

PRÉSENTATION. La stéréotomie, l'art de tailler les pierres, est un lieu de rencontre par excellence de points de vue très différents. C'est une science élaborée sur le chantier, qui se transmet parmi les gens de chantier, d'une part. D'autre part, elle relève de la géométrie, de la statique et de la mécanique et elle est finalement dirigée par l'esthétique architecturale. S'y croisent donc le social, le scientifique et l'artistique. Peut-on rêver plus beau lieu d'étude pour l'historien des sciences? Joël Sakarovitch nous propose une analyse de ces différents points de vue. [Dhombres et Sakarovitch, 1994/12]

## La stéréotomie ou l'histoire de la construction en chantier

Joël Sakarovitch\*

D'un sens étymologique large désignant l'art de découper différents volumes en vue de leur assemblage, la signification du mot *stéréotomie* se restreint, en architecture, pour désigner plus spécifiquement l'art de la coupe des pierres dans la construction des voûtes, trompes, coupes, ou volées d'escaliers... Si l'on parle de la « stéréotomie du bois » à propos de l'assemblage des bois de charpente, dans les dictionnaires généralistes, on constate que ce sens disparaît en général des différents dictionnaires d'architecture. Ce glissement de sens n'est naturellement pas fortuit. Le *Vocabulaire de l'Architecture*<sup>1</sup>, définit la stéréotomie comme « l'art de tracer les formes à donner aux pierres (et aux briques) en vue de leur assemblage », reprenant ainsi la définition donnée dans le dictionnaire de d'Aviler de 1691, qui fait autorité au XVIII<sup>e</sup> siècle, et renvoyant à l'expression « art du trait ».

La stéréotomie, réduite à « l'art du trait », ne concernerait donc que l'art des tracés préparatoires à l'assemblage des pierres. En ce sens la stéréotomie ne serait pas en soi une technique de construction, mais une étape préparatoire de l'architecture clavée. Je préfère m'en tenir ici à une définition attribuée à Claude Perrault, fin connaisseur du sujet, selon laquelle la stéréotomie est « l'art de se servir de la pesanteur de la pierre contre elle-même et de la faire soutenir en l'air par le même poids qui la fait tomber »<sup>2</sup>. Plus large que « l'art du trait », cette définition implique de voir la stéréotomie comme une technique de construction à part entière, spécifique de la construction en pierre. D'autre part, la définition de Perrault, en la faisant commencer à l'arc clavé, donne à la stéréotomie une profondeur historique de vingt-trois ou vingt-quatre siècles, ce qui pour l'historien des techniques présente bien des avantages.

Fondamentalement, le problème posé par la construction d'une voûte ou d'un ouvrage clavé quelconque, est avant tout statique : l'objectif premier est de résoudre un problème de franchissement ou de couverture. Et

\* Université Paris Descartes et Ecole Nationale Supérieure d'Architecture - Paris Malaquais — joel.sakarovitch@math-info.univ.paris5.fr

<sup>1</sup> PÉROUSE DE MONTCLOS 1972.

<sup>2</sup> Cette définition est attribuée à Claude Perrault par PÉROUSE DE MONTCLOS 1982, p.85.

la définition de Perrault est bien posée en terme de mécanique des voûtes. Simultanément, dans cet art, la forme des voussoirs est essentielle; la géométrie sous-jacente est une géométrie au service de la statique de la voûte, une géométrie constructive au plein sens du terme. De cette imbrication fondamentale, intrinsèque, consubstantielle, naît une polymorphie de la stéréotomie, une multitude d'approches possibles, une variété de l'appréhender, de l'étudier, et donc d'en faire l'histoire.

Loin de moi l'idée de dresser dans cet article une sorte de panorama des recherches plus ou moins récentes sur le sujet<sup>3</sup>. Je voudrais seulement tenter de présenter les différentes voix d'accès suivies par les chercheurs, leurs rapports, les vues qu'elles offrent, les perspectives qu'elles découvrent. Croiser ces regards permet de montrer l'intérêt de la stéréotomie pour l'histoire de la construction; c'est également contribuer à définir la spécificité de l'histoire de la construction, un champ de recherche qui est actuellement en train de chercher à se constituer en tant que tel au sein de l'histoire des sciences et des techniques<sup>4</sup>.

On peut étudier la stéréotomie dans ses rapports avec l'histoire de l'architecture, avec la géométrie pratique du tailleur de pierre, avec la géométrie savante du mathématicien, avec les études de mécanique, avec l'histoire des métiers et de leur formation.

### Stéréotomie, architecture et construction

En tant que technique de construction, la stéréotomie est un élément générateur de formes architecturales. Une taxinomie des formes, de leurs évolutions dans le temps et dans l'espace, une comparaison des manières nationales, ont donné quelques-unes des plus belles études sur le sujet. L'usage de l'architecture clavée sur longue période historique ouvre un champ (voire un océan) de recherches possibles, depuis la naissance de l'arc clavé, sa diffusion dans l'Antiquité, le rôle charnière du Pergame de l'époque des Attale, la naissance de la stéréotomie savante dans la Syrie paléochrétienne, son développement en Europe avec le retour des Croisés, les comparaisons entre la stéréotomie romane et la stéréotomie

<sup>3</sup>Pour une bibliographie très complète sur le sujet, voir BECCHI et FOCE 2002.

