

TOME 147-I

ANNÉE 1989

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 (II)**

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 (II)

par Claude LALBAT, Gilbert MARGUERITTE et Jean MARTIN

Je crains merueilleusement que cecy ne foit trouué fafcheux, et malaijé d'entendre à ceux qui ne sont point de l'art : en quoy ils me fupporteront, s'il leur plaift, car nous l'efcrivons principalement pour les Tailleurs de pierres et maiftres Maçons, entre lesquels je trouueront quelques-uns qui comprendront incontinent l'artifice, voire fans aucune démonftration, en leur préfentant feulement la figure fans aucune efcriture et signamment ceux qui auront quelque dextérité d'efprit : de forte que prenant le compas à la main, ils le drefferont incontinent fur les lignes propres et conuenables...

Ces quelques lignes écrites par Philibert de l'Orme définissent parfaitement la difficulté devant laquelle nous nous trouvons aujourd'hui : se servir de l'écrit pour démontrer notre pratique du métier, alors que c'est la mise en œuvre qui sanctionne naturellement le résultat. Dans les quelques paragraphes qui vont suivre, nous essaierons, à l'instar de Philibert de l'Orme, d'être le plus clairs possible afin que ceux qui ne nous entendrons point puissent quand même nous supporter...

Nous avons affirmé dans un article précédent (1) que le dessin 39 i « *Par chu tail om vosure besloge* » traitait deux sujets distincts (fig. 1 a). Notre travail, fondé sur la similitude existant entre le croquis de Villard de Honne-court et l'épure du biais passé de Jousse, nous avait conduits à laisser de côté l'équerre figurée sur le piédroit gauche du croquis. C'est cette représentation que nous nous proposons d'expliquer à présent. Nous élargirons ensuite nos explications aux différents sujets de la coupe des pierres abordés par Villard, en étayant notre propos par des comparaisons avec d'autres auteurs tant sur la forme (mode de représentation), que sur le fond (problème posé et raisonnement).

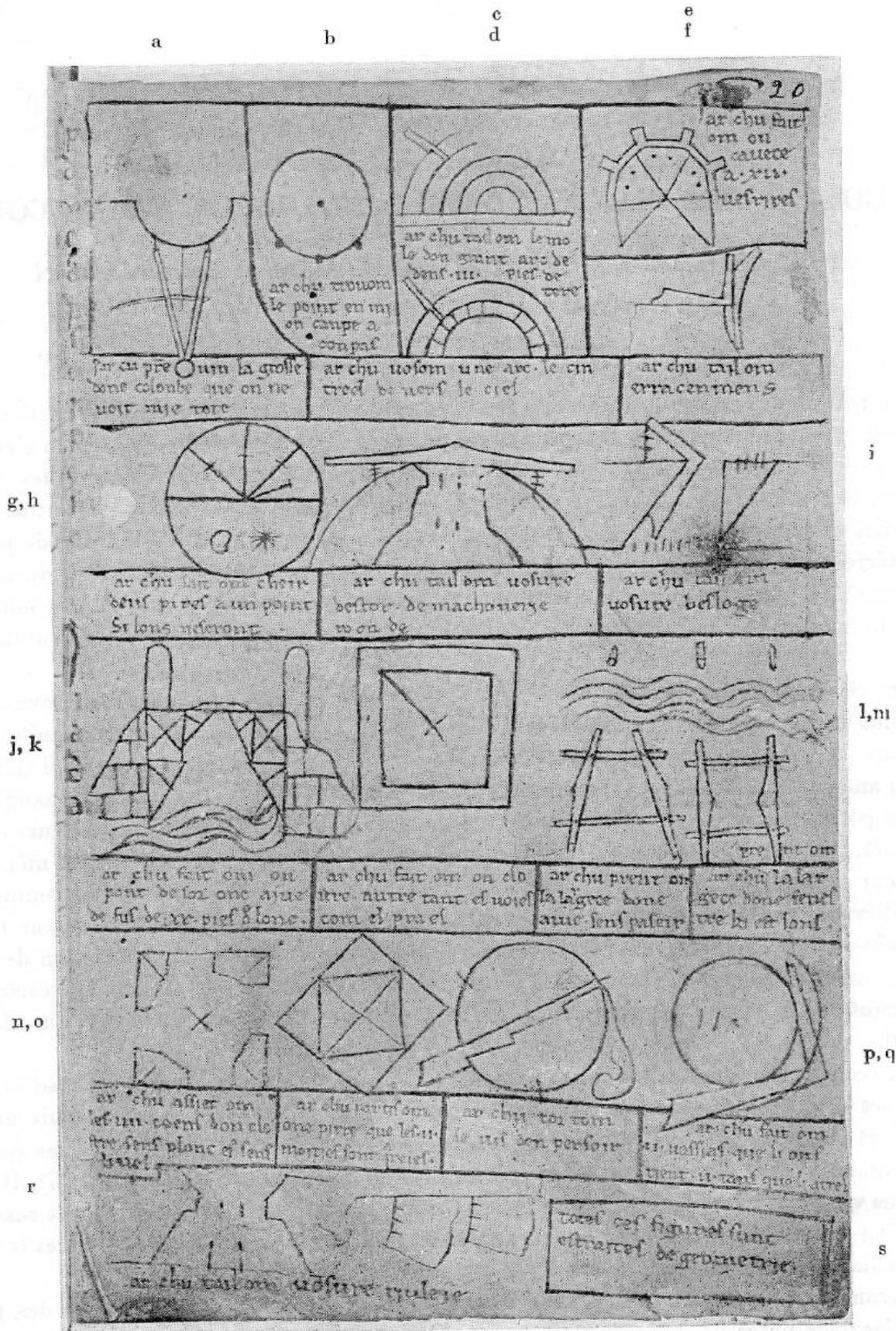
À la différence de la plupart des autres commentateurs de ces croquis, nous sommes partis du postulat suivant : tous les éléments fournis par Villard sur ces dessins sont « signifiants ». Forts de cette certitude, nous avons repris les ouvrages des auteurs classiques pour y rechercher l'indice qui nous permettrait de comprendre à quoi correspondait l'équerre représentée et l'angle divisé par deux tirets.

Nous avons donc raisonné à partir des éléments qui nous avaient permis de comprendre le « biais passé ». Ainsi, sur le dessin 39 i, de la même façon que les quatre tirets situés dans l'ébrasement droit indiquent la variation de l'angle aux différents joints, les deux tirets donnent la variation de l'angle formé par le bras de l'équerre et le parement du mur.

C'est le folio 59 v^o du chapitre V du livre III de l'ouvrage de Philibert de l'Orme qui nous a donné la clef de la seconde énigme (fig. 1 b) (2).

Avant d'aller plus loin, nous devons expliquer le dessin de de l'Orme qui est lui aussi assez obscur sans le texte qui l'accompagne (3). En effet, l'objet architectural (il s'agit d'une descente de cave) n'apparaît pas. Seules les lignes de joints sont dessinées : de ces dernières sont tirées les vraies grandeurs nécessaires à la réalisation de l'objet conçu. Analysons en détail les éléments fournis par de l'Orme à partir de la figure 2 b.

D'abord, l'angle ABE donne la pente de la descente de cave. La section droite de la voûte (section perpendiculaire à la pente EB) est donnée par les arcs EYS et T4Z qui définissent respectivement l'extrados et l'intrados de la voûte. Cette descente est appareillée en sept voussoirs (F, G, H, I, K, L, M) (4).



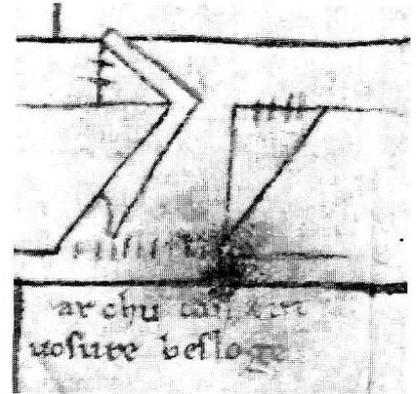
Phot. B. N.

FOLIO 20 v°. PLANCHE 39

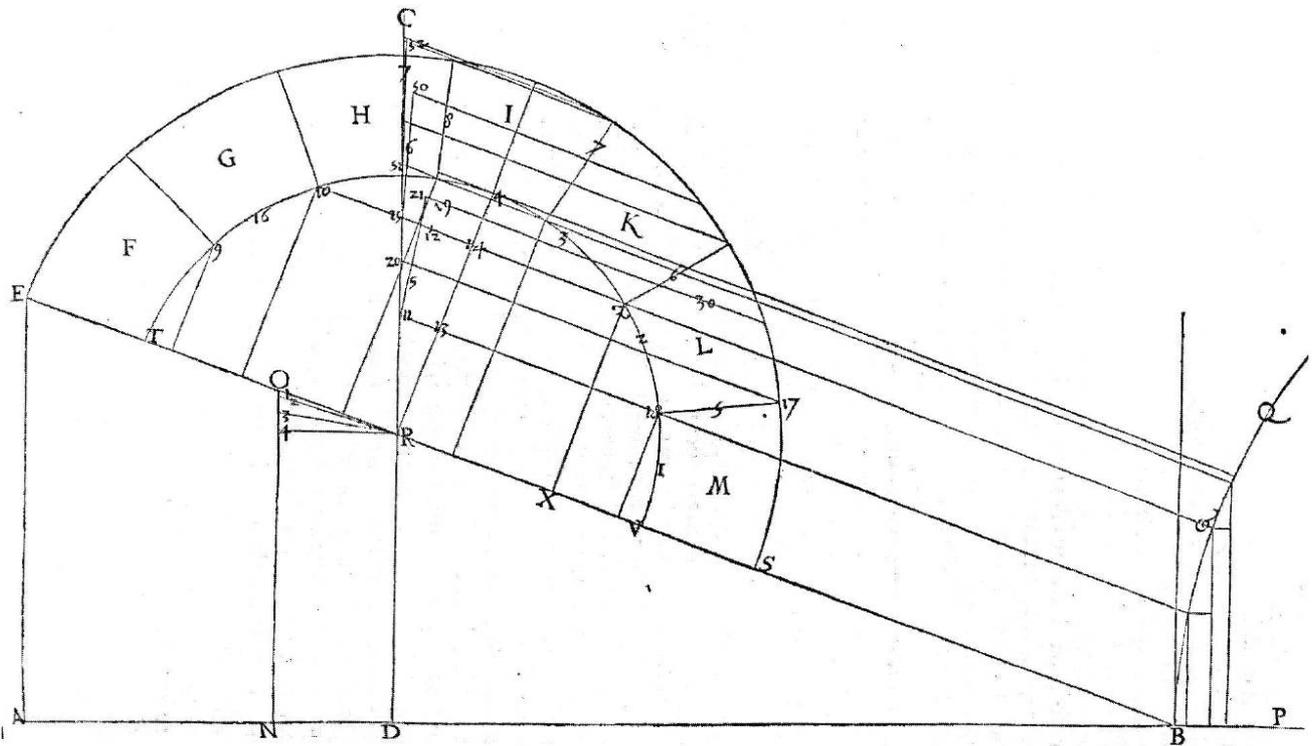
CARNET DE VILLARD DE HONNECOURT, ASSORTI DE LA NUMÉROTATION ÉTABLIE PAR LES AUTEURS DU « CARNET DE VILLARD DE HONNECOURT, XIII^e SIÈCLE

FIG. 1. — DESSINS « ORIGINAUX » DE VILLARD DE HONNECOURT
ET DE PHILIBERT DE L'ORME

a) Croquis 39 i du carnet de Villard de Honnecourt. b) Folio 59 v^o du livre III de Philibert de l'Orme. La similitude entre ces dessins n'est pas évidente. Pourtant nous allons montrer que ces deux auteurs traitent le même sujet : la descente droite. La similitude porte sur le triangle OR4 de l'épure de de l'Orme et sur le triangle défini par les bras de l'équerre et le parement du mur sur le croquis de Villard.



1 a



1 b

Quels sont les éléments nécessaires à la réalisation d'une telle voûte ? Pour de l'Orme, ils sont au nombre de deux : l'un concerne la douelle et l'autre les joints de lit des voussoirs qui forment la voûte. Il s'agit en effet de trouver pour chaque voussoir la variation de l'angle des lits et de l'angle de douelles par rapport à l'aplomb du mur. C'est à partir de la section droite rabattue (EYS), et de la vue frontale que de l'Orme déduit les valeurs d'angles nécessaires à la taille des différents voussoirs.

Les angles de douelles et de lits sont nettement différenciés sur son épure. En effet, les différents angles de douelles sont donnés dans le triangle OR4 situé sous la ligne de pente EB. Les chiffres 1, 2, 3 et 4 (cf. détail 2 c), correspondent respectivement aux douelles tendues 1,2,3 et 4 des voussoirs M, L, K et I (5).

Les différents panneaux de lits sont donnés en vraie grandeur par les angles (13, 11, 21), (14, 19, 30) et (4, 31, 32) qui correspondent respectivement aux joints marqués 5, 6 et 7 sur les voussoirs M, L et K.

Cette descente de cave possède un axe de symétrie (RY) ; pour cette raison, de l'Orme n'étudie les varia-

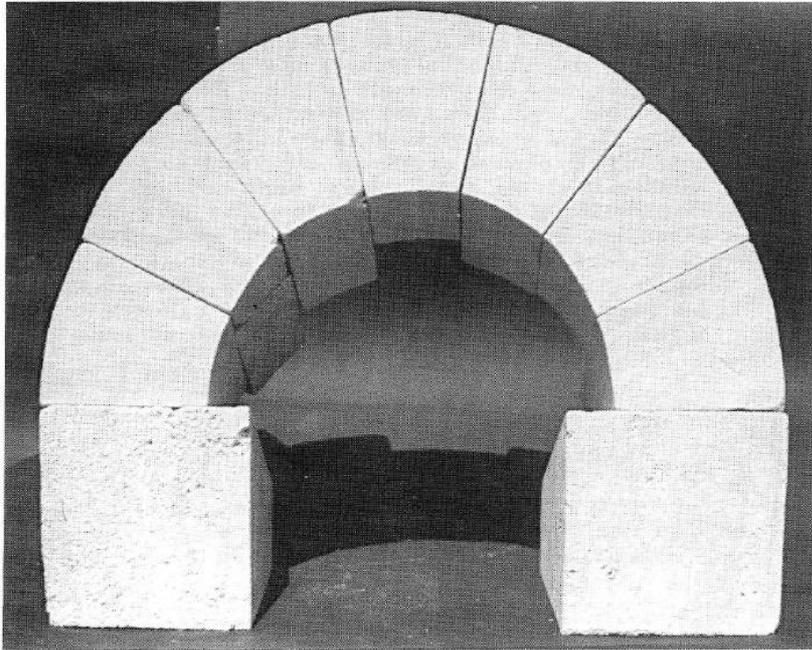


PHOTO 1. — DESCENTE DE CAVE

Maquette réalisée d'après l'épure de Philibert de l'Orme. La section perpendiculaire à la pente est un plein cintre. Par conséquent, l'arc de face donne en intrados et en extrados deux ellipses, et donc des têtes de voussoirs inégales. Pourtant tous les voussoirs sont taillés à partir d'un même gabarit.

