

CHAPITRE V

DES OUVERTURES DANS LES MURS

LEUR CONSTRUCTION

SOMMAIRE. — Baies rectangulaires, piédroits et linteaux. — Exemples très anciens. — Largeur limitée par le linteau. — Expédients primitifs pour la dépasser. — Inclinaison des piédroits, encorbellements. L'arc. — Les diverses formes d'arcs. — Plein-cintre, arc en segment, arc brisé. — Impostes, claveaux, clefs, intrados, extrados. — Appareil des arcs. — Arcs surbaissés. — Plate-bande appareillée. — Arcs de décharge.

Je me suis limité d'abord au mur plein; nous allons étudier maintenant le mur avec des ouvertures, et ici encore nous examinerons d'abord les ressources et les moyens de la construction.

Toutes les ouvertures que l'on pratique dans les murs sont désignées par le terme générique de *baies*.

Au point de vue de l'usage, les baies peuvent être de simples ouvertures non closes, ou être destinées à recevoir des clôtures pleines ou à jour, telles que portes ou croisées en menuiserie, vitrages, etc. Cela n'a pas une importance immédiate au point de vue de leur construction, et vous pouvez d'abord considérer une baie abstraction faite des clôtures qu'elle pourra comporter.

La plus simple et la première en date des ouvertures est la baie rectangulaire : une interruption verticale dans la construction

d'un mur, terminée ou couverte par une couverture horizontale. Telle est, dans une antiquité très reculée, la Porte d'Alatri. C'est la porte ou la fenêtre usuelle (fig. 147); les côtés s'appellent *jambages* ou *piédroits* (pieds-droits); la pièce qui recouvre la baie s'appelle *linteau*. Le linteau sera souvent en bois ou en fer dans les murs ordinaires, en pierre dans la construction monumentale. Le linteau monolithe est d'un usage presque absolu dans l'architecture antique, qui en offre de magnifiques exemples.

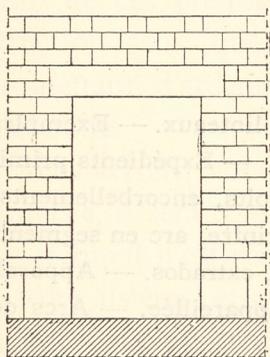


Fig. 147.

Mais les limites de largeur d'une baie ainsi couverte sont bientôt atteintes; de plus, ce mode de construction est particulièrement fragile: la pierre de linteau portant sur les deux jambages par des parties assez courtes, chargée par la construction supérieure, sera dans de mauvaises conditions s'il y a la moindre inégalité de tassement, d'autant plus que la pression verticale la fait travailler à *la flexion* dans le sens du *défil*. Aussi voit-on souvent des linteaux rompus. Chez les anciens, lorsque les assises de pierre étaient posées à *Pierre sèche* et les murs fondés sur le rocher même, aucun tassement n'était à craindre, et on a pu alors employer des linteaux qui ont jusqu'à 5 et 6 mètres de longueur, en marbre très compact et très homogène. Mais avec notre mode de construction, le linteau monolithe n'est praticable que pour de petites largeurs de baies, en lui donnant une grande hauteur, et avec de la pierre compacte. On l'a employé fréquemment ainsi au moyen âge.

Nous verrons plus loin comment on a obvié à ces inconvénients du linteau au moyen de ce qu'on appelle la *plate-bande appareillée* et de *l'arc de décharge*.

On a aussi cherché à diminuer la longueur des linteaux par deux moyens : légère inclinaison des jambages (fig. 148) ou addition de supports qu'on nomme *consoles* ou *corbeaux*. Ce dernier système a été fréquemment employé au moyen âge.

Le premier est admissible pour une baie qui doit rester ouverte : mais s'il doit y avoir une menuiserie, comme il faut que l'axe de rotation déterminé par les gonds de roulement soit parfaitement vertical, la baie effective comme air et comme lumière redevient rectangulaire, et dès lors on ne gagne rien à l'élargissement inférieur : la baie est exactement la même que si les jambages étaient verticaux eux-mêmes. D'ailleurs, l'emploi fréquent qui a été fait de ces baies en trapèze dans l'architecture sépulcrale nous a accoutumés à leur associer l'idée d'un caractère funéraire.

