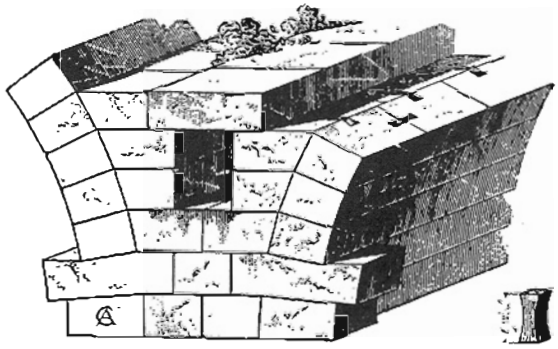


Fig. 71.

à la fois la forme et le mode d'emploi de ces attaches. Plus souvent, enfin, les Romains procédèrent comme il suit :

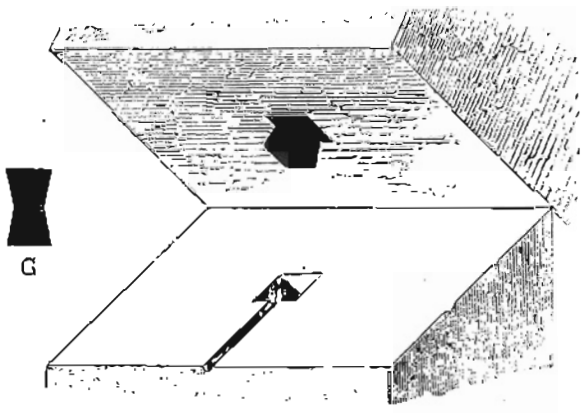


Fig. 72.

Un goujon G, plus épais à ses extrémités qu'en son milieu, était scellé au plomb dans la pierre supérieure; lors de la pose, ce goujon s'engageait dans une sorte de mortaise; puis on le soudait à l'assise inférieure en coulant, par une rigole disposée d'avance, du plomb dans la mortaise. — Ce dernier système, qui paraît être le plus récent, fut chez les Romains le plus général; mais son emploi, loin d'être pour les constructions une garantie de durée, a indirectement contribué à leur ruine : ce métal, enfermé dans l'épaisseur des murs, excita la cupidité des barbares qui succédèrent aux Romains sur le sol de l'Italie; les rigoles où le plomb avait été coulé furent autant d'indices qui révélèrent la place des scellements; et, la plupart du

temps, les monuments antiques présentent, aux points autrefois occupés par des agrafes en métal, des trous de sonde grossièrement pratiqués, qui ont servi à extraire le fer et le plomb dont les scellements étaient faits.

— J'arrive à la question du montage des pierres : quelles étaient à cet égard les ressources dont les anciens disposaient? — Une opinion fort accréditée veut qu'ils se soient contentés de plans inclinés pour traîner les matériaux jusqu'à leur lieu d'emploi. J'ignore sur quel fondement cette opinion s'appuie; elle est vraie peut-être si l'on se contente de l'appliquer à ces constructions d'appareil gigantesque qui signalent l'enfance des civilisations : mais étendre aux Grecs et surtout aux Romains l'idée d'élever des chaussées provisoires dans le seul but de faire parvenir les matériaux au sommet de leurs édifices, c'est, je crois, leur prêter gratuitement une méthode dont la coûteuse simplicité contraste avec ce que nous savons de leur tendance à s'affranchir des ouvrages auxiliaires. A peine pourrait-on invoquer en sa faveur quelques textes vagues[1] : et, au contraire, le témoignage positif des ruines, d'accord avec les vraisemblances, accuse comme procédés usuels des moyens à la fois moins primitifs et moins dispendieux :

Tantôt (pl. XXIV, 5) les pierres présentent sur deux faces opposées des rainures en forme de fer à cheval permettant de les suspendre à des cordages et de les amener en place; tantôt un canal de même forme est creusé dans la masse pour donner passage au câble qui doit servir à la monter. D'autres fois une mortaise s'évasant vers le fond décèle l'usage de cet ingénieux système de coins que les modernes emploient sous le nom de « louve » pour saisir les blocs et les fixer à des cordages; ou bien deux mortaises voisines l'une de l'autre semblent ménagées pour donner prise à une sorte de « tenaille » mentionnée par Vitruve parmi les instruments destinés au maniement des pierres[2]. — Ces indices à eux seuls nous révèlent toute une série d'engins, plus ou moins bien disposés, mais qui ne peuvent différer essentiellement de ceux dont nous faisons usage nous-mêmes. Ainsi, l'emploi de la louve, impliquant la traction par des câbles, suppose des poulies de renvoi fixées soit à des mâts spéciaux, soit aux

[1] Par exemple un passage de Pline relatif aux linteaux et aux architraves du temple d'Éphèse (Hist. nat., XXXVI, 21). Le récit de Pline est très-obscur; ce qu'on y peut distinguer, c'est du moins l'existence d'un plan incliné (mollis clivus) formé de sacs de sable : on faisait monter le bloc de l'architrave le long de cette rampe, et, après l'avoir élevé ainsi un peu au-dessus de ses appuis, on laissait couler le sable lentement, de manière à amener la pierre à la position qu'elle devait définitivement occuper.

[2] « Ferrei forfices quorum dentes in saxa forata accommodantur. » (Lib. X, cap. 2.)

échafaudages ; et la grandeur des masses que les anciens ont remuées autorise à penser que ces poulies étaient agencées de manière à augmenter l'effort en ralentissant les mouvements. D'ailleurs les textes sont formels : nous trouvons le principe des moufles exposé dans les ouvrages théoriques des anciens Grecs [1] ; et Vitruve, au premier siècle avant notre ère, indiquait dans son traité la chèvre à treuil ou à roue, les diverses sortes de moufles qui s'y adaptent, les combinaisons de chèvres et de cabestans, les bigues, etc. : le tout avec tant de netteté et de précision, qu'en parcourant les premiers chapitres de son 10e livre, on croit lire un traité moderne sur les machines élévatoires. Inutile de décrire sous le nom des Romains des appareils que nous voyons fonctionner journellement sur nos chantiers : je me bornerai, en terminant, à une remarque générale.

Lorsque le monument entrepris devait s'élever à une hauteur trop grande pour qu'une chèvre reposant sur le sol permît de monter les matériaux, les Romains évitaient autant que possible d'envelopper l'ouvrage d'un de ces grands échafaudages qui éveillent l'idée d'un édifice bâti autour d'un autre édifice : fidèles à leur principe de réduire les travaux auxiliaires, ils se contentaient d'un échafaudage volant, porté en surplomb sur des corbeaux et se déplaçant à mesure que la construction s'élève. C'est le cas du pont de Narni, de l'aqueduc du Gard... Les corbeaux isolés qui ressortent sur le parement des piles et des tympans montrent assez dans quel esprit ces charpentes mobiles ont été conçues : rien de plus simple que d'imaginer une sorte de grue prenant ses points d'appui sur ces pierres saillantes ; une fois ces pierres chargées en queue, la charpente soutenue par elles aurait été parfaitement stable ; elle n'était nullement encombrante et pouvait se déplacer aisément. Qu'il nous suffise d'ailleurs d'en apercevoir le principe et les avantages : en étudiant dans chaque exemple particulier l'arrangement des pierres d'attente qui l'ont portée, on arriverait à découvrir quelques détails de son installation et les traits essentiels de sa forme ; mais je veux m'abstenir d'une restauration où l'hypothèse aurait peut-être une trop large part : je m'en tiendrai à ces généralités sur la pratique des constructions d'appareil dans l'antiquité ; il reste maintenant à l'étudier dans ses deux applications principales : les plates-bandes monolithes, et les voûtes par claveaux.

[1] Arist., Mechan. cap. XIX. Quant aux chapitres de Vitruve relatifs aux machines élévatoires, on en prendra une idée suffisamment exacte dans la traduction de Perrault. Le commentaire est loin d'être irréprochable, mais les figures qui l'accompagnent rendent assez fidèlement le sens du texte pour qu'il semble inutile de tenter ici un essai nouveau d'interprétation.