<sup>4</sup>Si la communauté des chercheurs travaillant sur ces thèmes est bien structurée dans certains pays occidentaux, en particulier en Espagne, en Grande-Bretagne et en Italie, elle l'est moins bien ailleurs et la communauté internationale est en train de s'organiser. Le premier colloque international exclusivement consacré à ce thème s'est tenu à Madrid en janvier 2003 (SANTIAGO HUERTA (ed.) 2003), le second à Cambridge (DUNKELD et al. (ed.) 2006), le troisième est prévu à Cottbus (Allemagne) en 2009.

gothique qui ne répondent pas aux mêmes exigences, l'âge d'or puis de déclin de la stéréotomie<sup>5</sup>... Mi-historien de la construction mi-historien de l'architecture, le chercheur suit donc ces déplacements dans le temps et l'espace, avec toutes les difficultés liées en particulier à une datation précise de telle ou telle pièce clavée. Naturellement l'évolution des formes et voûtes réalisées est liée à l'évolution des techniques de taille: taille par ravalement, taille à la perche, taille par équarrissement, ou par panneaux; cette évolution des techniques étant elle-même liée à une évolution des tracés et méthodes géométriques utilisées. Quelle méthode à quelle époque, pour quel résultat, avec quels outils pratiques ou théoriques? Dans quelle mesure la stéréotomie est-elle capable d'intégrer et d'utiliser des méthodes développées par d'autres corporations du bâtiment<sup>6</sup>? Quelles sont les raisons qui provoquent perfectionnements et pertes des savoirs-faire? Ce sont quelques-unes des questions qui relèvent plus généralement de l'histoire de la construction.

A cheval entre l'histoire de l'architecture et l'histoire de la construction, tous les travaux que l'on pourrait classer dans les études de cas: études de bâtiments, de pièces clavées spécifiques ou d'architectes particuliers. Dans ce domaine, Philibert de l'Orme reste l'un des architectes sur lequel on a le plus écrit. Même si la stéréotomie n'est pas la seule raison, elle recueille néanmoins une part non négligeable de l'intérêt porté par la communauté historique pour l'architecte d'Henri II. Les nombreuses études sur la seule trompe du château d'Anet suffiraient à montrer la pluralité des approches possibles de l'architecture clavée<sup>7</sup>. Il est vrai que la destruction pendant la Révolution française de ce chef-d'œuvre stéréotomique a contribué à l'élever au rang de mythe architectural et cette trompe est maintenant à la stéréotomie ce que le pavillon de Barcelone de Mies van der Rohe est à l'architecture moderne.

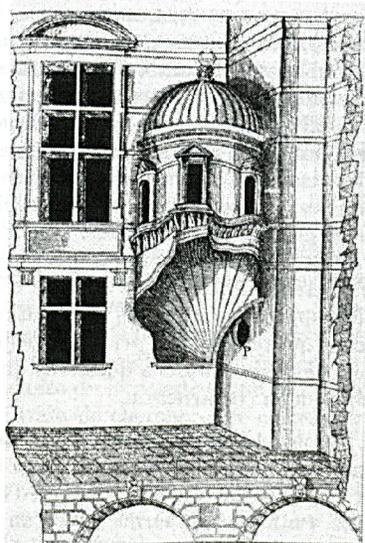
En comparaison d'autres techniques de construction plus récentes, comme le fer et le béton qui furent dans une certaine mesure internationales dès leur naissance, la stéréotomie reste longtemps fortement emprunte de caractères régionaux ou nationaux<sup>8</sup>. Les travaux de Pérouse

<sup>5</sup>Sur l'Antiquité voir ADAM 1984; WARD-PERKINS 1974. Sur la période romane, voir KUBACH 1972.

<sup>6</sup>Un très bel exemple d'une telle étude est donné par les récents travaux de Luc Tamborero, compagnon tailleur de pierre, qui a montré que les méthodes géométriques utilisées pour le tracé des voussoirs de la voûte de l'Hôtel de ville d'Arles avaient très vraisemblablement été empruntées aux charpentiers; TAMBORERO et SAKAROVITCH 2003, pp.1899-1907.

<sup>7</sup>Citons l'une des dernières en date, de TREVISAN 2000.

<sup>8</sup>Sur la stéréotomie espagnole, voir RABASA DÍAZ 2000 ou PALACIOS 1999.



La trompe du château d'Anet. Dessin de Philibert de l'Orme.

de Montclos offrent un remarquable répertoire des réalisations stéréotomiques, principalement en France. En présentant la stéréotomie comme la pierre de touche de l'architecture à la française, Pérouse de Montclos prouve en tout cas, s'il en était besoin, que l'on ne peut penser l'histoire de l'architecture indépendamment de l'histoire de la construction<sup>9</sup>.

Ces études sont globalement des panégyriques de la technique de construction étudiée. Pourtant dans son rapport avec l'histoire de la construction en générale, on ne peut passer sous silence les moments où l'architecte, trop sûr des possibilités ouvertes par la nouvelle technique, ou essentiellement concentré sur ses (immenses) possibilités, en vient à oublier ou négliger d'autres parties du bâtiment, saisi par ce que Jean-Louis Taupin appelle « l'ivresse de la stéréotomie »<sup>10</sup>.

<sup>9</sup>PÉROUSE DE MONTCLOS 1982.

<sup>10</sup>Les graves problèmes de fondation du château pentagonal Maulnes en Tonnerrois sont sans doute un exemple de cette ivresse qui saisit Philibert de l'Orme.

## Stéréotomie et géométrie

Plus spécifique de la stéréotomie est le fait d'être une technique, si l'on peut dire, « profondément géométrique ». Contrairement au charpentier qui réalise le squelette d'un volume, au chaudronnier qui en détermine la peau, le tailleur de pierre travaille directement la masse du matériau auquel n'importe quelle forme peut être donnée. C'est concrètement, matériellement un morceau d'espace à trois dimensions que le tailleur de pierre a devant lui. De ce fait interviennent en stéréotomie des surfaces variées (en général des surfaces réglées ou des surfaces de révolution) et des intersections de surfaces.

A cause de cette complexité, la stéréotomie présente des situations où le dessin préliminaire à la construction est indispensable. Cette situation n'est ni si fréquente ni si ancienne. L'histoire du dessin d'architecture montre que, jusqu'à la Renaissance au moins, on assiste plutôt, de la part des bâtisseurs, à une stratégie d'évitement du dessin préalable à la construction, car on ne dessine que quand on y est obligé. Plus que par l'architecte, c'est par le tailleur de pierre que la représentation en géométral elle-même fut littéralement « construite », lentement, grâce à des allers et retours entre différentes techniques de taille, longtemps utilisées concurremment, et qui ont peu à peu constitué un « sol d'expérience pré-géométrique »<sup>11</sup>, d'où sortiront les traités de coupe des pierres dans un premier temps, la géométrie descriptive ensuite<sup>12</sup>. De plus, pour être réalisée correctement, la stéréotomie, contrairement à la maçonnerie, nécessite de la précision dans l'exécution, précision qui elle aussi pousse à l'exécution de dessins préalables.