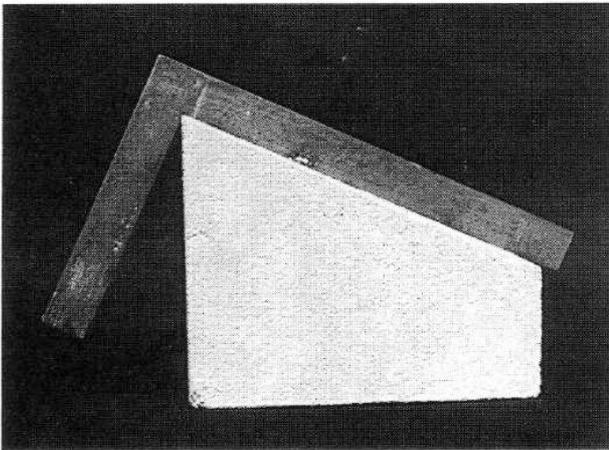


PHOTO 2. — L'ÉQUERRE DE VILLARD

L'équerre prend ici toute sa signification : d'une part la prise en compte du poids de l'équerre donne l'orientation du croquis de Villard. D'autre part, l'angle entre le petit bras de l'équerre et le mur représente l'écart dans lequel vont varier les valeurs d'angles des lits et des douelles.

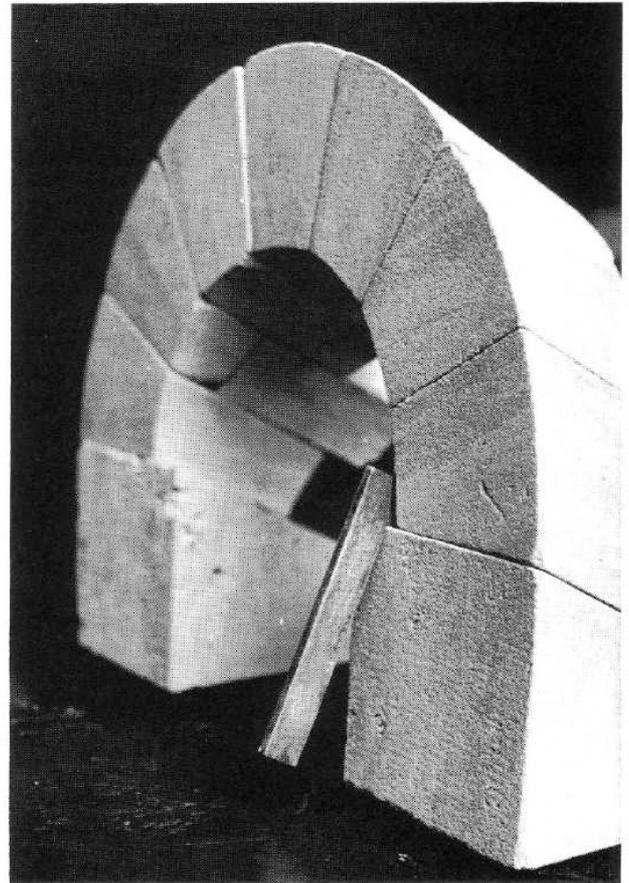
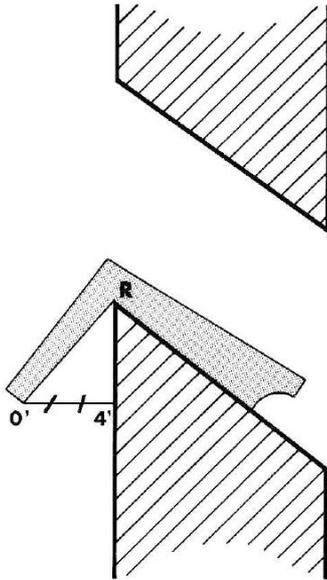


PHOTO 3. — VUE DE TROIS-QUARTS DE LA VOÛTE EN DESCENTE

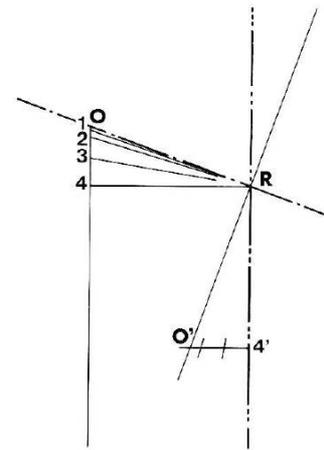
Nous avons laissé l'équerre en situation pour mettre en évidence le lien avec la photo 2.

FIG. 2. — CONFRONTATION DES DESSINS

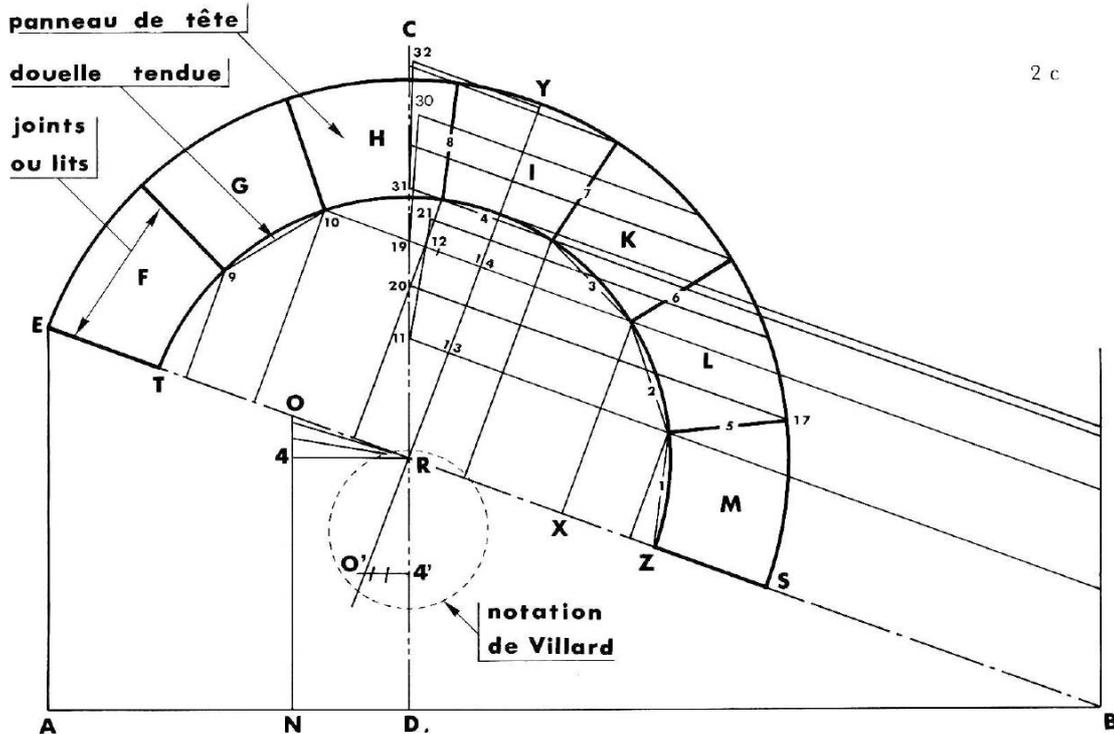
a) Le croquis de Villard réorienté en « pesanteur ». b) Folio 59 v^o de Philibert de l'Orme annoté. Nous avons orienté le croquis de Villard dans une position « en pesanteur » telle que nous l'indique l'équerre (fig. 2 a). Le bras le plus long est posé sur la pente de la descente. Villard est beaucoup plus concis que de l'Orme : ni section de voûte, ni lignes de rappel. Villard, en effet, donne un moyen pour exécuter ce type de voûtement en général, alors que de l'Orme donne l'épure d'une descente droite de section définie. Par conséquent, de l'Orme (fig. 2 b) donne la largeur des panneaux de douelles tendues en ND, et les différentes valeurs de douelles se superposent en ONDR (voir détails de la figure 2 c). Les panneaux de lit sont définis sur la coupe (angle 13, 11, 21 par exemple). Ils sont amenés dans un plan parallèle au plan frontal en prenant les lignes de joint en intrados comme charnière. Le triangle OR4 est aussi figuré en O'R4' afin de mieux faire apparaître la correspondance avec Villard de Honnecourt. L'arc plein cintre sur lequel sont répartis les voussoirs FGHJKLM est la section perpendiculaire à la pente EB. Cette section a effectué une rotation autour de l'axe de RY.CR donne l'aplomb du mur dans lequel s'amorce la descente. L'arc de face, sur le mur, est une ellipse (voir photo 1), mais de l'Orme ne l'a pas dessinée : il n'en a pas besoin. L'ellipse apparaît directement à la taille ; sa méthode de taille lui permet d'éviter cette difficulté.



2 a



2 c



2 b

tions d'angles que sur la moitié droite de l'épure. Toutefois, cette symétrie s'applique uniquement sur les valeurs angulaires : la contre-clef H, par exemple, ne peut s'intervertir avec la contre-clef K (cf. fig. 2 b). Nous n'expliquerons pas dans le détail le cheminement de de l'Orme pour trouver la valeur des angles (6). Sa démarche est parfaitement exacte : la maquette reproduite sur les photos 1 et 3 a été réalisée en suivant chronologiquement ses indications.

Avant d'en venir au dessin de Villard, nous allons expliquer les différentes étapes de la taille d'un voussoir.

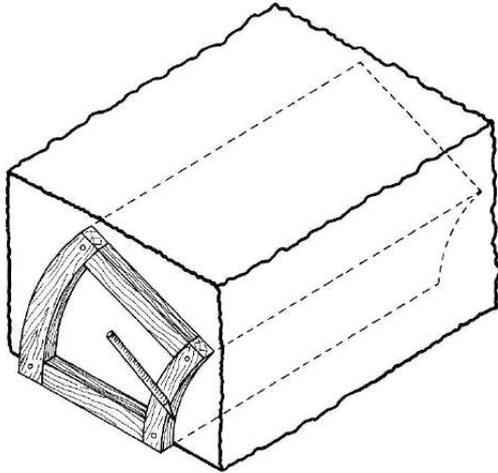


Fig. 3

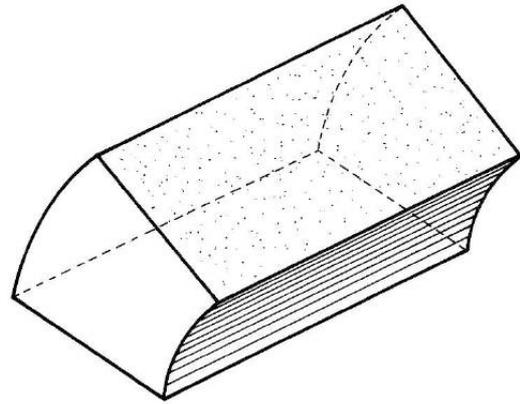


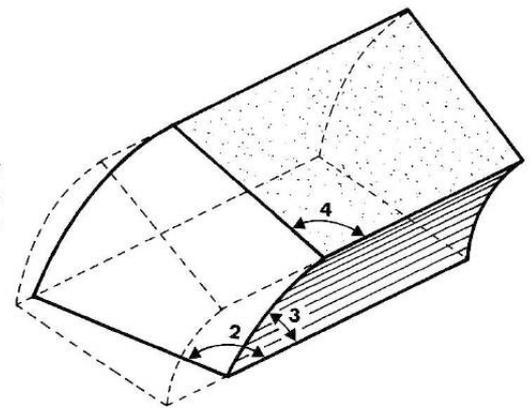
Fig. 4

FIG. 3 et 4. — TAILLE D'UN VOUSOIR

Tracé de la tête du voussoir sur une pierre équarrie. La descente est réalisée à partir de sept voussoirs identiques.

FIG. 5. — VOUSOIR TAILLÉ D'UNE DESCENTE DROITE

Nous avons dessiné la contre-clef droite de la descente droite. Elle ne peut s'intervertir avec la contre-clef gauche. Les angles 2, 3 et 4 sont repérables en position de la manière illustrée sur la figure 8, à droite de l'axe. Pour la commodité du dessin, le lit de pose apparaît ici encore de dessus.



La première est la taille de sept voussoirs identiques (fig. 3 et 4) à partir d'un gabarit unique pris sur un des voussoirs I, K, L ou M (égaux sur l'épure de de l'Orme).

La deuxième consiste à retailler la tête de chaque voussoir suivant les différents angles convenables pour obtenir la descente avec un mur aplomb. Les angles diffèrent selon qu'il s'agit de la clef, de la contre-clef ou du sommier (fig. 5).

Voyons maintenant comment on peut tailler la même voûte avec le croquis de Villard. Il convient tout d'abord d'orienter le dessin dans la position suggérée par l'équerre (cf. fig. 2 a). En effet, cette position devient naturelle en pesanteur (photo 2), puisque le grand côté s'appuie sur la pente et laisse ballant le petit côté de l'équerre. Ainsi, entre le petit bras de l'équerre et la face du mur est défini un triangle qui est divisé en trois sur son petit côté (O4), par deux tirets (7). Nous avons repris les mêmes lettres que de l'Orme pour désigner ce triangle : il est de même nature et indique la limite dans laquelle varie l'angle de douelle. Il est certes orienté différemment mais comporte le même nombre de tirets. Ce sont ces éléments que nous allons maintenant développer.

Pour cela, nous avons schématisé l'épure de Philibert de l'Orme (fig. 6). Analysons le triangle OR4 : considérons les lignes ES (pente) et DC (aplomb du mur) ; elles se coupent en R. De fait les angles ERC et DRS sont égaux. Par ailleurs, nous savons que CR4 et ORY sont deux angles droits qui contiennent chacun l'angle ECR. Nous avons donc l'égalité suivante : $OR4 = CRY = O'R4'$ (cf. fig. 2 c). Ainsi, nous pouvons en déduire que Villard indique la variation de l'angle de la douelle dans le triangle $O'R4'$ dont deux des côtés sont définis par l'équerre et par l'aplomb du mur (cf. fig. 2 a). Si l'on suit l'élévation fournie par de l'Orme qui divise ce triangle par le même nombre de tirets, on en déduit que l'arc pensé par Villard était également construit en sept voussoirs (8).

Si cette première approche éclaire le dessin de Villard, il reste que ce croquis n'exprime pas la variation du joint de lit, et que cette donnée est indispensable pour mener à bien l'exécution de la descente de cave. Nous

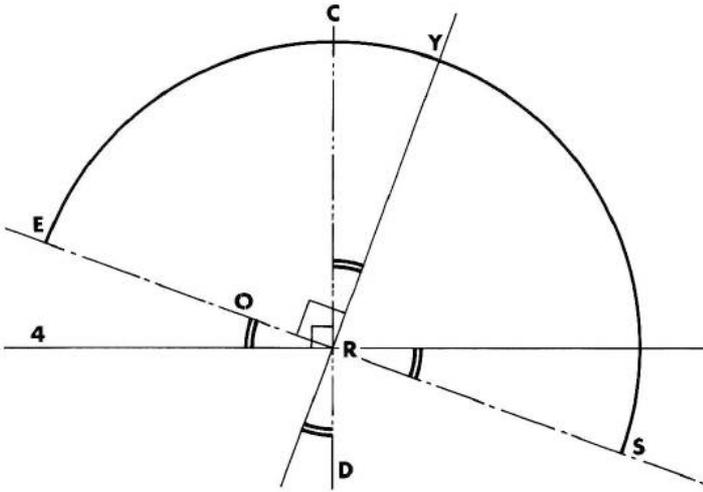


FIG. 6. — ADAPTATION DU DESSIN DE PHILIBERT DE L'ORME

Nous avons reproduit les mêmes données que le dessin de de l'Orme avec les mêmes lettres ; les deux systèmes d'axes orthogonaux apparaissent clairement et avec eux la similitude des angles $OR4$ et CRY .