CONSTRUCTION PAR PLATES-BANDES MONOLITHES

Tant que les Grecs donnèrent à leurs édifices la lourde proportion qui semble un caractère des premiers âges de leur architecture, la portée restreinte des entre-colonnements et surtout la forte épaisseur des architraves répondaient de la solidité de leurs monuments : dans ces constructions massives, les limites de résistance de la pierre étaient loin d'être atteintes, et aucun artifice ne paraissait nécessaire pour parer au danger des porte-à-faux. Mais lorsqu'au sixième siècle avant notre ère les progrès de la richesse et le goût de l'élégance amenèrent les Grecs à construire des monuments à la fois plus grands et d'une proportion plus légère, leurs architectes virent avec inquiétude les chances de rupture se multiplier, et songèrent à les prévenir : ils imaginèrent de poser en délit les pierres destinées à former les architraves de leurs temples ou les linteaux dont la portée leur paraissait excessive. Les Romains adoptèrent à leur tour cette ingénieuse idée, et nous examinerons successivement les applications qu'elle a reçues dans les deux architectures : prenons-en comme premier exemple le grand temple de Pæstum.

La pierre dont ce monument est bâti est un travertin à strates bien accusées, c'est presque une substance feuilletée : elle pouvait résister énergiquement aux efforts d'écrasement pourvu qu'on la posât sur son lit de carrière (fig. 73 A); mais, employée sous forme de linteaux ou de poutres en porte-à-faux, elle ne travaillait avantageusement à la flexion qu'à la condition d'avoir ses strates de champ, d'être en délit (fig. 73 B).

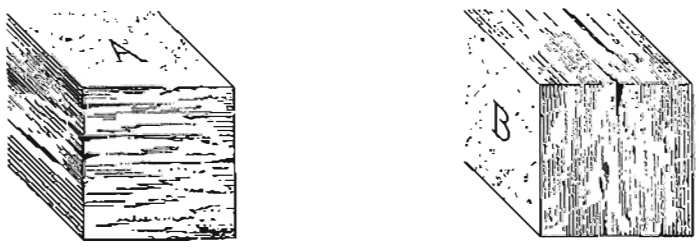


Fig. 73.

Profitant de cette observation, les architectes du Grand Temple en posèrent les pierres, suivant leur rôle, dans deux sens différents, les unes sur lit de carrière, les

autres en délit : en délit toutes celles qui se présentaient en porte-à-faux. — L'expédient vaut la peine d'être mis dans tout son jour, et, sans nous contenter de l'indiquer en termes généraux, il est à propos de le vérifier en prenant une à une les diverses parties du monument (pl. XXIV, fig. 1). Quelles sont donc, à Pæstum, les pierres soumises à des efforts de flexion, et comment ces pierres sont-elles employées?

1° Pour l'architrave extérieure A, aucun doute n'est possible : elle devait être, et elle est en effet exécutée à l'aide de dalles posées sur champ, les lits de stratification parallèles au parement.

2° De même l'architrave B, qui couronne l'ordre supérieur de la cella, recevait sur sa longueur la charge d'une toiture. Peu nous importe la forme ou l'étendue de cette toiture : générale ou partielle, la toiture existait; directement ou par intermédiaire, elle pesait sur l'architrave et la sollicitait à fléchir : donc les pierres de l'architrave devaient être employées en délit. — Et c'est ce qui a lieu : la section de ces poutres est rigoureusement carrée[1]; dès lors il était indifférent, au point de vue de la dépense, de les poser dans un sens ou dans l'autre; les architectes auraient-ils adopté cette orientation insolite, s'ils n'avaient eu en vue quelque surcroît de résistance? — Continuons.

Envisageons la dalle profilée C qui couronne l'architrave et s'interpose entre elle et la charge du toit : cette dalle ne travaillait qu'à l'écrasement; — aussi fut-elle mise en œuvre sur son lit de carrière.

Que l'on trouve des pierres en délit dans la frise extérieure, c'est un détail dont il ne faut rien conclure; cette frise avait surtout un rôle de décoration; on dut se proposer, en la taillant, de donner aux parements le plus de régularité possible; et l'on conçoit que l'appareilleur ait cherché à rendre ces parements plus lisses en les prenant suivant le fil de la pierre. De ce côté donc, aucune difficulté. — Examinons maintenant les pierres qui composent l'architrave D de l'ordre inférieur de la cella.

Ces pierres tendaient à fléchir sous leur propre poids, et en même temps elles se trouvaient comprimées entre le sommet des colonnes qu'elles surmontent et la base des colonnes qu'elles supportent. — De là deux influences inverses; mais comme la

[1] On peut le vérifier en se reportant aux dessins qui accompagnent le travail de M. Aurès sur les dimensions du grand temple de Pæstum. — M. l'ingénieur en chef Aurès avait bien voulu me communiquer avant sa publication ce précieux document; je m'y suis scrupuleusement conformé toutes les fois qu'il s'est agi de représenter des détails d'architecture qui m'avaient échappé dans une étude dirigée suivant des idées d'un autre ordre.

seconde est évidemment prédominante, c'est sur lit de carrière qu'il convenait de poser les poutres D : ainsi se présentent-elles en effet dans le monument.

La question, réduite à ces termes, ne paraît donner lieu à aucune indécision, et le parti adopté par les Grecs semble immédiatement justifié. — Pourtant, on se demande si un troisième effort ne venait pas compliquer le système. J'ai représenté, au niveau de l'architrave D, un plancher : ce plancher existait, on n'en saurait douter; mais est-il certain qu'il ait été porté, comme je l'indique, sur des poutres spéciales P? Les planches ou les dalles dont il se composait ont disparu; peut-être s'appuyaient-elles directement sur les pierres D de l'architrave. — Dans cette hypothèse, l'architrave aurait été soumise à une nouvelle cause de flexion; et, suivant l'importance de ce nouvel effort, le raisonnement précédent subsiste, ou bien se trouve plus ou moins gravement infirmé. — Cherchons donc comment s'ajustait le plancher P : à ce prix seulement, nous saurons jusqu'à quel point l'emploi de la pierre en délit répondait, chez les architectes du Grand Temple, à une combinaison systématique.

Heureusement, à l'égard de cette position du plancher, aucun doute n'est possible : — l'architrave supérieure B est surmontée d'un couronnement profilé sur ses deux faces latérales; au contraire, le profil qui décore l'architrave inférieure n'est sculpté que sur la face qui regarde la nef centrale. Donc, l'architrave supérieure B était visible sur ses deux faces, tandis que l'architrave inférieure D était cachée du côté où elle ne présente aucun profil : — et quel obstacle pouvait masquer la place du profil manquant sur le revers de cette architrave D, sinon un plancher établi comme l'indique la figure?

Cette conclusion ressortira avec plus d'évidence encore, si l'on tient compte des analogies entre les temples de Pæstum et d'Égine. Les deux temples sont semblables à tous égards : même distribution générale du plan, même subdivision de la cella en nefs par des colonnades à double étage, même appareil; enfin, à Égine ainsi qu'à Pæstum, l'architrave de l'étage inférieur n'est profilée que sur une face (pl. XXIV, fig. 5) : mais à Égine on trouve, au sujet de la position du plancher intermédiaire, un indice qui manquait à Pæstum : les solives transversales P′, qui soutenaient ce

plancher, ont laissé dans les pierres de l'architrave la marque de leurs enclaves (même figure, entailles K). Assurément, au temple de Pæstum, la disposition était semblable; par suite, l'architrave de l'ordre inférieur D n'était soumise à aucune cause de flexion autre que son poids; et comme elle subissait, à ses deux extrémités, des efforts d'écrasement considérables, c'est sur son lit même de carrière qu'il convenait de la poser[1].

Tel est, dans un remarquable exemple, l'unique expédient admis chez les anciens Grecs pour augmenter la résistance des linteaux monolithes, ou pour en exagérer la portée.

Les Romains, qui pourtant avaient là eur service la construction voûtée, recoururent dans plus d'un cas à cet emploi de la pierre en délit; et l'application la plus remarquable peut-être qu'ils en aient faite appartient à l'architecture d'une contrée où les traditions grecques exerçaient une influence dominante, la Provence.

