



La représentation dans la conservation du patrimoine architectural :

La chapelle des Mathérons, Eglise de la Madeleine, Aix en Provence

La représentation dans la conservation du patrimoine architectural :

La chapelle des Mathérons, Eglise de la Madeleine, Aix en Provence

Mémoire de Master S9 : 2020-2021
ENSA Marseille
Séminaire : Patrimoine et Humanité Numérique
Enseignants encadrants : FASSE-CALVET Isabelle et GROS Antoine
Etudiante : Chloé LEYDER

SOMMAIRE

Résumé	7
Remerciement	9
Introduction	11
Un patrimoine dessiné à la main	15
L'outil informatique comme parallèle à une construction	33
Les opérations : Qu'en est il d'une construction qui doit être conservée ?	39
Conclusion	53
Bibliographie	56
Glossaire	58

Mots clés : Relevé, composition, géométrie, structure, dessins, épure, numérique, pierre

Cet écrit découle d'une recherche réalisée au sein du séminaire Patrimoine Architectural et Humanités Numériques, encadré par Mme I. Fasse-Calvet et M A. Gros.

Les questions de représentation sont constamment remises en cause avec l'évolution des techniques et des sciences. Dans le cas de la conservation du Patrimoine, il faut prendre en compte ces techniques de l'objet étudié. En effet, on retrouve une multitude de techniques et de protocoles de relevé d'un état existant de l'objet patrimonial. Il faut distinguer deux méthodes, la première serait de l'ordre directe avec notre oeil et notre main lors d'un relevé manuel ; la seconde serait indirecte avec des outils de prise photographique ou de scanner laser. On constate aujourd'hui que ces deux méthodologies persistent. Une première, dite manuelle, que ce soit pour un relevé avec papier et stylo ou lors d'un chantier avec la production d'une épure avant la construction ou directement sur place en ayant pour modèles les traités stéréotomiques, dont les compagnons représentent le mieux ces utilisations. Une deuxième qui serait liée à l'utilisation des outils numériques, avec l'aide des CAO/DAO, appareils photographiques, scanner laser.

On est en droit de se demander quelle posture adopter entre l'utilisation du dessin à la main (relevé, épure) et l'utilisation des outils numériques lors de la conservation du patrimoine bâti.

Au sein de ce mémoire, j'essayerais de construire une réflexion autour des questions de la représentation, au sens large du terme : de l'utilisation de la main pendant la conception, jusqu'au chantier et lors d'un relevé pour sa conservation quand on construit ou réhabilite un bâti en pierre. Nous allons questionner la pertinence des méthodologies, avec pour illustration : un objet d'étude à été sélectionné : La chapelle des Mathéron, Eglise de la Madeleine anciennement Eglise des Prêcheurs, située au Nord Est de la place des Prêcheurs à Aix en Provence.

REMERCIEMENT

Je tiens tout particulièrement à remercier Mme Isabelle Fasse-Calvet et M. Antoine Gros pour m'avoir suivie au cours de deux semestres ; pour leur bienveillance ainsi que le partage de leurs connaissances qui m'a permis de faire évoluer mes réflexions autour de mes questionnements.

Je souhaite également remercier l'équipe du MAP-GAMSAU pour leur accueil et leur bienveillance lors des entrevues que nous avons eu l'occasion d'organiser, notamment Antony Pamart et Odile Guillon, et tous les intervenants lors de la visite de l'Eglise de la Madeleine pour leur temps et le partage de leurs connaissances.

Je souhaite enfin remercier ma famille pour le soutien quotidien qu'ils m'apportent et surtout les relectures que ce mémoire a engendrées.



INTRODUCTION

L'élaboration de ce mémoire s'est réalisée en deux temps

Dans un premier temps j'ai suivi un séminaire, les matériaux du projet avec C. Marchiaro au cours duquel j'ai étudié des architectures dites « tordues, aléatoires » au sein du mouvement du déconstructivisme.