étions d'écouter de voir l'ébauche de notre raisonnement remise en question quand nous avons eu l'idée de comparer la variation de l'angle des douelles avec celle des lits : **ils varient dans les mêmes valeurs**. Nous sommes une fois de plus restés stupéfaits de la subtilité et de la science contenues dans les croquis de Villard.

En effet, nous expliquons, dans la légende de la figure 7, pourquoi les angles de douelles et de lit sont égaux. Nous démontrons que cette égalité se confirme à partir du moment où l'angle (\hat{a}) d'un secteur circulaire vérifie l'équation $\hat{a} = 180^\circ / (2x + 1)$ (x appartient à \mathbb{N} , ensemble des entiers naturels). C'est-à-dire que tout demi-cercle divisé en un nombre impair de parties égales donne des cordes et des rayons qui ont la même inclinaison par rapport au diamètre. Cette démonstration ne nous a pas fait sortir du plan. Or il est facile d'imaginer que les deux segments (corde et rayon) se rapportent dans l'espace à deux données différentes. Les cordes qui divisent le cercle correspondent aux douelles tendues et les

rayons correspondent aux lits des voussoirs. Les douelles et les lits sont situés dans des plans différents et perpendiculaires au plan du mur. Les cordes et les rayons sont donc les traces des douelles et des lits sur le plan du mur.

Nous avons montré jusqu'ici que les cordes et les rayons sont parallèles deux à deux et qu'ils ont la même inclinaison deux à deux par rapport au diamètre. Nous pouvons attribuer le même numéro à chaque lit et à chaque douelle parallèle (fig. 8). Ainsi, par exemple, la corde numérotée 2 est parallèle au rayon numéroté 2 et suivant l'axe de symétrie, les inclinaisons des quatre segments numérotés 2 par rapport au diamètre sont égales deux à deux. En conséquence directe de cette répartition, nous avons des douelles et des lits parallèles deux à deux.

Mais il reste à définir leur valeur respective et c'est là que le problème prend toute son ampleur. En effet, on peut considérer la face de la descente (le mur) comme un plan fixe coupé par un ensemble de plans (constitué des douelles et des lits) qui ont pour trace les cordes et les rayons avec les particularités que nous avons décrites plus haut. Or la géométrie descriptive nous enseigne que *deux plans parallèles qui coupent un autre plan, quelle que soit sa position, engendrent des angles réciproques égaux*. Ainsi, sur la figure 8, tous les angles qui portent le même numéro ont la même valeur et donc **si l'on cherche les variations de l'angle des douelles tendues, on trouve automatiquement celle des lits et inversement**. Voilà donc pourquoi Villard ne nous donne que la moitié des données : **il connaissait la similitude des angles de douelles et de lits**. Nous voyons donc que dans ce cas précis, une égalité vraie dans le plan est aussi vraie dans l'espace.

Il nous semble du plus grand intérêt de revenir sur la numérotation que nous avons établie sur la figure 8. En effet, si l'on attribue au joint de douelle et de lit de même valeur angulaire un même numéro, on obtient, en alternant un lit et une douelle, l'algorithme suivant : 12344321.

Nous allons décomposer l'algorithme suivant les voussoirs qu'il intéresse :

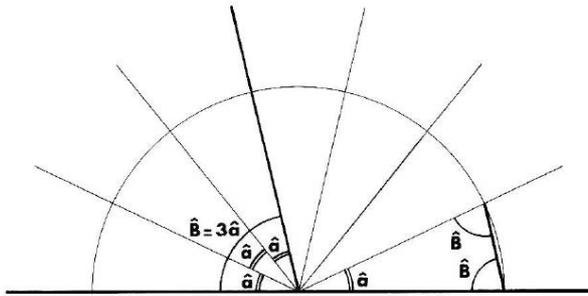
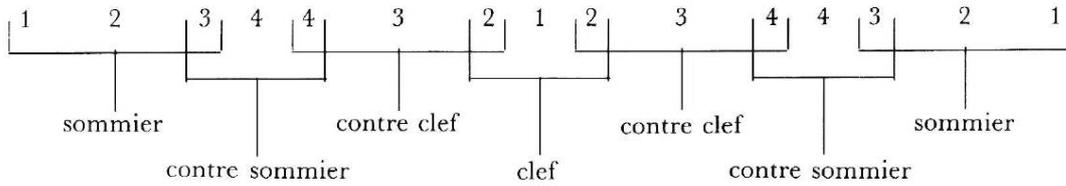


FIG. 7. — DÉTERMINATION DES VALEURS D'ANGLES

Nous avons divisé un demi-cercle en 7 parties égales et il est aisé de constater que les deux segments en trait fort sont parallèles, puisqu'ils forment le même angle B par rapport à l'horizontale. Or ces deux traits parallèles correspondent à deux données différentes : un joint et une douelle ; il s'agit donc pour nous de voir si ce cas particulier peut être généralisé. Dans ce cas nous avons $B = 3a$, dans un cas général nous aurions $B = xa$; par ailleurs nous savons que $a + B = 180^\circ$, d'où l'on trouve une valeur de B en fonction de a $B = (180^\circ - a)/2$. Nous avons donc l'égalité suivante : $(180^\circ - a)/2 = xa$, ce qui donne $a = 180^\circ / (2x + 1)$. Cette équation signifie que tout demi-cercle divisé en un nombre impair de parties égales donne des cordes et des rayons parallèles deux à deux. Au regard de son croquis, la proposition de Villard peut s'énoncer comme suit : « Pour une voûte en descente de pente donnée et fermée par une voûte de $(2x + 1)$ voussoirs, l'angle de la douelle et de lit varie $(x + 1)$ fois et ce quelle que soit la section de la voûte » (l'angle de douelle est l'angle entre la douelle et la tête du voussoir, l'angle de lit est l'angle entre le lit et la tête du voussoir). Villard, en étant plus général exprime mieux à l'analyse la difficulté de ce type de couverture. De l'Orme, plus explicite sur la manière dont il trace l'épure, ne traite cependant qu'un cas particulier.

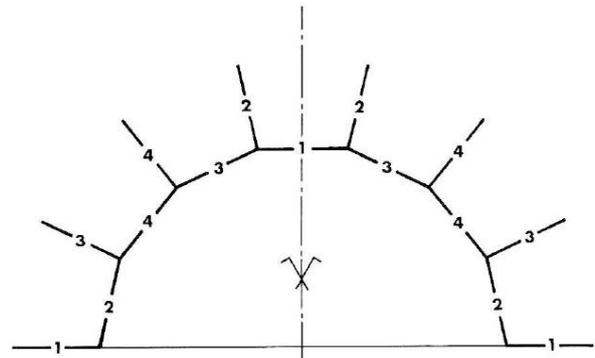


FIG. 8. — MISE EN PLACE DE L'ALGORITHME

Compte tenu de ce que nous avons développé en légende de la figure 7, on peut en faire l'application au sujet qui nous intéresse. Nous avons indiqué par un même numéro les douelles et joints qui sont parallèles ou qui forment le même angle par rapport à l'horizontale. Si l'on écrit ces numéros à la suite en partant du sommier, on obtient l'algorithme 12344321, où le chiffre 1 est la charnière de l'algorithme et correspond à l'axe de symétrie de l'épure, puisque si l'on écrit l'algorithme pour le demi-cercle on obtient : 123443212344321. Nous voyons donc que chaque voussoir est défini par l'application des valeurs angulaires dans l'ordre donné par l'algorithme (cf. fig. 5).

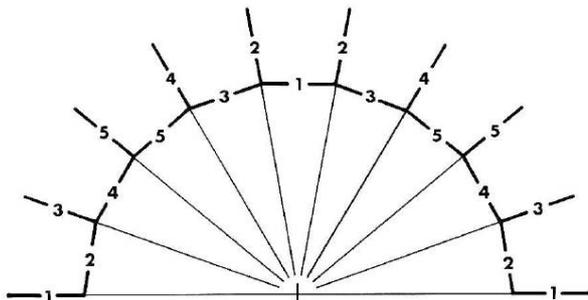


Fig. 9

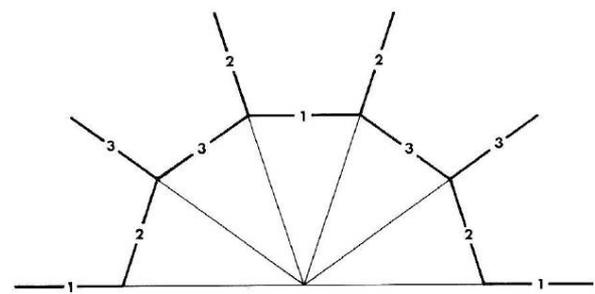


Fig. 10

FIG. 9 et 10. — ÉVOLUTION DE L'ALGORITHME

Nous avons ici augmenté puis réduit le nombre des voussoirs. Pour 9 voussoirs l'algorithme devient 1234554321 (fig. 9). Pour 5 voussoirs (fig. 10) il devient 123321. Ainsi, connaissant cette répartition, il n'est même plus nécessaire de dessiner d'élévation puisque chaque valeur angulaire nouvelle vient s'inclure entre les deux chiffres identiques successifs.

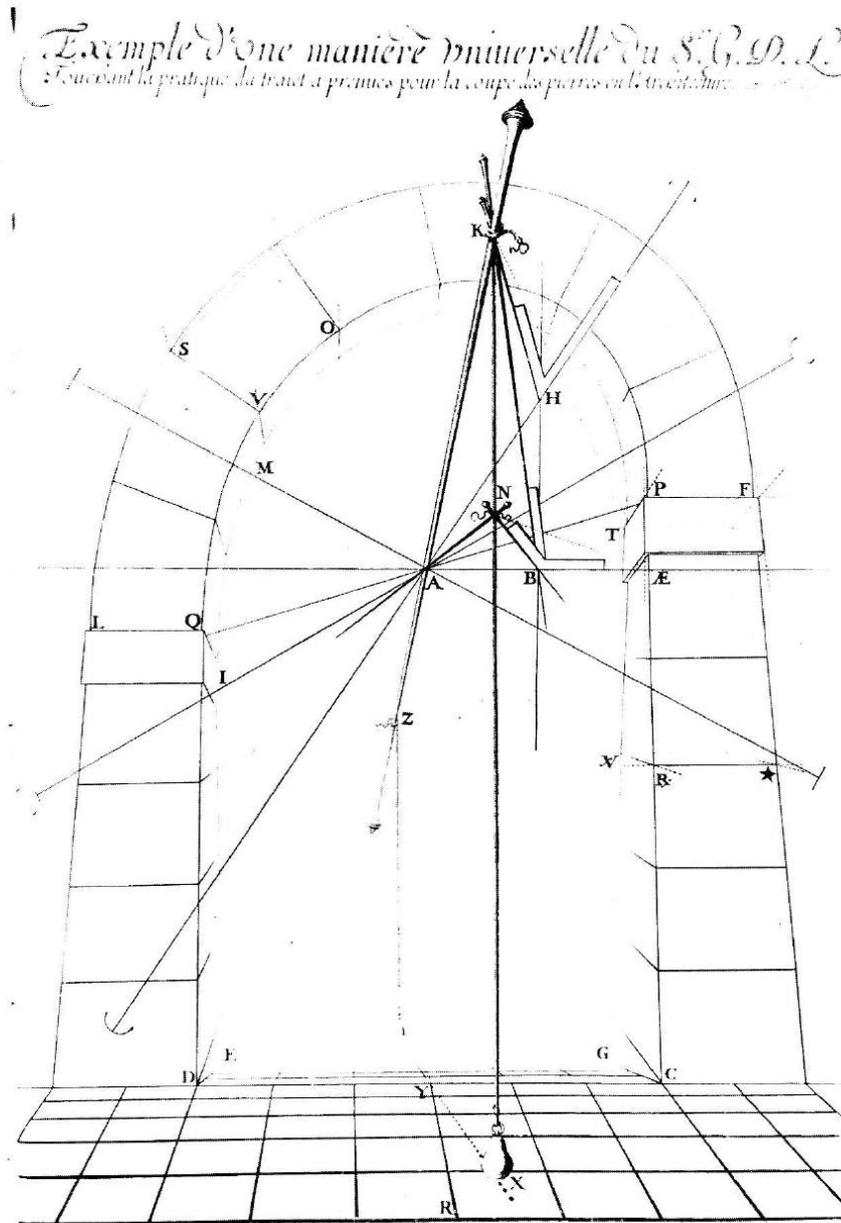


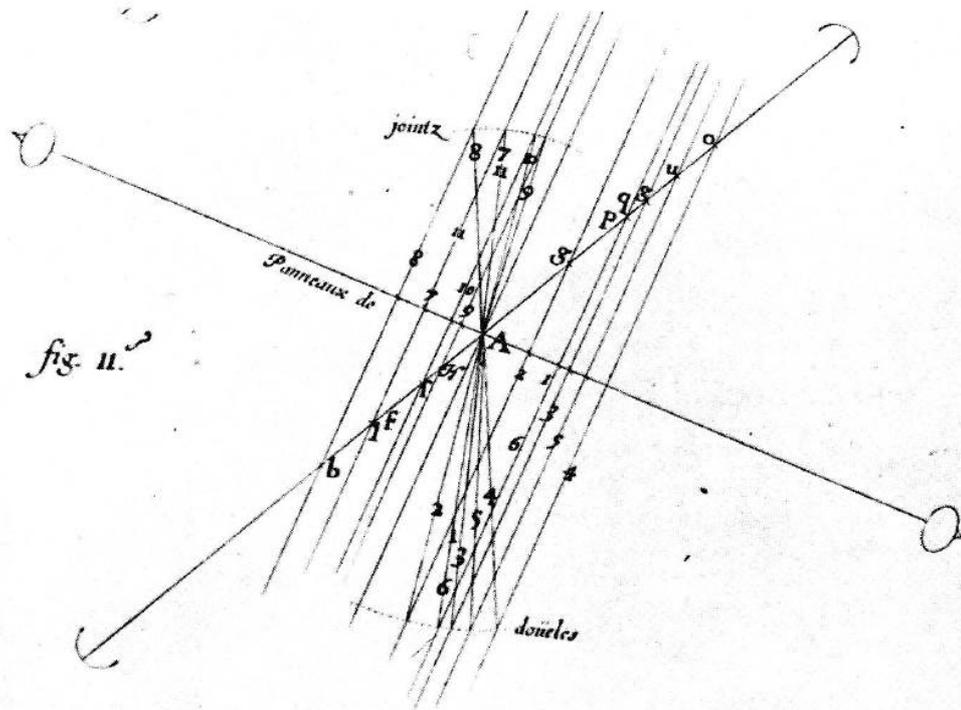
FIG. 11. — DESSINS « ORIGINAUX » DE DESARGUES

a) Desargues a représenté sur cette perspective un passage biais en descente dans un mur en talus. Les différents axes sur lesquels il travaille sont repérés par des symboles. L'essieu, axe de direction principal du passage, est représentée par une perche dont les extrémités sont renflées et moulurées. Deux fils à plomb en forme de poire donnent la projection de l'essieu sur le plan horizontal. Plusieurs équerres apparaissent déformées. Elles représentent la position particulière des différents plans projetants par rapport au plan du mur sur lequel travaille Desargues. (Cliché pris sur le manuscrit conservé à la Bibliothèque de Quimper.)