L'amphithéâtre d'Arles offre sur tout son pourtour un corridor à double étage dont la voûte supérieure est formée d'une série de berceaux ayant leurs axes perpendiculaires à l'axe de la galerie, et dont les retombées sont soutenues (voir pl. XVII, fig. 1) par des linteaux AB de grande dimension. Cet arrangement se justifie au point de vue de l'économie générale de l'édifice, par des convenances de distribution que nous n'avons point à développer : mais, au point de vue de la construction, il avait l'inconvénient de reporter le poids des berceaux sur des plates-bandes qu'on ne pouvait appareiller sans exercer contre les piédroits des poussées au vide, ni laisser monolithes sans s'exposer à des ruptures. Les Romains jugèrent sans doute le second risque le moins redoutable, et s'arrêtèrent à l'emploi des plates-bandes monolithes; mais ils eurent soin de les poser dans le sens le plus favorable à la résistance : les pierres AB, CD sont toutes en délit. — C'est là d'ailleurs une de ces singularités qu'on ne peut attribuer au hasard ni expliquer par une erreur : il reste en place plus d'une centaine de ces plates-bandes AB, dont aucune ne fait exception à la règle[2]. Et par une circonstance qui fait ressortir mieux encore la vraie raison de la

[1] A Égine, il ne peut être question de pose en délit; la pierre est un calcaire sans indices apparents de stratification.

[2] Aux arènes de Nimes, où l'on retrouve le même type d'arcades sur plates-bandes, il est, je l'avoue, difficile d'affirmer que la même précaution ait été prise : les matériaux employés à Nimes présentent à peine des traces de stratification; mais à l'amphithéâtre d'Arles, où la stratification est bien apparente, la précaution est évidente, incontestable.

pose en délit, les plates-bandes AB, de même que les architraves supérieures de Pæstum, étaient taillées dans des blocs à section carrée :

Fig. 74.

Que l'on mesure une de ces plates-bandes, on trouvera que son épaisseur, y compris la saillie des moulures, est précisément égale à sa hauteur. Évidemment la pierre, au sortir de la carrière, présentait des dimensions égales sur ses deux faces : il était donc indifférent, quant à la facilité du travail, d'adopter l'une ou l'autre pour en faire le parement ; seule la raison de solidité a pu guider le choix des appareilleurs ; et dans le monument d'Arles, comme dans celui de Pæstum, les mêmes considérations de résistance ont conduit à la même solution.

Il serait inutile, après cette double vérification, de multiplier les exemples : l'idée théorique qui guidait les anciens ressort dès maintenant d'une manière assez nette. En mettant à profit le surcroît de rigidité que présente la pierre en délit, ils se ménageaient la faculté d'espacer plus largement les supports de leurs édifices : ils tiraient tout le parti possible de la pierre employée en linteaux ; pour aller plus loin et obtenir plus de force dans les architraves, ou bien entre les points d'appui un espacement plus considérable, il fallait changer radicalement le système de construction, renoncer aux plates-bandes monolithes et recourir, soit aux voûtes concrètes que nous avons décrites, soit aux voûtes d'appareil que nous avons à faire connaître.

CHAPITRE II

LES VOUTES D'APPAREIL

En décrivant les voûtes appareillées des Romains, nous aurons à passer en revue une nouvelle série de procédés dont l'origine est étrangère à Rome : mais cette fois c'est de l'Étrurie que viennent les méthodes. Tous les types de la construction voûtée existaient dans les monuments élevés par les Étrusques ou sous l'influence directe de leur civilisation : la cloaque Maxime présentait l'exemple d'un berceau

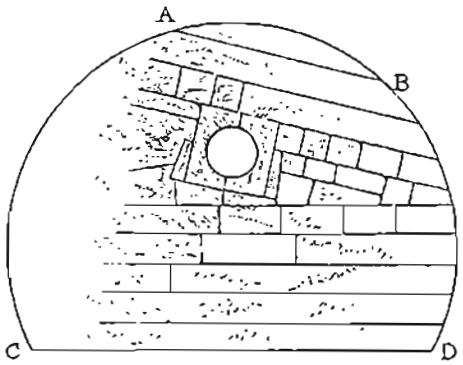


Fig. 75.

tournant ; la prison Mamertine celui d'un plafond clavé ; l'émissaire du lac d'Albe se terminait du côté de la plaine par une voûte conique sur piédroits

évasés ; enfin des portes au théâtre de Ferrento avaient en guise de linteaux des plates-bandes d'appareil.

Plusieurs de ces voûtes étrusques ne sont, il est vrai, que des essais imparfaits et grossiers, où l'inexpérience du constructeur se trahit par des irrégularités dont nous avons sous les yeux un exemple (voir, page précédente, la fig. 75[1]).

Mais d'autres fois, l'agencement des matériaux se montre élégant jusqu'à la recherche : des pierres de formes et de grandeurs diverses alternent suivant un ordre régulier, et leur groupement semble calculé en vue de réduire le plus possible le nombre des voussoirs de grande dimension : l'arc de Volterra, dont je figure ici la douelle développée, offre un exemple remarquable de cette sorte de recherche dans les combinaisons de l'appareil étrusque.

Fig. 76.

Est-il besoin enfin de rappeler que les Étrusques ont admis dès une haute antiquité l'arc en plein cintre parmi les éléments de leur architecture? Les ornements qu'ils lui attribuèrent ont été consacrés par la tradition : l'imposte, la clef sculptée, l'archivolte, tous les membres essentiels dont se composera l'arcade romaine, nous les trouvons à la porte étrusque de Faléries. Les Romains n'apporteront à cette belle et sévère ordonnance que des changements insignifiants ou regrettables ; leur attention se fixera tout entière sur les procédés d'exécution : et ici, comme dans les voûtes concrètes, le résultat de leurs efforts sera d'ériger l'économie en système.

Une première pratique, évidemment inspirée par cet esprit d'économie, consiste à cintrer seulement la partie haute d'une voûte d'appareil, en disposant pour recevoir les cintres des voussoirs saillants, tels qu'on en voit au pont du Gard (fig. 77), au pont Saint-Barthélemy à Rome, etc.

[1] Ce singulier détail est celui du plafond clavé de la prison Mamertine. Évidemment on a mis en place, sans se soucier du parallélisme, les deux assises faisant sommiers (assises AB et CD) ; puis, de nouvelles assises furent juxtaposées aux premières : et, lorsqu'il s'est agi de souder au milieu de la voûte les deux moitiés de la construction l'une avec l'autre, il se trouvait entre les assises à raccorder un angle très-sensible, qu'il fallut fermer en recourant à de misérables expédients.

Toute la partie située en contre-bas des corbeaux était construite sans aucun support auxiliaire : quelquefois même, pour empêcher les voussoirs de se séparer

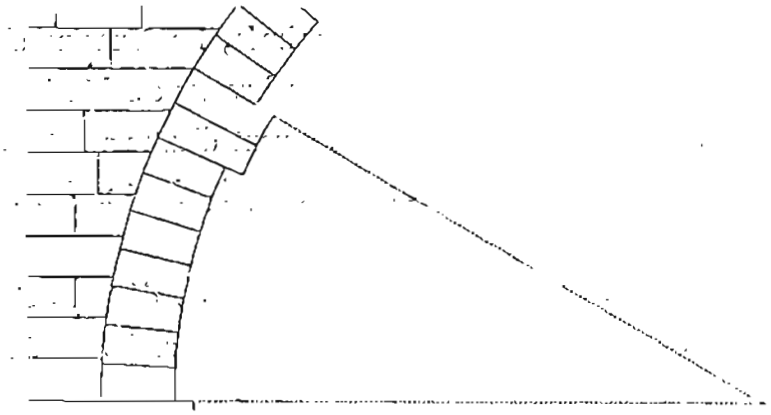


Fig. 77.

par glissement pendant la période où rien encore ne les retenait en place, on avait soin de ménager entre eux une sorte d'assemblage à tenons et mortaises (fig. 78), dont les ruines du Colisée nous offrent maint exemple.

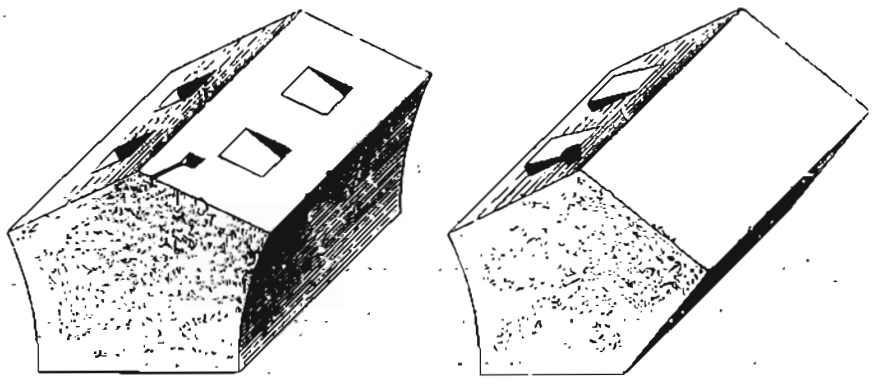


Fig. 78.

