

Scan Gilbert MARGUERITTE
TOME 145 - IV

ANNÉE 1987

BULLETIN MONUMENTAL

DIRIGÉ PAR

FRANCIS SALET

ALAIN ERLANDE-BRANDENBURG

REVUE TRIMESTRIELLE PUBLIÉE AVEC LE CONCOURS
DU CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

CLAUDE LALBAT, GILBERT MARGUERITTE
ET JEAN MARTIN

De la stéréotomie médiévale :
la coupe des pierres
chez Villard de Honnecourt

SOCIÉTÉ FRANÇAISE D'ARCHÉOLOGIE
MUSÉE DES MONUMENTS FRANÇAIS
PALAIS DE CHAILLOT
1, PLACE DU TROCADÉRO
PARIS

DE LA STÉRÉOTOMIE MÉDIÉVALE : LA COUPE DES PIERRES CHEZ VILLARD DE HONNECOURT

par Claude LALBAT, Gilbert MARGUERITTE et Jean MARTIN

Les Compagnons Tailleurs de pierres, sous l'égide de l'Association Ouvrière des Compagnons du Devoir, travaillent actuellement à la rédaction d'un ouvrage de stéréotomie dont le plan s'articule à partir de deux repères historiques : la naissance de l'imprimerie, qui a permis la diffusion des grands traités de stéréotomie, et l'énoncé de la géométrie descriptive par Gaspard Monge dans les dernières années du XVIII^e siècle. Ces deux repères nous permettent de diviser l'histoire du Trait de la taille de pierre en trois parties : la stéréotomie avant les grands traités, la stéréotomie dans les grands traités du début du XVI^e à la fin du XVIII^e siècle, et la coupe des pierres dans sa pratique actuelle. Le travail que nous présentons sur le carnet de Villard de Honnecourt (1) sera développé dans la première partie de l'ouvrage en préparation.

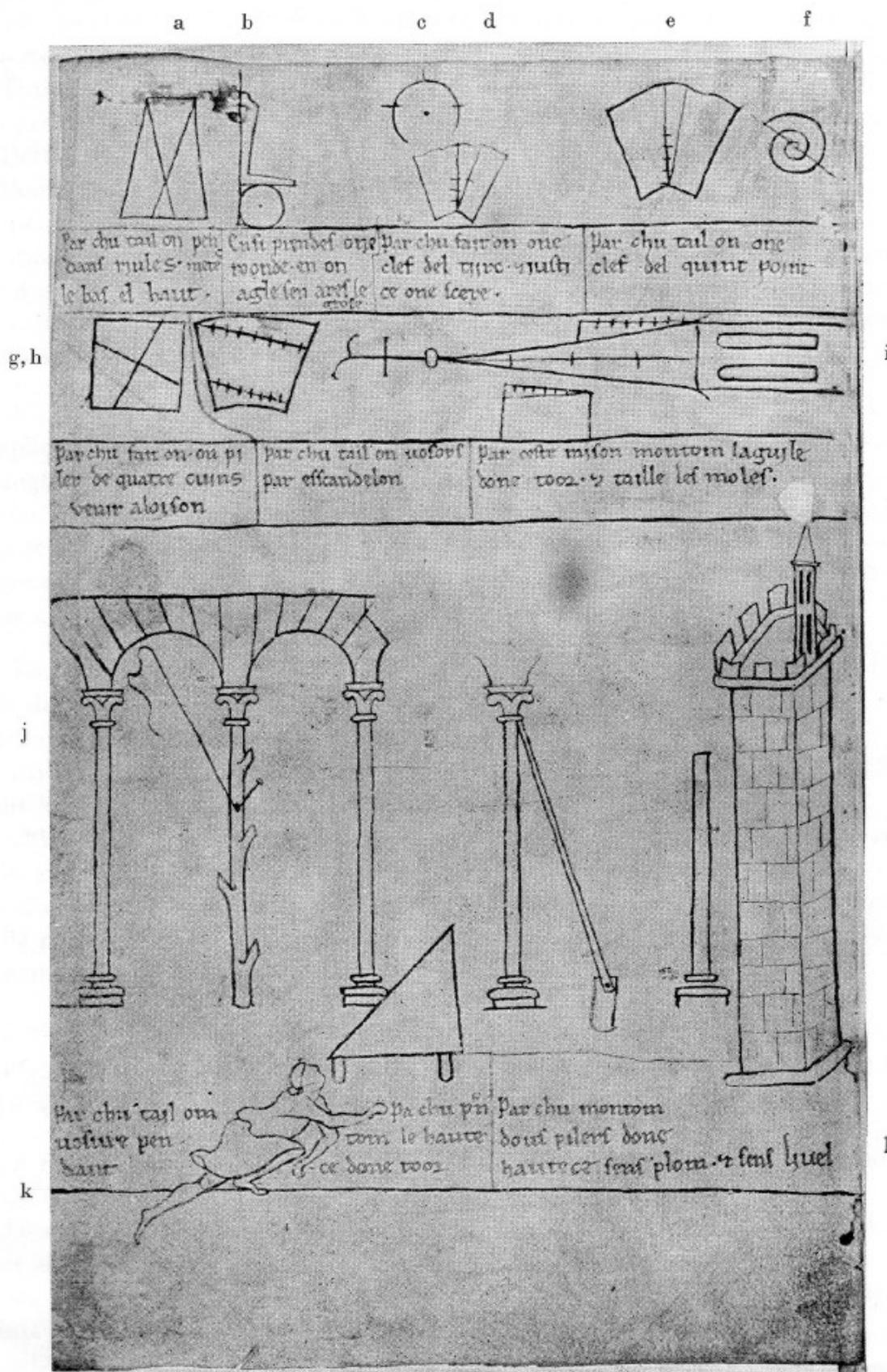
Le livre récemment publié chez Stock (2), nous a incités à faire connaître nos travaux sur le manuscrit de Villard, auquel nous avons été sensibilisés grâce à la publication en fac-similé de l'ouvrage de J.-B. Lassus (3). Nous ne considérons pas a priori ce témoignage comme un recueil indicateur d'un savoir-faire ; l'analyse précise de certains croquis (39 i, 40 c, d et 40 e, f) nous a fait changer d'avis (4). Dès lors, nous pouvions établir une filiation directe de Villard de Honnecourt aux auteurs de la Renaissance et au-delà, jusqu'aux hommes qui, aujourd'hui encore, taillent la pierre selon les mêmes procédés. Par ailleurs, ces croquis, jusqu'à présent mal interprétés, nous aident à comprendre comment les constructeurs médiévaux percevaient l'espace construit, et la manière dont ils influaient sur cet espace.

Le jugement porté sur les trois planches 39, 40, 41 a évolué depuis la publication de Lassus, qui les considérait comme étant d'une simplicité élémentaire. Il est passé rapidement sur certains dessins ; attitude étonnante de la part d'un architecte souvent confronté aux techniques de restauration d'édifices médiévaux (5).

Depuis, comme le souligne Roland Bechmann (6), les historiens de l'art et les médiévistes se sont surtout attachés aux dessins artistiques ; pourtant, plusieurs articles sont parus depuis une trentaine d'années. Robert Branner, quelles que soient les réserves que nous pouvons émettre sur ses commentaires, est un des premiers à avoir cherché une application pratique des dessins « techniques » (7). Il est entendu que ces réserves viennent de praticiens, en rapport avec une réalité de chantier. Plus rares sont les auteurs qui, comme Jean-Pierre Adam et Pierre Varène analysent et démontrent le processus de ces techniques (8). C'est dans le sillage de ces chercheurs que nous espérons être compris.

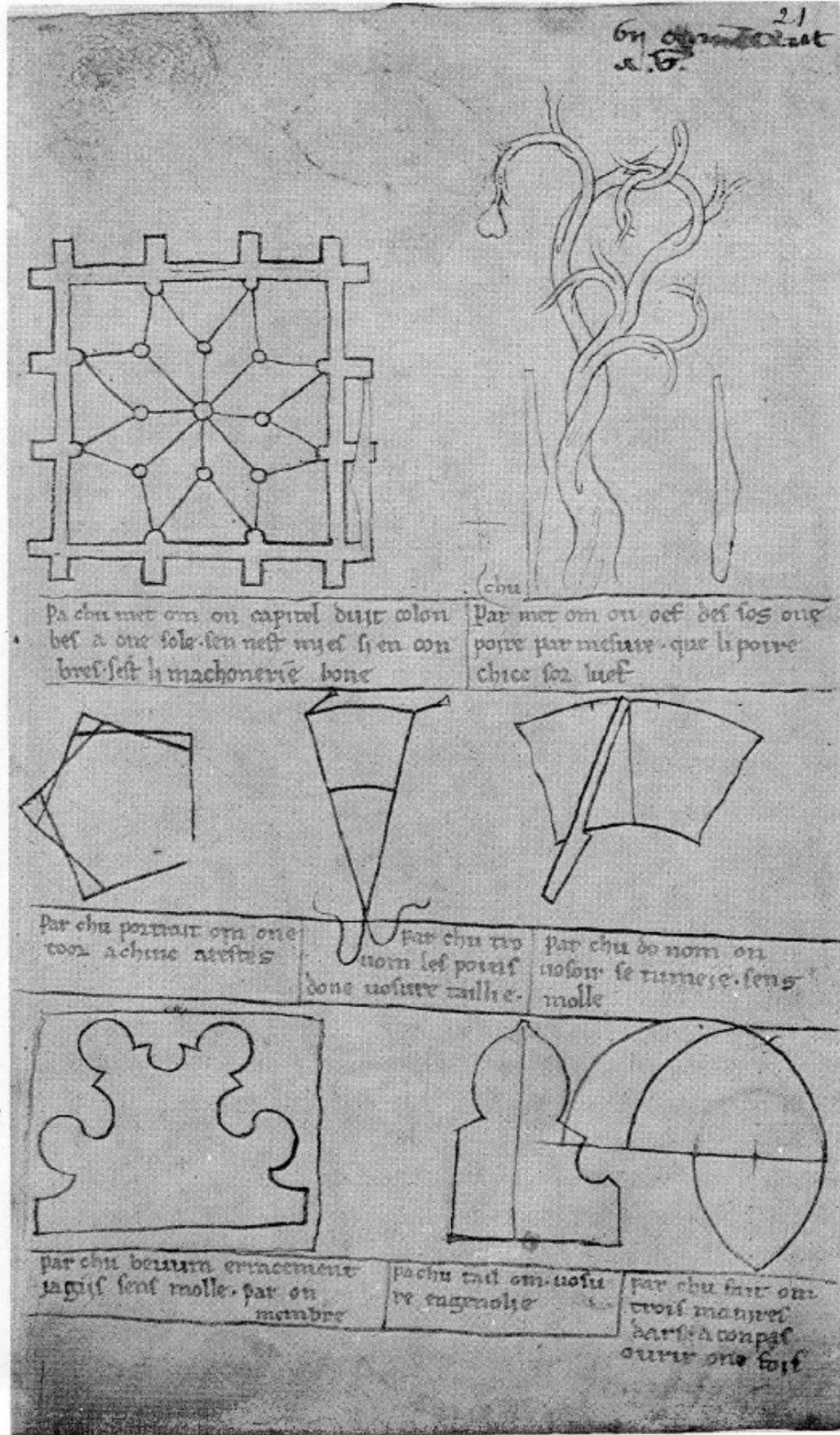
Nous avons regroupé deux études bien distinctes, consacrées à certains croquis des planches 39, 40 et 41, sur lesquels notre attention s'était particulièrement cristallisée.

La première aborde le thème du « biais passé », qui ne sera parfaitement maîtrisé qu'avec les moyens de la géométrie descriptive : il s'agit de la figure 39 i qui porte la légende *par chu tail'om vosure besloge* (9). La seconde explique les figures 40 c, d et 40 e, f qui portent les légendes respectives : *Par chu fait on one clef del tiirc, et justice one scere, et par chu tail on one clef del quint point* (10). Nous y avons mis en lumière un théorème que nous avons appelé le *théorème de Villard*.