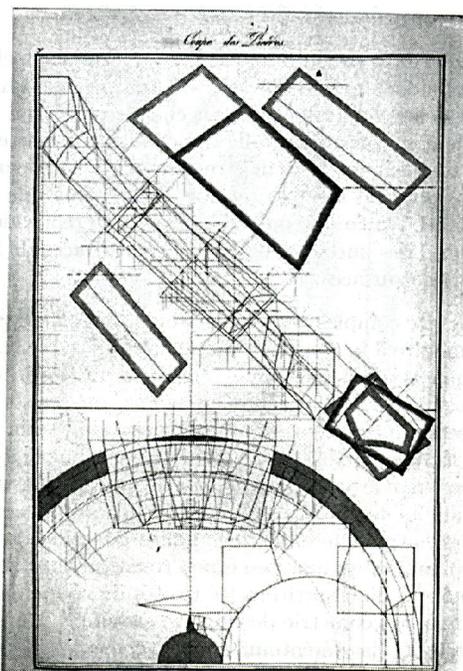
La stéréotomie est donc le lieu où naît le dessin de chantier dans toute sa plénitude car les dessins préparatoires se trouvent fondamentalement situés au cœur du passage du dessin en deux dimensions comme explicatif de la construction d'un objet tridimensionnel. Et les problèmes liés aux notions de projection et de changement de repère, impliquent des raisonnements géométriques beaucoup plus délicats que ceux qui ne relèvent que de la géométrie plane<sup>13</sup>.

Pour cette raison la stéréotomie est liée à la fois à la géométrie pratique des corporations du bâtiment et à la géométrie savante des mathématiciens.

<sup>11</sup>J'emprunte cette formule à Hubert Damisch, qui l'utilisait à propos de L'origine de la perspective (DAMISCH 1987, p.86).

<sup>12</sup>J'ai développé ce point dans SAKAROVITCH 1998.

<sup>13</sup>Voir EVANS 1995 ou MIGLIARI 2000.



Epure gravée d'un escalier en vis de Saint Gilles, de l'Ecole polytechnique, an III.

### Stérotomie, géométrie pratique et traités de coupe des pierres

L'élaboration d'une géométrie pratique au cœur du passage entre géométrie plane et géométrie dans l'espace va s'avérer suffisamment complexe pour alimenter le « secret » de la corporation des tailleurs de pierres pendant des siècles et différer la formulation de la théorie géométrique sous-jacente jusqu'à une date relativement récente eu égard à l'avancement des autres branches des mathématiques. Comprendre comment se trouve résolue cette étape est donc un des objets de nombre de travaux qui touche à la stéréotomie et en particulier à la stéréotomie médiévale<sup>14</sup>. Les statuts des tailleurs de pierre, promulgués à Ratisbonne en 1459,

<sup>14</sup>Cf. SHELBY 1972 ou RECHT 1989 et en particulier l'article de MÜLLER 1989, pp.237-254.

interdisant de divulguer hors de la corporation les « us et pratiques du métier » dont faisait certainement partie la façon de tirer l'élévation du plan, participent pour cette raison de l'histoire de la stéréotomie médiévale. Ce savoir géométrique, entouré d'un halo de mystère, participe du « secret des bâtisseurs de cathédrales », qui, comme le secret des pyramides ou celui du « béton romain », stimule la curiosité du chercheur, et celle du lecteur potentiel. Il ne semble pas exclu d'ailleurs que, en partie pour cette raison, le soit disant secret autour de ces questions n'ait pas été quelque peu exagéré dans de nombreux commentaires.

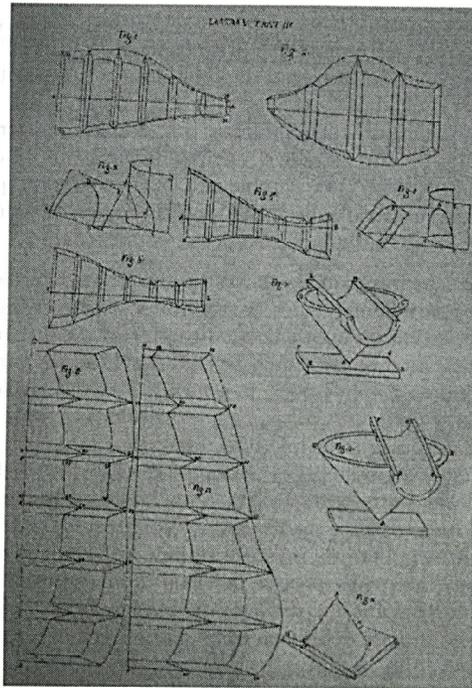
Il est en tout cas frappant de constater que le « mystère » qui entoure les épures des appareilleurs et des charpentiers se retrouve également au moment de la création de la géométrie descriptive. Selon Dupin, lorsque Monge enseignait au Louvre, dans les années 1780, il aurait déclaré : « Tout ce que je fais par le calcul, je pourrais l'exécuter avec la règle et le compas, mais il ne m'est pas permis de révéler ces secrets »<sup>15</sup>. Théodore Olivier relate également une anecdote selon laquelle un officier du Génie s'étant fait voler ses épures correspondant au cours de Monge, les officiers d'artillerie, auteurs du larcin, échouèrent dans leur tentative de « déchiffrer les hiéroglyphes de l'école de Mézières »<sup>16</sup>. Le fait que l'on retrouve cette atmosphère de mystère rodant au moment de la création de la géométrie descriptive prouve la vraie difficulté qu'il y a à lire et à comprendre ces dessins du passage du plan à l'espace. Il s'agit bien d'un langage – et Monge définit en ces termes la géométrie descriptive – qui nécessite un minimum d'apprentissage. La référence aux hiéroglyphes n'est pas fortuite, mais n'est pas Champollion qui veut.