Ailleurs, sans apercevoir le moyen employé pour retarder l'instant du cintrage, nous constatons du moins qu'aucun appui n'a maintenu les pierres voisines des naissances : ainsi il existe une voûte romaine près de la route d'Éleusis, dont la douelle, rugueuse et presque informe vers les naissances, devient régulière et lisse dès qu'on approche de la clef : indice certain du point où commencèrent les cintres. Les voussoirs à surface brute sont ceux que le constructeur a posés sans aucun support auxiliaire; et c'est seulement lorsqu'il a fallu appliquer

la douelle des claveaux sur un plancher d'appui continu, qu'on s'est astreint à faire disparaître les rugosités de leur surface.

La partie basse du cintrage étant ainsi supprimée, les Romains s'attachèrent à simplifier la partie restante; tellement qu'entre les diverses combinaisons d'appareil, celle sur laquelle s'arrêta leur choix n'offrait souvent d'autre avantage que de comporter l'emploi d'une charpente provisoire moins compliquée et moins coûteuse: c'est ce qui arriva au pont du Gard.

Les pierres, au pont du Gard, ne sont point posées en découpe et enchevêtrées entre elles comme celles d'une voûte moderne : chaque arche est formée au contraire (fig. 79)

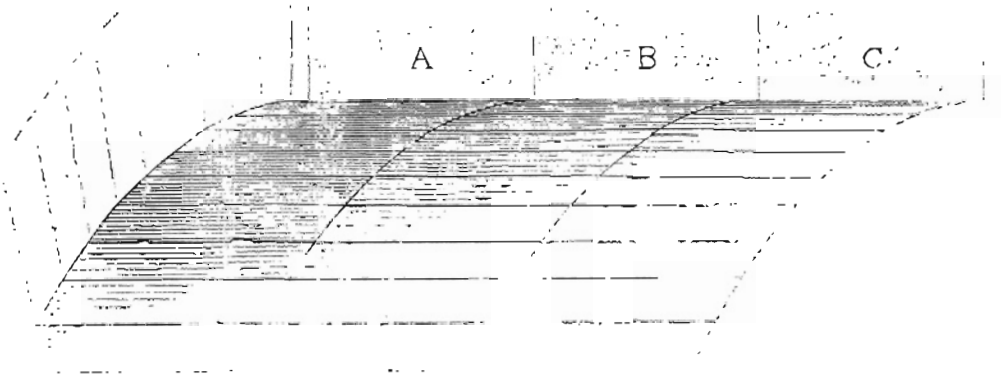


Fig. 79.

d'arceaux étroits qui se juxtaposent les uns aux autres, mais sans se relier ensemble d'aucune manière. Tous les claveaux d'une même voûte ont leurs douelles d'égale longueur, et la voûte se trouve subdivisée, coupée pour ainsi dire en tronçons contigus, mais distincts et indépendants.

Ces ruptures de continuité se justifient aisément, dès qu'on se place dans l'ordre d'idées où nous sommes entrés. Que fallait-il, en effet, pour soutenir une telle voûte? Une ferme dans chaque plan de tête, et une ferme suivant la ligne où deux arceaux consécutifs se soudent l'un à l'autre. Point de couchis : chaque voussoir B franchit l'intervalle entre deux fermes, et vient s'appuyer directement sur elles par ses extrémités (voir fig. 80[1]).

[1] C'est à M. Viollet-le-Duc (Dictionnaire raisonné de l'architecture française, IX[e] volume, p. 488) que j'emprunte cette explication. Avant d'avoir connaissance du travail récent où elle est consignée, j'avais supposé de la part des construc-

Toute la difficulté consiste, on le voit, à égaliser les voussoirs : mais cette sujétion devient illusoire lorsque la pierre se présente en bancs puissants et homo-

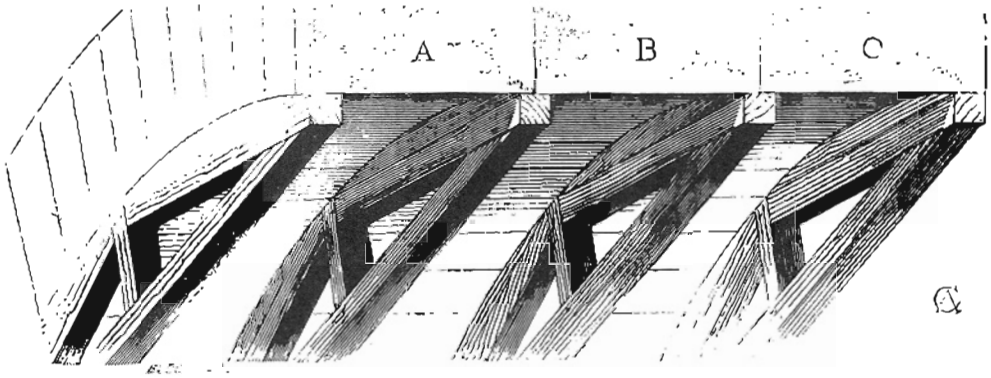


Fig. 80.

gènes, tels que ceux des carrières d'où est sorti le pont du Gard, car alors l'égalité d'échantillon s'obtient sans déchet, et rend même l'extraction moins dispendieuse en la rendant plus uniforme. — Or c'est précisément dans ce cas favorable que les Romains ont admis l'appareil déliaisonné : ses principales applications appartiennent à la région du pont du Gard ; on peut citer, non loin de là, les arches du grand viaduc qui franchissait à Sommières la vallée de la Vidourle, les voûtes supérieures de l'amphithéâtre d'Arles (pl. XVII, fig. 1), celles des arènes de Nîmes, celles des galeries latérales de l'édifice dit Temple de Diane : et cet appareil discontinu convenait si bien aux matériaux de la contrée, qu'au XII^e^ siècle, lorsqu'il s'agit d'élever le pont Saint-Bénézet d'Avignon, les architectes du moyen âge n'imaginèrent rien de mieux que de reprendre la tradition consacrée par ces nombreux et magnifiques exemples.

Les Romains étaient donc arrivés à rendre inutile une partie coûteuse du cintrage, qui est le plancher courbe de revêtement : mais ils pouvaient aller plus loin, et, tout en conservant le bénéfice de cette première simplification, diminuer dans une proportion considérable la fatigue que subissent les cintres.

teurs du pont du Gard, l'intention d'employer successivement le même cintre pour porter tour à tour chacun des anneaux A, B, C, dont se compose une arche. Cette hypothèse, ici, est difficilement soutenable : un cintre unique réduit à la largeur d'un arceau tel que A aurait été trop mince pour son ouverture, il aurait manqué d'assiette, et peut-être flambé. Mais, envisagée en elle-même, l'idée à laquelle j'avais songé est bien dans l'esprit de l'architecture romaine : et il n'est pas impossible qu'elle serve d'explication à des voûtes de moindre ouverture construites suivant ce type d'appareil.

L'expédient qui leur permit d'atteindre à ce nouveau résultat est assez indiqué d'ailleurs dans le dessin suivant (croquis n° 81) :

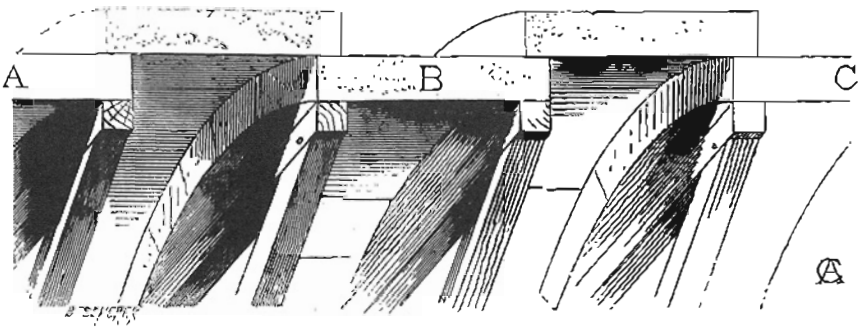


Fig. 81.

Au lieu de placer les arceaux A, B, C en contact direct, ils imaginèrent de séparer ces arceaux les uns des autres, sauf à remplir ensuite les vides par une sorte de dallage courbe.