FOLIO 20 rº. PLANCHE 40

Introduction et commentaires de Alain Erlande-Brandenburg, Régine Pernoud, Jean Gimpel, Roland Bechmann.



FOLIO 21r°. PLANCHE 41

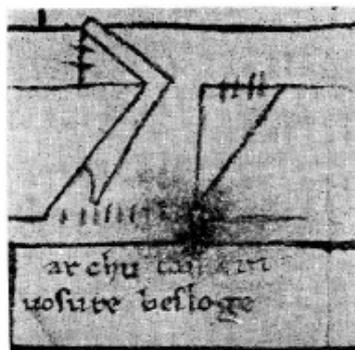


Photo B. N.,

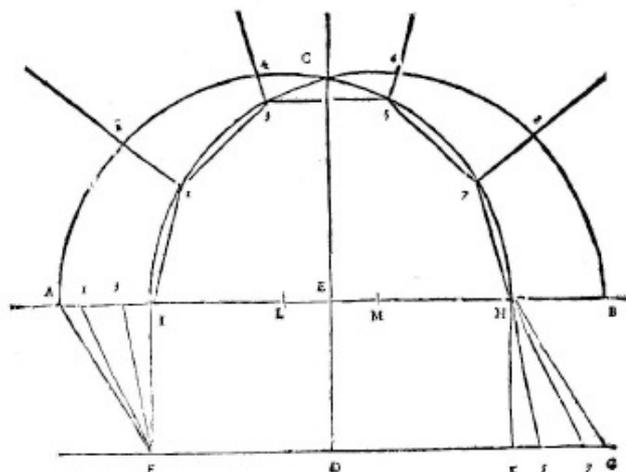
FIG. 1 a. — CROQUIS 39 i
DU MANUSCRIT DE VILLARD

FIG. 2 a

PLANCHE EXTRAITE DE L'OUVRAGE DE JOUSSE

a. Le biais passé. Ce dessin présente une similitude remarquable avec celui de Villard. La ligne AB sépare le plan de l'élévation, c'est également la ligne des naissances des pleins cintres ACH et ICB . La ligne DY perpendiculaire à AB, appartient au plan bien qu'elle continue sur l'élévation. Nous l'avons appelée « axe moyen ». L'extrados n'est pas figuré ; cela ne change en rien l'exécution du tracé : il suffit pour aboutir, de connaître la variation de l'angle du biais ($\angle \text{AIF}$) pour chaque voussoir. Jousse nous indique également cette variation dans le triangle HKG symétriquement inversé à AIF . (Dessin D. B.)

LE BIAIS PASSE

En parcourant ces planches, nous nous sommes arrêtés au dessin 39 i *par chu tail om vosure besloge* (par ce moyen taille-t-on une voussure en biais) (fig. 1 a). En effet, nous travaillions à l'explication de certaines épures de Mathurin Jousse (fig. 2 a) (11) ; nous avons été frappés à la fois par la similitude entre la figure de Jousse et celle de Villard, et par l'identité des buts : pour l'un comme pour l'autre, il s'agit de couvrir un passage biais pratiqué dans un mur. Pour Jousse, aucun doute n'est permis sur la nature de ce couvrement : il en donne l'élévation avec les arcs en plein cintre ACH et ICB , Villard, par contre, ne donne pas d'élévation ; cependant, le terme *vosure* de la légende suggère l'élévation : *vosure* est utilisé dans le manuscrit pour la représentation en élévation d'intrados courbes (cf. les croquis 39 h, 40 h, 40 k, 41 d, et 41 e) (12), pouvant s'exprimer de la même manière que chez Jousse (13).

Pour développer l'idée de similitude, nous avons complété le dessin de Villard en prenant une implantation (14) et une numérotation identiques à celle de Jousse (fig. 1 b), afin d'éviter des redondances dans les explications de ces épures.

Les deux figures 1 b et 2 b sont composées d'un plan et d'une élévation. Dans la pratique de l'épure, ces deux vues sont en parfaite osmose. Ici la ligne AB sépare le plan de l'élévation (seule la droite DY en plan, considérée comme axe moyen, continue en coupant verticalement l'élévation). En plan, le parallélogramme AFGH nous donne la section du mur à la naissance de la voûte (AEB en élévation). AF et HG sont deux tableaux parallèles. En élévation, les pleins cintres ACH de centre L et ICB de centre M donne la vraie grandeur des arcs de face de part et d'autre du mur. L'appareil est défini par des joints de clavage rayonnant du point E (milieu de LM). Chez Jousse les angles 213 et 134 , séparés d'une dis-

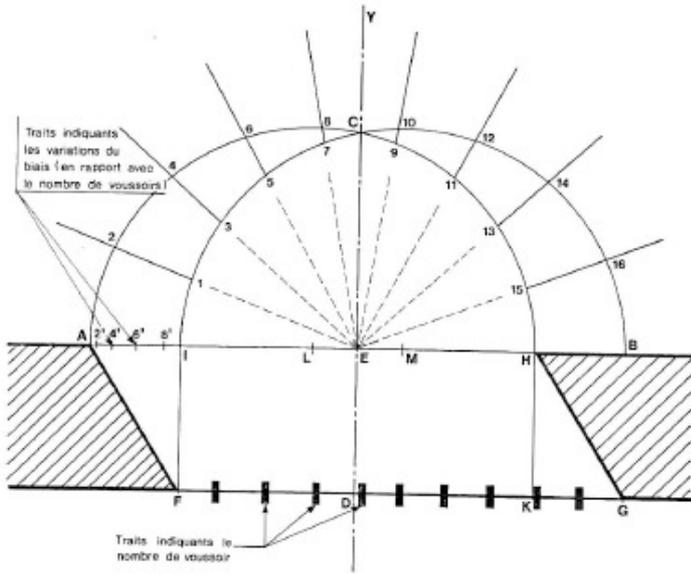


FIG. 1 b. — CROQUIS DE VILLARD REPRIS SELON JOUSSE

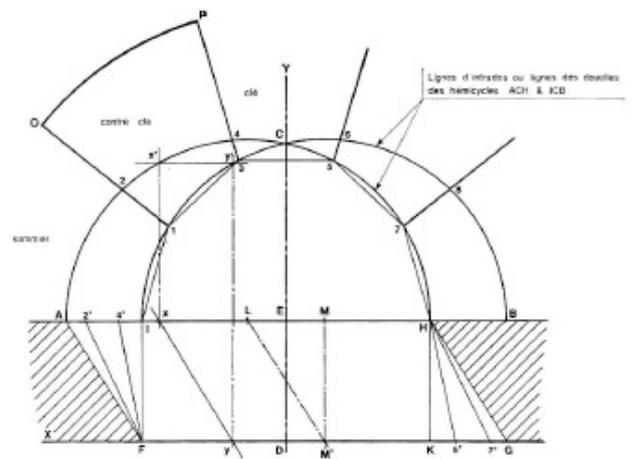


FIG. 2 b. — CROQUIS DE JOUSSE COMPLÉTÉ

Pour faciliter la lecture comparative des deux épures (1 b, 2 b), nous avons modifié l'implantation de l'épure de Villard. Ainsi les quatre tirets entre A-I expriment la variation de l'angle du biais (ΔIF) pour 9 voussoirs dont le nombre nous est donné par 9 tirets entre F-G. L'axe moyen DY marque la jonction de deux surfaces gauches, semblables mais inversées : il n'est pas utile de chercher la variation des angles entre K-G, ils varient dans les mêmes valeurs que ceux indiqués en A-I Villard, contrairement à Jousse, fait l'économie de cette redite. (Dessin Didier Busnel.)

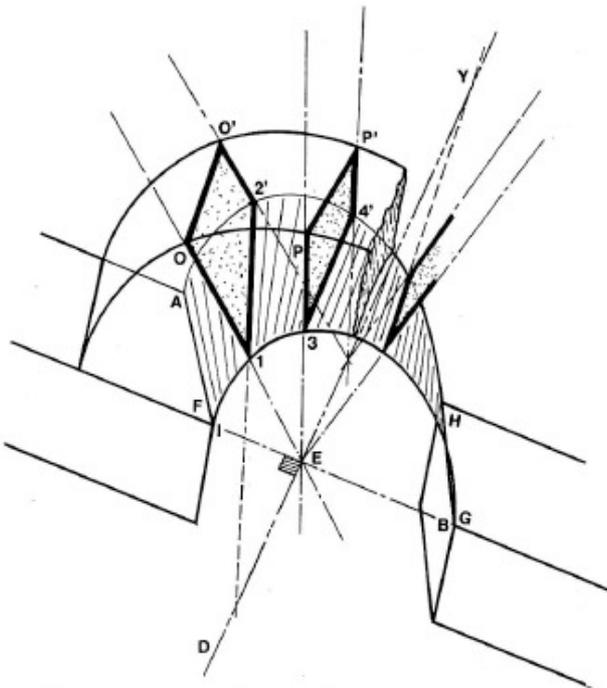


FIG. 3 a. — PERSPECTIVE DU PRINCIPE GÉNÉRATEUR DE VILLARD ET DE JOUSSE

Par cette perspective, à main levée et incomplète, nous avons représenté le principe générateur qui caractérise la méthode de Villard et de Jousse. Tous les plans de joints clavant cette voûte convergent vers la droite DY. Par les points 2'-1 et 4'-3 passe la droite génératrice qui durant toute la génération, s'appuie sur les arcs de face ACH et ICB, tout en se déplaçant sur DY.

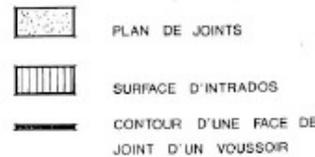
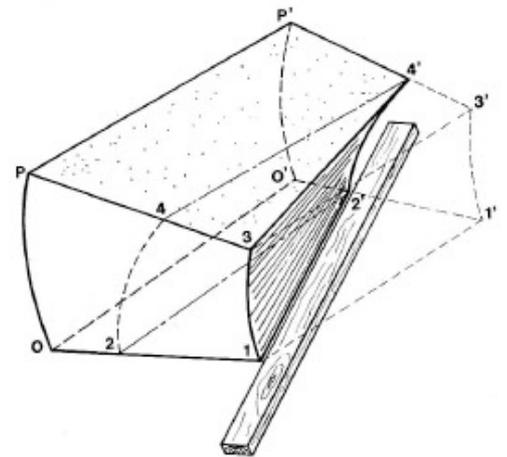


FIG. 3 b. — PERSPECTIVE D'UN VOUSSOIR TAILLÉ SELON CE PRINCIPE

Dans cette figure, nous avons dessiné la contre-clé taillée avec les mêmes conventions de représentations que la perspective. (O, P, 3, 1 ; O', P', 3', 1') donne le volume capable pour la taille de ce voussoir. Après avoir tracé les angles $\alpha 34'$ et $\alpha 12'$, le tailleur de pierre peut vérifier l'avancement de son travail en divisant les arcs 3-1 et 4-2 dans les mêmes proportions ; chaque point obtenu de part et d'autre donne une position de la génératrice (ou de la règle, pour le tailleur de pierre). La surface produite, géométriquement complexe, est le résultat d'une pratique très simple. (Dessins D. B.)