Cet algorithme très simple à mémoriser permet de gérer l'ensemble de la construction d'une telle voûte. Au stade de la taille, il permet de mettre le bon angle sur le bon côté et ce pour chaque voussoir. A la pose, il permet de repérer le bon emplacement de chaque voussoir.

Sur la figure 8, nous avons donné l'algorithme pour sept voussoirs. Pour neuf voussoirs, nous avons une valeur d'angle supplémentaire à chercher (numérotée 5) qui viendrait s'inclure au milieu de notre algorithme entre deux chiffres identiques (fig. 9). De la même façon, pour cinq voussoirs, une valeur d'angle disparaît et l'algorithme s'écrit alors : 123321 (fig. 10).

Nous sommes conscients que la numérotation choisie n'a rien à voir pour sa forme avec celle qui était de mise à l'époque médiévale, mais nous sommes sûrs de son existence pour le fond. Villard en donne d'ailleurs quelques exemples sur le folio 32 de son manuscrit, quand il reproduit les différentes sections d'arc et de pilier (9). En effet, en dehors des marques de tâcheronnage, les marques d'appareillage répondent toujours à la double nécessité de définir une pierre en particulier et de la positionner dans un ensemble (10). Certes, ce développement n'appa-



b) Nous avons sélectionné une épure de Desargues en rapport avec la perspective (fig. 11 a). Ce dessin donne les vraies grandeurs des angles de douelles et de lits. A partir de l'essieu symbolisée par deux ellipses à ses extrémités, sont distribuées les valeurs des angles. En effet, dans ce cas, l'essieu est parallèle aux lignes de joints de l'intrados et peut donc être assimilée à la ligne de joint d'intrados de chaque voussoir dont on cherche la vraie grandeur. Il est dommage que Desargues ait pris un arc rampant comme arc générateur. En étudiant un cas relativement anormal du type « mouton à cinq pattes », il a perdu l'occasion de nous montrer la similitude des angles de douelles et de joints. En effet, sa manière de noter les valeurs d'angles l'aurait inmanquablement conduit à remarquer que les segments des joints et des douelles constituaient un faisceau de droites concourantes au point A s'il avait traité le même sujet que de l'Orme, par exemple. Ce qui, pour ce sujet, n'est pas le cas. Notons pour finir que le texte de Desargues ne fait aucune mention de telles similitudes.

raît pas dans le croquis de Villard, mais il y est pourtant implicitement lié car c'est un moyen mnémotechnique. Il se déduit naturellement une fois que l'on a compris la similitude des angles de lits et de douelles et ceci est exprimé, c'est certain, dans le croquis 39 i de Villard. Les constructeurs médiévaux étaient très attentifs aux similitudes d'angles parce qu'ils n'avaient pas les moyens techniques de confectionner les gabarits de taille tels que nous les avons aujourd'hui : chaque pierre a son lot de gabarits numérotés.

L'explication du croquis donnée, nous devons situer Villard par rapport aux théoriciens qui ont traité le même sujet.

Après Philibert de l'Orme il faudra attendre le milieu du XVII^e siècle pour que paraissent d'autres ouvrages consacrés à la stéréotomie. Nous avons déjà mis à contribution Mathurin Jousse dans l'article précédent, mais Girard Desargues, théoricien plus connu, a lui aussi traité ce sujet dans *Brouillon project...* (11).

Le sujet traité par Desargues est une descente biaisée et en talus (fig. 11 a). Desargues met en œuvre trois obliquités : une *pente* (inclinaison par rapport au plan horizontal), un *biais* (inclinaison par rapport à un plan frontal), et un *talus* (inclinaison par rapport à un plan vertical). De plus, son arc de tête est rampant, mais cela n'ajoute pas de difficulté pour la recherche des données nécessaires à la taille des voussoirs. Par une méthode assez complexe qui procède du double rabattement, il trouve les vraies grandeurs d'angle des lits et des douelles, et les regroupe autour d'un repère qui est l'axe de la descente : l'*essieu* pour Desargues (le terme, propre à Desargues, est employé par lui au féminin) (fig. 11 b). Sa méthode est très difficile à visualiser et fait appel à un vocabulaire nouveau. Un autre inconvénient de la méthode de Desargues est de ne pouvoir trouver des valeurs angulaires que sur des surfaces régulières de révolution où les joints d'intrados coïncident avec les génératrices du volume étudié. Villard échappe à cette contrainte, comme nous l'avons montré à travers l'étude du biais passé (12). Pour toutes ces raisons, les appareilleurs du XVII^e siècle n'ont jamais adopté cette façon de faire.

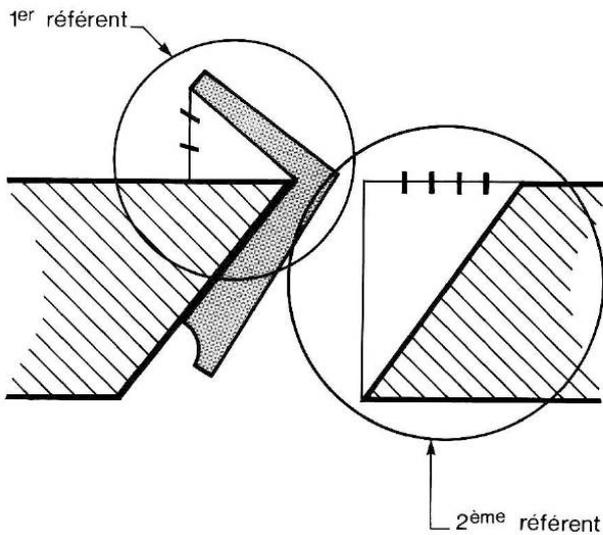


FIG. 12. — INTERPRÉTATION DES RÉFÉRENTS

Nous avons repris le dessin 39 i de Villard pour mettre en évidence les deux référents qui sont la preuve que Villard avait une pratique de la taille de pierre. Avec le premier référent (l'équerre), on réalise une descente droite ou un passage biais dont l'intrados sera une surface développable (cylindrique en l'occurrence). Avec le second référent, on réalise un biais passé dont l'intrados est une surface gauche. Ainsi, à partir d'un même voussoir initial, suivant que l'on taille la douelle ou la tête du voussoir, on obtiendra des couvrements aux fonctions différentes : c'est pour cela que Villard groupe tout sur le même croquis.

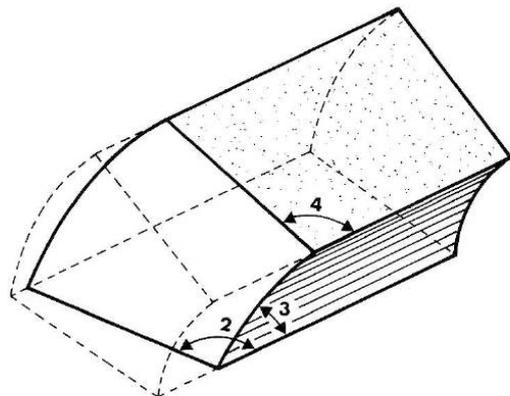


FIG. 13. — VOUSOIR DE DESCENTE DROITE OU DE PASSAGE BIAIS

En pointillé apparaissent les contours du voussoir initial. Si l'on taille la tête du voussoir (initialement d'équerre à la douelle), la matière est enlevée dans la zone définie par le premier référent (l'équerre).

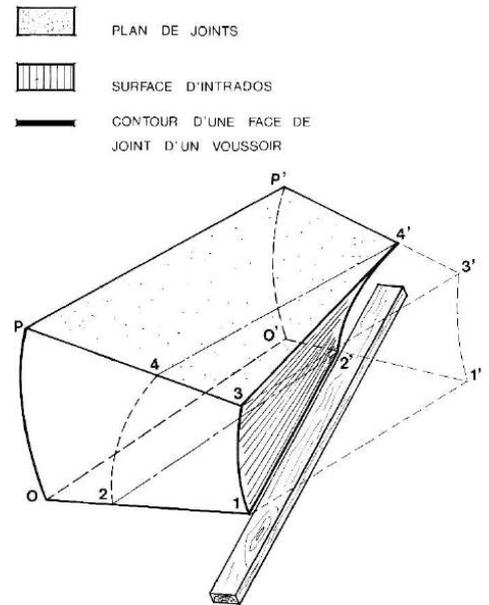


FIG. 14. — VOUSOIR DE BIAIS PASSÉ

Dans ce cas, c'est la pratique qui mène naturellement au second référent : la douelle du voussoir est taillée et donc la matière a été enlevée dans la zone définie par le second référent.

Si Desargues s'est intéressé au sujet, c'est parce qu'il condense les principales difficultés de la stéréotomie sur des éléments architecturaux facile à concevoir. Desargues aurait probablement été passionné par le carnet de Villard car, comme nous allons le montrer, Villard était son précurseur de quatre siècles. Nous avons résumé ci-dessous, sous forme de tableau comparatif, l'ensemble des sujets que l'on peut construire avec la méthode de Villard et avec celle de Desargues.

	BIAIS PASSE	PASSAGE BIAIS	DESCENTE DROITE	DESCENTE BIAISE
VILLARD	OUI	OUI	OUI	?
DESARGUES	NON	OUI	OUI	OUI

Le croquis de Villard ne nous permet pas à ce jour de combiner plusieurs obliquités et de les résoudre, bien que nous ayons de bonnes raisons de penser que cela est possible. En effet, l'algorithme que nous avons mis en évidence reste d'actualité même s'il s'agit d'une descente biaise et en talus.

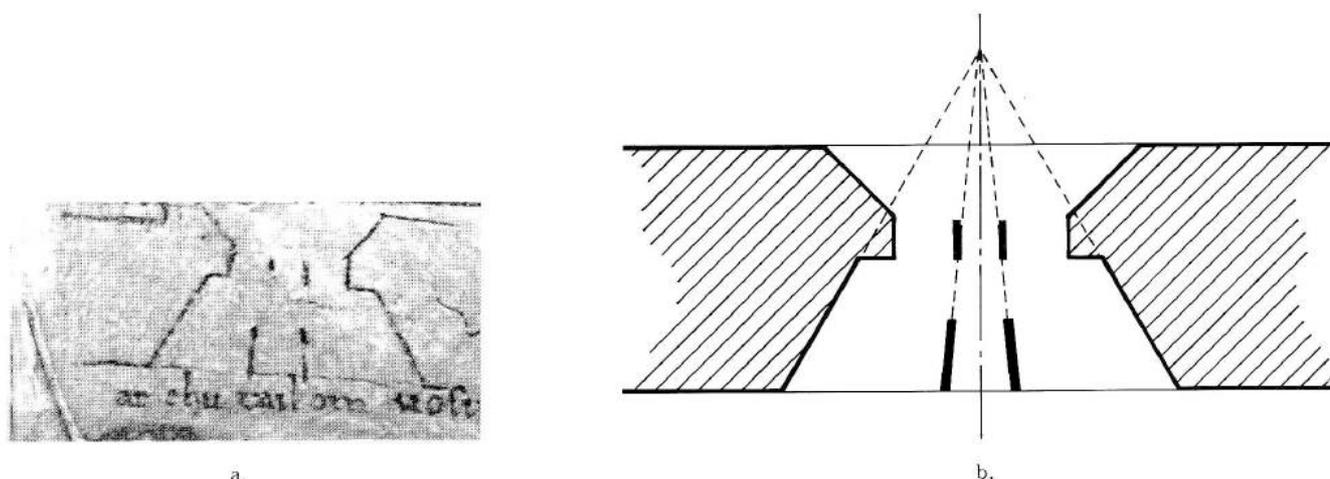


FIG. 15. — PROLONGEMENT DES DONNÉES DE VILLARD

a) Croquis 39 r du carnet de Villard. b) Vue en plan d'une ouverture conique. Nous avons repris les mêmes données que Villard. Si l'on prolonge les ébrasements et la direction donnée par les tirets entre les tableaux et les ébrasements, on s'aperçoit qu'ils convergent vers un même sommet, ce que l'on peut interpréter de façon certaine comme la notation d'une ouverture conique.

Mais ce qui rapproche surtout ces deux maîtres, c'est qu'ils ont senti l'un et l'autre que le biais passé, le passage biais ou la descente, appartiennent à la famille des passages obliques. Desargues exprime clairement cette idée et la met en pratique en regroupant ses valeurs angulaires autour d'un repère d'axe (cf. fig. 11 b). Villard, plus pragmatique, signale chaque cas par des référents distincts, mais sur le même dessin. Nous mettons ainsi en évidence que Villard, par ses deux référents distincts (fig. 12), traite deux sujets différents et deux actions différentes, mais qui se rapportent à un voussoir initial identique. Il sera différencié uniquement au moment de la taille : pour la taille d'une descente droite ou d'un passage biais (fig. 13) (13), c'est la tête du voussoir que l'on taille, et donc la matière à enlever se situe entre le bras de l'équerre (1^{er} référent) et le mur, alors que pour le « biais passé » c'est la douelle du voussoir (fig. 14) qui est retaillée et la matière est à enlever entre le trait d'équerre au mur (2^e référent) et le tableau de l'ouverture (14).

L'essai de généralisation de Desargues rejoint l'idée de la géométrie descriptive développée par Monge un siècle plus tard. Cette démarche le fait apparaître aujourd'hui comme un précurseur (15). Sa volonté est explicite dans le titre : *Brouillon project d'exemple d'une manière universelle...* Villard, en revanche, n'a sûrement pas eu le souci de la généralisation. Pourtant nous affirmons que ces simples croquis sont plus « savants » que le texte de Desargues. En effet le croquis 39 i exprime de façon pratique toutes les nuances des passages obliques et contient des informations qui relèvent à la fois de la pure théorie (l'égalité des valeurs d'angles) et de la pratique de la taille de pierres (présence de deux référents) (16). Si Desargues est perçu aujourd'hui comme un précurseur, comment qualifier alors Villard de Honnecourt, travaillant au milieu du XIII^e siècle ?

Nous allons, pour finir, expliquer deux autres croquis qui se rapportent directement à la science de la coupe des pierres, et qui appartiennent également aux répertoires des grands traités de stéréotomie : il s'agit des croquis 39 h, 39 r et 39 s.

Commençons par le croquis 39 r, dont aucune interprétation satisfaisante n'a été donnée (fig. 15 a).