L'économie obtenue est évidente. Ce qui pèse sur les cintres, c'est le système des arcs A, B, C ; quant au remplissage en dalles clavées, c'est sur les arcs-doubleaux A, B, C qu'il s'appuie : les cintres n'en ressentent aucunement la charge. En d'autres termes, l'ensemble des arceaux A, B, C forme pendant la construction le squelette résistant de la voûte, et de cette sorte, on associe les avantages de l'appareil déliaisonné à ceux qui résultent de l'emploi des armatures : — on supprime les couchis, et l'on réduit la pression sur les cintres.

Cette solution, nous la trouvons réalisée dans un monument antique appartenant comme le pont du Gard à la Gaule romaine, et connu sous le nom de Temple ou Bains de Diane à Nîmes (pl. XVI, fig. 1 [1]).

Les arcs-doubleaux dont se compose le squelette de la construction présentent à leur extrados des feuillures profondes où les dalles du remplissage s'engagent par leurs extrémités ; intérieurement ces mêmes arcs-doubleaux s'accusent par de vigoureuses saillies. Leur fonction se manifeste ainsi avec la plus parfaite netteté ;

[1] L'indication des dispositions de cette voûte est un des renseignements dont je suis redevable à l'obligeance de M. l'ingénieur en chef Aurès. — Il est bien entendu, je pense, que le croquis n° 81 n'est point une restauration des charpentes provisoires de cette voûte : j'ignore absolument s'il y avait deux fermes de cintre par nervure ou s'il y en avait une seule ; ce qui paraît probable, c'est qu'il n'y avait pas de couchis ; et ce qui est assuré, c'est que le cintrage, quel qu'il fût se trouvait notablement déchargé.

et l'architecte, profitant d'un arrangement dicté par l'économie, en sut tirer un de ces motifs d'ornement dont l'effet est toujours heureux, parce que leur origine tient aux principes mêmes d'une bonne construction.

Ce système, qui résume, pour ainsi dire, l'ensemble des ressources pratiques de l'art romain, donna lieu dans nos contrées et surtout dans les régions orientales de l'Empire, à une variante dont l'importance est considérable: j'en précise le caractère par un exemple emprunté aux voûtes souterraines des arènes d'Arles (corridor en prolongement du grand axe de l'amphithéâtre; pl. XVI, fig. 3).

Ici, les dalles de remplissage ne constituent plus une surface cylindrique, mais une sorte de plate-forme : chaque arc porte, en manière de tympan, un petit mur arasé au niveau de l'extrados ; et les dalles, rangées sur la dernière assise horizontale de ce tympan, se disposent suivant une surface plane qu'on peut utiliser comme le sol d'un nouvel étage. — On évite ainsi le double emploi qui consiste à placer un plancher sur une voûte : les mêmes dalles servent à la fois de plafond à la galerie inférieure et de carrelage aux salles qui la surmontent.

Ce genre de voûte avait un autre mérite, c'est de lever les difficultés qui naissent lorsqu'il s'agit d'embrancher l'une sur l'autre deux galeries rectangulaires : il suffisait pour que leur rencontre ne troublât en rien l'appareil, que cette rencontre eût lieu dans l'intervalle compris entre deux arceaux consécutifs. On observe des croisements de cette sorte dans les galeries des arènes d'Arles; on en trouvera d'autres si l'on se reporte aux dessins qui accompagnent l'ouvrage de M. de Vogüé, sur les monuments de la Syrie aux premiers siècles de notre ère. En Syrie, les arcs isolés recevant un dallage horizontal par l'intermédiaire d'un tympan sont d'une application très-générale; un système entier de construction, et même un système entier d'architecture est fondé sur leur emploi : des basiliques avec leurs larges nefs et leurs collatéraux à double étage, des habitations privées, des tombeaux, n'ont pour toitures et pour planchers que des dallages horizontaux ainsi soutenus par des arcs isolés. Les Romains obtenaient de cette sorte des voûtes légères qui offraient, moyennant une dépense minime de matériaux, une parfaite solidité. Les tympans empêchaient les arceaux de se déformer, et jouaient à très-peu près le rôle des garnitures en blocages adossées aux voûtes que nous avons précédemment décrites. — D'ailleurs les poussées étaient faciles à détruire parce qu'elles se trouvaient ramenées en des points isolés : on n'avait pas besoin pour les

combattre d'exagérer l'épaisseur des murs d'enceinte, on se contentait d'appliquer aux arcs de soutènement des contre-forts, et souvent on faisait servir pour cet usage des murs de refend commandés par la distribution même de l'édifice : en d'autres termes, le mur d'enceinte d'une salle voûtée n'était plus la culée où les poussées vont s'amortir; c'était une simple clôture, qui pouvait, sans inconvénient pour la solidité, être largement percée de baies, dont la forme et l'arrangement n'étaient gênés par aucune exigence de la construction. De là une extrême liberté dans les combinaisons des édifices; de là cette foule de conceptions originales réalisées pendant les premiers siècles de notre ère, dans une architecture que les recherches de M. de Vogüé nous ont fait connaître.

Pour compléter cette étude des voûtes à nervures, je dois dire quelques mots d'un appareil dont les architectes du pont de Narni firent l'essai : essai malheureux, paraît-il, car eux-mêmes renoncèrent au système après l'avoir appliqué à une arche unique située à l'une des extrémités du pont (voir pl. XVI, fig. 2 et 2 bis, et pl. XXI).

Ici comme aux bains de Nîmes, l'aspect général de la voûte est celui d'un berceau à nervures saillantes, mais on chercherait inutilement dans son appareil un dallage clavé soutenu sur des arceaux en pierre : les blocs dont se compose l'arche de Narni s'enchevêtrent, au contraire, de telle sorte qu'on ne peut distinguer ni ossature ni remplissage; c'est un berceau monté probablement assise par assise; les nervures se réduisent à de simples côtes reliées au reste de la construction, et qui ajoutent à sa rigidité : la résistance aux déformations est à peu près égale à celle d'une voûte pleine de même épaisseur totale, et la légèreté est plus grande : tel est, je crois, le principal avantage de la solution.

Je n'essayerai pas, d'ailleurs, de justifier dans toutes ses dipositions un appareil que les Romains, les premiers, semblent avoir condamné. Les difficultés d'ajustage de toutes ces pierres qui s'enchevêtrent dépassent ou balancent l'économie de matière et l'économie de cintrage résultant des élégissements : cela sans doute les conduisit à renoncer au système; et, prévenus peut-être par cette sorte d'insuccès contre les artifices d'appareil, ils revinrent, pour les trois arches restant à faire, à la solution vulgaire des berceaux cylindriques et des joints chevauchés.

TYPES SECONDAIRES DE VOUTES APPAREILLÉES

Jusqu'ici notre étude des voûtes appareillées comprend seulement les principes généraux de leur construction et leurs applications aux voûtes en berceau. Je dois maintenant montrer comment les résultats obtenus s'étendent aux autres sortes de voûtes usuelles. En premier lieu, comment se disposaient les voûtes à intrados horizontal ou plates-bandes clavées?

L'un des édifices où les plates-bandes d'appareil se montrent le plus multipliées, c'est l'amphithéâtre de Vérone, et il est aisé de s'assurer qu'un grand nombre de linteaux d'appareil y furent construits sans le secours d'aucun cintre.

Ces linteaux (pl. XXII, 3 et 4) se composent de trois pierres seulement, deux sommiers et une clef. Chaque sommier est formé d'une longue pierre couchée horizontalement, et qui au moment de sa pose se tenait en équilibre sur le sommet des piédroits : le point d'appui d'un sommier correspondait au milieu de sa longueur, une moitié s'avançait sur le vide, l'autre faisait contre-poids; enfin la clef venait s'intercaler entre les extrémités des sommiers : elle était étroite, et d'un poids assez faible pour ne pas entraîner leur culbute.