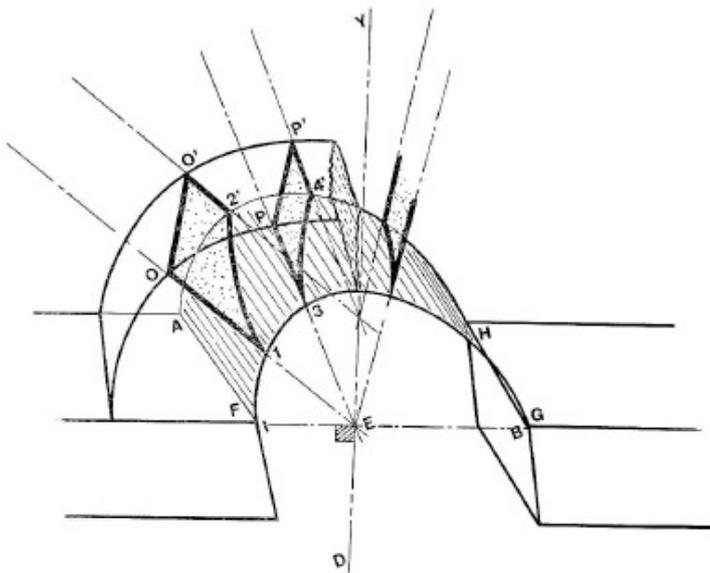


FIG. 4 a. — PERSPECTIVE DU PRINCIPE GÉNÉRATEUR SELON FRÉZIER

Nous avons voulu montrer ici, dans une même configuration que la perspective précédente, le principe générateur que Frézier (vers 1737 soit cinq cents ans après Villard) est le premier à donner. La surface d'intrados est pensée comme une surface régulière (cylindrique), générée par le déplacement d'une règle parallèlement au biais des tableaux AF et HG appuyant sur les deux arcs de face ach et icb. Ce mode de génération ne met pas en coïncidence les positions des génératrices avec les lignes de joints courant sur l'intrados.

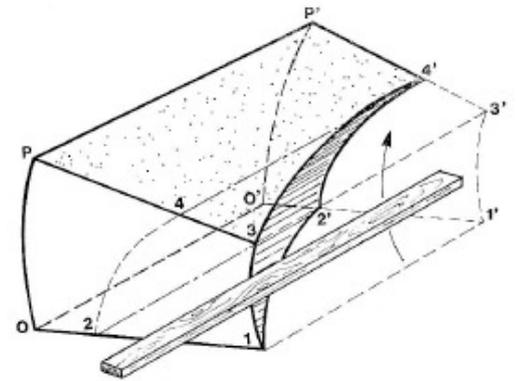


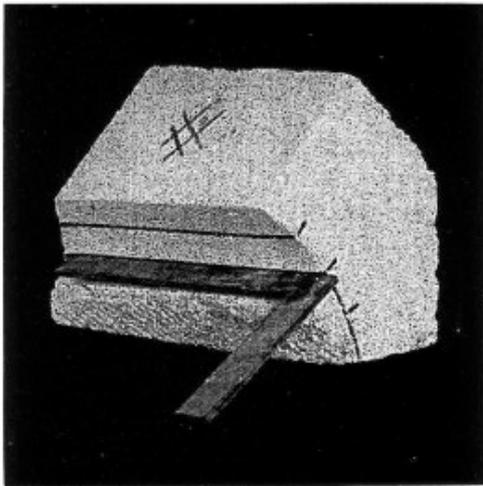
FIG. 4 b. — DESSIN DE LA CONTRE CLÉ TIRÉ DE LA PERSPECTIVE

Nous constatons que ce mode de génération a pour effet de produire une courbure elliptique comme celle qui passe par les points 3, 4' par exemple. Le tailleur de pierre, pour mener à bien son travail, doit prendre des positions intermédiaires pour situer sa règle ; cela l'oblige, dans ce cas, à sortir des gabarits supplémentaires. La surface, géométriquement simple est plus difficile à tailler en raison de la position des joints. Ce n'est qu'au XIX^e siècle que ces pratiques sont devenues courantes, avec les appareils orthogonaux parallèles et orthogonaux convergents, dont l'explication dépasserait notre propos. (Dessins D. B.)

tance 1-3 nous donnent le volume capable en vue de la taille du voussoir « contre-clé » (fig. 3). Cette opération répétée pour chaque voussoir, définit le volume capable pour l'ensemble de la voûte.

En plan, l'angle vnc donne le biais du passage ($\text{vnc} = \text{afx}$) et les triangles AIF et HKG sont égaux. Les traits situés entre AI ou KG indiquent la variation de l'angle du biais afx pour chaque voussoir. Voici comment est déterminée cette variation : à l'aide d'une pige (15), on repère les points 3 et 4 de l'élévation que l'on porte respectivement en I et 4' sur la ligne AB ; on procède de la même façon pour les points 2 et 1 ; les points 5 et 6, 7 et 8 sont portés sur KG, symétriquement opposée à AI (fig. 2 b). Voici une méthode apparemment empirique, qui se décrit en géométrie descriptive comme le rabattement d'un plan de joint amené parallèlement au plan horizontal, donnant ainsi les vraies grandeurs des angles cherchés (16). De cette façon, le nombre des voussoirs détermine le nombre d'angles en vraie grandeur nécessaires à la taille de ces pierres. C'est précisément ce que Villard veut signifier ; comme nous pouvons l'observer, la figure 1 b est en correspondance avec son croquis (fig. 1 a). Les neuf tirets, situés dans le passage, indiquent le nombre de voussoirs composant ce couverture et les quatre tirets opposés donnent le nombre de vraies grandeurs à chercher (17).

Comme le précise R. Bechmann, nous sommes en présence d'un carnet de notes, d'un memento



Photos Anny Lè. Compagnons du Devoir.

PHOTO 1. — TAILLE DE LA DOUELLE D'UN VOUSOIR SELON LA MÉTHODE DE VILLARD OU DE JOUSSE

Ici le chant de l'équerre fait office de règle et occupe la position d'une génératrice. Les différentes positions des génératrices sont obtenues en divisant dans la même proportion chaque face du voussoir (ici trois tirets donnent trois positions de génératrice). Ces positions permettent au tailleur de pierre de vérifier la qualité de son travail.

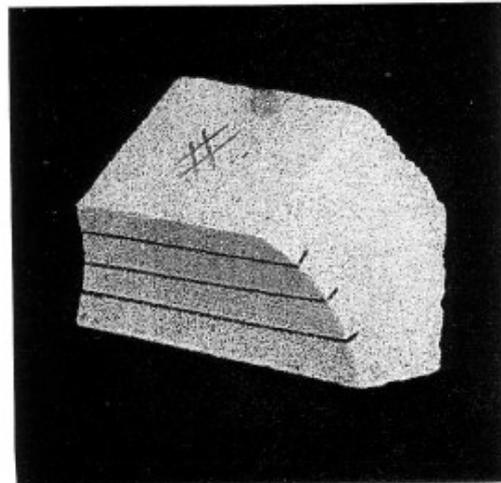


PHOTO 2. — VOUSOIR TAILLÉ SELON LE PRINCIPE DE VILLARD OU DE JOUSSE

Nous avons tracé les génératrices sur la douelle.

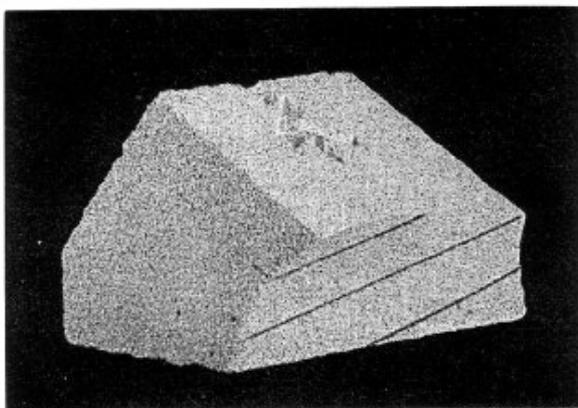


PHOTO 5. — VOUSOIR TAILLÉ SELON LE PRINCIPE DE FRÉZIER

Les génératrices sont tracées sur la douelle. Elles ne sont pas aussi facilement repérables que dans le principe de Villard : elles coupent les lignes de joints de douelles.

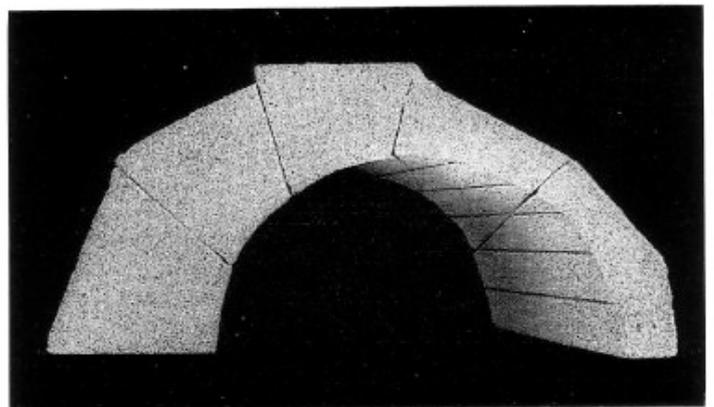


PHOTO 6. — ÉLÉVATION DU BIAIS PASSÉ DE FRÉZIER
Les génératrices, parallèles à l'axe du passage, ne coïncident pas avec les lignes de joints.

personnel (18). Ainsi Villard se contente de représenter les éléments significatifs qui lui permettront de retrouver le cheminement intellectuel et pratique pour aboutir. De fait, nous ne pouvons omettre l'évidente présence de l'équerre à chants non parallèles. Or, pendant toute la démonstration qui va suivre, nous n'avons pas eu recours à cette représentation. Cependant, nous pressentons sa signification (19).

Pour aller plus avant dans notre démonstration, rappelons la construction : un passage biais dans un mur couvert par une surface s'appuyant sur deux arcs de face en plein cintre. Tout l'intérêt du pro-

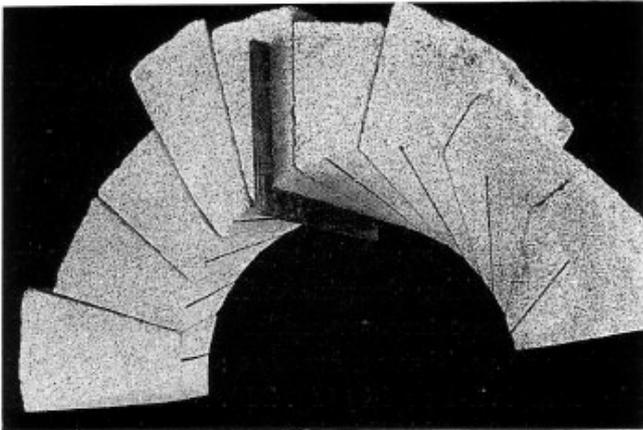


PHOTO 3

LA « VOSURE BESLOGE » DE VILLARD

Vue prise dans l'axe du passage. Le sommet de la voûte, au milieu de la clé, est perpendiculaire au parement du mur ; l'équerre indique cette particularité.

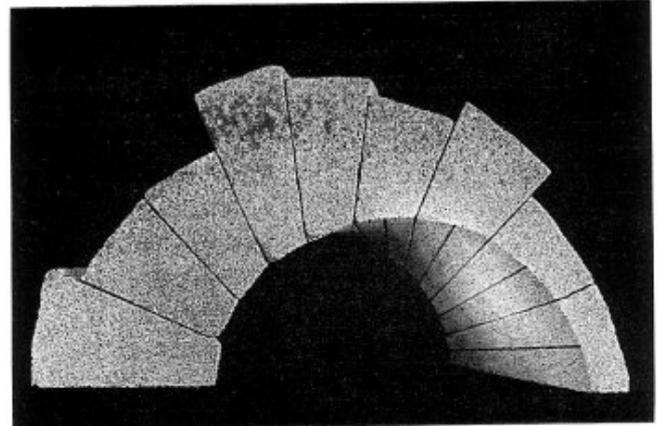


PHOTO 4

LA « VOSURE BESLOGE » DE VILLARD, VUE DE FACE

Elle est composée de neuf voussoirs qui volontairement ne sont pas extradossés. Jousse et Frézier, pour un couvrement identique, ne dessinent que cinq voussoirs : la construction s'effectue à cette époque en grand appareil.