Nous avons précédemment insisté sur la concordance entre les dessins et leurs légendes, et nous avons remarqué que le mot *vosure* se rapportait toujours à une courbure qui appartient à l'élévation et qui, par conséquent, n'apparaît pas sur les vues en plan que nous propose Villard (17). C'est justement le cas du dessin 39 r qui a pour légende : *par chu tail on vosure riuleie* (fig. 15 a). Les derniers commentaires concernant ce croquis ont été faits par Roland Bechmann (18). Il traduit les mots *vosure riuleie* par voûtes plates. Pour plusieurs raisons que nous allons développer, nous pensons que cette interprétation n'est pas la bonne.

Tout d'abord, la vue en plan donnée par Villard suggère les ouvertures coniques des édifices romans dont nous donnons une vue en perspective (fig. 16), problème souvent traité par les bâtisseurs. Dans ce type d'ouverture, les ébrasements intérieurs et extérieurs décrivent deux cônes tronqués qui s'opposent par leur sommet.

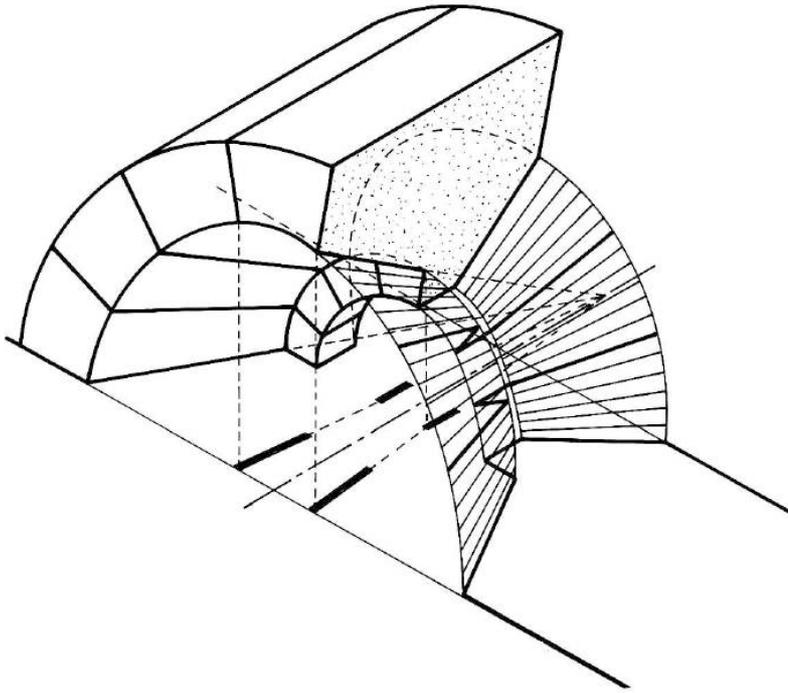


FIG. 16. — VUE PERSPECTIVE D'UNE OUVERTURE CONIQUE

Par cette perspective, nous espérons mieux rendre compte de l'intention de Villard. Nous avons indiqué en pointillé la projection de la clef sur un plan horizontal défini par les lits des sommiers. Entre les tableaux la projection de la clef se trouve effectivement diminuée du fait du clavage des voussoirs.

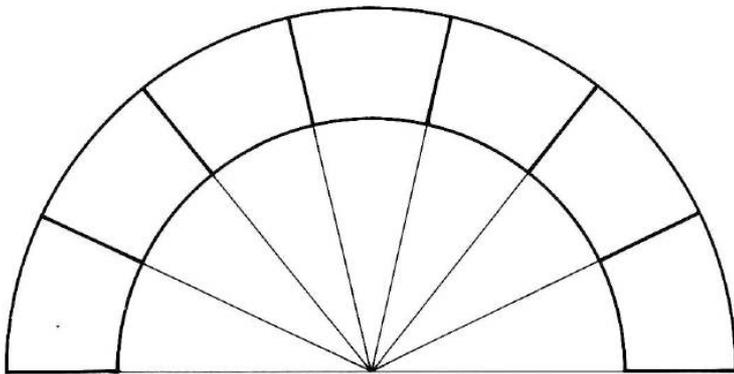


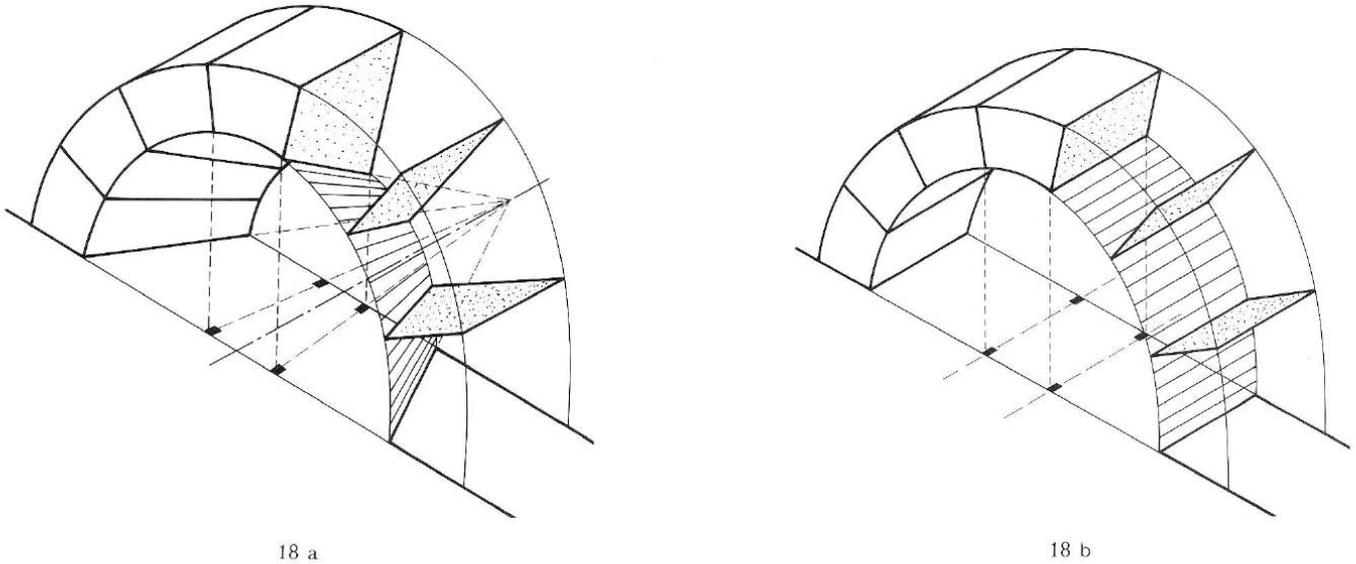
FIG. 17. — ÉLÉVATION D'UNE BAIE

Nous voulons montrer que cette élévation, telle qu'elle est dessinée, peut correspondre à deux ouvertures différentes. En effet, sur la figure 18 a, les plans de clavage coïncident avec les génératrices du cône. Sur la figure 18 b, les plans de clavage coïncident avec les génératrices du cylindre lorsqu'ils coupent l'intrados du berceau. Ainsi, ces deux ouvertures sont indifférenciées en élévation. C'est seulement avec la vue en plan que peuvent apparaître les différences. Par ailleurs, si Villard n'avait dessiné que la section des piédroits, cela n'aurait pas suffi. En effet, cet espace pourrait être franchi par un linteau monolithe. L'indication des quatre tirets comme projection de la direction des joints de clef détermine un seul type d'ouverture, à savoir une ouverture conique.

Pour en revenir au dessin 39 r, les tirets situés dans l'ouverture de part et d'autre de l'axe (non figuré) confirment l'idée du cône : si l'on prolonge les tirets entre l'ébrasement jusqu'aux tirets entre tableaux, on obtient la même direction que le sommet du cône défini par le prolongement des deux ébrasements (fig. 15 b). Il s'agit une fois de plus d'un moyen mnémotechnique qui donne la dimension en plan d'un voussoir conique qui, tel qu'il est indiqué, ne serait autre que la clef (fig. 16). Ici, Villard ne donne pas de variations d'angle, car la vue en plan est suffisante, et donne le profil en vraie grandeur qui servira à tailler l'ensemble des claveaux dont le nombre peut être fixé suivant la pierre disponible.

Appareiller un volume conique n'est pas plus difficile qu'appareiller un volume cylindrique, dans la mesure où les génératrices du cône coïncident avec les joints de pierres (cf. fig. 17). C'est d'ailleurs toujours le cas dès lors que l'on appareille la tête du cône comme un plein-cintre (fig. 18 a et 18 b). Ainsi, nous obtenons une surface courbe mais réglée aux joints, ce qui présente un avantage pour la taille des voussoirs, qui en est facilitée. En effet, l'avancement et la vérification de la taille s'effectue de la même façon. Pour mettre en évidence cette comparaison, nous avons pris un voussoir de biais passé et l'avons mis à côté d'un voussoir conique (photos 4 et 5). Ainsi, le dessin 39 s explique comment l'on taille une surface réglée, qu'elle soit conique ou gauche, et le procédé est toujours d'actualité (fig. 19).

Ce rapprochement fait également apparaître la cohérence des thèmes choisis par Villard. Ils font appel aux mêmes nécessités : faire coïncider les génératrices avec les joints des pierres en intrados pour éviter la recherche de données plus difficiles à maîtriser.



18 a

18 b

FIG. 18. — PERSPECTIVE D'OUVERTURES CONIQUE ET CYLINDRIQUE

a) Ouverture conique. b) Ouverture cylindrique.

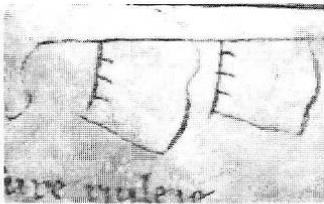


FIG. 19. — CROQUIS 39 s DU CARNET DE VILLARD

Ici Villard nous indique un procédé pour la taille d'un voussoir à douelle gauche ou conique. Il s'agit de diviser chaque tête de voussoir dans la même proportion. Les points obtenus de part et d'autre définissent les positions de la règle. Nous l'avons illustré par les photos 4 et 5. Sur la photo 4, il suffit d'imaginer le voussoir en transparence pour trouver la lecture du croquis 39 s. Le cordeau tendu sur le croquis renforce l'idée qu'il s'agit bien de définir des positions de génératrices de surfaces réglées.

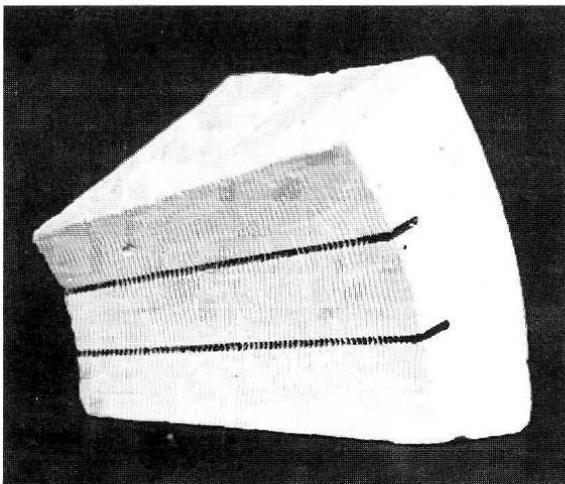


PHOTO 4. — VOUSOIR D'OUVERTURE CONIQUE

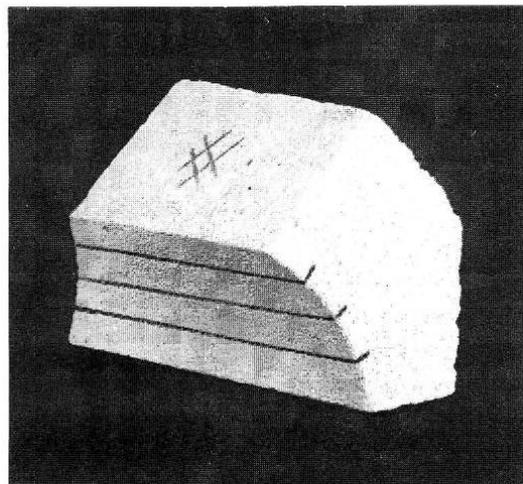
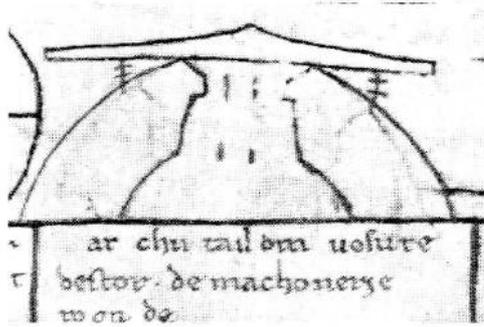
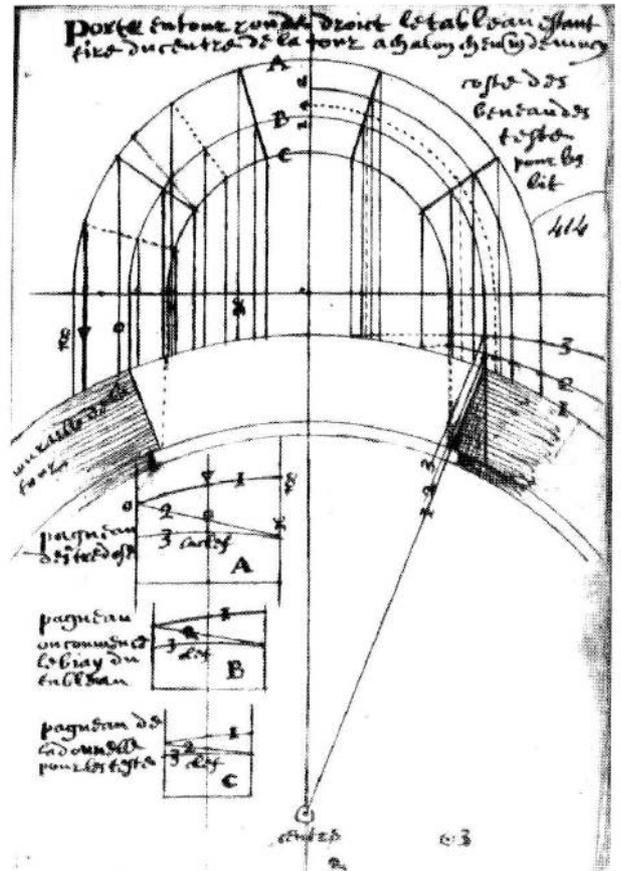


PHOTO 5. — VOUSOIRS DE BIAIS PASSÉ

Nous avons voulu montrer par ces deux photos la manière de repérer les génératrices est la même, qu'il s'agisse d'un voussoir conique ou d'un voussoir de biais passé. Il suffit de diviser proportionnellement les têtes de voussoirs. Un cordeau tendu joignant chaque point définit une génératrice qui guidera le tailleur de pierres dans l'exécution de la taille : c'est ce que Villard explique avec le croquis 39 s.