Cette relation entre stéréotomie et géométrie pratique explique également le grand nombre de traités de coupe des pierres, édités ou restés sous forme de manuscrits, depuis ceux de Roriczer et Schmuttermayer, du milieu du XV<sup>e</sup> siècle, jusqu'aux ouvrages du XIX<sup>e</sup> siècle, en passant bien évidemment par celui de Philibert de l'Orme de 1567. Si bien qu'au même titre que l'étude des pièces clavées architecturales, l'analyse des traités, leur réédition commentée, ou l'édition de manuscrits représentent l'une des voies d'étude les plus riches de la stéréotomie<sup>17</sup>. Là encore l'approche

<sup>15</sup>DUPIN 1819, pp.20-21.

<sup>16</sup>OLIVIER 1843, p.VII. Pourtant Charles Tinseau a déjà présenté à l'Académie en 1771 un mémoire, publié en 1780, où il utilise explicitement une épure de géométrie descriptive.

<sup>17</sup>Voir par exemple, la réédition de Philibert de l'Orme par Perouse de Montclos, de Vandelvira par Barbé-Coquelin, de Martinez de Aranda dans la biblioteca CEHOPU, les travaux de MÜLLER 1970, pp.531-556, l'ouvrage de BONET CORREA 1993 ou l'article de CALVO LOPEZ et RABASA DIAZ 2002, pp.529-549.



Guarino Guarini, *Architettura civile*, Turin, 1737.

peut être de type architectural, à travers une comparaison du corpus présenté dans chaque traité. Elle peut être géométrique, par l'étude des méthodes graphiques présentées et l'analyse de cette géométrie pratique qui apporte (éventuellement) des solutions sans résoudre fondamentalement les problèmes.

Enfin il faut mentionner que, dans le désert quasi complet des sources concernant le dessin technique durant toute la période architecturale correspondant au Roman et au Gothique, le Carnet de Villard de Honnecourt apparaît comme un oasis d'une incroyable richesse. Les deux dessins de ce Carnet se rapportant à la stéréotomie constituent des pierres précieuses pour apprécier l'évolution des méthodes graphiques consacrées à la taille

des pierres<sup>18</sup>.

Fondamentalement liés au problème du passage d'une géométrie à trois dimensions à une géométrie à deux dimensions, les traités de stéréotomie offrent aussi l'un des exemples les plus riches de l'évolution des modes de représentation de l'espace. Si bien que les tracés de coupe des pierres sont aussi l'un des moteurs de l'évolution des techniques de représentation de l'espace.

### Stéréotomie et géométrie savante

Si la stéréotomie fournit, avec la charpenterie, l'un des exemples les plus riches de mise en œuvre d'une géométrie pratique, elle se trouve également à l'origine d'une branche de la géométrie savante : la géométrie descriptive. Pour résumer la situation, on peut dire que la stéréotomie est à la géométrie descriptive ce que la perspective est à la géométrie projective.

Le parallélisme des évolutions est d'ailleurs frappant : une pratique qui se développe durant le Gothique, dans les ateliers de peintres ou sur les chantiers de taille des pierres, les premiers traités qui sont édités pendant la Renaissance, et une théorisation qui est explicitée à la fin du XVIII<sup>e</sup> siècle et au début du XIX<sup>e</sup> par les mathématiciens de « l'École de Monge ». Dans une lettre adressée au ministre de la guerre le directeur de l'École du Génie de Mézières écrit que Monge « démontre la théorie de la coupe des pierres »<sup>19</sup>, expression qui exprime bien où se trouve la matrice de la théorie mongienne. De nombreuses recherches, passées et actuelles, étudient les liens à la fois profonds, anciens et complexes entre stéréotomie et géométrie descriptive<sup>20</sup>. Notons le rôle spécifique de la taille dite par « équarrissement » dans la constitution d'une pensée géométrique propre à engendrer la géométrie descriptive. La taille par équarrissement, qui n'a pas son équivalent en charpenterie, présente l'avantage sur la méthode dite « par panneaux » de fournir un procédé algorithmique de découverte des formes qui explique que cette méthode, plus longue et plus coûteuse, n'ait jamais été totalement abandonnée dans la pratique. Autant que les techniques graphiques mises en œuvre dans la taille par panneaux, la géométrie descriptive théorise cette procédure algorithmique, et la définition des surfaces qui lui est associée.

<sup>18</sup> LALBAT, MARGUERITTE, MARTIN, t. 145, IV, 1987, pp.387-406 et t. 147, 1989, pp.11-34 ou BECHMANN 1991.

<sup>19</sup> In TATON 1986, p.595.

<sup>20</sup> LORIA 1921 ; SAKAROVITCH 1998.

Montrer que parmi toutes les techniques peu ou prou théorisées par la géométrie descriptive, c'est bien de la plus lourde qu'elle naît, de la stéréotomie, et la voilà « plombée » inexorablement. « Que Descartes intervienne, puis Monge et tant d'autres, ils travaillent encore et encore du côté de l'application en même temps que de la représentation, en perpétuant l'habileté des ingénieurs, font survivre donc l'archaïsme des pré-mathématiques et bloquent la naissance de ladite science dans toute sa pureté. Or celle-ci émerge lorsque meurt cette habileté : il n'y a guère »<sup>21</sup>. Et Michel Serres fait de Monge le dernier « harpédonapte ». Pourtant quel historien des sciences décrivant les origines de la géométrie moderne refuserait, à la suite de Chasles, de voir en Monge le professeur de Poncelet, et dans les *Leçons de géométrie descriptive*, le point de départ du renouveau des études géométriques au XIX<sup>e</sup> siècle et du profond bouleversement des mathématiques qui s'en suivit. Ainsi, quoiqu'en dise Michel Serres, la géométrie « dans toute sa pureté » – c'est-à-dire dégagée d'une métrique euclidienne – prend son essor dans un cours de dessin graphique pour ingénieurs et l'on peut dire que la science dans toute sa pureté naît de cette habileté.