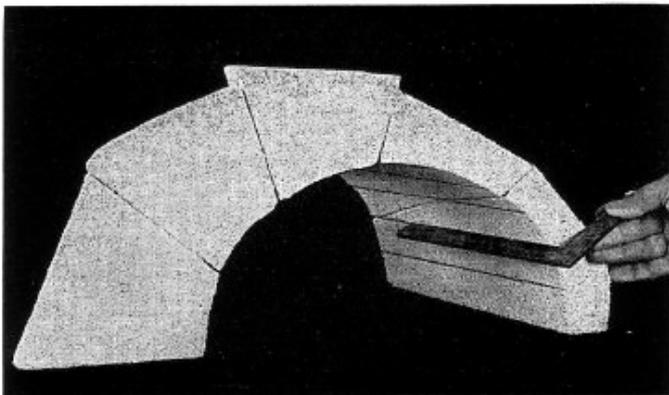


PHOTO 7

VUE DE CÔTÉ DU BIAIS PASSÉ DE FRÉZIER

Là aussi, le chant de l'équerre sert de règle : il occupe la position d'une génératrice.

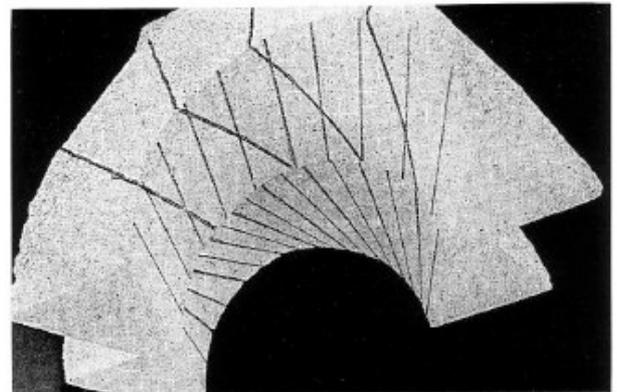


PHOTO 8

VUE COMPARATIVE DES DEUX MODES DE GÉNÉRATION

Les deux voûtes sont juxtaposées. Au premier plan, intrados généré selon le principe de Frézier : c'est un cylindre. Au second plan, intrados généré selon le principe de Villard ou de Jousse : c'est un hyperboloïde.

blème réside dans le mode de génération de cette surface interne. L'intrados peut être en effet généré de deux façons différentes expliquées par les figures 3 et 4 qui représentent le voussoir de contre-clé, et illustrées par une série de maquettes (photos 1 à 8) qui facilitent la comparaison et permettent de « visualiser » l'application des différents principes de génération.

La première façon, celle qui est donnée par Jousse, consiste à diviser la douelle courbe 1-3 et son pendant 2'-4' en x parties égales. En joignant de part et d'autre chaque point nous obtenons x positions de la droite génératrice (figurée ici par une règle). Ces positions vont aider à abattre la pierre et à mettre la douelle à nu. Sur l'élévation (fig. 1 b et 2 b) toutes les génératrices rayonnent au point E. En plan, elles tendent vers l'infini en se rapprochant de la clé ; la surface ainsi produite est gauche (non développable), elle appartient à la famille des hyperboloïdes (20). Les génératrices sont assujetties aux contraintes suivantes : s'appuyer sur les arcs de face ACH et ICB (courbes directrices de l'élévation) et glisser sur l'axe

DY (droite directrice du plan). En élévation ce déplacement n'apparaît pas puisque DY, perpendiculaire au plan frontal, se confond au point E.

La seconde revient à considérer l'intrados comme une surface régulière (développable), générée par une droite contrainte de se déplacer parallèlement à l'axe du biais (fig. 4 a) tout en reposant sur les arcs de face ACH, ICB. Ce mode de génération produit un cylindre dont la section normale est une ellipse (en effet, ici ACH et ICB sont demi-circulaires). En plan (fig. 2 b), les génératrices vont occuper des positions parallèles au biais du passage, par exemple, nous avons $xy // LM' // AF // HG$. En élévation, elles seront parallèles au plan horizontal figuré par la ligne AB, par exemple : $x'y'$ (projection frontale de xy) (fig. 2 b). Sur le voussoir de contre-clé (fig. 4 b), pour tracer la position des génératrices nous devons, au préalable, repérer sur l'épure les points x' et y' (fig. 2 b) puis les reporter convenablement sur le voussoir. Il est aisé de constater que nos génératrices n'occupent plus une position « naturelle » : elles ne sont plus en coïncidence avec les lignes de joints de l'intrados (par exemple 2-1 ou 4-3) (fig. 2 b). De fait, les lignes de joints prennent une courbure de nature elliptique (voir 3, 4', fig. 4 b). En effet, toute section d'un cylindre par un plan non parallèle à son axe directeur produit une ellipse.

Plusieurs indices nous permettent d'éliminer de façon certaine ce mode de génération comme n'étant pas celui que Villard a utilisé.

D'abord, considérer la surface d'intrados comme une surface régulière oblige le tailleur de pierres à « sortir des gabarits de vraie grandeur ». Pour cela, il lui faut prendre des points intermédiaires qui permettent de tracer la portion d'ellipse que décrit alors la ligne de joint 3-4' (fig. 4b).

Ensuite, le tracé et le contrôle de la taille peuvent être maîtrisés, dans le cas d'une surface cylindro-conoïdale (première solution) avec les outils simples représentés dans le manuscrit : l'équerre, la règle, le biveau (voir croquis 39 f, h, m, etc.).

Enfin, une comparaison entre les traités de coupe des pierres publiés du milieu du *xvi*^e siècle au milieu du *xviii*^e siècle, à savoir entre Philibert de l'Orme (21) et A.-F. Frézier (22), permet de voir que le biais passé revient constamment. Il est toujours traité à la manière de Jousse (voir la première solution). Il faut attendre l'ouvrage de Frézier pour voir ce problème traité différemment.

Là encore, un développement est nécessaire : seul Frézier, dans son remarquable traité, rend explicite ce couvrement biais. Par son analyse méthodique, il préfigure la géométrie descriptive de Monge (23). Frézier est le premier à s'être doté d'outils de raisonnement et de représentation graphique, lui permettant d'anticiper mentalement les surfaces produites par tel ou tel mode de génération. Il est le premier auteur de coupe de pierre à donner une vision théorique de l'espace. En fait, il pense la surface à couvrir en surface régulière susceptible d'être définie géométriquement de façon rationnelle : il la considère comme une surface préexistante.

Pour les auteurs anciens, dont Villard, cette surface gauche est le résultat d'une pratique qui exprime un espace construit non théorisé. Cet espace construit est l'expression de trois composantes : la matière, l'homme et les outils. L'actualité de ce problème remonte au moins à Villard de Honnecourt. Ce n'est que cinq siècles plus tard que Frézier pose les premiers jalons d'une théorie qui sera généralisée par Monge (24) comme un système de représentation d'objets à produire, alors qu'auparavant les auteurs anciens pratiquaient le dessin comme un système de production d'objets (architecturaux en l'occurrence).

Il est intéressant de voir comment cette figure de Villard a été perçue jusqu'à présent : Lassus a modifié le croquis original puisque le nombre de tirets ne correspond pas à celui de Villard. Il nous affirme sans détours qu'il s'agit d'un simple report d'angle permettant l'implantation du deuxième jambage dans un biais identique, travail qui nous semble laborieux et peu précis, alors que deux cordeaux tendus parallèlement remplissent très bien cette fonction d'implantation (25). De plus, la légende de Villard (par ce moyen taille-t-on une voussure biaise) oriente vers la concrétisation d'un volume.

Hahnloser nous explique la même chose (26). C'est avec Branner que s'amorce l'idée qu'il s'agit là d'un moyen pour tailler une voûte biaise. Seulement, il affirme : « pour le cas présent, les joints d'intra-

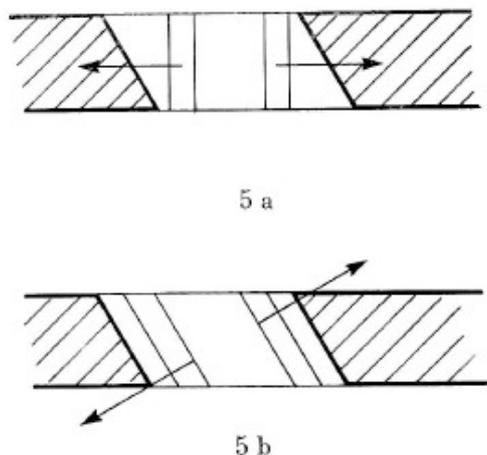


FIG. 5

POSITION DES JOINTS VUE EN PLAN

- a. Perpendiculaire à la face du mur.
b. Parallèle aux tableaux intérieurs. (Dessins D. B.)

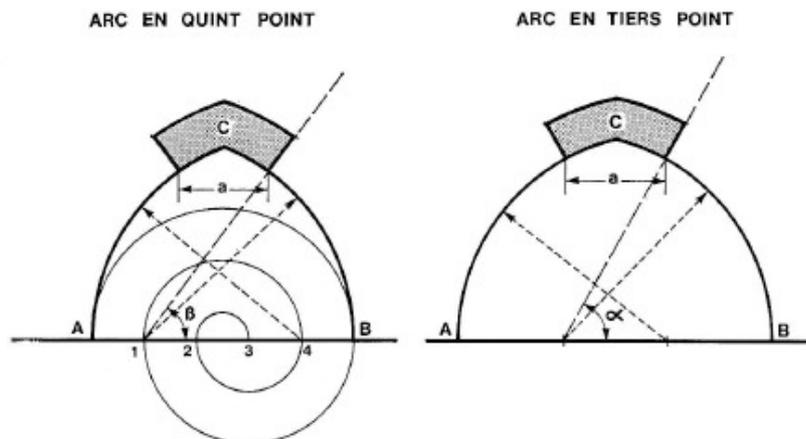


FIG. 6. — TRACÉ DES ARCS BRISÉS EN TIERS-POINT ET EN QUINT-POINT

Ces deux arcs brisés, l'un en tiers-point, l'autre en quint-point, sont tracés avec le même rayon. Les clés respectives ont la même corde (a), il est aisé de constater que l'inclinaison des joints de clavage par rapport à la ligne des naissances (en α et β) est différente. Par conséquent, les clés ne peuvent s'intervertir. Villard trace l'arc en quint-point à partir d'un module qui divise et définit l'ouverture de la baie et la position des points de centre 1 et 4. (Dessins D. B.)

dos sont à considérer comme parallèles aux tableaux intérieurs » (27). Ce postulat conduit à la deuxième solution que nous avons écartée plus haut. Là encore, le problème de la position des joints est intéressant à poser. En dehors de la génération des surfaces, deux cas se présentent : ils sont soit perpendiculaires à la face du mur, soit parallèles au biais de l'ouverture.

La position choisie entraîne deux considérations : l'une, d'ordre pratique, concerne la taille proprement dite ; l'autre, d'ordre statique, concerne la stabilité du volume construit. Ainsi, dans le premier cas, d'une part le volume de pierre nécessaire est celui qui est défini par l'épure (par exemple 1,3,0,P avec comme épaisseur celle du mur, pour le voussoir de contre-clé) (fig. 2 b). D'autre part, la stabilité du volume est optimum puisqu'une direction des joints perpendiculaire aux murs permet à celui-ci d'encaisser les poussées (fig. 5 a).

Dans le second cas, d'une part le volume de pierre est plus important et la taille plus délicate en raison des aiguïtés que provoquent cette disposition, d'autre part ce choix entraîne une poussée au vide plus importante qui fragilise d'autant plus les aiguïtés des voussoirs liées à ce mode d'appareil (fig. 5 b).