20 a



20 b

FIG. 20. — CONFRONTATION DE VILLARD ET DE GENTILHÂTRE

a) Croquis 39 h du carnet de Villard. b) Folio 414 du manuscrit de Jacques Gentilhâtre. Le sujet traité est une ouverture conique dans une tour ronde. Les panneaux de lits apparaissent en vraie grandeur à droite sur l'épure et sont numérotés 1, 2 et 3. Sur l'élévation, sur l'axe, la courbe numérotée 2 nous indique que Gentilhâtre repère trois points pour tracer la déformation elliptique des plans de lits coupant le cylindre de la tour ronde. Villard ne nous a pas laissé une telle indication qui ne peut du reste figurer que sur une élévation. Chez Gentilhâtre, un trait sépare le plan de l'élévation. Ce trait est primordial : il représente la trace du plan frontal de projection. C'est à partir de cette ligne que sont pris les éloignements de chaque point repéré au préalable sur l'élévation (cf. photo 6). Chez Villard, ce trait est représenté par la règle biseautée.

Le dessin 39 s a été perçu par les commentateurs comme le tracé de deux voussoirs appartenant à deux plates-bandes différentes, mais avec un centre de clavage commun. Or, le fait que deux plates-bandes superposées aient le même centre n'ajoute rien à leur stabilité, puisque seul l'effet de clavage est à prendre en compte. L'important est de chercher le bon angle de clavage et non le centre d'où rayonne le clavage. Par ailleurs, l'inclinaison donnée aux joints est en rapport avec l'ouverture de la baie et la hauteur des voussoirs, et non en rapport avec un point de centre hypothétique. Ceci est, chez Villard, très astucieusement et simplement exprimé par le croquis 40 a, dont R. Bechmann donne une claire interprétation (19). En effet, les angles des claveaux sont regroupés dans un trapèze et les angles de la clef sont placés tête-bêche. Ainsi, on peut facilement tracer les pierres sans risque d'erreur, puisque deux claveaux voisins ont des angles complémentaires. Remarquons au passage que Villard ne donne que l'élévation : celle-ci est suffisante dans le cas d'une plate-bande, puisque les vraies grandeurs des lits sont données par l'angle de clavage. Nous reviendrons sur cette particularité de représentation.

Nous allons terminer par l'étude du croquis 39 h *par chu tail om vosure d'estor de machonnerie ronde*, c'est-à-dire « par ce moyen on taille une voussure de baie dans une maçonnerie ronde » (fig. 20 a).

Il est intéressant de comparer ce sujet avec le précédent (croquis 39 r) pour saisir la difficulté nouvelle contenue dans cette figure. Tout d'abord, si l'on compare les deux ouvertures, on observe qu'elles ont exactement le même ébrasement. Notons également la présence de deux tirets comme sur le dessin 39 r qui, si nous les interprétons de la même façon, indiquent la diminution progressive de la clef vue en plan (fig. 21 a et 21 b), et représente ainsi un ébrasement conique dont l'élévation est un plein cintre (photos 6 et 7).

Nous avons dans ce sujet deux cônes qui pénètrent un cylindre (la tour ronde). Cette pénétration produit donc une courbe à double courbure sur l'extrados intérieur et extérieur (courbe à double courbure = ligne cintrée en plan et en élévation). Comme dans le croquis 39 r, ce n'est pas le cône intérieur formé par les ébrasements qui constitue la difficulté du sujet. Elle se situe sur les parements intérieurs et extérieurs, lorsque les plans de clavages coupent les génératrices du cylindre (fig. 21 b).

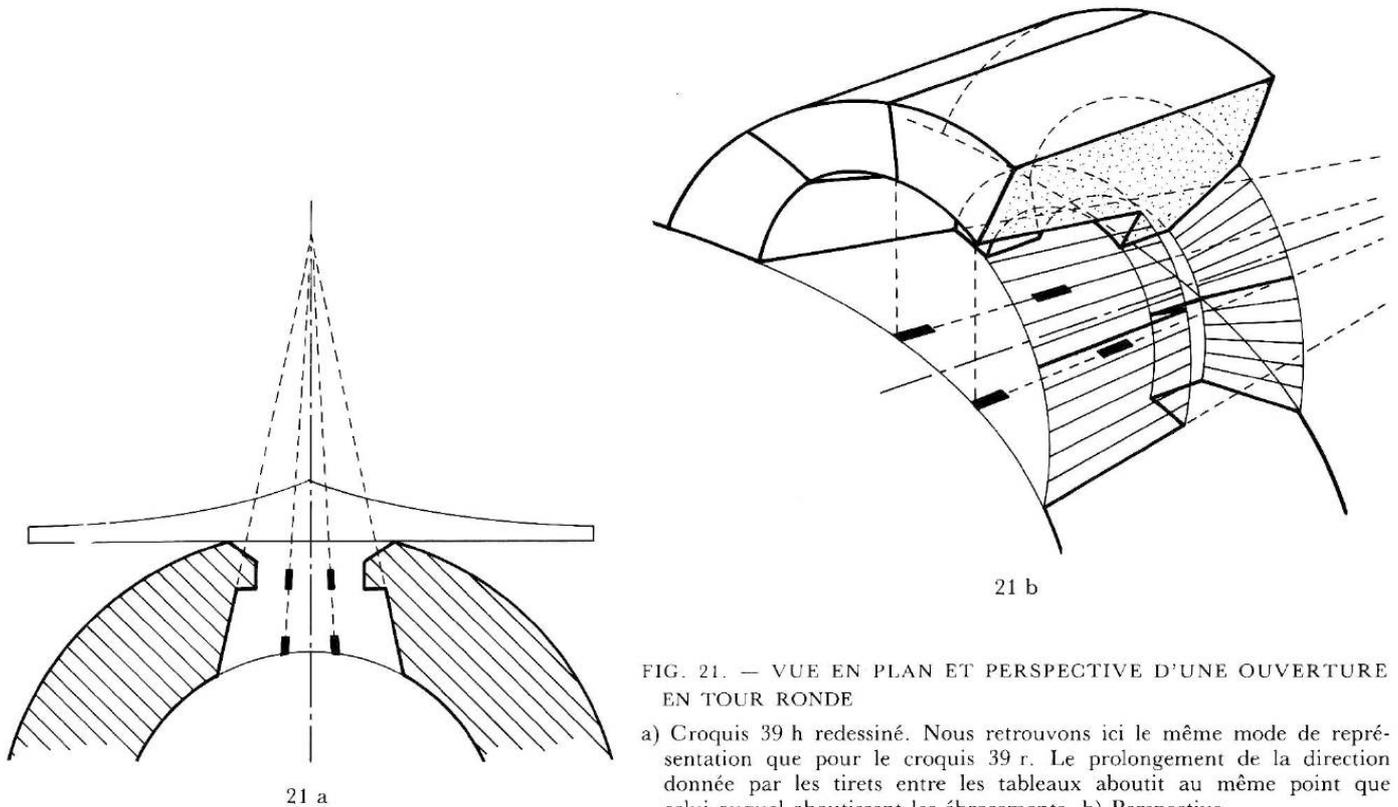
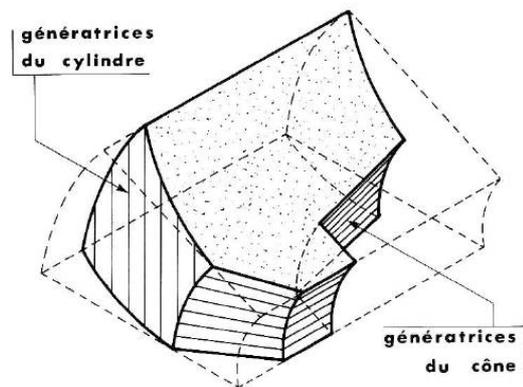


FIG. 21. — VUE EN PLAN ET PERSPECTIVE D'UNE OUVERTURE EN TOUR RONDE

a) Croquis 39 h redessiné. Nous retrouvons ici le même mode de représentation que pour le croquis 39 r. Le prolongement de la direction donnée par les tirets entre les tableaux aboutit au même point que celui auquel aboutissent les ébrasements. b) Perspective.

FIG. 22. — PERSPECTIVE DU VOUSOIR DE CONTRE-CLEF



Après avoir décrit cette ouverture, nous allons voir comment Villard aborde cette nouvelle difficulté. Il introduit sur ce dessin un élément qui n'apparaît pas dans d'autres : la règle. Elle est posée contre les arêtes de l'ouverture extérieure (20). Deux traits partent de part et d'autre de la règle (celui de droite est nettement courbe) ; ils joignent le parement extérieur de la tour ronde. L'éloignement ainsi défini est divisé en trois parties par deux tirets.

Nous allons comparer le dessin de Villard avec ceux des auteurs des grands traités. Nous aurions pu choisir de l'Orme, Jousse ou Derand, mais nous avons choisi le manuscrit remarquable et peu connu de Jacques Gentilhâtre, rédigé vers 1620-1630 (fig. 20 b) (21).

Pour Gentilhâtre, comme pour de l'Orme et Jousse, le plan et l'élévation sont nettement figurés et sont séparés par un trait horizontal. Ce dernier joue un rôle fondamental dans la recherche des vraies grandeurs nécessaires à la taille. Pour l'ensemble de ces auteurs, ce trait exprime ce que la géométrie descriptive appelle le *plan frontal de projection*. En effet, de cette ligne les auteurs prennent les éloignements de chaque voussoir projeté sur la vue en plan, ce qui implique que le trait horizontal soit la trace du plan frontal de projection. En conséquence, nous sommes convaincus que la règle dessinée par Villard exprime la trace d'un plan frontal de projection. Les deux tirets qui relient la règle et le parement de la tour indiquent que cet éloignement varie deux fois, ce qui laisse

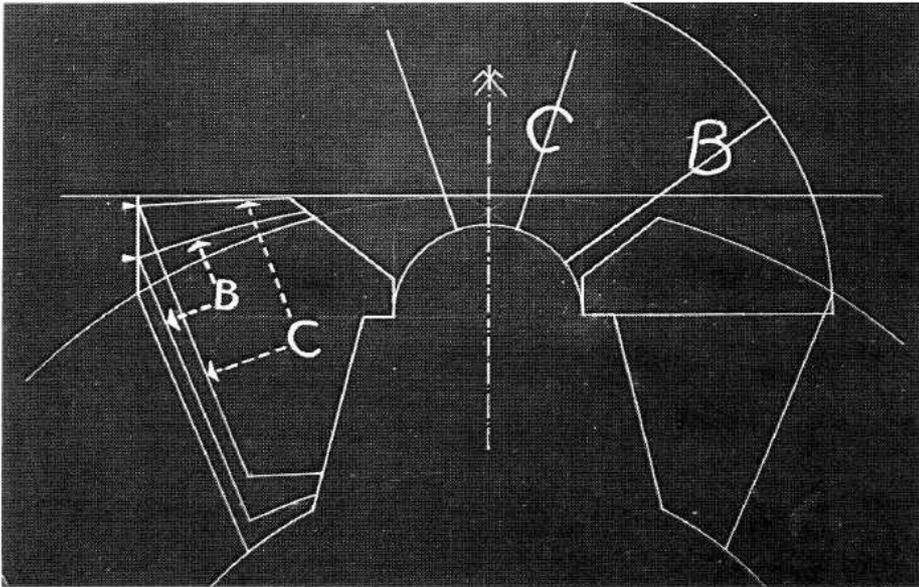


PHOTO 6. — ÉPURE D'UNE OUVERTURE CONIQUE DANS UN MUR CYLINDRIQUE

Voici l'épure que nous avons dessinée pour tailler la maquette de la photo 7. La comparaison avec le croquis 39 h met en évidence la signification de la règle et des tirets. En effet, à gauche de l'épure, nous avons repéré par deux triangles l'aboutissement des panneaux B et C. Ils varient dans le même intervalle que celui défini par Villard. Nous n'avons pas représenté de règle mais la droite à laquelle aboutissent les panneaux joue le même rôle que le chant de la règle chez Villard. Cette règle représente la trace d'un plan frontal de projection comme le définit le vocabulaire de la géométrie descriptive. En revanche, nous avons dessiné une portion d'élévation pour définir l'encombrement des voussoirs. Nous avons volontairement fait chevaucher l'élévation sur la vue en plan pour trois raisons. D'abord pour mettre en évidence le gain de surface pour la réalisation de l'épure ; ensuite pour montrer qu'entre les tableaux, il s'agit d'un plein-cintre et donc d'une ouverture conique (la correspondance serait moins immédiate si le plan était séparé de l'élévation) ; enfin pour montrer que l'élévation n'est pas l'information déterminante dans ce type de sujet. C'est l'information qui permet de réaliser un cas particulier d'ouverture, puisqu'elle fixe la hauteur et le nombre des voussoirs. La vue en plan fixe l'emprise du couvrement et le mode de recherche des vraies grandeurs.

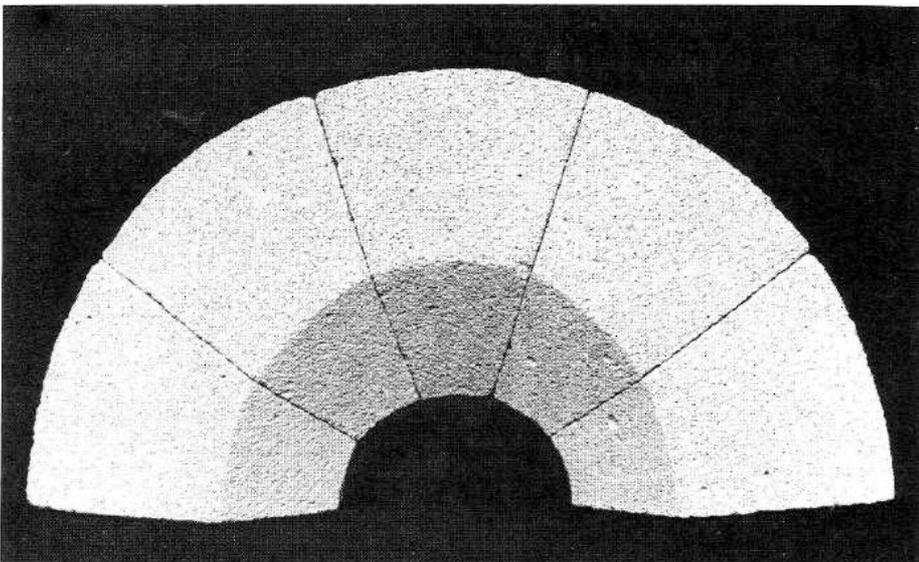


PHOTO 7. — VUE DE FACE DE L'OUVERTURE CONIQUE EN TOUR RONDE

La description mathématique d'une telle ouverture est complexe. L'arête d'intersection de l'ébrasement conique avec la tour ronde est une courbe à double courbure. Mais il n'est pas nécessaire de la définir puisqu'elle s'obtient naturellement lorsque l'on taille chaque voussoir.