La clef une fois posée, on chargeait le linteau des maçonneries qu'il était destiné à porter : la clef, offrant peu de longueur, en recevait une faible charge, et poussait peu ; les sommiers, au contraire, pressés par une surcharge proportionnée à leur longueur, se trouvaient solidement fixés en place et à l'abri de toute chance sérieuse de recul. — Même, pour résister mieux encore à l'écartement de ces sommiers, on eut soin de ne poser la clef qu'après avoir arasé les maçonneries de remplissage au niveau du dessus du linteau ; les incorrections de la construction attestent cette marche de la manière la plus évidente : la clef, taillée d'avance, s'est trouvée tantôt trop large, tantôt insuffisante pour remplir le vide laissé entre les deux sommiers ; dans un cas (fig. 3), elle s'est arrêtée au-dessus de sa position normale; dans l'autre, elle l'a dépassée (fig. 4). Si les sommiers n'avaient été engagés dans les blocages, le remède eût été, soit de les écarter, soit de les rapprocher légèrement : on n'en fit rien ; les sommiers restèrent en place, et les clefs furent acceptées telles qu'elles se présentèrent : les retailler, c'eût été suspendre l'exécution des ma-

çonneries dont les assises s'arasaient déjà au niveau du dessus des linteaux; c'eût été mettre momentanément tout le chantier des maçons en chômage : on continua. L'aspect de l'ouvrage fut dans quelques parties d'une incorrection étrange : mais, au point de vue de l'art de bâtir, la marche suivie avait été irréprochable.

Évidemment, il ne fallait aucun appui provisoire pour réaliser un linteau ainsi conçu ; toutefois, l'idée d'économie ne suffirait pas, je crois, pour expliquer ici la suppression des charpentes de soutènement : le prix des sommiers, dont la queue tient en équilibre la partie en surplomb, excédait ou devait tout au moins compenser les frais d'un étai provisoire : mais si l'on tient compte de la position occupée dans l'amphithéâtre par les portes construites sans cintres, on reconnaîtra qu'un intérêt plus grave dut en effet engager les constructeurs à se débarrasser de tous les encombrements d'un cintrage. Les portes A, qui furent construites sans cintres, étaient les seules donnant accès dans l'arène, c'est par elles sans doute qu'on fit passer les matériaux pour les amener à pied d'œuvre et les monter de proche en proche, de gradin en gradin jusqu'au lieu d'emploi. Il fallait donc laisser l'ouverture de ces portes constamment libre. D'ailleurs la hauteur dont on disposait était restreinte; et la moindre charpente, réduisant légèrement l'échappée, eût gêné le service des chantiers.

Aussi le système n'est-il employé que pour des portes dont les piédroits ont au plus 2 mètres d'élévation : au contraire, pour toutes les portes à très-grande échappée, telles que B, les linteaux ont été construits sur un échafaudage, et se composent invariablement d'un nombre de claveaux supérieur à trois. Eu égard à la hauteur disponible, la perte de place entraînée par ces échafaudages était sans inconvénients.

La solution admise pour les portes basses des corridors de Vérone était donc avantageuse dans un seul cas, lorsque l'espace manquait pour installer des charpentes auxiliaires. Nulle part, en effet, je n'ai trouvé cette solution appliquée qu'à des portes où les besoins d'une circulation incessante rendaient la pose de ces échafaudages difficile et leur présence incommode : une des portes de l'enceinte antique de Rome (aujourd'hui murée) présente exactement les mêmes caractères; et, par une circonstance remarquable, ici comme à Vérone, les mêmes procédés et la même précipitation ont introduit dans l'aspect de l'œuvre les mêmes incorrections : les deux sommiers furent installés trop loin l'un de l'autre ; et la clef, taillée à

d'avance, est descendue lors de la pose beaucoup trop bas : on a pris ici une précaution qui avait été négligée à Vérone, c'est d'exécuter un ravalement et de faire ainsi disparaître après coup la partie pendante de la clef ; mais l'erreur avait été commise. Dans un cas comme dans l'autre, on a placé deux sommiers en équilibre sur les piédroits, on a adossé des maçonneries à ces sommiers ; enfin ceux-ci étant épaulés par la maçonnerie et à l'abri de toute chance de recul, on les a reliés l'un à l'autre par la clef, qui complète le linteau.

— On remarquera incidemment que les joints de la pierre servant de clef formaient un angle fort ouvert : cela empêchait les glissements. Quelquefois même, pour les éviter mieux encore, on taillait les claveaux suivant un profil à redans.

Fig. 82.

Le théâtre d'Orange présente plusieurs plates-bandes disposées d'après ce type d'appareil.

Aux plates-bandes construites par claveaux se rattachent les frises appareillées en décharge, dont le rôle est de préserver contre les causes de rupture des architraves monolithes.

La frise du monument connu sous le nom de Temple de Jupiter Stator est une véritable plate-bande établie en manière de décharge au-dessus des dalles qui constituent l'architrave. Cette décharge se compose de deux sommiers à l'aplomb des colonnes, et d'une clef entre les deux sommiers : mais par une sage attention, l'architecte ménagea entre la clef et l'architrave qu'elle surmonte un intervalle vide empêchant les pressions de se transmettre directement. — Pareille disposition se remarque à l'amphithéâtre de Pola : partout où une décharge appareillée protége une plate-bande monolithe, l'architecte eut soin de laisser du jour entre la plate-bande et la décharge [1].

— Le type de voûtes peut-être le plus fréquent après ceux qui précèdent est celui des voûtes rampantes et des voûtes biaises.

[1] Voir Stuart et Revett, les Antiquités d'Athènes, tome IV, chap. I.

Un berceau en descente, pour peu qu'il présente une pente roide, est d'une construction difficile et d'une stabilité douteuse. L'appareil des têtes, le raccordement de la voûte avec ses piédroits, entraînent des coupes compliquées et des pertes de pierre; enfin — et c'est là le plus grave inconvénient — les cours de voussoirs fortement inclinés tendent à se séparer les uns des autres en glissant par le seul effet de leur poids; et l'on est forcé, pour retenir les assises de la voûte sur la pente où elles tendent à fuir, soit d'interrompre le berceau rampant par des paliers, soit de recourir à des artifices d'appareil compliqués et coûteux. Mieux vaut évidemment renoncer à la continuité des berceaux, et remplacer la voûte cylindrique en descente par une succession d'arceaux échelonnés à divers niveaux (pl. XVIII et XIX): plus de difficulté dès lors, ni pour raccorder la voûte rampante avec les assises horizontales des piédroits, ni pour ménager la pénétration de la galerie en pente dans le mur de tête qui la termine. L'arc de tête ne diffère en rien des autres; un seul panneau suffit pour exécuter la construction tout entière; et enfin la voûte, quelle que soit la roideur de sa pente, présente toute la stabilité d'un berceau dont les génératrices seraient horizontales.

Des avantages si évidents devaient fixer le choix des Romains en faveur de ce système. L'ont-ils adopté également à toutes les époques et sur tous les points de l'Empire? Il est au moins permis d'en douter : les voûtes d'appareil qui abritaient les rampes de l'Odéon d'Athènes sont des berceaux inclinés à intrados lisse; et sans doute cette exception n'est pas unique. — Mais dans nos contrées, et surtout aux derniers temps de l'Empire, l'appareil par arceaux avait pris le caractère d'une méthode entièrement générale : des monuments analogues à celui de la planche XVIII existent en très-grand nombre sous notre sol; ils constituent une sorte de famille, dont les restes longtemps perdus viennent d'être partiellement remis au jour grâce aux persévérantes recherches de notre ami M. H. Sauvestre. Que ces monuments appartiennent à l'art antique, le fait est, je crois, hors de doute : l'absence de mortier entre les pierres, et par-dessus tout la forme des plans, en reportent la date au moins aux derniers temps de la période impériale; or les escaliers qui conduisent à ces singuliers hypogées sont invariablement voûtés par des séries d'arceaux étagés; ces arceaux sont tracés quelquefois en arc de cercle, plus souvent en plein cintre; presque toujours l'arête saillante des claveaux est abattue et remplacée par un très-large chanfrein qui augmente l'échappée de l'escalier et en rend par suite le parcours plus commode. Rien dans tout cet ajustement n'est abandonné à la fan-

taisie, et la forme qui ressort de ces combinaisons raisonnées offre à la fois une grande élégance et une agréable variété [1].

— L'appareil par arceaux convenait aux voûtes biaises aussi bien qu'aux descentes : leur a-t-il été appliqué? Je l'ignore; voici les seules observations que j'aie pu recueillir au sujet des berceaux biais :

Pour les Romains, un berceau biais n'est autre chose qu'une voûte droite coupée obliquement par les murs de tête (planche XX); les lits sont déterminés par des plans rayonnants menés suivant l'axe de berceau, et les joints par des plans perpendiculaires à ce même axe : du reste, le système hélicoïdal que nous adoptons dans le cas d'un biais très-prononcé ne paraît pas avoir son équivalent dans l'architecture romaine.