Lors de mes études au sein de L'ENSA, on nous apprend la manipulation de formes simples dans lesquelles se rangent un programme et une manière de composer avec l'environnement. Celle-ci se pratique via la représentation en plan, puis la projection en coupe ou dans l'espace avec la maquette. Mais qu'en est-il quand l'on s'écarte légèrement de ces formes simples, et via une autre manipulation, on se retrouve avec quelque chose d'incertain et qu'on ne peut qualifier simplement.

C'est à partir de ce constat personnel que je me suis rapprochée d'objets architecturaux construits pouvant évoquer des compositions en marges de ce que l'on a l'habitude de voir quotidiennement. Comment ces architectes arrivent-ils à représenter leur projection mentale en plans, en coupes ou tout autre manière pour permettre la construction.

Pour eux, les formes géométriques simples (cubes, cylindres, sphères, cônes, pyramides) ne sont plus pertinentes. Par conséquent, leur conception architecturale semble désassembler la structure. Par ailleurs, aujourd'hui nous avons des évolutions de matériaux notamment avec les progrès du béton qui permettent une plus grande liberté dans les compositions.

Ces formes prennent des sources dans l'histoire de l'architecture, depuis la Renaissance et plus particulièrement avec le mouvement Baroque et l'explosion des courbes et de la précision des structures.

Dans un second temps, ces réflexions ont pris un autre tournant. Les formes les plus complexes peuvent se résumer en une succession de géométries simples qui, associées les unes aux autres et complétées par des questions de statique, forment ce que l'on appelle Architecture. Tout n'est que calculs et mathématiques pour arriver à la stabilité, aidé par les outils informatiques et la connaissance scientifique.

En remontant à l'essence de ces réflexions, je me suis rapprochée des questions de patrimoine, et particulièrement des constructions particulières que sont les églises, les cathédrales. C'est ainsi que je me suis tournée vers le séminaire Patrimoine Architectural et Humanités Numériques, encadré par Mme I. Fasse-Calvet et M A. Gros. J'ai d'abord effectué un semestre en collaboration avec Lélia Perrin, élève de ma promotion. Nos questions se sont rassemblées autour d'un sujet global : la pierre. Les réflexions de Lélia portaient sur les questions d'extractions, d'outils et de mise en oeuvre du matériau. Tandis que pour ma part je m'interrogeais sur la phase de conception. Construire en pierre aujourd'hui n'est pas très courant même si ces techniques reviennent peu à peu d'actualité. Construire en pierre doit se penser dès le début des phases d'esquisse, lors du trait sur le papier et jusqu'à l'épure sur le chantier. C'est à ce moment que les questions de calculs et de structure refont surface. A l'époque, lors de la construction de ces éléments qui forment aujourd'hui notre patrimoine, les ouvriers n'étaient ni assistés d'ordinateur ni même de matériaux malléables comme le Béton.

Les questions de représentation sont constamment remises en cause avec l'évolution des techniques et des sciences. Dans le cas de la conservation du Patrimoine, il faut prendre en compte ces techniques de l'objet étudié. En effet, on retrouve une multitude de techniques et de protocoles de relevé d'un état existant de l'objet patrimonial. Il faut distinguer deux méthodes, la première serait de l'ordre directe avec notre oeil et notre main lors d'un relevé manuel ; la seconde serait indirecte avec des outils de prise photographique ou de scanner laser. On constate aujourd'hui que ces deux méthodologies persistent. Une première, dite manuelle, que ce soit pour un relevé avec papier et stylo ou lors d'un chantier avec la production d'une épure avant la construction ou directement sur place en ayant pour modèles les traités stéréotomiques, dont les compagnons représentent le mieux ces utilisations. Une deuxième qui serait liée à l'utilisation des outils numériques, avec l'aide des CAO/DAO, appareils photographiques, scanner laser... De plus en plus utilisées, elles remplaceraient potentiellement les épures, et pourraient ainsi donner plus de détails sur la stabilité ou la matière que ne peut le faire la production d'une épure.