Quant au second, linteaux avec corbeaux (fig. 149), il n'est pas moins gênant pour la menuiserie de clôture, et il ne permet pas à la baie de s'accuser par un parti franc d'une forme définie. Ce n'est guère qu'un expédient.

Tout cela d'ailleurs ne saurait augmenter de beaucoup la largeur d'une baie, et l'architecture, restreinte au linteau, n'aurait jamais pu aborder les grandes ouvertures. On voit encore, par de très anciens exemples, la trace des difficultés avec lesquelles se débattait l'architecture réduite au simple linteau. Ainsi en Étrurie, à *Segni* (ancienne *Signia*), il existe une porte, d'appareil

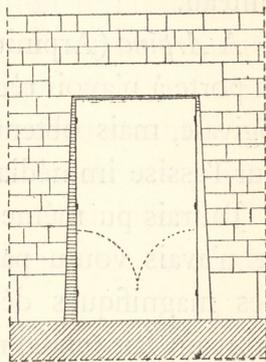


Fig. 148.

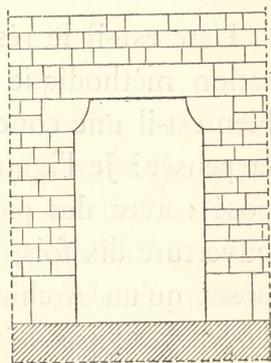


Fig. 149.

grossier, où l'on voit clairement le désir de faire une large baie aux prises avec la nécessité de la rétrécir pour la couvrir d'un linteau.

A *Arpino* (Arpinium), des encorbellements successifs amènent la porte à n'avoir réellement plus de linteau ; la forme est presque ogivale, mais obtenue seulement par la saillie de chaque assise sur l'assise immédiatement inférieure.

J'aurais pu même ne pas vous parler de ces tâtonnements, si je n'avais voulu par là vous préparer à bien apprécier une de ces magnifiques découvertes qui, je ne crains pas de le dire, sont un fait capital non seulement dans l'évolution d'un art, mais dans la marche même de la civilisation.

Cette découverte, c'est l'*arc* avec la *voûte* qui n'en est que l'extension. Je vous en ai déjà parlé, j'y reviens maintenant avec plus de détails.

L'arc est-il le résultat de tâtonnements progressifs, la réalisation méthodique d'un phénomène révélé par le hasard, ou bien est-il une conception de génie due à la seule puissance de la pensée ? Je l'ignore. Mais supposez que ce problème se soit posé : avec des pierres de dimensions restreintes, fermer une ouverture dix fois, vingt fois plus large que ces pierres, et supposez qu'un Archimède inconnu ait pu s'écrier *Εύρηκα*, — ne voyez-vous pas là une des plus sublimes et des plus fécondes inventions du génie humain ?

Quoi qu'il en soit, des horizons nouveaux et indéfinis s'ouvraient à l'architecture qui en a tiré un admirable parti. Voyons donc ce qu'est l'arc.

On appelle arc toute construction en maçonnerie, de forme courbe, destinée à couvrir soit une partie vide d'un mur (baie), soit une partie trop faible pour résister par elle-même au poids

de la construction supérieure. Ainsi, la fonction de l'arc est de soutenir et de reporter sur des points d'appui résistants l'effort de la masse de cette construction; sa condition réside dans sa forme cintrée et dans la concentricité de son appareil, quelle que soit d'ailleurs la nature des matériaux employés. L'arc n'est pas de sa nature dans des conditions d'équilibre stable : la pression qu'il subit tend à le déformer et à écarter ses points d'appui; il faut donc que ceux-ci présentent une stabilité suffisante, proportionnée à la largeur de l'arc et à la pesée qu'exerce sur lui la maçonnerie qu'il soutient.