L'extrados des voûtes biaises est en tas de charge : disposition qui répond à un calcul fort judicieux. Imaginons, en effet, une voûte biaise extradossée suivant une surface courbe concentrique à l'intrados : le tympan appuyé sur cet extrados biais va tendre à glisser sur sa surface comme sur un plan incliné; ses deux moitiés feront effort pour se déplacer en sens inverses, l'une pour avancer et l'autre pour reculer. L'extrados en escalier, supprimant tous ces plans de glissement, offrait des garanties de durée qui l'ont fait adopter à peu près sans réserve (Arco dei Pantani ; portes biaises de l'enceinte antique de Rome, etc.).

Les exceptions apparentes viennent à l'appui du principe. La porte biaise de Pérouse (pl. XX) est extradossée suivant une surface concentrique à l'intrados ; mais les Romains ont compris la cause de déformation qu'ils acceptaient : et l'expédient auquel ils eurent recours montre assez la gravité qu'ils attribuèrent au danger des glissements. Pour s'affranchir de toute chance de mouvement dans les tympans, ils intercalèrent, entre la voûte biaise et ses tympans, un arc intermédiaire, biais à l'intrados, droit à l'extrados.

Par son intrados biais, l'arc épousait la forme du berceau qu'il enveloppe ; par son extrados droit, ce même arc prêtait aux murs qu'il supporte un appui sûr et une assiette toute semblable à celle que les tympans trouvent sur l'extrados d'un berceau ordinaire.

[1] Il y aura, au point de vue de l'art de bâtir, un très-haut intérêt à connaître en détail cette série de constructions, œuvres d'une école qui se rapproche beaucoup plus de celles de l'Orient que de celles des contrées septentrionales de l'Empire : une obligeante communication m'a fait entrevoir dans ces monuments des dallages portés par l'intermédiaire de

— Il me reste à parler des voûtes conoïdes, des voûtes elliptiques, des dômes, et enfin des voûtes d'arête en grands matériaux réguliers.

Pour les voûtes sur piédroits convergents, l'appareil est remarquablement simple. Il semble naturel, puisque l'ouvrage doit présenter l'aspect d'une trompe, d'adopter résolûment un intrados conique, et de diriger les lits suivant les diverses génératrices du cône. Les Romains ont procédé ainsi lorsque le défaut de parallélisme entre les piédroits était très-considérable ; mais habituellement ils disposaient leur appareil comme il suit :

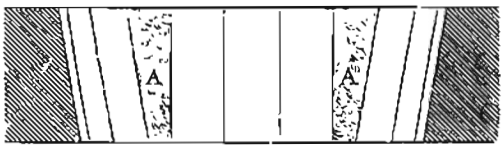


Fig. 83.

Depuis les naissances jusqu'à une certaine assise A, l'appareil est le même que s'il s'agissait d'une voûte en berceau; au-dessus de l'assise A, l'appareil redevient semblable à celui d'une voûte en berceau : l'assise A établit le raccordement entre la région cylindrique des naissances et la région cylindrique du sommet. L'une des têtes seulement peut être tracée en plein cintre, l'autre subit un changement de courbure à la hauteur de l'assise A : mais le défaut de continuité qui s'introduit dans les courbes est à peine appréciable.

Aux arènes d'Arles, où ce mode d'appareil fut appliqué à de très-nombreux arceaux, les assises A sur lesquelles le biais se fait sentir sont contiguës à la clef ; ou même on s'est contenté de reporter tout l'effet du biais sur le seul voussoir de clef : on montait les deux moitiés de la voûte sans se préoccuper des irrégularités du plan ; puis, arrivé au sommet, on taillait d'après un panneau relevé sur place le bloc destiné à servir de clausoir (fig. 83 bis).

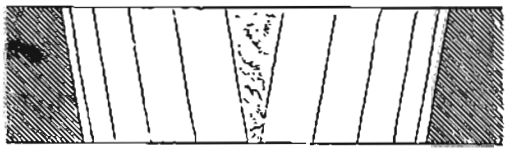


Fig. 83 bis.

tympans sur des arcs-doubleaux isolés, et qui semblent copiés sur des constructions retrouvées en Syrie ; les plans mêmes des tombeaux rappellent ceux des hypogées gréco-romains du Haouran. Mais, pour m'en tenir aux faits qui touchent spécialement à l'objet de ces études, je me contente de signaler des plates-bandes établies comme celles de l'amphithéâtre de Vérone, des voûtes déliaisonnées construites par tronçons (pl. XVIII) ; enfin les indices assurés d'un mode de cintrage que

Grâce à cet artifice, les Romains parvenaient à bâtir avec une égale facilité les berceaux cylindriques et les arcades à piédroits convergents qui donnent accès aux galeries rayonnantes de leurs amphithéâtres.

— Au sujet des voûtes sphériques, je me borne à deux remarques :

1° Les coupoles appareillées sont presque exclusivement propres aux contrées orientales de l'empire (temple circulaire à Balbek ; dômes en grands matériaux du Haouran, etc.) ;

2° Beaucoup de ces coupoles abritent des salles carrées : et le passage de la forme quadrangulaire du plan à la forme circulaire de la voûte est ménagé, non pas à l'aide de pendentifs, mais par de simples dalles faisant pan coupé à chacun des quatre angles (voir l'ouvrage de M. de Vogüé sur la Syrie centrale).

— Quant aux voûtes en berceau de section elliptique, je n'en connais qu'un exemple bien caractérisé, c'est l'arche principale du célèbre viaduc construit par Auguste sous la voie Flaminienne aux abords de Narni (pl. XXI [1]) : cette voûte était colossale, mais il n'en reste que des vestiges ; et à première vue, on se demandera si la forme elliptique que je lui prête n'est pas gratuitement supposée.

Il suffit, pour lever cette difficulté, d'observer que les deux naissances de la voûte subsistent, et que ces naissances sont placées à des niveaux très-différents (voir la pl. citée) : or une ellipse, ou bien une anse de panier rampante, était évidemment la seule courbe usuelle qui pût ainsi reposer sur les deux piédroits d'inégale hauteur destinés à en recevoir la retombée.

La route portée par le pont de Narni était en outre à pente très-roide, et une arche en ellipse rampante s'harmonisait mieux qu'aucune autre avec l'allure générale d'une voie fortement inclinée : c'était la solution qui laissait le plus de vide et par suite exigeait la moindre dépense de matière. Mais était-ce la solution la meilleure au point de vue de l'équilibre ? L'arche est tombée, et il serait utile de savoir si sa chute est due à une certaine instabilité résultant de sa forme, ou bien à un vice d'appareil. — A cet égard, aucune incertitude n'est, je crois, permise : ce qui

la tradition a perpétué jusqu'à nos jours, et qui consistait à remplacer les fermes en charpente par des murs temporaires soutenant les divers cours de voussoirs à l'aide de couchis isolés soit en fer, soit en bois (voir pl. XIX, les traces laissées par ces couchis dans les pignons d'une salle). Ces curieux détails, que M. H. Sauvestre a bien voulu m'autoriser à résumer ici en les précisant par des dessins, recevront prochainement, je l'espère, toute la publicité qu'ils méritent.

[1] Procop., de Bello gothico, lib. I, cap. XVII.

a déterminé la chute de l'arche, c'est l'insuffisance des fondations. Le pont était mal assis : des crues ont amené des affouillements à l'amont, affouillements d'autant plus grands que les piles, dépourvues d'avant-becs, produisaient un remous considérable. Peu à peu, les piles ont surplombé du côté où leurs bases commençaient à porter à faux : les deux piles qui soutenaient la grande arche ont participé inégalement à ce mouvement général de déversement; de là résultèrent les désordres qui ont amené la rupture de la voûte. Un autre système n'aurait pas résisté davantage; et l'arche rampante de Narni demeure l'une des plus remarquables conceptions de l'architecture antique : jamais la difficulté de construire un viaduc à très-forte rampe n'avait été abordée plus franchement ni résolue d'une façon plus originale et plus heureuse.