On est en droit de se demander quelle posture adopter entre l'utilisation du dessin à la main (relevé, épure) et l'utilisation des outils numériques lors de la conservation du patrimoine bâti.

Tout d'abord, considérons qu'un bâti aurait 2 niveaux qui seront repris dans chaque partie :

- Un bâtiment comme pensée (conception) ce qui comprend la production de documents graphiques : plans, coupes, élévations, détails qui permettent la visualisation d'un bâti via la projection sur un plan en 2 dimensions.

- Un bâtiment construit/un bâtiment relevé/projeté en vue d'une conservation/restauration, Relève de la réalité, avec l'élaboration des Epures, des relevés des existants.

Au sein de ce mémoire, j'essayerais de construire une réflexion autour des questions de la représentation, au sens large du terme : de l'utilisation de la main pendant la conception, jusqu'au chantier et lors d'un relevé pour sa conservation quand on construit ou réhabilite un bâti en pierre. Nous allons questionner la pertinence des méthodologies : entre la manière traditionnelle (Epure, Dessin à la main) et les outils numériques (de visualisation, d'arpentage et de dessin à l'aide des ordinateurs). Pour ne pas s'éparpiller, nous cadrerons notre réflexion sur la construction et la conservation d'un objet, en l'occurrence une chapelle.

Cet exercice s'articulera en trois étapes. La première sera théorique car il nous faut comprendre ce qu'est un dessin réalisé à la main et ce qui le régit. Puis nous l'exploiterons au sein d'un regard tourné vers la conservation et le relevé. La main saisie les images à travers le prisme de notre regard, et via une action manuelle nous transposons et nous représentons un objet. Relever un objet consiste à mesurer et à décrire dans le but de fournir une information parmi d'autres. Appréhender l'objet, le rendre reconnaissable au yeux de tous permet de constituer un retour par déduction de la forme telle qu'elle était autrefois : c'est une démarche de témoignage d'un passé.

Pour cela, il faudra replacer les écrits et publications dans leur contexte historique et scientifique. Ensuite il nous faudra définir les termes suivants qui nous permettront de développer et de répondre aux questions suivantes : Qu'est ce que le dessin lors d'un relevé ? Qu'est ce qu'une Epure ? Quel est le processus de sa conception et qu'en est-il pour la construction d'une voûte ?

Dans un second temps, nos réflexions porteront sur les projections de cet objet reproduit via les outils informatiques et plus particulièrement, avec le logiciel Rhinoceros 6, sur la mise en place d'un protocole d'opérations de programmation pour avoir l'objet final : dans un cas dessiné et dans un second cas relevé. C'est une remise en question des tracés manuels par des techniques d'opérations mathématiques.

Et enfin pour terminer, nous exploiterons les deux premières parties pour mettre en crise nos dire via un exemple concret.

Un objet d'étude à été sélectionné : La chapelle des Mathéron, Eglise de la Madeleine anciennement Eglise des Prêcheurs, située au Nord Est de la place des Prêcheurs à Aix en Provence.

UN PATRIMOINE DESSINÉ À LA MAIN

Les dessins réalisés à la main sont de l'ordre d'une action, de notre pensée vers un support. Que ce soit un relevé ou une intention de projet, c'est par l'intermédiaire d'une représentation que l'on donnera une information sur la forme, les dimensions, et les relations que les différentes parties ont entre elles pour composer un objet. Le but est d'établir un document « graphique » qui est une projection dans un plan déterminé avec une échelle déterminée.

« Un dessin évoque une action qui va avoir lieu, anticipée dans la combinatoire de ses traits et mise en réserve, en puissance, dans la figure de nous regarde. La puissance mystérieuse qui entoure ce type de figure tient à cette étrange présence d'un projet qui au moment où nous en décryptons les traces semble devoir s'accomplir. »

Lors d'un relevé à la main, on dresse un constat sur l'état et connaissance d'un bâti. On retranscrit alors un état tel qu'il est à l'instant où l'on effectue le relevé (altérations, modifications, remaniements que le bâtiment a subi). On peut dire que c'est une méthodologie directe de notre œil sur l'objet étudié. C'est l'enregistrement d'une réalité ou d'une idée formulée par l'opérateur. « Comme le croquis et l'esquisse dont ils sont les images, le relevé et le projet d'architecture sont deux processus contraires manipulant les mêmes outils et se succédant dans le temps ».