L'épaisseur des piliers est la principale condition de cette stabilité; mais elle varie elle-même selon que ces piliers sont plus ou moins chargés, car elle se réduit en somme à une question de poids : il faut que l'effort nécessaire

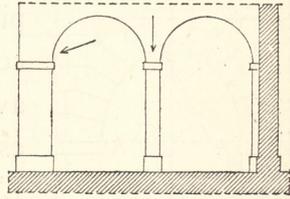


Fig. 150.

pour le déplacement de la masse des piliers représente une pression plus forte que la poussée de l'arc.

Deux arcs contigus et identiques, avec un pilier commun, s'équilibrent sur ce pilier; c'est pour un pilier d'angle (ou pour un mur extérieur s'il s'agit d'une coupe) que la stabilité est problématique (fig. 150). La vérification de cette stabilité est une question délicate de construction, subordonnée à de nombreux facteurs, et pour sa solution je ne puis vous indiquer de règle élémentaire et empirique. Votre plus sûr guide, quant à présent, sera l'observation des proportions que vous trouverez dans de nombreux exemples, en vous rappelant que mieux vaut un excès de prudence que de la témérité.

En tout cas, il est nécessaire que vous sachiez bien que si l'arc vous réserve des ressources immenses, c'est un moyen dangereux entre les mains d'imprudents et d'inhabiles. Mais ici encore

le principe de l'aspect de solidité vous préservera des lourdes fautes : pour que l'aspect d'une construction commande la confiance, il faut que la sécurité soit évidente, et votre œil s'habitue graduellement à reconnaître si cette condition est remplie.

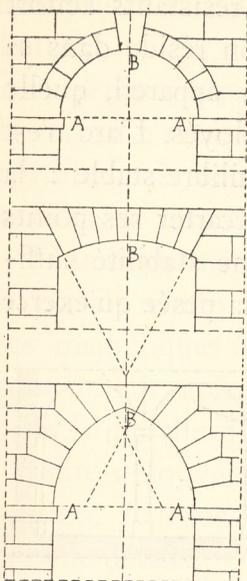


Fig. 151.

AA Naissances.
BB Clefs.

Il existe diverses formes d'arcs ; la plus naturelle et la plus pure est le *plein-cintre*, c'est-à-dire le demi-cercle parfait (fig. 151). L'arc en *segment* est celui dont les piliers ou piédroits montent à plomb jusqu'à leur rencontre, sous un angle plus ou moins obtus, avec une portion de cercle dont le diamètre est plus grand que la distance des piliers. L'arc en *ogive* ou *arc brisé* est formé de deux portions de cercle d'un rayon égal, et supérieur à la demi-distance des piliers, ayant leurs centres au niveau de sa naissance.

Les proportions de l'ogive — j'emploie ce mot peut-être à tort, on a beaucoup discuté là-dessus, mais il est usuel et on le comprend — sont variables : elles se ramènent à trois combinaisons :

L'arc *brisé*, ou *plein-cintre brisé*, presque circulaire (fig. 152) : les centres des arcs sont à l'intérieur de la corde commune aux deux naissances ;

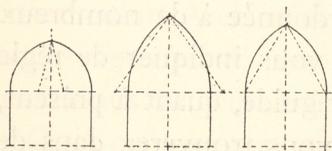


Fig. 152.

153.

154.

L'arc en *lancette*, ou *ogive aiguë* (fig. 153) ; les centres sont placés en dehors des courbes de l'ouverture de l'arc ;

Enfin, l'arc en *tiers-point*, ou *ogive équilatérale* (fig. 154), intermédiaire entre les deux précédents, où la naissance de chacun des arcs est le centre de l'autre.

Puis les diverses formes capricieuses, telles que l'*ogive surhaussée*, où l'arc se continue par une petite partie verticale; — l'*ogive lancéolée* formée de deux arcs dont le centre est plus haut que les naissances.

Enfin, dans l'architecture arabe surtout, on trouve l'arc en *fer à cheval* plein-cintre ou brisé.