— J'arrive aux voûtes d'arête appareillées :

Ce qu'on peut dire de plus net à leur sujet, c'est que les architectes romains cherchaient à s'en affranchir : tous les édifices qu'ils nous ont laissés témoignent des efforts qu'ils ont accomplis pour en éluder l'emploi. Tantôt suivant une remarque déjà faite, ils placent à des niveaux très-différents les voûtes de deux galeries qui se coupent (fig. 38, page 71); tantôt ils mettent à profit les avantages que présente le type de voûte adopté dans les corridors souterrains d'Arles (page 131); quelquefois (pl. XVII, fig. 2 et 3) ils remplacent la voûte d'arête par un plafond dallé dont ils réduisent la portée à l'aide d'encorbellements plus ou moins ingénieux; ou même ils cessent brusquement la construction en pierres de taille au point où deux berceaux se croisent, et échappent à la pénétration en substituant la maçonnerie brute à la construction d'appareil : ce dernier cas est celui de l'arc de Janus Quadrifrons (pl. VII, fig. 2).

Cette sorte de réserve, qui leur faisait éviter les pénétrations, s'explique d'ailleurs sans peine. Les voussoirs-arêtiers, communs à deux galeries rectangulaires, présentent presque toujours un angle rentrant : ces portions d'assises qui se coudent pour établir une transition entre les deux berceaux sont sujettes à se rompre, et elles inspiraient aux Romains une juste défiance. De là l'extrême rareté de leurs voûtes d'arête en pierres de taille; je n'en puis citer aucune dans les monuments élevés aux bonnes époques en Italie; il en existe deux, à ma connaissance, en Grèce, dans les corridors de l'Odéon d'Hérode Atticus.

Seuls peut-être dans toute la série des monuments antiques, les hypogées du

nord des Gaules nous présentent la voûte échancrée « en lunette, » ou même la voûte d'arête admise comme un élément normal de leur structure. Le croisement de berceaux, que figure la planche XVIII, mérite d'être remarqué pour la simplicité de son arrangement. La pénétration n'est que partielle : les deux voûtes qui se rencontrent sont d'ouvertures inégales ; et, au lieu de ménager un raccordement entre l'une et l'autre, le constructeur s'est contenté d'entailler la voûte principale pour faire place au passage du petit berceau.

On observera aussi l'appareil de la voûte d'arête dont la planche XIX donne l'ensemble, et dont j'isole ici la clef.

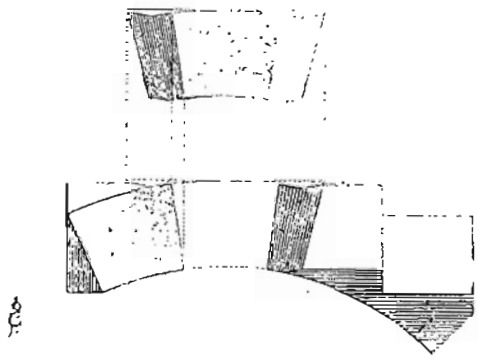


Fig. 84.

Cette clef, obtenue sans perte de pierre et sans angles rentrants, semble d'un tracé préférable à celui qu'on admet de nos jours : elle se réduit à une dalle octogone qui s'appuie par une face plane sur chacun des derniers voussoirs-arêtiers. — Mais c'est assez nous étendre sur des types de construction qui n'ont dans l'art romain qu'un caractère exceptionnel.

CHAPITRE III

LES CONSTRUCTIONS EN CHARPENTE

OBSERVATIONS GÉNÉRALES SUR LES MÉTHODES DE L'ART DE BATIR CHEZ LES ROMAINS

Le bois joue un trop grand rôle dans les constructions des Romains pour que nous puissions nous dispenser de jeter un coup d'œil sur les procédés de la charpente antique. Malheureusement les questions qui s'y rapportent sont d'une difficulté extrême : les ruines n'offrent pour les résoudre que de rares indices ; et les textes, trop incomplets ou trop vagues, laissent régner une obscurité regrettable sur les méthodes que nous aurions le plus d'intérêt à connaître. Une énumération des pièces d'un comble donnée par Vitruve ; de courtes notices sur un petit nombre de charpentes célèbres, telles que le Pont du Rhin ; une esquisse du Pont du Danube ; un aperçu des charpentes de la basilique de Fano ; enfin les détails du comble toscan et ceux d'un auvent à Pouzzoles : voilà à peu près l'inventaire des documents qui nous restent ; ce n'est pas sur de pareils fondements qu'on peut établir une théorie : nous nous contenterons d'interpréter à titre d'exemples quelques descriptions de charpentes parmi celles dont la traduction graphique semble impliquer le moins de conjectures ou d'hypothèses.

De tous les exemples de la charpente antique, l'auvent de Pouzzoles est celui dont les dispositions nous sont le plus exactement connues : le programme de sa construc-

tion a été conservé sur un marbre gravé [1], et l'aspect de ce modeste édifice, restitué d'après les termes de l'inscription, paraît être celui-ci :

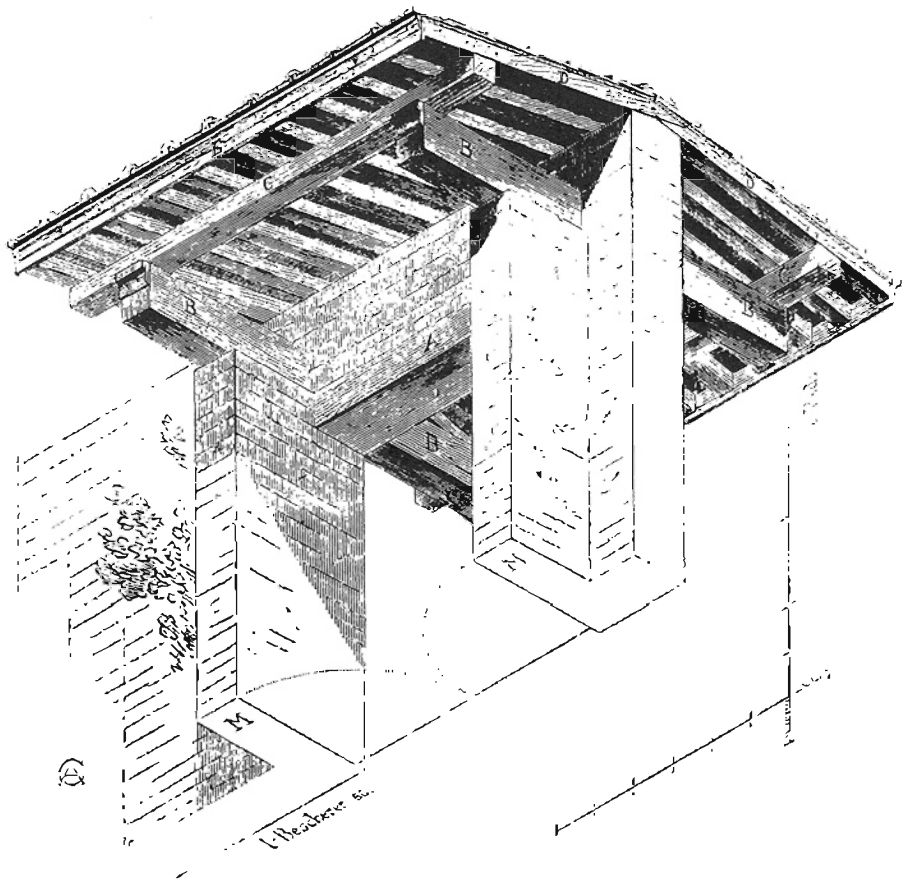


Fig. 85.

C'est une porte isolée qu'il s'agit de protéger : exposée sur ses deux faces, elle doit être abritée sur chacune d'elles. De chaque côté, un versant ; toute la charpente s'appuie en encorbellement sur les extrémités des deux poutres B ; point d'assemblages, si ce n'est peut-être un joint à mi-bois qui réunit au sommet les chevrons des deux versants. Rien n'est plus logique, ou même plus primitif, que cette disposition dont la simplicité n'est dépourvue ni d'originalité ni d'élégance : malgré la petitesse des dimensions, on trouve dans cette charpente une sorte d'aspect monumental qui s'associe bien aux formes graves et un peu archaïques de l'art aux derniers temps de la République romaine.

[1] Cette inscription est connue sous le nom de « Lex puteolana parieti faciundo. » (Egger, Latini serm. vetust. reliquiæ, p. 248 ; — Corpus Inscript. latin., n° 577.)

Une interprétation graphique du texte a été donnée par Piranesi (tom. VI, pl. 37), et une traduction anglaise se trouve