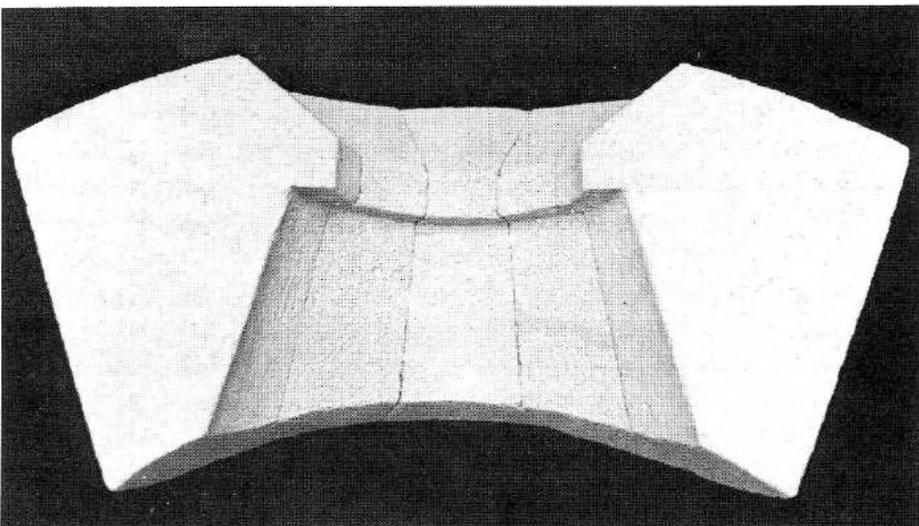


PHOTO 8. — VUE EN PLAN PAR LE DESSOUS DE L'OUVERTURE CONIQUE EN TOUR RONDE

On peut observer la diminution de l'écartement des joints à la clef comme l'indique Villard sur son croquis.

supposer que Villard a prévu cinq voussoirs pour fermer cette baie. En effet, si l'on part du plan de base pour aller vers la clef, l'intervalle va diminuer et se rapprocher de la règle (si l'intervalle coïncide avec la règle, le joint se trouve dans l'axe de l'ouverture : ce n'est pas le cas ici). Nous retrouvons la même notation que dans le sujet voisin 39 : *par chu tail'om vosure besloge*. Dans cette baie, il y a symétrie par rapport à l'axe : Villard nous indique cet intervalle de part et d'autre de l'ouverture. Or, vu le mode d'écriture en raccourci adopté par Villard, il nous semblait peu probable qu'il ait indiqué deux fois la même variation. Nous avons remarqué plus haut que l'intervalle de droite est indiqué par un trait courbe, alors que celui de gauche est tracé d'équerre à la règle (à main levée, bien sûr). Nous pensons que Villard, par ses deux référents apparemment semblables, a voulu signifier deux variations semblables, mais qui se rapportent à deux éléments distincts : l'un concerne les joints et l'autre la douelle d'extrados. En effet, pour mener à bien la taille d'une telle baie, il est nécessaire d'effectuer la recherche

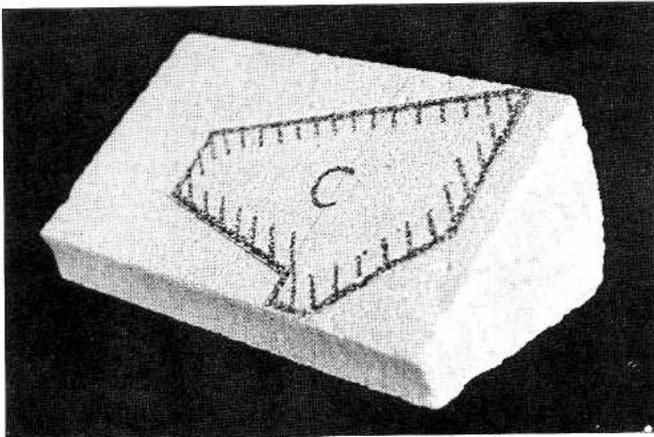


PHOTO 9. — VOUSOIR DE CONTRE-CLEF
AVANT TAILLE

(Sur le voussoir initial, on applique le gabarit C pris sur l'épure)

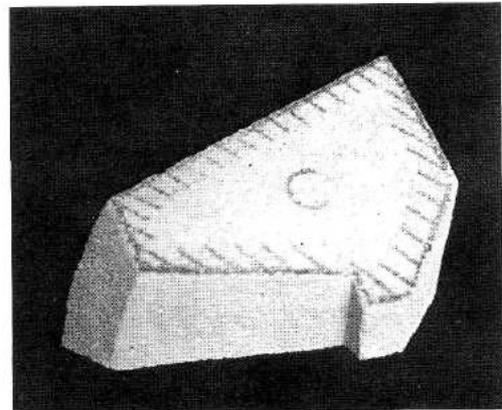


PHOTO 10. — VOUSOIR DE
CONTRE-CLEF APRÈS TAILLE

de vraies grandeurs des parties déjà citées (douelles et joints). Ainsi, l'intervalle situé à droite concerne les lits et celui situé à gauche les douelles de l'extrados.

A partir d'une perspective (fig. 22), nous expliquons la taille d'un voussoir (le contre-sommier droit). Pour aboutir, il faut placer le panneau de vraie grandeur sur une pierre préalablement équaree suivant un gabarit de tête.

Expliquons tout d'abord comment trouver les panneaux de joints. Pour obtenir une vraie grandeur, il faut nécessairement se « mettre parallèle » à un plan de projection. Le plus simple, dans ce cas, est de se « mettre parallèle » au plan horizontal de projection : soit en effectuant une rotation (méthode actuelle), soit par le report des éloignements, pour chaque voussoir, sur une ligne hors du dessin (méthode des auteurs classiques). Les éléments de l'ouverture intérieure (ébrasement, tableau et feuillure), s'inscrivent dans des cônes et des cylindres, et les angles et orientations donnés par la vue en plan se conservent pour chaque voussoir. Il n'en est pas de même pour les parements intérieurs et extérieurs de ces voussoirs. En effet, les différents plans de lit coupent d'abord le cylindre parallèlement au plan horizontal jusqu'au lit de pose du sommier. Ensuite, ils vont progressivement s'incliner et couper le cylindre obliquement.

Ainsi, chaque plan de lit définit deux portions d'ellipse lorsqu'ils coupent le parement intérieur et le parement extérieur. Pour tracer correctement une de ces portions d'ellipse, deux points ne suffisent pas. Il est nécessaire de repérer « l'éloignement » d'un point intermédiaire situé sur le joint. Tous les auteurs classiques maîtrisent ce cas de figure. Ils résolvent la difficulté en traçant un demi-cercle sur l'élévation qui partage en deux l'arc de tête (fig. 20 b). C'est ce demi-cercle moyen qui définit les points intermédiaires à l'intersection des différents joints. Malheureusement, cette élévation nous manque dans le croquis de Villard pour démontrer qu'il procédait ainsi.

La deuxième donnée nécessaire est fournie par la recherche des panneaux de douelles à l'extrados. Les panneaux de douelles varient dans le même intervalle que les panneaux de joints mais dans un sens inverse, de telle sorte que plus les douelles se rapprochent des sommiers, plus les plans de coupe de l'extrados se rapprochent

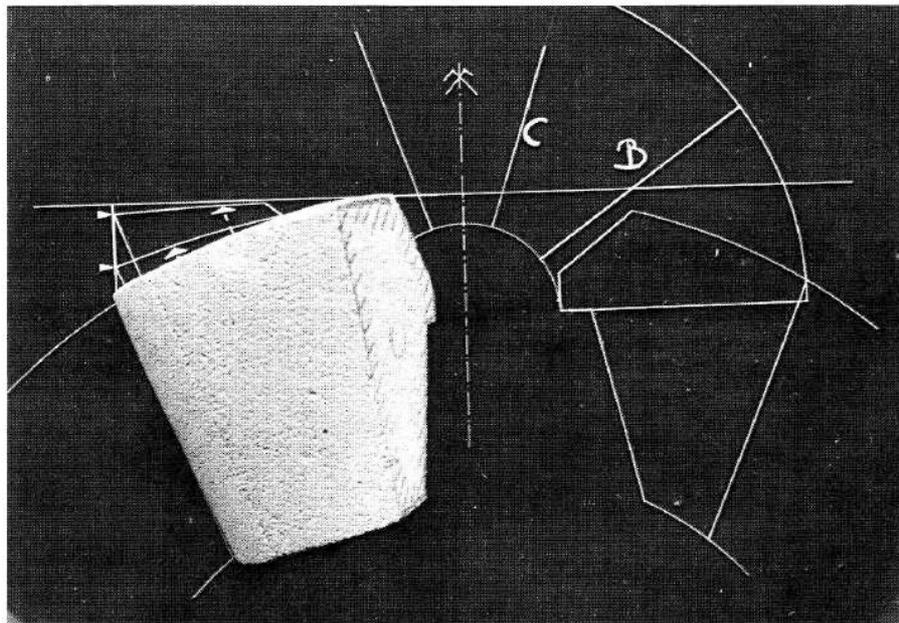


PHOTO 11. — SUPERPOSITION DE LA MAQUETTE ET DE L'ÉPURE

de la verticalité des génératrices du cylindre. C'est ce qu'indique Villard à droite de l'ouverture. En effet elle est indiquée de façon courbe, ce qui peut s'expliquer par le fait que ces gabarits seront appliqués sur une partie courbe si les voussoirs sont extradossés comme sur la photo 7.

Branner a évoqué le même sujet que nous. Malheureusement, sa méthode pour aboutir n'est pas très claire (22). Par ailleurs, la taille telle qu'il la représente dans son article nécessite un gros volume de pierre dont les tailleurs de pierre sont souvent économes.

Il est clair, à l'analyse de ce croquis, que Villard savait représenter, sur une vue en plan, la position d'un objet dans l'espace, en le situant par rapport à un autre plan référent (plan frontal représenté par la règle). Cette trame constitue la base de toute compréhension pratique des volumes, et c'est elle qui permet d'aboutir dans la recherche des vraies grandeurs : ultime étape avant de tailler la pierre.

Pour conclure l'ensemble de ces deux articles qui font le tour des sujets de stéréotomie traités par Villard, nous voudrions insister sur le fait que ces quatre sujets (passage biaï, biaï passé, ouverture conique et ouverture en tour ronde) constituent l'essentiel du corpus qui sera repris et complété par de l'Orme et ses successeurs (23).

C'est pour mettre en évidence la récurrence de ces thèmes que nous avons élargi notre choix d'auteurs classiques. A cet égard, notre lecture confirme l'idée développée par Hans R. Hahnloser puis par Jean-Marie Pérouse de Montclos, selon laquelle l'album de Villard fait partie de l'*arcantum magisterium* (24).

Ainsi, l'album de Villard apparaît comme un des jalons qui témoignent d'une tradition de l'enseignement du « trait », dont l'origine se perd dans la nuit des temps. Si nous ne connaissons pas de représentation manuscrite de ce savoir antérieure à Villard, en revanche il existe des témoignages architecturaux du savoir stéréotomique : la visite de monuments du Proche-Orient nous a permis d'en apporter la preuve (25).

Observer la pérennité de ce savoir, c'est mettre en évidence que les mêmes problèmes de construction ont appelé les mêmes solutions. Par ailleurs, c'est l'enseignement du trait qui est le garant de cette pérennité.

Cet enseignement a toujours été transmis par les hommes de métier à qui de droit, comme l'illustrent les nombreuses références au savoir des ouvriers faites par Dürer, de l'Orme, Derand, Frézier... Ces auteurs nous présentent le monde ouvrier comme une source inépuisable de modèles qui sont expliqués et commentés dans leurs ouvrages. En même temps, ils fournissent explicitement une manière de transmettre ce savoir par le mode écrit. Ce modèle pédagogique va évoluer jusqu'à Monge qui marque un tournant dans la manière de représenter les volumes.

Pourtant, depuis Monge, ni le corps des architectes, ni le corps des ingénieurs n'ont pu mettre en place

un système pédagogique qui prenne en compte le problème fondamental de l'homme de métier devant le matériau, et, aujourd'hui encore, c'est celui qui réalise qui doit se donner les moyens de comprendre (26).

Ainsi, depuis la parution des premiers traités jusqu'à nos jours, la transmission orale et la transmission écrite ont coexisté. Cette dernière s'est peu à peu érigée en science et, depuis le début du XIX^e siècle, le mode de représentation s'est complètement séparé du mode d'exécution (l'épure).

Quant à la transmission orale, le carnet de Villard nous en montre un aspect fondamental, puisqu'à nos yeux les croquis techniques servaient de support pédagogique à l'enseignement du trait. Ainsi des coupes étaient fournies à l'apprenti qui réfléchissait sur ces premières données afin d'anticiper une élévation possible. Ensuite, le maître intervenait et expliquait le complément de figure, probablement sur un autre support que le parchemin. Nous pouvons donc assurer que ces sujets reconnus comme difficiles faisaient partie des connaissances transmises sur le chantier. Cet état d'esprit a déjà été commenté à propos de la note du folio 29 *inter se disputando* et notre lecture ne peut que confirmer cette hypothèse.

Il est intéressant de remarquer que les sujets qui sont dessinés en élévation ne font pas appel à la recherche de vraie grandeur (par exemple les croquis 40 a, 40 c, 40 d, 40 e, 40 f, 40 g, et 41 b, 41 e, 41 h). Inversement les plans fournis par Villard nécessitent la recherche de vraie grandeur (croquis 39 h, 39 i, 39 r).

Cette particularité de la représentation révèle un aspect fondamental de la pensée de Villard dans sa manière d'appréhender l'espace. En effet, les sujets difficiles sont fixés et définis à partir d'une coupe (vue en plan), alors que les sujets plus simples sont représentés par une élévation (vue de face). Ainsi, dans le premier cas, Villard fait implicitement appel à la notion de projection horizontale à partir de laquelle il amène par rabattement les différents plans de joint nécessaires (croquis 39 h, 39 i, 39 r). Au contraire, pour les éléments dessinés en élévation, toutes les données nécessaires à l'exécution se trouvent représentées dans un dessin à deux dimensions. C'est ainsi que le dessin 40 a nous donne les vraies grandeurs des clavages des voussoirs sans qu'il soit nécessaire de dessiner une vue en plan.

En vérité le choix de représenter un objet en plan ou en élévation demande une pratique de la géométrie et du métier : sans expérience, il paraît en effet difficile de choisir de dessiner l'objet à construire sous telle ou telle vue, parce que le novice a du mal à anticiper les éléments que devra lui fournir le dessin. A contrario, celui qui maîtrise son sujet peut se permettre d'être très sélectif sur le nombre de représentations nécessaires pour construire l'objet. D'où le terme de métier *épure* qui est très explicite quant à l'économie de traits à effectuer.

Nous devons ici faire une parenthèse sur le mode de représentation de Villard en particulier, et des tailleurs de pierre en général. Pour le tailleur de pierre, l'aire d'épure matérialise un plan sur lequel les trois dimensions vont devoir coexister. Ce plan, contrairement à la géométrie développée après Monge, n'est pas le lieu d'une projection sur laquelle l'objet est vu de face ou de profil. Sur une aire d'épure, le plan et l'élévation sont inséparables : ils se nourrissent mutuellement de la vision qu'ils contiennent sans qu'il soit possible d'y reconnaître l'objet architectural.

Cette représentation « en raccourci » constitue toujours un obstacle pour les historiens des techniques, parce qu'ils analysent les témoignages à partir du modèle de représentation donné par la géométrie descriptive. Pour certains d'entre eux, un objet ne peut exister que par sa représentation en trois vues (plan, coupe, élévation).