On nomme *imposte* une pierre en saillie, le plus souvent moulurée, qui termine le piédroit (A-A, fig. 151 et 155), *claveaux* ou *voussoirs* les pierres prismatiques qui forment l'appareil de l'arc. Le premier claveau de chaque côté s'appelle *sommier*. Le claveau central B-B est la *clef*. La face apparente cylindrique des claveaux vus par-dessous se nomme la *douelle* ou l'*intrados*.

Le nombre de claveaux est toujours impair, d'où la clef. L'appareil peut être conçu de deux façons principales : ou bien, comme dans la figure ci-contre, il est *extradossé*, c'est-à-dire que les claveaux sont compris entre deux surfaces cylindriques, l'une intérieure (intrados), l'autre extérieure (extrados). Cet appareil est très logique : la construction supérieure peut en quelque sorte glisser sur l'arc et reporter tout son poids sur les piliers, et les claveaux, dont le lit de pierre doit tendre au centre, travaillent d'une façon normale. Toutefois il a l'inconvénient de donner lieu, dans la partie courante du mur, à des angles aigus, toujours fâcheux.

L'autre mode d'appareil, représenté ici (fig. 151) à l'occasion de l'arc en segment et de l'arc ogival, consiste à raccorder l'appareil des claveaux avec les lignes d'assises du mur. Son tracé demande des tâtonnements pour que les joints verticaux se croisent suffisamment, et que les plans de contact des claveaux ou voussoirs soient assez étendus.

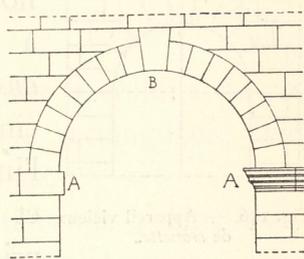


Fig. 155.

Peut-être trouverez-vous dans d'anciens ouvrages un appareil où les pierres sont évidées de façon à former à la fois claveaux et rangs horizontaux, comme dans la fig. 156. C'est ce qu'on nomme appareil à *crossettes*. Cette disposition est vicieuse et doit être rejetée, car les pierres se cassent presque toujours à l'évidement.

La série des arcs comprend encore d'autres formes, qui ne sont que des variantes de celles ci-dessus : ainsi les arcs elliptiques, soit que le grand axe de l'ellipse soit horizontal ou vertical ; les arcs *surbaissés* ou à plusieurs centres, appelés vulgairement *anses de panier* ; les arcs *surhaussés*, pleins-cintres dont le centre est plus haut que l'imposte. Ces divers arcs sont moins usuels, et leur construction est régie par les mêmes principes que pour l'arc plein-cintre. Notez

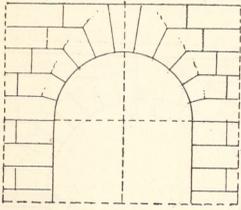


Fig. 156. — Appareil vicieux de *crossette*.

seulement que lorsque pour une raison quelconque vous serez conduit à les employer, il faut que leur tracé soit franchement différent de celui de l'arc plein-cintre. Il ne faut pas par exemple qu'un arc surbaissé ait l'apparence d'un arc plein-cintre déformé. Quant au tracé de l'ellipse, il est géométrique, et étant données une hauteur et une largeur, il n'y a qu'une seule ellipse possible. Il n'en est pas de même de l'arc surbaissé, composé d'une série d'arcs de cercle, tangents les uns aux autres, et par conséquent ayant leurs centres en prolongement deux à deux : pour une largeur et une hauteur données, le nombre de combinaisons est théoriquement infini, mais les courbes seront toujours en nombre impair ; on aura des courbes à 3, 5, 7, 9 centres, forcément symétriques. Or, plus les centres seront nombreux, moins la modification dans la *courbure* sera brusque. Il convient donc de tracer ces arcs avec un nombre suffisant de centres pour éviter ce qu'on appelle les *jarrets* (fig. 157).