Notons, pour mémoire, la résurgence de ce type de difficultés, au XIX^e siècle, dues à l'essor du chemin de fer. La multiplication des voûtes de ponts biais a obligé à trouver de nouvelles solutions avec l'appareil orthogonal parallèle et l'appareil orthogonal convergent.

LE THÉORÈME DE VILLARD

Après ce premier travail, nous avons décidé d'étudier les autres figures de ces trois planches, ainsi que les commentaires qu'elles ont pu susciter. Cette étude s'est révélée fructueuse ; nous sommes en mesure d'apporter l'explication des croquis 40 c, d et 40 e, f (28).

Ces deux figures, d'apparence semblable, ont pour objet (comme le précise clairement la légende) la taille d'une clé en « tiers-point », et d'une clé en « quint-point », c'est-à-dire la taille de la pierre qui va fermer l'arc. Notre raisonnement a été le suivant :

- en premier lieu, nous avons analysé les légendes, puis les figures ;

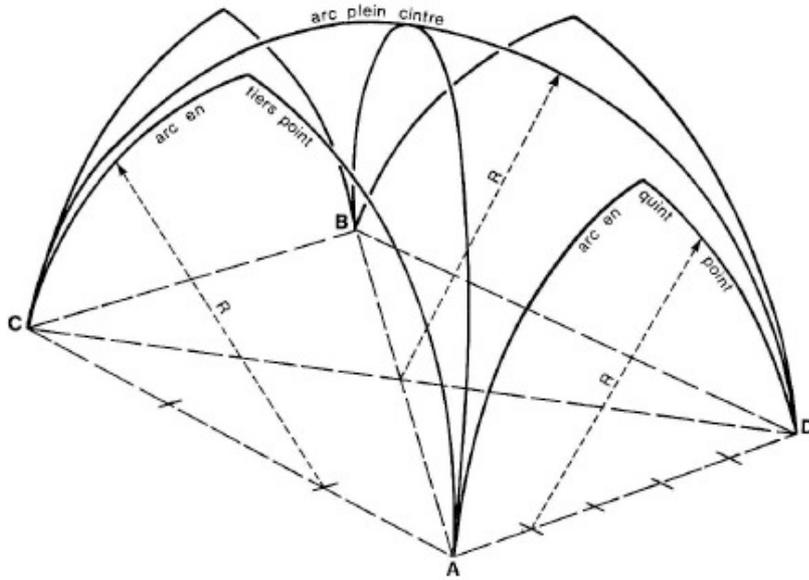


FIG. 7 a

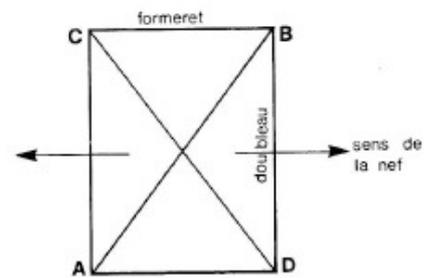


FIG. 7 b

- a. Travée sur plan barlong (perspective).
- b. Vue en plan.

Tous les arcs ont la même courbure, l'arc brisé utilisé suivant ce principe s'adapte en largeur et en hauteur suivant les besoins. Seule la taille de la clé reste particulière ; tous les autres voussoirs peuvent être « préfabriqués » suivant la courbe choisie. (Dessins D. B.)

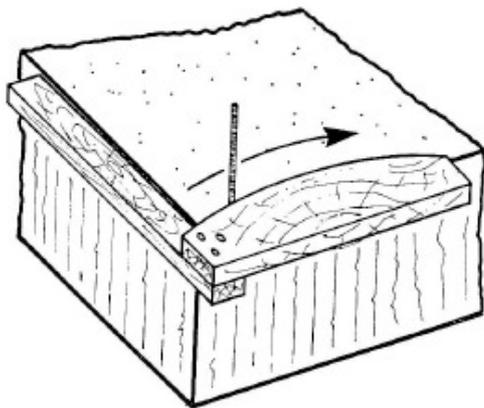


FIG. 8 a

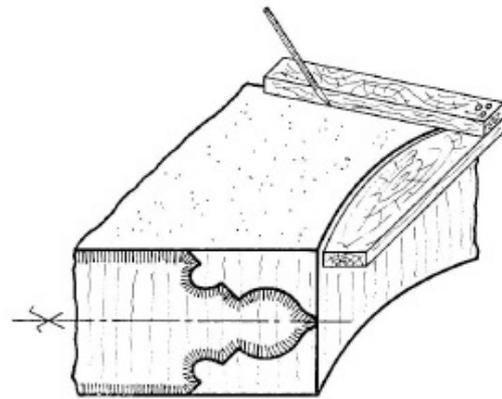


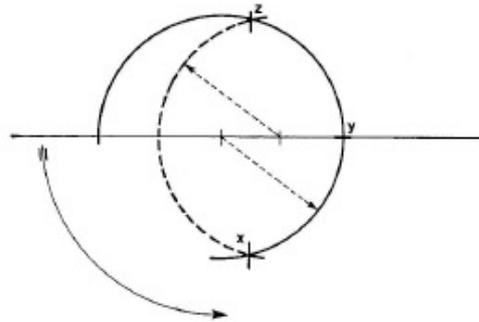
FIG. 8 b

FIG. 8. — LE BIVEAU-CERCLE ET SON UTILISATION

- a. Le biveau-cercle est un proche parent de l'équerre par sa fonction, cependant un de ses bras est courbe ; le dessin montre un bloc équarri sur quatre faces ; on trace la courbure donnée par la cerce.
- b. On trace le second joint de clavage en appliquant la cerce sur la douelle taillée. Nous avons appliqué un gabarit de mouluration (du même type que le dessin 41 g.) sur lequel est indiqué un trait d'axe. Cet axe a une fonction très précise : il permet de dégauchir la position du gabarit de mouluration (dégauçage exprime une action visuelle qui consiste à rendre parallèle le chant de deux règles). Un tel détail, présent sur d'autres planches, nous laisse penser que Villard de Honnecourt était tailleur de pierre. (Dessin D. B.)

FIG. 9. — EXPLICATION DU CROQUIS

La construction des points x, y, z , relèvent du même principe que la figure 41 h : c'est la construction de l'arc en tiers-point. En tournant ce dessin d'un quart de cercle, nous obtenons, la lecture cherchée du dessin « satellite » 40 c. En haut de la planche 41, on distingue le même tracé que celui figuré en 40 c, et dans une position qui a subi également une rotation de 90° . (Dessin D. B.)



— en second lieu, nous avons analysé les moyens de mise en œuvre avec les outils que nous propose Villard, de manière à éviter des interprétations incompatibles avec les pratiques de l'époque.

Les légendes des deux figures nous indiquent un moyen pour tailler une clé ; précisons que pour un tailleur de pierres, même actuellement, la taille ne peut s'effectuer sans un tracé préalable. Aussi avons-nous spontanément interprété la légende de cette manière : « par ce moyen trace-t-on une clé ». Ces deux termes, tailler et tracer, sont équivalents dans l'esprit du tailleur de pierre. Villard nous précise ensuite la nature de cette clé : Elle est en *tiers-point* ou en *quint-point* ; ce complément d'information ne se rapporte pas à la clé mais au tracé de l'arc. Une fois de plus, il ne faut pas perdre de vue qu'il s'agit d'un memento personnel.

Quand Villard nous parle de clé en *tiers-point*, ou en *quint-point*, il ne peut s'agir que du tracé de la clé fermant l'arc en *tiers-point* ou en *quint-point*. Ce raccourci ne présente pour nous aucune ambiguïté : une clé en tiers-point ne peut fermer qu'un arc en tiers-point (fig. 6).

Passons maintenant aux figures, et d'abord à la figure 41 h. Ce croquis va nous permettre d'affirmer plusieurs points essentiels avant de poser correctement le problème. Il nous apprend comment tracer trois arcs différents avec la même ouverture de compas. L'évidence est de constater que ces trois arcs ont la même courbure. Ce sont leur hauteur et leur largeur respectives qui sont différentes. Ces constatations méritent un développement :

— Prenons une travée sur plan barlong (fig. 7). Pour couvrir cet espace, les constructeurs du XIII^e siècle posaient $AB = CD$ comme diamètre des hémicycles AB et CD (29). Nous avons ainsi six arcs à construire, égaux deux à deux, mais composés de douze demi-arcs de même courbure. L'idée d'un gabarit unique est liée implicitement à tout ceci. Quel est ce gabarit ? Villard nous en donne le principe et l'usage dans le dessin 39 f ; pour être précis il a dessiné une équerre et une cerce ; la réunion de ces deux outils en un seul se nomme *biveau-cerce*. Cet outil donne une courbure et la direction du point de centre de cette courbure.

— Le *biveau-cerce* permet au tailleur de pierres de tracer la courbure voulue et les joints de clavage normaux à cette courbure, et ce, quelle que soit l'ouverture de la baie (fig. 8) (30). En dehors de l'évidente facilité de manipulation d'un tel outil, son emploi permet aussi l'exploitation maximale d'un volume de pierre ; en passant « au plus juste », le tailleur de pierres évite la perte de matériau et utilise ainsi le travail d'extraction de manière rationnelle. A partir de là, tout est permis : la taille peut être déplacée dans le temps (préparation des voussoirs durant l'hiver) et dans l'espace (taille des voussoirs en carrière, dimi-

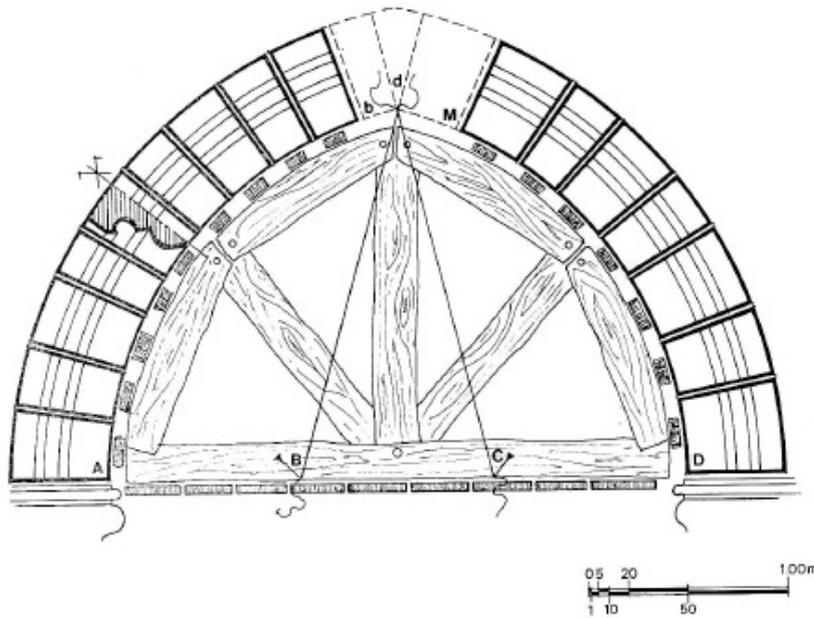


FIG. 10. — POSE D'UN ARC BRISÉ

L'arc se construit avec la pose de voussoirs de longueur différentes, l'espace restant sera fermé par la clé (en pointillé). Villard nous explique comment trouver précisément l'inclinaison des joints. Le point d matérialise le sommet de l'arc brisé ; deux cordeaux tendus à partir du rayon des arcs le définissent en position ; en prenant à l'aide d'une pige les cordes bd et dM, nous disposons de tous les éléments nécessaires pour tracer la clé avec la seule aide du biveau-cerce. Théoriquement, le report d'angle bdc peut s'effectuer à la sauterelle, mais une telle pratique entraîne beaucoup d'imprécisions. La pose des pierres se fait toujours sur un couchis en bois, de sorte que le tracé du cintre de pose est toujours en retrait de 2 à 4 cm. ; cette disposition permet d'une part de contrôler le positionnement des voussoirs pendant la pose et d'autre part facilite le décintrage. (Dessin D. B.)