Le mathématicien allemand Félix Klein qui déclarait « avoir grandi... grâce à [son] professeur Plücker, dans la tradition de Monge », considérerait, comme l'un des apports majeurs de cette tradition, « l'application de l'intuition géométrique à l'analyse »<sup>22</sup>. Dans *Le Programme d'Erlangen*, que l'on peut considérer comme l'acte fondateur des mathématiques modernes, Félix Klein se réfère explicitement à cette tradition. Je ne veux pas dire par là que les mathématiques modernes sortent directement de la vis de Saint Gilles, mais que la géométrie descriptive, qui appartient à la fois à l'histoire des techniques par ses origines et à l'histoire des mathématiques par son devenir, établit une sorte de pont entre la coupe des pierres et l'histoire des sciences et confère par là-même une position tout à fait originale à la stéréotomie.

## Stéréotomie et mécanique des voûtes

Pour Vitruve c'est la géométrie, et non la statique qui donne les règles les plus simples pour construire les arcs. Et jusqu'à Galilée, « c'est la géométrie – et non la mécanique – qui apparaît comme la vraie gardienne de la stabilité... »<sup>23</sup>. La « firmitas » appartient ainsi principalement au do-

<sup>21</sup> Michel Serres emploie cette expression à propos de la naissance de la géométrie euclidienne dans SERRES 1993, p.209.

<sup>22</sup> Cité dans TATON 1988, p.240.

<sup>23</sup> BENVENUTO 1997, p.409.

maine de la géométrie. La nouvelle ligne de pensée galiléenne ne s'impose que lentement et encore chez Guarini, Blondel ou de Fontana, pour ne citer que quelques noms, on note une absence totale d'information sur la statique et la résistance des matériaux. Avant le XVIII<sup>e</sup> siècle, les bâtisseurs ne disposent, pour dimensionner les constructions, que de « règles » extrêmement simples, purement géométriques et (au mieux) empiriques. Les plus connues sont la règle « de Léonard »<sup>24</sup>, qui assure que l'arche ne rompt pas si la corde de l'arc extérieur ne touche pas l'arc intérieur, et la « règle de Derand », qui donne un dimensionnement des piédroits d'une voûte, dimensionnement d'ailleurs indépendant de leur hauteur. Malgré cette aberration constructive, et comme celle de Léonard, la règle de Derand est encore prônée durant tout le XVII<sup>e</sup> et encore largement au XVIII<sup>e</sup> siècle.

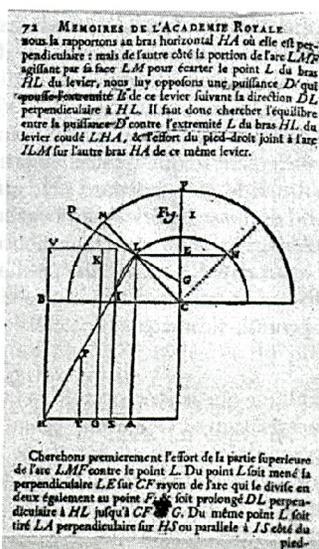
Cet état d'esprit explique que la stéréotomie va être investie en quelque sorte d'une « sur-géométrisation ». Car à une situation qui nécessite objectivement un savoir géométrique poussé, comme je l'ai rappelé ci-dessus, se superpose une vision géométrique des problèmes statiques. C'est ce qui explique que les traités de stéréotomie se présentent essentiellement comme des ouvrages de géométrie pratique.

Vers la fin du XVII<sup>e</sup> siècle le problème des voûtes, et tout d'abord des arcs clavés (ou maçonnés) est abordé par le monde savant européen d'un point de vue mécanique. Suivant cette évolution, de multiples travaux vont étudier la lente évolution des mentalités sur le sujet, le basculement difficile d'une pensée géométrique sur une pensée mécanique ; ou, pour reprendre une belle expression d'Edoardo Benvenuto, étudier comment les voûtes, pour lesquelles on n'avait alors que des solutions, vont devenir un problème<sup>25</sup>.

Quelle forme donner aux arcs ? Quelle largeur, quelle épaisseur, quelle hauteur donner aux piédroits d'une voûte ? Un des premiers moments de cette approche mécanique du problème, le mémoire de Philippe de La Hire et l'application de la théorie du levier à la mécanique des voûtes est l'un des plus étudiés. L'analyse de la statique des arcs et des voûtes va surtout donner l'un des premiers exemples d'application pratique du calcul infinitésimal. La démonstration de la propriété de la chaînette par David Gregory ou Jacob Bernoulli, le mémoire de Coulomb et la méthode des maximis et des minimis, la prise en compte de la résistance

<sup>24</sup> Il faut néanmoins noter que Léonard de Vinci est par ailleurs l'un des premiers à proposer une interprétation mécanique de la stabilité des voûtes.

<sup>25</sup> Voir en particulier HEYMAN 1966, pp.249-279.



Philippe de La Hire « Sur la construction des voûtes dans les édifices », 1712.

des matériaux, des frottements à la fin du XVIII<sup>e</sup> siècle, de la théorie de l'élasticité au XIX<sup>e</sup> siècle, constitue un pan entier de l'histoire de la construction, de l'évolution de la pensée mécanique en relation avec le reste des connaissances<sup>26</sup>.

La succession des traités et mémoires sur le sujet permet d'étudier le jeu de va et vient entre une idéalisation nécessaire pour rendre la mathématisation possible et la prise en compte des phénomènes dans toute leur complexité.