Mais le relevé n'a pas toujours eu vocation d'être une activité scientifique en vue de rendre compte d'un état dans le but futur d'une conservation quelconque. Le terme relevé devient de l'ordre de la science avec le siècle des lumières.

A cette époque de nombreuses techniques sont déjà connues, dont certaines développent le fait de dessiner en plan puis de rendre ce dernier en volume et en espaces avec le plus de précision possible à l'aide d'un compas et de règles. C'est aussi à cette période que les instruments utiles à la prise des mesures pour le relevé commencent à se perfectionner. En effet des outils qui utilisent des rayons visuels directs et se servant de calculs angulaires apparaissent grâce au développement de la trigonométrie.

Alors qu'ils étaient déjà développés par les études et les recherches qui remontent à la période médiévale, ils deviennent dans ce siècle les méthodes les plus avancées pour la mesure des architectures construites et des structures archéologiques du passé. Ce passé, dont les exemples les plus connus sont Pompéi et Herculaneum, a commencé à être étudié à cette période.

Au 19^e siècle, se développe une pratique du relevé des bâtiments, qui utilise les instruments topographiques de l'époque pour la prise des mesures sur l'objet. On utilise aussi la géométrie descriptive pour la restitution graphique permettant d'avoir des relevés de plus en plus précis grâce à l'application de la méthode de Monge, qui permettait de représenter et mesurer les formes tridimensionnelles en les projetant sur une surface plane. C'est aussi au 19^e siècle que se développe le plus le relevé au sein des architectes comme E. Viollet Le Duc (théoricien de la restauration) ou comme P.-M. Letarouilly (spécialiste des monuments romains).

En parallèle de cela, c'est aussi une avancée dans le développement des instruments de mesure tel que l'optique d'agrandissement qui est introduite de manière systématique ce qui permet de relever, avec plus de minutie et de détails, des choses qui ne seraient pas visibles avec simplement l'oeil. Ceci est particulièrement déterminant dans les cas où l'objet est trop petit ou au contraire l'opérateur serait trop loin de l'objet pour en saisir les détails précis. D'autres techniques comme les prises de mesures réalisées à distance sont aussi perfectionnées permettant d'accéder à des données métriques précises concernant l'objet étudié. Et enfin c'est aussi pendant cette période que l'on a développé la photographie. Ceci donnera les relevés de photogrammétrie. La photographie permet ainsi d'effectuer des mesure d'un objet en évitant les mesures directes, tout du moins dans les parties qui sont accessibles pour être photographiées.

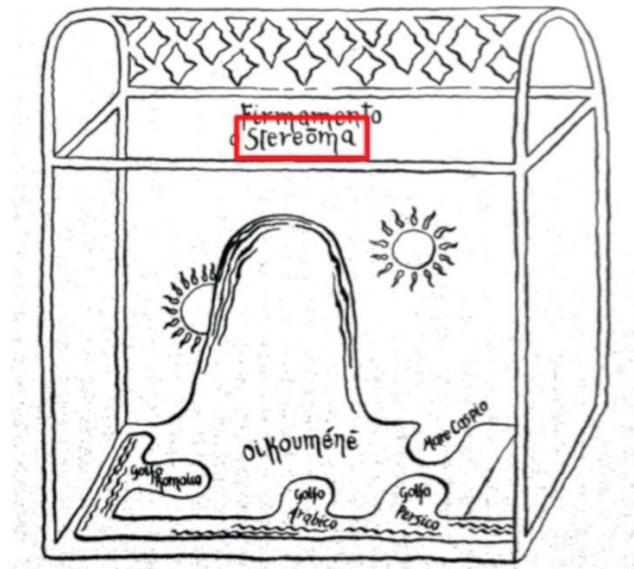
Avec toutes ces méthodes et ces découvertes, le relevé peut ainsi être précis et minutieux. Mais avant cela l'opérateur, qu'il soit architecte ou archéologue, doit, avant toute production en vue d'une restitution ou retranscription d'un état, préparer via un travail d'archives, l'ensemble des documents utiles, que soit des écrits, des dessins ou des plans.