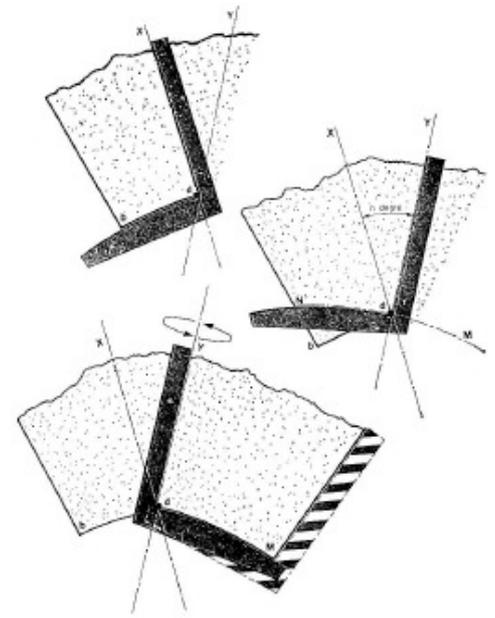


FIG. 11. — UTILISATION DU BIVEAU-CERCE POUR TRACER LA CLÉ

Définir la position des joints de clavage en b et d (voir figure 8). Balancer le biveau-cerce autour du point d pour trouver la nouvelle position du joint qui rayonne du centre B, c'est mettre en coïncidence le bras droit du biveau avec la droite dY. En retournant le biveau-cerce autour de la droite dY, nous pouvons tracer la courbure dM, répéter la même opération que sur la figure 8 pour trouver la position du joint en M. (Dessin D. B.)

nuant ainsi le coût du transport). Une fois ces voussoirs à pied d'œuvre, il reste la taille des cinq clés : toutes sont différentes, bien qu'elles doivent fermer des arcs égaux deux à deux (cf. fig. 6 et 7).

Maintenant, voyons l'épure tracée par l'appareilleur médiéval : c'est un arc de cercle et son point de centre. Aussi sommaire soit-elle, elle suffit au praticien pour l'exécution de l'ensemble de la voûte. Il détermine à partir de cette courbure le biveau-cerce et les vaux nécessaires à la confection des cintres de pose. Effectivement, il n'est pas nécessaire de tracer la position des voussoirs puisque ceux-ci sont déjà taillés ; ils sont posés l'un après l'autre à l'avenant (cf. fig. 10). Reste donc à connaître le procédé qui permettra de tracer la clé directement sur la pierre sans avoir à réaliser de gabarit spécifique (la cerce, elle, sert à la taille de tous les autres voussoirs).

C'est précisément ce procédé de taille des clés que Villard nous indique avec les figures 40 c, d et 40 e, f. Nous avons là deux groupes de deux figures, à savoir : deux clés, chacune flanquée d'un dessin « satellite ». Cela nous a conduits à comparer le dessin et la légende ; dans les légendes, les termes tiers-point et quint-point définissent la nature de l'arc ; de même, les dessins satellites se rapportent au tracé de l'arc en tiers-point et en quint-point. Ainsi l'information tiers-point et quint-point de la légende est à mettre en correspondance avec l'information donnée par les dessins satellites. Ces propositions peuvent facilement se démontrer.

Commençons par l'arc quint-point (cf. fig. 6). Soit AB l'ouverture d'une baie, diviser AB en cinq

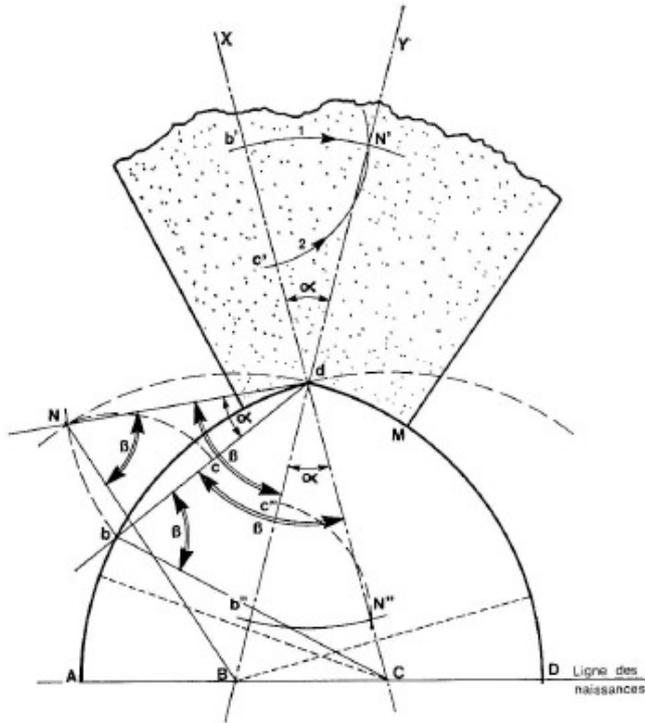


FIG. 12 a. — LE TRACÉ SUR LA PIERRE

Sur cette clé, disproportionnée à dessein, c'est le tracé des points d, c', b', N' que le tailleur de pierre effectue sur la pierre pour claver la clé de l'arc en tiers-point. Il obtient ainsi la direction dY de centre B qui lui permet de balancer son niveau-cerce pour trouver le joint de clavage en M . Ce « trait » supprime toutes les autres épures ; il peut s'effectuer au compas, ou avec une pige (cf. commentaire de la figure 16 b).

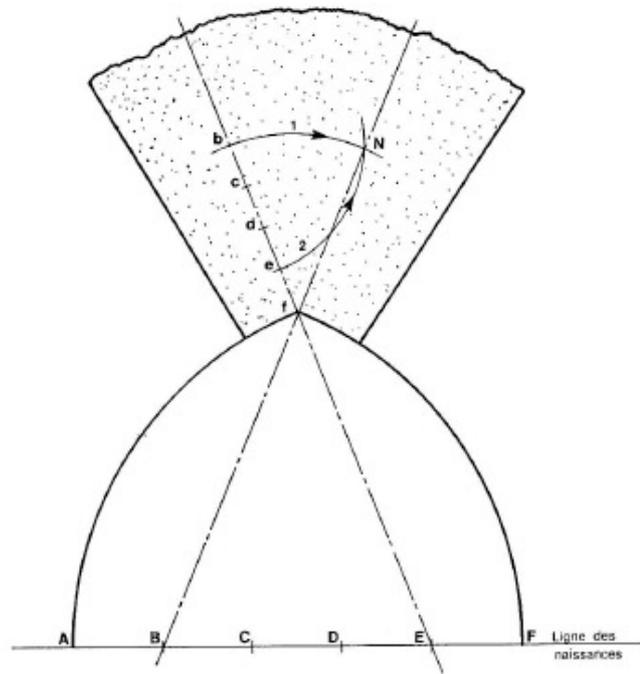


FIG. 12 b. — TRACÉ DE LA CLÉ EN QUINT-POINT

A EFFECTUER SUR LA PIERRE

La construction très simple, est en correspondance parfaite avec ce nous indique Villard sur le croquis 40 e. Dans le dessin précédent (fig. 12 a), nous aurions un tiret de moins que n'en comporte le croquis 40 d de Villard, sauf si l'on considère que le premier tiret est le sommet de l'arc brisé, comme l'a fait Villard pour la clé en quint-point. Quelques jours après avoir travaillé à notre démonstration, nous avons tenté de retranscrire ce procédé sous la même forme que Villard : sur le premier dessin, nous nous sommes trompés, parce qu'il est difficile de se représenter mentalement ce procédé. C'est en schématisant le tracé de l'arc que l'on retrouve son chemin. Les clichés pris sous ultra-violet effectués par Brauner vers 1960, ont révélés des constructions analogues : ils témoignent de l'importance accordée par Villard à ce problème. Nous avons tracé l'arc et son implantation pour bien voir le lien entre le tracé de l'arc et celui de la clé. Il est entendu que l'épure complète de l'arc brisé est, dans la pratique, tout à fait superflu. (Dessins D. B.)

parties égales, du point 4 prendre l'ouverture 4 A et tracer l'arc ac , pointer cette ouverture en 1 et tracer l'arc bc (31). Villard n'a pas tracé l'arc mais nous donne les divisions de l'ouverture de la baie, et par là même, la position des points de centre.

Sur le dessin satellite de la clé en tiers-point, une lecture correcte est moins évidente. Une fois de plus, le dessin 41 h nous fournit l'indice nécessaire. En effet, si nous traçons un arc en tiers-point de même nature que celui tracé en 41 h, nous obtenons les points significatifs x, y, z , et si nous tournons l'ensemble du dessin de 90° nous obtenons la lecture cherchée (fig. 9). Remarquons que les constructions de l'arc en tiers-point et en quint-point sont de même nature : la position des points de centre se trouve en divisant l'ouverture de la baie en cinq ou trois parties ; une de ces parties retranchée à l'ouverture donne la position des points de centre.

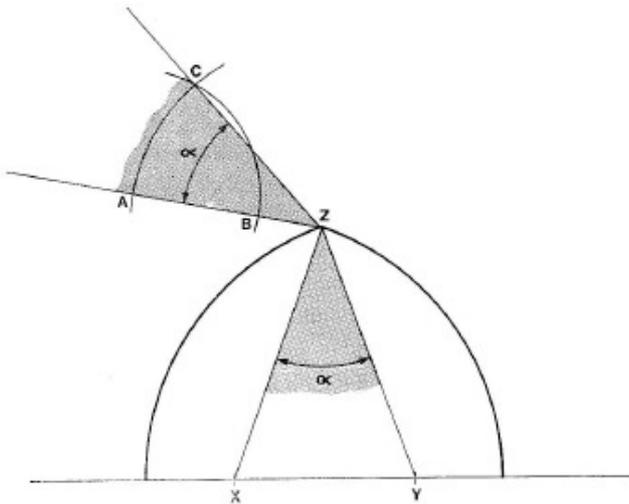


FIG. 13

THÉORÈME DE VILLARD, PREMIER ÉNONCÉ

L'angle formé au sommet (Z) d'un arc brisé, donné par deux points de centre (X, Y), se reproduit à partir d'une droite quelconque passant par ce sommet (Z), en prenant sur cette droite un point A quelconque et un point B divisant le segment ZA tel que $\frac{AB}{AZ} = \frac{XY}{XZ} = k$, alors l'arc de cercle de rayon ZA de centre Z coupe l'arc de cercle de rayon AB de centre A au point C tel que l'angle $\angle CZA = \angle XZY = \alpha$. (Dessin D. B.)