Enfin, il faut rattacher à la théorie des arcs ce qu'on appelle la *plate-bande appareillée*. Ici, nous revenons à la baie rectangulaire; je vous ai fait voir le linteau monolithe, en vous faisant remarquer les raisons pour lesquelles il se rompt facilement, et ne peut, avec notre mode de construction, s'appliquer qu'à de petites ouvertures. Supposez maintenant que les claveaux de l'arc en segment soient prolongés jusqu'à une ligne horizontale joignant ses naissances (fig. 158), et alors avec toute la solidité de cet

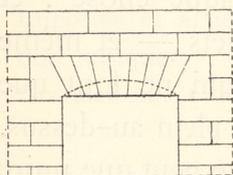


Fig. 158.
Plate-bande appareillée.

arc vous aurez une baie rectangulaire. Tel est le rôle de la *plate-bande*. L'appareil de la plate-bande a l'inconvénient de nécessiter des angles aigus à l'intrados au lieu de la direction normale des joints de l'arc. On a d'ailleurs reproché à cet appareil d'être une sorte de déguisement, d'appliquer à la forme rectiligne les éléments d'une construction courbe. Cela est vrai : la plate-bande appareillée n'est en réalité qu'un expédient; mais cet expédient nous est tellement nécessaire qu'il faut absolument l'admettre, et ses adversaires théoriques ont été obligés pratiquement de l'employer.

Un autre expédient, non moins légitime, est l'*arc de décharge* (fig. 159). On veut une baie rectangulaire : qu'elle soit couverte par un linteau ou une plate-bande, il y a là évidemment une partie plus faible et plus exposée de la construction. Si plus haut un arc vient reporter la pression au delà du linteau, celui-ci

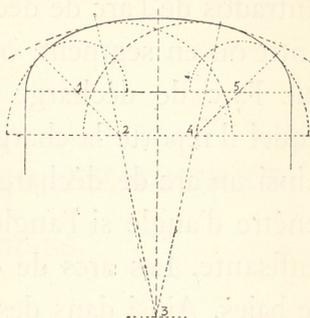


Fig. 157. — Arc à cinq centres.

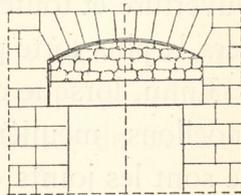


Fig. 159. — Arc de décharge.

n'aura plus à porter que le petit remplissage entre lui-même et l'intrados de l'arc de décharge. L'arc de décharge peut être plein-cintre ou en segment, ou même ogival. Il va sans dire d'ailleurs que l'arc de décharge n'est possible que si le plein mur sur lequel il reporte la charge est suffisant pour résister à sa poussée. Ainsi un arc de décharge ne serait pas possible au-dessus d'une fenêtre d'angle si l'angle lui-même ne présente pas une largeur suffisante. Les arcs de décharge ne sont pas toujours au-dessus de baies. Ainsi dans des fondations, on dispose souvent des arcs de décharge au-dessus de piliers ou de puits, toujours pour reporter la charge du mur sur les points résistants.

Mais il semble inutile d'ajouter qu'un arc de décharge n'a de raison d'être que s'il décharge réellement quelque chose : et cependant, nous voyons parfois dans vos projets — et même dans des constructions exécutées — des arcs qui ne font que couper sans motif un mur plein au-dessous et plein au-dessus. Non seulement cela n'a aucun sens, mais cela ne peut que nuire à la solidité du mur. C'est un exemple des fautes qu'on peut commettre lorsque la raison ne guide pas l'étude.

Tous les arcs appellent d'ailleurs une remarque générale : plus ils sont plats, plus ils poussent. Ainsi pour une même ouverture et toutes choses d'ailleurs égales, la plate-bande exercera la plus forte poussée, l'ogive la moindre.

Enfin, lorsque des arcs sont faits en petits matériaux, briques, moellons, meulières, ces matériaux ne sont pas prismatiques ; ce sont les joints en mortier qui sont des prismes d'autant plus ouverts. C'est alors le mortier qui détermine la résistance de l'arc.