Comment passe-t-on par exemple d'une voûte infiniment mince à une voûte épaisse et pesante ? Comme ces travaux appartiennent aux mathématiques appliquées – aux « mathématiques mixtes » pour reprendre l'expression française du XVIII<sup>e</sup> siècle – se pose le problème à la fois de leur diffusion dans le monde savant et de leur réception dans le monde du bâtiment. Généralement hostile, sarcastique ou ironique ce dernier laisse

<sup>26</sup> Cf. par exemple les travaux de HEYMAN et en particulier 1972 ; BENVENUTO 1991 ou RADELET-DE GRAVE et BENVENUTO (eds) 1995.

également percer une certaine admiration. Le sujet est ainsi un point d'observation idéal pour faire apparaître les querelles et les débats qui tout au long du XVIII<sup>e</sup> siècle et de la première moitié du XIX<sup>e</sup> siècle opposent en Europe partisans de l'expérience et partisans de la théorie. L'aphorisme d'un Tredgold selon qui « the stability of a building is inversely proportional to the science of the builder »<sup>27</sup>, ou le mémoire de Charles-François Viel, intitulé *De l'impuissance des mathématiques pour assurer la solidité des batimens*<sup>28</sup>, montrent assez la façon dont furent reçus les premiers essais mathématisés de statique.

Au moment où la théorie concernant la mécanique des voûtes progresse, la stéréotomie elle disparaît presque complètement de la construction architecturale, principalement à cause de l'arrivée des nouveaux matériaux, le fer et le béton. Mais la mise en place des réseaux de chemin de fer en Europe va occasionner la construction d'ouvrages d'art relativement spécifiques « les ponts biais », ponts dont le tablier n'est pas perpendiculaire à la voie franchie. Soumis aux surcharges et aux ébranlements produits par le passage des trains, tout en présentant une obliquité qui, dans certains cas, peut être importante<sup>29</sup>, la construction en pierre de tels ponts pose de délicats problèmes d'appareillage, pour réduire la poussée au vide. Les ponts biais en pierre donneront lieu à une importante littérature, d'autant plus intéressante que ces ouvrages d'art nécessitent une maîtrise à la fois géométrique et statique du problème et que la question qui se pose presque simultanément dans toute l'Europe, permet également de comparer les « manières nationales »<sup>30</sup>.

La position stratégique, entre géométrie et mécanique, que la stéréotomie occupe explique d'une part qu'elle devienne un enjeu de pouvoir – et donc de conflit – entre les différentes corporations du bâtiment, d'autre part qu'elle a eu (et a peut-être encore) un rôle particulier dans la formation des métiers du bâtiment.

## La stéréotomie, lieu des conflits sociaux

Lieu privilégié du débat théorie / pratique, la stéréotomie est, du Moyen-Age au XIX<sup>e</sup>, l'enjeu principal des rivalités entre maîtres-maçons architectes et ingénieurs. Et ce même si les termes du débat théorie / pratique évoluent considérablement durant cette longue période.

<sup>27</sup> TREDGOLD 1822.

<sup>28</sup> VIEL 1805.

<sup>29</sup> L'obliquité est d'autant plus grande que l'angle entre les deux voies est faible.

<sup>30</sup> Voir en particulier BECCHI et FOCE 2002.

C'est pour que l'architecte puisse « conduire et dresser les maîtres maçons et ouvriers et non estre dresser et conduit par eux »<sup>31</sup>, que Philibert de l'Orme insère dans un traité d'architecture le premier traité de stéréotomie. La querelle Desargues-Curabelle qui oppose, dans les années 1640, l'un des appareilleurs les plus célèbres de son époque avec le meilleur géomètre de son temps est également symptomatique de ces tensions. Le fond de la querelle entre Desargues et Curabelle porte sur la manière dont on peut s'assurer de la légitimité du tracé d'une épure. Pour Curabelle c'est un critère de faisabilité, alors que pour Desargues seule compte la justesse des raisonnements géométriques. Or à travers cette opposition, c'est tout le statut du dessin de chantier qui est en cause. Si l'on admet avec Curabelle que l'épure ne vaut et ne se valide que par sa réalisation, le maître maçon reste la clef de voûte du chantier. Si au contraire, un dessin peut, comme le prétend Desargues, trouver sa propre légitimité en lui-même, si l'on peut se convaincre de son exactitude par des considérations purement théoriques et indépendamment de toute concrétisation, si ce sont des raisonnements géométriques qui permettent de trouver les tracés optimaux, et non plus le fruit de l'expérience, alors le statut même de l'épure s'en trouve modifié, et par conséquent celui de son auteur et de son exécutant. Desargues exprime, comme de l'Orme, l'enjeu de ces conflits : « non plus que les Médecins ... ne vont ni à l'Ecole ni à la leçon des Apothicaires ... aussi les Géomètres ... ne vont ni à l'Ecole ni à la leçon des Maçons, mais au contraire, les Maçons ... vont à l'Ecole et à la leçon des Géomètres, en quoi de même, les Géomètres sont maîtres et les Maçons disciples »<sup>32</sup>. Ce qui ressort des textes polémiques de Desargues c'est l'affirmation du primat du théorique sur le pratique.

A ce courant qui avec l'émergence du corps des architectes puis des ingénieurs, vise à une spécialisation des tâches toujours plus prononcée, s'oppose, dès la Renaissance, la volonté de la corporation des tailleurs de pierre de garder la maîtrise pleine et entière de l'ensemble de la production des pièces clavées savantes. C'est donc à travers l'histoire de la stéréotomie, l'histoire de la constitution des différents corps d'état du bâtiment et du partage de territoire entre eux qui s'écrit<sup>33</sup>.

Mais on peut également, avoir une lecture différenciée de cette histoire et chercher à comprendre comment les acteurs se réapproprient leur propre histoire. C'est alors de l'histoire de l'histoire des techniques dont il s'agit. Car il y a un rôle social de l'histoire des techniques et dans

<sup>31</sup>L'ORME 1561, rééd., L. Laget, 1988, p.38.

<sup>32</sup>DESARGUES 1648.