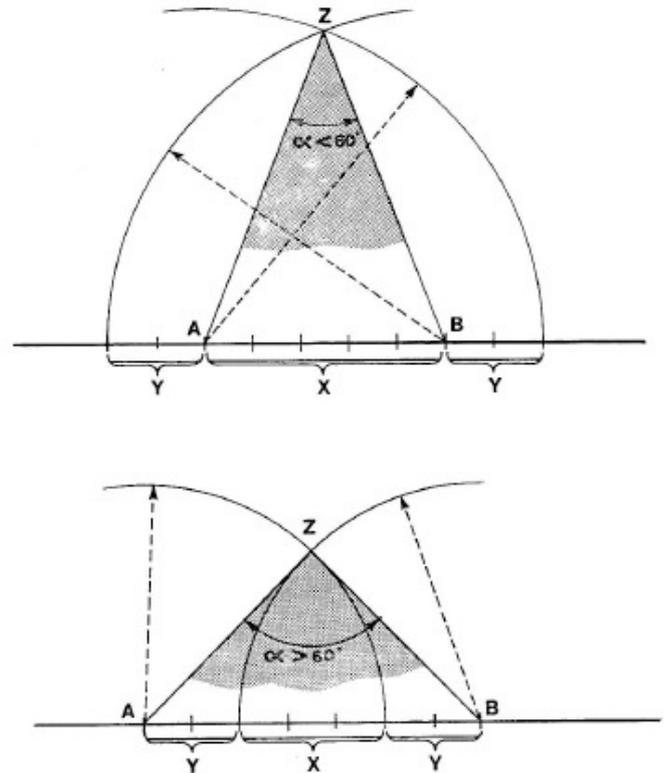


FIG. 14. — THÉORÈME DE VILLARD, DEUXIÈME ÉNONCÉ

Le secteur d'angle α , tracé d'un sommet Z et de rayon ZA donne un point B tel que $ZA = ZB$, le segment AB ainsi obtenu divise le rayon ZA en $(x + y)$ parties égales tel que $(x + 2y)$ donne l'ouverture d'un arc brisé si $\alpha < 60^\circ$ ou la position des points de centre si $\alpha > 60^\circ$. Si $\alpha = 60^\circ$, la position des points de centre coïncide avec l'ouverture de l'arc brisé. (Dessin D. B.)

A présent, mettons-nous dans les conditions du chantier (fig. 10) : la construction de l'arc progresse avec la pose de voussoirs de longueurs différentes, de part et d'autre du cintre, et ce jusqu'à une hauteur b d'un côté et M de l'autre ; il reste donc à tracer la clé qui ferme cet arc (ici en tiers-point). En intrados, la clé est constituée de deux courbures identiques s'articulant autour du point d, sommet de l'arc brisé. Grâce au biveau-cerce, nous connaissons la valeur de cette courbure ; la position du point d et la longueur de la corde d-b peuvent être connues à l'aide de cordeaux (voir fig. 10). Il reste à trouver la position du joint de clavage en M. Pour ce faire, plaçons le biveau-cerce de manière à ce que l'angle intérieur soit en d et la partie courbe sur b (fig. 11) ; nous devons maintenant exercer sur le biveau-cerce une rotation de n degrés autour du point d pour mettre cette courbure en coïncidence avec l'arc mdn de centre B ; cela revient à aligner ou à orienter la branche droite du biveau en direction du centre B. A partir du point B est défini le rayonnement des joints de clavage ; tracer, puis procéder à un retournement du biveau-cerce sur ce même trait ; tracer la portion de douelle en s'appuyant sur la partie courbe du biveau-cerce puis le faire glisser le long de cette courbe ou bien le retourner à la dimension commandée par l'avancement de la pose (ici le point M) (fig. 11).

Comment trouver la valeur de cet angle de rotation ? Chercher cette valeur revient à chercher un

point de la droite passant par Bd. Prenons la clé d'un arc en tiers-point que nous avons disproportionnée pour mieux en expliquer le tracé (fig. 12 a).

1. — Tracer dX (opération qui peut être réalisée à l'aide du biveau), puis de b' quelconque mais dans la même proportion que DCB.

2. — Décrire l'arc de cercle b'N' de centre d.

3. — Pointer le compas en b' et décrire l'arc de cercle e'N' qui coupe l'arc de cercle précédent en N'; N' est le point cherché. Nous allons le démontrer de deux manières.

La rotation du biveau-cerce autour du point d fait varier la position de sa partie droite et de sa partie courbe d'une même valeur angulaire α . Chercher N' revient donc à chercher un point N de cette courbe, construit de la même façon. Si le point N obtenu appartient au cercle passant par DMd de centre B, alors N est le point cherché et la construction est exacte.

I. — Démonstration que le point N appartient au cercle de centre B et de rayon BD : tracer N comme N' expliqué ci-dessus ; cette construction nous donne deux triangles isocèles semblables Ndb et Bdc. Les angles bdc et ndb sont de même valeur ; si à deux angles égaux nous ajoutons une même valeur angulaire, l'égalité ne sera pas changée. Ajoutons l'angle bdb à bdc et à ndb, nous obtenons alors l'égalité suivante $ndb = bdc$. Considérons maintenant les triangles bdc et Ndb : ils sont isocèles et ont deux côtés égaux ($Nd = bd$ et $dB = bC$) et deux angles égaux donc $Cb = BN = BD$, N est donc situé sur le cercle de centre B et de rayon BD. C.Q.F.D.

II. — La deuxième démonstration se lit avec évidence sur l'épure : il s'agit de montrer que N' est situé sur la droite BY ; c'est-à-dire de reporter l'angle bdc en b'dn', b' d est connu de position ; c'est un segment de la droite CX. La façon la plus simple de reporter cet angle consiste à tracer l'arc de cercle de rayon db'' sur Bd donnant le point N' ; ce tracé répété avec les mêmes valeurs sur dX donne les points b'c'N' et donne le point N'' confondu en N'. Donc N' est situé sur BY. C.Q.F.D.

L'ensemble de la démarche répétée pas à pas pour l'arc en quint-point vérifie toutes les propositions suggérées par Villard (fig. 12 b). Ici se tient toute la qualité exceptionnelle de ce manuscrit : ces croquis sont l'illustration d'un raisonnement par récurrence. La démonstration faite pour ces deux arcs brisés se vérifie pour tous les arcs brisés formés de deux courbures identiques. Nous en avons déduit un théorème pouvant s'énoncer de deux façons.

1. — L'angle formé au sommet (Z) d'un arc brisé (figure 13), donné par deux points de centre (X, Y), se reproduit à partir d'une droite quelconque passant par ce sommet (Z), en prenant sur cette droite un point A quelconque et un point B divisant le segment ZA tel que $\frac{AB}{AZ} = \frac{XY}{XZ} = k$, alors l'arc de cercle de rayon ZA de centre Z coupe l'arc de cercle de rayon AB de centre A au point C tel que l'angle $cZA = xZY = \alpha$ (fig. 13).

2. — Le secteur d'angle α tracé d'un sommet Z et de rayon ZA donne un point B tel que $ZA = ZB$, le segment AB ainsi obtenu divise le rayon ZA en $(x + y)$ parties égales tel que $(x + 2y)$ donne l'ouverture d'un arc brisé si $\alpha < 60^\circ$ ou la position des points de centre si $\alpha > 60^\circ$ (fig. 14). Si $\alpha = 60^\circ$, la position des points de centre coïncide avec l'ouverture de l'arc brisé.

Après tous ces développements, il nous reste à expliquer comment Villard vérifie sa *scere*. C'est un des gestes d'apprentissage du jeune tailleur de pierres. Il s'agit tout simplement de retourner l'équerre autour d'une droite tracée au préalable avec cette équerre. Si le nouveau trait obtenu est en coïncidence avec le précédent, l'équerre est juste. Villard vérifie avec ce procédé la justesse de son biveau-cerce. La manœuvre est la même mais s'effectue à partir de la courbure de l'arc ; cela permet de vérifier si l'angle de clavage des joints est correct (fig. 15) ; l'annotation de Villard *justice on scere* se justifie d'autant mieux

FIG. 15. — VÉRIFICATION DE LA « SCERE »

Voici comment Villard procède : il retourne son biveau cerce autour de la droite AB ; il exécute ce geste lors du tracé de la clé (Cf. fig. 11).

— Tracer un arc de cercle de même rayon que celui qui a servi à établir la cerce.

— Appliquer la cerce contre cette courbure et tracer AB comme axe. En retournant le biveau-cerce sur cet axe (AB), la cerce doit coïncider avec l'arc tracé au préalable, sinon le biveau-cerce est faux. On peut s'étonner du fait que ces deux groupes de figures 40 c, d et 40 e, f soient restées si longtemps incompris. Cela est dû, en partie à la mauvaise interprétation du mot *scere* qui jusqu'à présent a été traduit par *équerre*, fourvoyant ainsi les différents auteurs qui ont raisonné à partir de l'équerre (voir Branner). Par contre, en interprétant « scere » par *cerce*, les éléments que nous donne Villard s'enchaînent alors les uns aux autres. (Dessin D. B.)

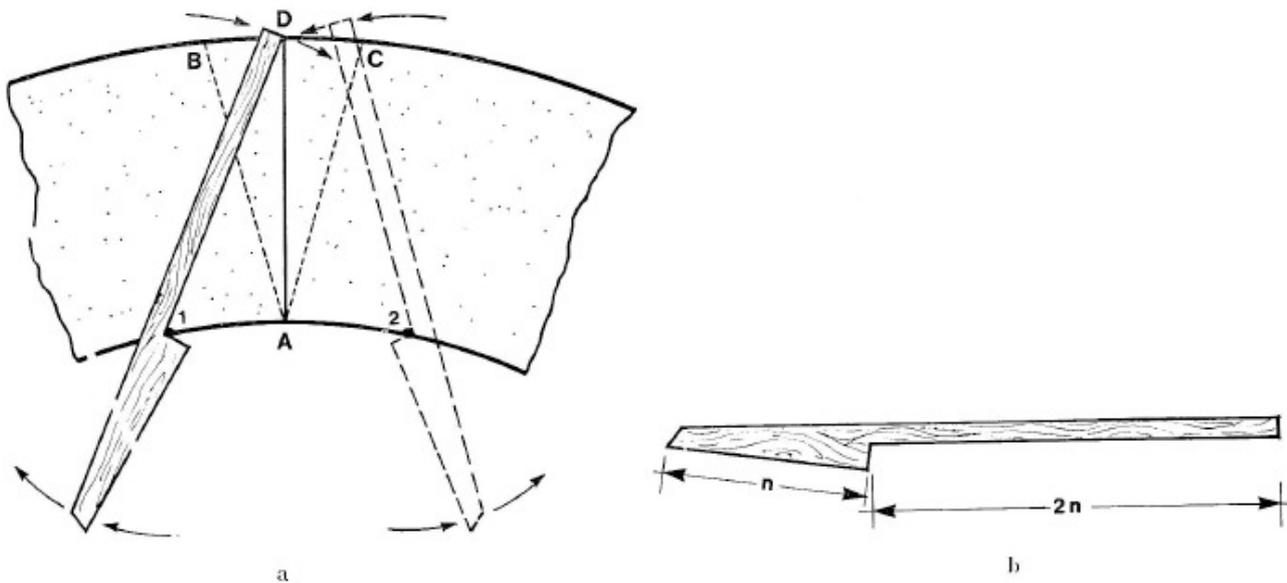
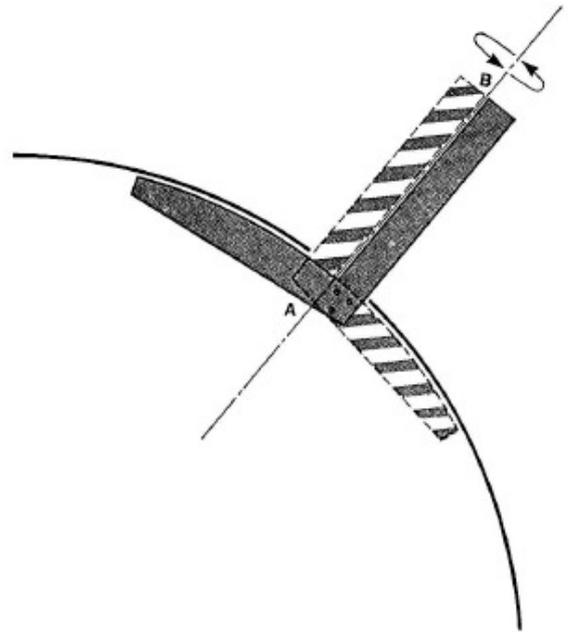


FIG. 16. — DÉVELOPPEMENT DE LA FIGURE 41 c

a. Les deux points B et C sont nettement visibles sur le croquis de Villard, en les joignant au point que nous avons appelé A, nous obtenons un angle similaire à celui figuré dans les croquis 40 c, d et 40 e, f.