Dans les croquis de Villard, sur un même plan, les trois dimensions coexistent non pas sur le plan ou l'aire d'épure, mais dans l'esprit de celui qui réalise l'épure. Ce mode de représentation, intrinsèquement lié à la représentation mentale des volumes propre aux tailleurs de pierre et aux charpentiers, est difficile à exprimer mais peut facilement se concevoir à partir de l'exemple des cordes et des rayons que nous venons de développer à propos du croquis 39 i.

En effet, d'un point de vue de professionnel et à l'encontre de beaucoup d'historiens, nous sommes persuadés que l'architecture romane à laquelle renvoient les dessins 39 h, 39 i, 39 r, est porteuse de ce qui deviendra « l'architecture à la française » telle que l'a définie J.-M. Pérouse de Montclos (27).

Nous espérons, à travers l'étude de ces croquis et les liens qui les rattachent aux épures des auteurs de l'époque classique, avoir montré à quel point ils sont révélateurs d'une maîtrise de l'espace.

Par ailleurs, les sujets abordés par Villard permettent de distinguer deux réalités au regard de l'histoire de l'art. En effet, il est couramment admis que le XIII^e siècle est la période charnière entre l'architecture romane et l'architecture gothique. Il est symptomatique que Villard mentionne des savoir-faire propres à chaque

style. Pour les tailleurs de pierre, les techniques de l'architecture romane renvoient directement à la coupe de pierres et à une géométrie à trois dimensions. La nudité et la sobriété de l'appareil avec ses lignes de joint dans certains édifices romans, comme le Thoronet ou la crypte de Saint-Gilles-du-Gard, constituent déjà des éléments du décor que l'on observe dans des constructions du XVII^e siècle (28).

Au contraire, l'architecture gothique a laissé de côté un certain nombre de difficultés propres à la coupe de pierres. En effet, le système de construction a évolué de telle sorte que tous les éléments à construire se développent dans un système de représentation à deux dimensions. C'est ce que nous avons démontré en analysant les croquis 40 cd, 40 ef, 41 h du carnet de Villard. Pour le tailleur de pierre, la construction gothique fait surtout appel à la géométrie plane (raccord de courbe, arborescence de réseaux géométriques), et l'on comprendra aisément que ce que l'on appelle l'architecture gothique se soit développé aussi rapidement : ce que l'on dessinait était représentatif de l'objet à construire (29), ce qui présentait deux avantages immédiats : le maître d'ouvrage voyait ce qui allait se construire et pouvait modifier son projet. L'ouvrier qui réalisait était plus facilement mis au fait. Il est plus facile d'appréhender la géométrie plane que la géométrie tridimensionnelle. Ainsi un système de construction a pu se développer et se diffuser à partir de quelques centres privilégiés. Il est entendu que ces éléments ne sont pas les seules sources de l'architecture gothique, mais nous pensons que les difficultés techniques ont été trop souvent ignorées par l'histoire de l'art, alors que le carnet de Villard contient déjà les contraintes propres à chaque style.

Peut-être avons-nous « trahi » le secret des bâtisseurs de cathédrales : que les « anciens » veuillent bien nous pardonner ! Ces recettes de métier ont fait la gloire et la fierté des bâtisseurs anonymes, aussi soumettons-nous ce travail au regard critique des historiens. Qu'ils sachent que notre seule ambition est de servir le tailleur de pierre qui prendra ses outils pour continuer une œuvre toujours inachevée.

Nous tenons à remercier chaleureusement Michel Pénisson, de l'aide qu'il nous a apportée dans la mise en forme de ces articles.

(1) *De la stéréotomie médiévale : la coupe des pierres chez Villard de Honnecourt*, par Claude Lalbat, Gilbert Margueritte et Jean Martin, *Bulletin monumental*, 1987, tome 145-IV, p. 387 à 406.

(2) Philibert de l'Orme, *Traité d'Architecture*, introduction par J.-M. Pérouse de Montclos, éditions Léonce Laget, Paris, 1988.

(3) Nous ne pouvons, ici, reproduire ce texte *in extenso*. Il s'agit pourtant d'un texte capital puisqu'il accompagne et explique le premier sujet de stéréotomie abordé par Philibert de l'Orme. En voici le titre : *Des traits géométriques qui montrent comme il faut tailler et couper les pierres pour faire les portes et descentes de caves, et estages qui sont dedans les serres, comme cuisines, étuves, baigneries, et semblables où l'on ne peut aller à niveau, et y faut descendre*. C'est de ce texte que nous avons extrait l'exergue du présent article.

(4) Précisons que Philibert de l'Orme ajoute une difficulté en faisant pénétrer perpendiculairement sa descente de cave dans une voûte en berceau. Nous n'expliquerons pas ici cette combinaison : elle n'apporte rien dans la comparaison qui nous occupe.

(5) L'épure gravée originale comporte une légère imprécision sur la valeur de l'angle de douelle du voussoir M (panneau 1). En effet, l est confondu en OR alors qu'il devrait être légèrement inférieur à OR4 (voir fig. 2 c).

(6) Sa démarche pour obtenir la vraie grandeur des angles consiste à mettre les lits et les douelles des voussoirs dans des plans parallèles au plan frontal de projection (coupe) à partir d'une rotation effectuée avec les lignes de joints comme charnières.

(7) L'angle intérieur de l'équerre et l'angle extérieur sont des angles à 90°. Par contre, les deux angles droits n'ont pas la même orientation. Il est certain que cette équerre, en plus de son usage traditionnel, devait avoir une utilisation spécifique sur laquelle nous n'avons aujourd'hui aucune certitude.

(8) En complément de la note (5), remarquons que le nombre de tirets donné par Villard ne peut correspondre géométriquement qu'à une division de l'arc en cinq voussoirs. Cependant, la différence angulaire est si faible que cette imprécision ne joue pratiquement pas et l'on peut prendre l'angle 4'RO' comme valeur d'angle de lit pour la clef.

(9) Le croquis en haut à gauche du folio 32 donne l'appareillage d'un pilier. Le fût est appareillé en 6 pierres, identiques deux à deux. Sur deux pierres identiques on trouve le même repérage (trois tirets) qui permet de les positionner. Les autres ne sont pas marquées parce qu'elles peuvent s'intervertir deux à deux.

(10) Sur ce sujet, voir l'article d'Henri Deneux, *Signes lapidaires et épures du XIII^e siècle à la cathédrale de Reims*, *Bulletin monumental*, 1925.

(11) Girard Desargues, ami de Descartes, est surtout connu des mathématiciens pour ses travaux sur les coniques. *Le Brouillon project d'exemple d'une manière universelle du S. G. D. L. touchant la pratique du traict à preuves pour la coupe des pierres en l'Architecture*, Paris, 1640, s'il déclencha une polémique à l'époque, n'a pas eu tellement d'influence. Un chapitre sera consacré à ses travaux sur la coupe des pierres dans l'ouvrage que nous préparons en collaboration avec René Taton, Roger Laurent et Joël Sakarovitch, dans le cadre de l'Encyclopédie des Métiers.

(12) *De la stéréotomie médiévale, op. cit.*

(13) Nous n'expliquons pas ici cette possibilité, qui participe strictement du même raisonnement que pour la voûte en descente.

(14) Remarquons que si l'on taille la tête des voussoirs, la surface d'intrados du passage est développable ; si l'on taille la douelle des voussoirs, la surface du passage est gauche (non développable).

(15) Sur ce sujet, voir l'article de Cyrille Simonet : « Du mythe algébrique au modèle artisanal », dans *L'idée constructive en architecture*, Picard, 1987, dans lequel il cite Agricola Perpiquier : *Les plus belles cathédrales étaient debout quand Desargues, Monge, vinrent nous apprendre à nous, ouvriers, comment on doit s'y prendre pour tailler la pierre et le bois*. Agricola Perdiguer, dit *Avignonnais la Vertu*, Compagnon menuisier du Devoir de Liberté (1805-1875), s'indignait de l'audience accordée aux travaux de Monge et de Desargues, dont le manuscrit venait d'être découvert.

(16) Ibid., p. 69 : Il (Agricol Perdiguier) défend cette attitude d'acteur de la géométrie dont firent preuve des générations d'ouvriers du bâtiment. Par opposition au théorème, unité générative de la théorie, il invente en quelque sorte, le « practème », capacité géométrique ouvrière, génératrice de la pratique constructive. Ce concept nous a paru pouvoir s'appliquer aux croquis de Villard.

(17) *De la stéréotomie médiévale*, op. cit., p. 391.

(18) Roland Bechmann, *Villard de Honnecourt, architecte et ingénieur médiéval*, dans *Pour la Science*, août 1985, n° 94, p. 71.

(19) Roland Bechmann, op. cit., p. 70. Nous ne pouvons développer ici les liens qui unissent le croquis 40 a avec ses voisins (40 cd, 40 ef) et ceux qui apparaissent sous éclairage ultra-violet. Nous dirons simplement que les croquis 40 cd et 40 ef sont la progression logique de l'idée contenue dans le croquis 40 a. Par ailleurs, il existe un lien entre ce dessin et la pratique actuelle du tracé de chantier des plates-bandes. Enfin, le regroupement de plusieurs angles sur un même « mole », confirme une fois de plus l'attention portée, à cette époque, à la similitude des angles.

(20) Il faut noter que la règle a ses extrémités amincies dans le seul but de couper le fil du bois, afin d'éviter que le bois travaille et pour que la règle conserve sa rectitude initiale.

(21) Jacques Gentilhâtre, *Livre de démonstration des masongnerie*, manuscrit Bibl. nat., fonds français 14727, fol. 406 à 451.

(22) Robert Branner, *Three problems from the Villard de Honnecourt manuscript*, dans *Art Bulletin*, 1957, n° 39, p. 63. Nous sommes en contradiction avec Branner sur deux points principaux : il assimile ce procédé à un procédé de taille à la perche (taille des voussoirs, au fur et à mesure de l'avancement de la pose). Il met en opposition ses solutions du croquis avec les méthodes du XVI^e siècle. Sur ces deux points, nous démontrons précisément l'inverse.

(23) Il est nécessaire de définir maintenant le sens que nous donnons au mot « stéréotomie » : les archéologues parlent de stéréotomie dès que l'on taille une pierre en vue d'un assemblage précis (qu'il s'agisse d'un mur droit ou d'un dallage). Nous donnons, peut-être à tort, un sens beaucoup plus précis à ce terme. En effet, la stéréotomie pour les tailleurs de pierre fait appel à la notion de coupe des pierres, elle est la science nécessaire quand le plan, l'élévation et la coupe ne suffisent plus pour donner les angles de vraie grandeur des lits et des douelles. Dans le manuscrit de Villard, seuls les croquis 39 h, 39 i et 39 r répondent à cette définition et dans ce sens nous avons effectivement « fait le tour » de la question. Ceci dit, les autres croquis n'en sont pas moins passionnants.

(24) Jean-Marie Pérouse de Montclos, *L'architecture à la française*, p. 85. Nous voudrions souligner ici l'importance que nous accordons à ce livre, le premier sur le sujet, et que tout tailleur de pierre se doit de posséder. Cet ouvrage appelle l'homme de métier à reprendre possession de son travail dans le sens d'une véritable culture ouvrière.

(25) Nous avons pu relever, à Kfeir (Syrie du Nord, V^e siècle), une coupole sphérique extradossée (les mêmes voussoirs forment l'intrados et l'extrados de la coupole). Cette coupole est parfaitement appareillée. Il s'agit d'un sujet type de stéréotomie. Dans ce genre d'ouvrage, il est impossible de tailler les pierres au fur et à mesure. Elles ont été taillées avant la pose et le tailleur de pierre a dû tracer une épure sur laquelle il a tiré les vraies grandeurs nécessaires à l'exécution. Il aura fallu attendre onze siècles pour avoir la première représentation graphique de l'épure d'une coupole extradossée, et ce précisément dans l'ouvrage de Philibert de l'Orme.

(26) Citons un court extrait d'un texte inédit de Gaspard Monge, découvert par René Taton dans les archives du baron de Chaubry. Il s'agit d'un projet d'école pour les artistes et les ouvriers, élaboré en septembre 1793 : « Il existe un ordre de connaissances d'une nécessité indispensable pour les appareilleurs, les tailleurs de pierre, les charpentiers, les menuisiers, les entrepreneurs de tout genre (...) elles se transmettent ordinairement entre les Compagnons du Devoir dans ce qu'ils appellent leur Tour de France... ». Ce texte est à paraître dans la réédition des « cours » de l'École Normale de l'an III, tome 2, *Lagrange, Laplace, Monge*, sous la direction de J. Dhombres et R. Taton. Nous remercions M. Taton qui nous a autorisé à citer ce passage et Joël Sakarovitch à qui nous devons l'information. Le témoignage de Monge est important : il rejoint ce que nous avons écrit à propos de l'enseignement du trait.

(27) Jean-Marie Pérouse de Montclos, op. cit., p. 181-182. Nous pensons apporter quelques éléments de réponse aux questions posées par l'auteur sur ce sujet.

(28) Jean-Marie Pérouse de Montclos, op. cit., p. 108. Sur ce thème, voir les développements du paragraphe « nudité de l'intrados ».

(29) Voir sur ce sujet l'article de Roland Recht, *De l'architecture à sa représentation*, dans *L'architecture en représentation*, ouvrage publié par l'Inventaire général des monuments et des richesses artistiques de la France. Le palimpseste de Strasbourg, conservé au Musée de l'Œuvre Notre-Dame, sur lequel est dessiné le projet de la façade ouest de la cathédrale, est d'une précision remarquable. R. Recht oppose la finesse de ce dernier et la « maladresse » des croquis de Villard pour suggérer qu'il n'a peut-être jamais exercé les fonctions d'architecte... Quoi qu'il en soit, Villard possédait un savoir-faire qui recouvrirait beaucoup de fonctions contemporaines...

APPENDICE

Les images que nous présentons dans cet appendice ont été obtenues par l'ordinateur : elles modélisent la surface du biais passé que nous avons étudié dans notre article précédent (*Bulletin monumental*, tome 145-IV, 1987).

Un des intérêts de cette étude était de révéler l'opposition qui apparaît parfois entre la simplicité de la description mathématique et la réalisation pratique d'une surface. Dans le cas de Villard, nous décrivons la réalisation d'une surface dont l'expression mathématique est relativement complexe : elle n'est pas polynomiale et sa modélisation informatique ne peut aboutir qu'après un processus approximatif. Pour obtenir une approximation plus fine, il est nécessaire d'appuyer le calcul sur des données géométriques intermédiaires (famille de points, famille de génératrices, loi d'angles, etc.) dont la définition exacte est difficile. Ainsi notre étude montre comment, dans certains cas, le traitement numérique peut accroître cette surprenante contradiction entre réalisation pratique et définition théorique.

Ces trois représentations graphiques sur ordinateur permettent de visualiser la surface d'un intrados généré suivant le principe de Villard. Elles ont été réalisées avec le logiciel *Catia* par les ingénieurs de Dassault-Systèmes que nous remercions pour leur généreuse participation.

- 1 : Vue de face.
- 2 : Vue de dessus.
- 3 : Vue de côté.