Dans l'histoire du dessin, le dessin d'architecture à deux sources documentaires. La première est constituée par les documents graphiques, rares jusqu'à la Renaissance. La seconde est constituée par l'évolution de la maîtrise des projections géométrales. L'utilisation de tracés géométraux remonte à l'antiquité est a fait l'objet de travaux mêlant les études archéologiques et les recherches de mathématiciens.

Lors de ce travail de documentation, on retrouve ce que l'on peut nommer épure. On peut la définir comme un « dessin ou trait exécuté sur un mur ou sur une surface horizontale, en grandeur réelle, pour guider la construction d'une partie d'un édifice ou l'assemblage d'une machine ». Les épures marquent la volonté de maîtriser un projet, mais dans une sphère du réel ». CNTRL. Plus simplement, c'est une représentation d'un objet projeté sur un plan à échelle réelle ou réduite et où l'on représente les proportions des différents points d'une figure.

« L'art des tracés construit un savoir faire, une connaissance, une culture, une expérience. La capacité d'anticipation que l'on attribue au dessin ne saurait avoir d'existence concrète sans la culture technique accumulée qui le nourrit. Le dessin sédimente et condense dans ses tracés l'expérience du constructeur. Il est le résultat de ce mouvement cyclique par lequel le projet d'avenir trouve sa substance contemporaine dans la somme des expérimentations et des apprentissages anciens. »

« Le futur du projet s'alimente du passé de l'expérience pour se formuler dans le présent du dessin ». Nous allons essayer d'esquisser une histoire du dessin d'une épure. L'épure réalisée sur chantier existe aussi à échelle réduite que l'on retrouve dans les traités stéréotomiques comme illustration à un échafaudage d'un dessin grandeur nature en vue de construire un élément. Il faut que nous définissions quelques éléments et que nous les replacions dans leur contextes chronologiques.



Le mot stéréotomie est défini comme un art : l'art de tailler les matériaux solides, comme la pierre et le bois. De telle sorte que leurs diverses portions, réunies dans un certain ordre, présentent un ensemble qui ait une forme assignée auparavant, et qui offre une grande stabilité dans l'usage auquel il est dédié. Pour se concrétiser sur une feuille il faut des règles de géométrie et de mathématique.

L'histoire de la stéréotomie remonte à l'antiquité, du Grec, $\sigma\sigma\sigma\sigma\sigma\sigma$ (« solide ») et $\sigma\sigma\sigma\sigma$ (« coupe », « taille ») : tailler quelque chose de solide. Aujourd'hui on parle de taille de la pierre ou du bois, c'est un terme qui définit une « pratique ». Cette pratique est en partie maniée avec la vision qu'avait les hommes à l'époque. La première vision culturelle fut propagée par l'église (qui avait en possession les écrits et le « savoir »), qui pensait que le monde était un tabernacle ou un dôme. La terre se composait d'une immense montagne autour de laquelle tournait le soleil pour expliquer les questions du jour et de la nuit, et le ciel était « Stéréoma » ou « firmamento » et était représenté de manière géométrique par une voute ou une coupole. En effet le terme stéréoma vient des mot « aster » et « forma » autrement traduit par firmament, ou étoile fixe ou point fixe (solide). Le mot stéréotomie est devenu au cours du temps un terme plus diversifié avec les nombreuses découvertes et notamment avec l'apport de la géométrie.