— A l'aide de la pige, déterminer les points 1 et 2 de part et d'autre du point A (connu).

— Avec la même pige, la faire pivoter autour du point 1, répéter l'opération du point 2 et l'on obtient le point D cherché ; AD est la bissectrice de l'angle BAC. L'ensemble de cette figure a également une autre explication qui nécessite un développement trop long et nous éloignerait de notre sujet.

b. Nous donnerons simplement un autre emploi de la pige (toujours en vigueur sur les chantiers) en rapport direct avec notre sujet : si, par exemple, elle est dans une proportion 2, 1, elle peut servir au tracé de la clé en tiers-point et remplacer ainsi avantageusement le compas. Frazier et D'Aviler l'appellent « échasse » (voir note 15). (Dessins D. B.)

que pour le tracé de la clé nous devons effectuer un retournement du biveau-cerce (cf. fig. 11). Notons pour conclure que beaucoup d'arcs brisés ont un joint dans l'axe, et l'on peut s'étonner du fait que, connaissant ce procédé, les constructeurs médiévaux n'en aient pas usé davantage. A cela nous répondons essentiellement deux choses :

D'abord, connaissant ce procédé astucieux, il suffit de tracer la bissectrice de l'angle BAC , pour obtenir la découpe du voussoir (fig. 16 a). Villard nous l'explique par le croquis 41 e : de part et d'autre de la ligne de joint tracée, on distingue très nettement deux tirets sur la ligne d'extrados. En les joignant à l'intrados de la ligne de joint, on obtient un angle similaire à celui qui est dessiné dans les figures 40 c, d et 40 e, f. A partir de là il est aisé, à l'aide d'une pige, de définir la bissectrice de cet angle sans *molle* (fig. 16) (32).

Ensuite, il est probable que l'approvisionnement en voussoirs taillés était supérieur aux besoins réels (33). En taillant la clé dans des voussoirs restant, on réservait le bloc initialement destiné à la taille de la clé pour un autre usage (le volume nécessaire pour la clé est largement supérieur à celui d'un voussoir). Ainsi, la taille des deux demi-clés dans des voussoirs préfabriqués permettait d'« épouger » une surproduction relative à la taille en carrière. Pour s'en convaincre, il suffit de comparer le volume capable d'une demi-clé avec celui d'un voussoir pour constater que la majeure partie de ceux-ci peuvent répondre à cette économie.

Non seulement ces pratiques de chantier avaient « quelque utilité » (34), mais elles étaient fondamentales parce qu'elles répondaient aux exigences et conditions de l'époque : l'organisation et la répartition du travail en dépendaient. Dieter Kimpel se plaint de manquer de sources lui permettant d'établir avec certitude qu'il existait une standardisation de la taille faite hors du chantier de construction (35). Notre lecture des croquis de Villard de Honnecourt permettra, nous l'espérons, d'apporter de nouveaux éléments intéressants la répartition des tâches au $XIII^e$ siècle ; en particulier sur le travail de préfabrication de certains éléments constructifs en carrière (voussoirs, fenestrages).

Nous avons montré que chacun de ces croquis est l'abrégé mnémotechnique d'épures. Leur simplicité apparente cache en fait des raisonnements subtils, liés à la géométrie de l'espace (le biais passé), et à la géométrie plane (le théorème de Villard, illustré par la série récurrente). A l'analyse, ils rendent compte de la capacité de Villard à manier des outils de pensée élaborés (36).

Mais pour conclure, nous voudrions insister sur l'apport que représentent ces dessins dans la pratique de notre métier. Les facilités de représentation graphique, issues aussi bien des progrès conceptuels (géométrie descriptive, par exemple) que techniques (films plastiques pour tracer les gabarits), ont fait oublier des procédés qui relèvent d'une géométrie habile, ingénieuse, pleine d'« artifices ». Nous pouvons d'ores et déjà les mettre à profit sur nos chantiers. Dans cette perspective, le manuscrit de Villard de Honnecourt nous réserve, sans aucun doute, beaucoup d'autres enseignements.

(1) Paris, Bibliothèque nationale, ms. fr. 19093.

(2) *Carnet de Villard de Honnecourt, XIII^e siècle*. Introduction et commentaires de Alain Erlande-Brandenburg, Régine Pernoud, Jean Gimpel, Roland Bechmann, Paris, Stock, 1986.

(3) Jean-Baptiste Lassus, *Album de Villard de Honnecourt, architecte du XIII^e siècle*, Paris, 1858, réimpression Laget, 1976.

(4) Nous avons adopté la numérotation des planches et des figures utilisée dans l'ouvrage édité chez Stock.

(5) Lassus a notamment participé à la restauration de la Sainte-Chapelle, de Notre-Dame de Paris, de Saint-Germain-l'Auxerrois.

(6) Roland Bechmann, *Villard de Honnecourt, architecte et ingénieur médiéval*, dans *Pour la science*, août 1985, n° 94, page 68.

(7) Robert Branner, *Three problems from the Villard de Honnecourt manuscript*, dans *Art Bulletin*, 1957, n° 39, p. 63-66.

(8) Jean-Pierre Adam et Pierre Varène, *La scie hydraulique de Villard de Honnecourt et sa place dans l'histoire des techniques*, dans *Bulletin monumental*, 1985, p. 317-332.

(9) Biais passé : couverture d'un passage dont la direction n'est pas perpendiculaire au mur qu'il traverse.

- (10) Nous ne tiendrons pas compte, dans ce développement, du fait que certains croquis et certaines annotations sont des ajouts d'autres auteurs. Pour cette question, voir Hans R. Hahnloser, *Villard de Honnecourt, Kristische Gesamtausgabe des Bauhüttenbuches ms. fr. 19093 der Pariser National Bibliothek*, Vienne, 1935. Nouvelle édition Graz, 1972.
- (11) Mathurin Jousse, *Le secret d'architecture, découvrant fidèlement les traits géométriques, coupes et desrobements nécessaires dans les bâtiments*, La Flèche, 1642.
- (12) Le dessin 39 r que nous étudierons ultérieurement confirme aussi cette idée.
- (13) Notons toutefois que la nature de la courbure passant par AH ou FG ne modifie en rien le raisonnement.
- (14) Cette nouvelle implantation change l'orientation du biais de Villard de Honnecourt. De même, sur le dessin de Jousse, nous avons modifié et complété la numérotation dans un souci de clarification.
- (15) Ce que nous appelons une pige s'appelait au XVIII^e siècle une échasse : « Les échasses sont des lattes ou règles minces, sur lesquelles on marque avec des hoches d'un côté les voussoirs, et de l'autre les retombées ». C. A. D'Aviler, *Cours d'architecture*, Paris, 1750, p. 275.
- (16) Tout plan parallèle à un plan de projection se projette en vraie grandeur sur celui-ci.
- (17) Une tache sur le manuscrit ne nous permettait pas, au vu des clichés, une définition précise du nombre de tirets. Grâce à l'obligeance de M. Alain Erlande-Brandenburg et de M. François Avril, conservateur au Département des manuscrits de la Bibliothèque nationale, nous avons pu vérifier en consultant le manuscrit que nos présomptions étaient fondées : il n'y a bien que neuf tirets. A priori l'écartement entre le huitième tiret et l'angle du passage ne laissait de place que pour un ou deux tirets, portant ceux-ci à 9 ou 10. Avec 10 tirets, le raisonnement ne serait pas changé : nous aurions 10 voussoirs, donc 5 angles à chercher. Le cinquième angle serait donné par AIF ; le joint se trouverait alors dans l'axe de la clé, là où l'intrados est perpendiculaire au parement du mur.
- (18) R. Bechmann, *op. cit.*, p. 68.
- (19) Il n'y aurait pas un, mais deux problèmes posés dans ce croquis, et la signification de l'équerre se rapporterait au second, que nous expliquerons dans un prochain article.
- (20) Une surface hyperboloïde est générée par le déplacement d'une droite sur trois droites fixes. Dans le cas du biais passé des anciens, la surface produite est générée par le déplacement d'une droite assujettie à glisser sur deux courbes directrices données (ACH et ICB) et une droite donnée (DY) (fig. 2 b) ; nous l'avons appelée surface cylindro-conoïdale.
- (21) Philibert de l'Orme, *L'Œuvre d'Architecture*, Paris, 1567.
- (22) Amédée-François Frézier, *La théorie et la pratique de la coupe des pierres et des bois, pour la construction des voûtes et autres parties des bâtiments civils et militaires ou traité de stéréotomie à l'usage de l'architecture*, 3 vol., Strasbourg, 1737-1739.
- (23) Gaspard Monge, *Géométrie descriptive*, Paris, 1799.
- (24) Monge, *op. cit.*, p. 2 : « Sous ce point de vue, la géométrie descriptive est une langue nécessaire à l'homme de génie qui conçoit un projet, à ceux qui doivent en diriger l'exécution, et enfin, aux artistes qui doivent eux-mêmes en exécuter les différentes parties. »
- (25) Lassus, *op. cit.*, p. 149.
- (26) Hahnloser, *op. cit.*, p. 106.
- (27) R. Branner, *op. cit.*, p. 61 : « One must note, however, that this joints in the arches are not to run perpendicular to the wall, as is the case with renaissance arches, but parallel to the faces of the opening. »
- (28) 40 c et d : « par chu fait on one clef del tiire, et justice one scere » (par ce moyen on fait une clé de tiers-point et on vérifie une équerre). 40 e et f : « par chu tail'on one clef del quint-point » (par ce moyen, on taille une clé de quint-point).
- (29) Ceci est, bien sûr, une généralisation, mais nous en connaissons au moins une application à la Sainte-Chapelle à Paris, dont la construction est contemporaine de Villard.
- (30) Il est certain que l'emploi d'un tel outil rend caduque la démonstration de R. Branner concernant le dessin 40 h : « par chu tail'on vosors par esscandelon » (par ce moyen on taille des voussoirs par échelons). Branner nous montre comment trouver le joint de clavage par le déplacement d'une équerre aux branches non parallèles (fabriquée spécialement pour un arc comme le précise Hahnloser, *op. cit.*, p. 368) ; manœuvre laborieuse alors que le retournement du biveau-cerce, à la dimension voulue, donne la direction du joint cherché.
- (31) Lassus a donné ce tracé mais ne le met pas en relation avec la clé, *op. cit.*, p. 157.
- (32) Lassus donne une mauvaise interprétation de cette figure, *op. cit.*, p. 163 ; il nous présente l'échasse comme un trusquin. Or, si on ne veut pas trop déformer une courbe par cette méthode, il est nécessaire de se déplacer normalement par rapport à cette courbe : manifestement ce n'est pas ce qui est exprimé par le dessin de Villard.
- (33) Actuellement, il est d'usage de réserver deux à trois pierres, en plus de l'approvisionnement prévu, pour pallier rapidement les aléas de la pose.
- (34) Nous avons été surpris par certains propos tenus par M. O. Terrenoire, rapportés dans *Artistes, artisans et production artistique au Moyen Âge*, vol. 1, Picard, 1986, p. 165 : « ces sortes d'esquisses passaient peut-être de mains en mains à certains moments du chantier et cela avait sans doute quelque utilité ».
- (35) Dieter Kimpel, *Discussion sur la socio-génèse de l'architecte moderne*, dans *Artistes, artisans...*, *op. cit.*, p. 164.
- (36) A propos de la planche 29, E. Panofsky dans *Architecture gothique et pensée scolastique*, Les Éditions de Minuit, 1967, p. 85 et 130, suivi par les commentateurs actuels (*Carnet de Villard de Honnecourt, op. cit.*) ont évoqué cette question à partir de la légende.