<sup>33</sup>Sur ce sujet voir POTIÉ 1996.

la conquête d'une hégémonie professionnelle, on peut trouver un moyen d'argumenter une division sociale du travail et d'en légitimer les fondements. A une lecture de la tradition des métiers vu comme productrice d'un comportement routinier que précisément l'usage d'une théorie géométrique ou statique est susceptible de briser (vision qui est celle de Desargues, Frézier ou des ingénieurs du XIX<sup>e</sup> siècle) s'oppose une vision de la corporation des tailleurs de pierre pour laquelle la tradition n'est pas une barrière contre le changement, ni l'observance stupide de règles figées, mais la conscience que le groupe possède de son caractère structuré<sup>34</sup>.

### Stéréotomie didactique, stéréotomie théorique

Une dernière conséquence, fondamentale pour son évolution au XIX<sup>e</sup> siècle, des liens étroits et spécifiques qu'entretiennent stéréotomie et géométrie, est la transformation de la stéréotomie en une discipline scolaire. Il n'est naturellement pas fortuit que ce glissement se produise au moment de la création de l'Ecole du Génie de Mézières, une des premières écoles d'ingénieurs en Europe. L'enseignement de stéréotomie dans cette école, et dès sa fondation en 1748 (donc avant l'arrivée de Monge), dépasse en effet le strict aspect utilitaire d'une technique de construction déjà sur son déclin. L'objectif essentiel de ce cours est une formation à la géométrie et à la vision dans l'espace. Les fondateurs de l'Ecole du Génie de Mézières formule cette idée explicitement : « ces arts ouvrent des connaissances si exactes et si précises sur le dessin des plans et des profils et sur la manière d'exprimer le relief qu'il doit représenter, qu'on peut les regarder comme les *Eléments* (d'Euclide) »<sup>35</sup>.

Cette situation ouvre donc un autre champ d'étude : la stéréotomie en tant que discipline scolaire, son rôle dans la formation des ingénieurs, en Europe du milieu du XVIII<sup>e</sup> siècle à la fin du XIX<sup>e</sup> siècle, l'évolution de son enseignement... L'histoire des institutions scolaires passant par l'histoire des disciplines qui y sont enseignées, l'enseignement de la stéréotomie devient un des repères possibles pour comparer les établissements entre eux. Enfin et toujours pour les mêmes raisons, la stéréotomie fera également partie de la formation réservée aux ouvriers et artisans, là aussi beaucoup plus largement que son strict aspect pratique ne pourrait le laisser supposer. Et ce jusqu'à aujourd'hui, si l'on considère la place démesurée de la stéréotomie dans la formation des Compagnons en France.

<sup>34</sup>Voir ASSEGOND nov. 2002.

<sup>35</sup>Cité in BELHOSTE juil. 1990, p.111.

Le fait que Monge, au moment de la transformation d'une école d'ingénieurs de l'Ancien Régime en une école d'ingénieurs de la République, cherche à transférer sur la géométrie descriptive la fonction didactique alors supportée par la stéréotomie, offre une autre lecture des relations entre ces deux disciplines.

A la différence – fondamentale – de la géométrie projective, qui rompt de façon décisive avec les techniques graphiques dont elle est issue, la géométrie descriptive leur reste liée, corps et âme. Poncelet ne propose pas un nouvel art pictural, ne donne pas de conseil aux peintres, n'a aucune prétention artistique. Monge lui développe dans ses cours à l'École polytechnique, une théorie de l'appareillage selon les lignes de courbure. Extrêmement élégante d'un point de vue géométrique, cette théorie est censée répondre à une question relativement simple : quelle est la bonne généralisation à une surface d'intrados quelconque du cas de la voûte hémisphérique ou cylindrique ? Mais force est de reconnaître que la théorie de l'appareillage selon les lignes de courbure est en fait pour Monge une façon d'enseigner la notion de lignes de courbure – et de surfaces normales – et non d'enseigner la stéréotomie. Quoiqu'il en soit Monge achève à l'École polytechnique ce qu'avaient entamé les fondateurs de l'École de Mézières, avec la constitution de ce que l'on pourrait appeler « la stéréotomie théorique », coupée de sa fonction première de technique de construction, et à l'opposé de la stéréotomie de chantier<sup>36</sup>.

\*

\* \*

C'est cette diversité d'approche qui me semble faire à la fois la spécificité et l'intérêt de la stéréotomie comme objet d'étude en histoire de la construction. Successivement investies par l'historien de l'architecture, l'historien des sciences et des techniques, l'historien des métiers et l'historien de l'éducation, les études ayant pour objet la stéréotomie ont bénéficié du développement de chacun de ces regards spécifiques. Mais la vraie richesse de la stéréotomie vient de sa complexité intrinsèque et des interactions constantes des différentes catégorisations précédentes. Aussi l'objet premier des études d'histoire de la construction aujourd'hui consiste plutôt à décrypter des histoires spécifiques qui interfèrent à tout moment, et à recoller les morceaux d'une histoire plurielle qu'à rentrer dans tel ou tel tiroir repéré précédemment.

<sup>36</sup> Cette stéréotomie de chantier est très bien décrite dans RABASA DÍAZ 2000.