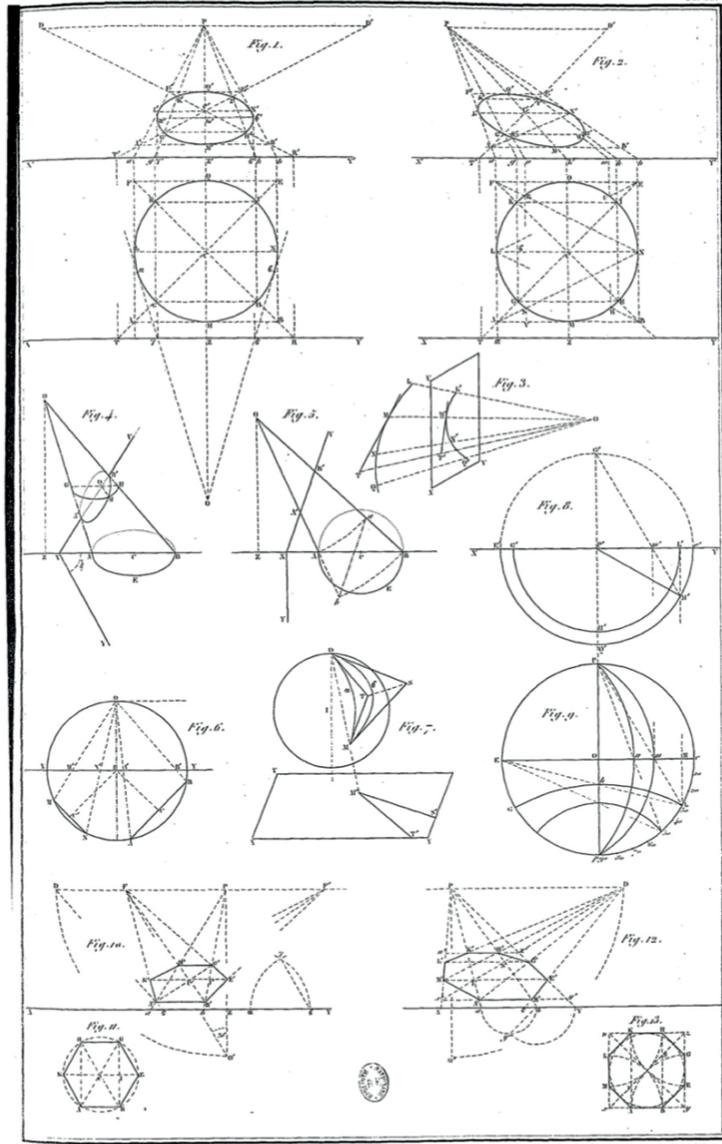
C'est ainsi que le tailleur de pierre utilise la stéréotomie et travaille directement avec le matériau lui même pour lui donner n'importe qu'elle forme. Grâce à l'assemblage de pierres de différentes dimensions taillées en forme d'angle (les claveaux ou voussoirs) qui ne tiennent entre elles que par la pression que chacune exerce sur ses voisines. Mais cela entraîne certains problèmes quant à déterminer les dimensions qu'a chaque voussoirs.

Le géométral naît au moment où l'on passe de la taille par ravalement à la taille par équarrissement.

La taille par ravalement ne demande pas de tracé préalable et est la plus ancienne. Les pierres sont placées dans une voûte en construction, puis retaillées alors qu'elles occupent déjà leur position finale dans l'édifice, pour obtenir la surface recherchée. Ce type de taille comprend la taille avec une perche, qui sert de guide pour trouver les parties qui doivent être taillées.

La taille par équarrissement s'applique à un bloc de pierre préalablement équarri (parallélépipède rectangle). Le profil du claveau tracé à l'échelle en plan et en élévation y est reporté, soit par panneau, soit à la règle et à l'équerre, sur les faces du bloc équarri, qui est alors de nouveau taillé. Cette taille est aussi appelée taille par dérochement .

La taille par panneaux permet un gain de matière par rapport à la taille par équarrissement. Elle suffit de dessiner toutes les faces du voussoir (panneaux). Le profil de la première face est reporté par panneau et la face est taillée. Les orientations des faces voisines sont reportées avec un outil : le biveau ou la sauterelle, qui permettent de reporter ces orientations avec un angle précis entre les faces. Le panneau de chaque face à tailler est ensuite reporté.