## Bibliographie

- ADAM (J.-P.), *La construction romaine, matériaux et techniques*, Paris, Picard, 1984.
- ASSEGOND (C.), *Socialisation du savoir, socialisation du regard. Les usages sociaux du savoir géométriques et de la stéréotomie chez les compagnons tailleurs de pierre*, Thèse de l'Université de Tours (France), nov. 2002.
- BECCHI (A.) et FOCE (F.), *Degli archi e delle volte. Arte del costruire tra meccanica e stereotomia*, Marsilio, Venezia, 2002.
- BECHMANN (R.), *Villard de Honnecourt. La pensée technique au XIIIe siècle et sa communication*, Paris, Picard, 1991.
- BELHOSTE (B.), « Du dessin d'ingénieur à la géométrie descriptive », *In extenso*, n° 13, juil. 1990, pp.105-135.
- BENVENUTO (E.), *An introduction to the History of Structural Mechanics*, New-York, Springer-Verlag, 1991.
- , « Résistance des matériaux (histoire de la) », in *L'art de l'ingénieur*, sous la dir. de A. Picon, Paris, Le Moniteur, 1997, p.409-415.
- BONET CORREA (A.), *Figuras, modelos e imagenes en los tratadistas españoles*, Madrid, Alianza, 1993.
- CALVO LOPEZ (J.) et RABASA DIAZ (E.), « La coupe des pierres dans l'Espagne du XVIe siècle : le manuscrit de Gines Martinez de Aranda », in Becchi A., Corradi M., Foce F., Pedemonte O (eds), *Towards a history of construction. Dedicated to Edoardo Benvenuto*, Basel, Birkhäuser, 2002, pp.529-549.
- DAMISCH (H.), *L'origine de la perspective*, Paris, Flammarion, 1987.
- DESARGUES (G.), « Reconnaissance de Monsieur Desargues », dans Bosse, A., *Manière universelle de M. Desargues pour pratiquer la perspective par petit-pied, comme le géométral*, Paris, Pierre Deshayes, 1648.
- DUNKELD (M.) et al. (ed.), *Proceedings of the Second International Congress on Construction History*, Cambridge (G.B.), Construction History Society, 2006.
- DUPIN (Ch.), *Eloge historique sur les services et les travaux scientifiques de Gaspard Monge*, Paris, Bachelier, 1819.
- EVANS (R.), *The projective cast; architecture and its three geometries*, Cambridge (Mass), MIT Press, 1995.

- HEYMAN (J.), « The stone skeleton », *International Journal of Solids and Structures* 2, 1966, pp.249-279.
- , *Coulomb's memoir on statics. An essay in the history of civil engineering*, Cambridge University Press, 1972.
- HUERTA (S.) (ed.), *Proceedings of the First International Congress on Construction History*, Madrid, Instituto Juan de Herrera, 2003.
- KUBACH (H.E.), *Architettura romane*, Milano, Electa, 1972.
- L'ORME, (Ph. de), *Nouvelles inventions pour bien bâtir à petits frais*, Paris, F. Morel, 1561, rééd., L. Laget, Paris, 1988.
- LALBAT (C.), MARGUERITTE (G.) et MARTIN (J.), « De la stéréotomie médiévale : la coupe des pierres chez Villard de Honnecourt », *Bulletin Monumental*, t. 145, IV, 1987, pp.387-406 et t. 147, 1989, pp.11-34.
- LORIA (G.), *Storia della geometria descrittiva delle origini, sino ai giorni nostri*, Milan, U. Hoepli, 1921.
- MIGLIARI (R.) (ed.), *Il designo e la pietra*, Roma, Gangemi, 2000.
- MÜLLER (W.), « Le dessin technique à l'époque gothique », in *Les bâtisseurs de cathédrales gothiques*, éd. R. Recht, Catalogue de l'exposition de Strasbourg, Strasbourg, 1989, pp.237-254.
- , « Guarini e la Stereotomia », in *Guarini e l'Internazionalità del Barocco — Atti del convegno internazionale promosso dall'Accademia delle scienze di Torino, 30 settembre-5 ottobre 1968*, Turin, Accademia delle scienze, 1970, t. 1, pp.531-556.
- OLIVIER (Th.), *Traité de géométrie descriptive, théorique et appliquée*, Paris, Bachelier, 1843.
- PALACIOS (J.C.), *La estereotomía en las construcciones abovedadas*, Madrid, Instituto Juan de Herrera, 1999.
- PÉROUSE DE MONTCLOS (J.-M.) éd., *Vocabulaire de l'Architecture*, Ministère des Affaires culturelles, Paris, Imprimerie Nationale, 1972.
- , *L'architecture à la Française, XVIe, XVIIe, XVIIIe siècles*, Paris, Picard, 1982.
- POTIÉ (P.), *Philibert de l'Orme, figures de la pensée constructive*, Marseille, Parenthèses, 1996.
- RABASA DÍAZ (E.), *Forma y construcción en piedra. De la cantería medieval a la estereotomía del siglo XIX*, Madrid, Akal, 2000.
- RADELET-DE GRAVE (P.) et BENVENUTO (E.) (eds), *Entre Mécanique et Architecture/Between Mechanics and Architecture*, Basel, Birkhäuser, 1995.

- RECHT (R.) (ed.), *Les bâtisseurs des cathédrales gothiques*, Catalogue de l'exposition de Strasbourg, Strasbourg, Edition des Musées de la ville de Strasbourg, 1989.
- SAKAROVITCH (J.), *Epures d'architecture, de la coupe des pierres à la géométrie descriptive, XVIe-XIXe siècles*, Basel, Birkhäuser, 1998.
- SERRES (M.), *Les origines de la géométrie*, Paris, Flammarion, 1993.
- SHELBY (L.R.), « The Geometric Knowledge of the Medieval Master Masons », *Speculum* 47, 1972, pp.395-421.
- TAMBORERO (L.) et SAKAROVITCH (J.), « The vault of Arles City Hall : a carpentry outline for a stone vault ? », in *Proceedings of the First International Congress on Construction History*, Madrid, Instituto Juan de Herrera, 2003, pp.1899-1907.
- TATON (R.), *L'Œuvre mathématique de G. Desargues*, Paris, Vrin, 1988 (2e éd.).
- , « L'école royale du génie de Mézières » in *Enseignement et diffusion des sciences en France au XVIIIe siècle*, Paris, Hermann, 1964, rééd. 1986, pp.559-613.
- TREGOLD (T.), *Practical Essay on the Strength of Cast Iron and other Metals*, London, Taylor, 1822.
- TREVISAN (C.), « Sulla stereotomia, il CAD e le varie trompe d'Anet », in Migliari, R. ed., *Il designo e la pietra*, Roma, Gangemi, 2000, pp.27-53.
- VIEL (C-F.), *De l'impuissance des mathématiques pour assurer la solidité des batimens*, Paris, Tilliard, 1805.