Pour comprendre cette évolution il faut reconsidérer les publications et l'avancement de la réflexion sur la taille des pierres. Dans l'histoire c'est à l'antiquité que les premiers traités voient le jour avec la publication de De Re Architectura de Vitruve.

Puis durant le Moyen Âge, le savoir-faire de la taille des pierres est gardé secret par les tailleurs et transmis par la parole entre maître et apprentis. On a tout de même des intuitions quant aux méthodes employées grâce aux outils comme le fil-à-plomb. Ce dernier servait à donner les lignes projetantes. La méthode des projections pour déterminer la forme exacte que devaient offrir les faces des voussoirs. Cependant, cette dernière reste très approximative et chaque problème a une réponse spécifique avec la création d'une multitude de procédés.

Nous trouvons tout de même des planches de dessins de la coupe des pierres chez Villard de Honnecourt.

La naissance de l'imprimerie en 1450 a permis la diffusion des grands traités de stéréotomie plus largement. C'est en 1567 que le premier traité de coupe des pierres est publié par Philibert Delorme, premier théoricien de la stéréotomie. C'est le début de la transmission par l'écriture.

Dans les années 1640 sont publiés les traités de M. Jousse, F. Derand, ou de J. Curabelle qui était appareilleur, c'est grâce à ce dernier que le terme stéréotomie comme nous le connaissons aujourd'hui est utilisé.

Le premier, écrit par J.-B. de La Rue, reprend celui de Derand en y ajoutant un Petit Traité de stéréotomie, qui est l'étude théorique sur les intersections des surfaces. Le second est un ouvrage volumineux d'A. Frézier dont le premier tome est également une étude purement géométrique consacrée aux intersections des surfaces coniques, cylindriques et sphériques.

Ces premières tentatives de théorisation des tracés des appareilleurs trouveront leur aboutissement dans la constitution d'une nouvelle discipline : la géométrie. Cette dernière est considérée comme une branche des mathématiques.

Dans l'histoire de l'apparition et l'évolution des outils géométriques, on distingue 4 périodes :

- L'antiquité et le haut moyen âge, correspond à l'usage du plan
- La période gothique où apparaît le principe de l'articulation de deux plans l'un sur l'autre
- La renaissance, qui voit l'usage de la double projection devenir systématique
- L'âge classique où le tracé des ombres est l'occasion de l'introduction des méthodes géométriques liées à la double projection.

TRAITÉ
DE
STÉRÉOTOMIE,

COMPRENANT

LES APPLICATIONS DE LA GÉOMÉTRIE DESCRIPTIVE

A

LA THÉORIE DES OMBRES, LA PERSPECTIVE LINÉAIRE, LA GNOMONIQUE,
LA COUPE DES PIERRES ET LA CHARPENTE.

AVEC UN ATLAS COMPOSÉ DE 74 PLANCHES IN-FOLIO.

PAR **C.-F.-A. LEROY,**

Professeur à l'École royale Polytechnique, Maître de conférences à l'École Normale
et Chevalier de la Légion d'honneur.

—•••—
TEXTE.
—•••—

PARIS,

BACHELIER,

IMPRIMEUR-LIBRAIRE DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE, DU BUREAU DES
LONGITUDES, ETC.

Quai des Augustins, n° 55.

CARILIAN-GOËURY ET DALMONT,

LIBRAIRES DES CORPS ROYAUX DES PONTS ET CHAUSSEES
ET DES MINES.

Quai des Augustins, n° 39.

—•••—
1844.

De nombreux mathématiciens se sont penchés sur la question. Il faut présenter les travaux de Chasles ou de Gérard Desargues qui lui était géomètre. Il écrivit un traité qui tente de décrire la coupe des pierres avec des termes de géométrie.

Dès 1738, Frézier (Ingénieur en chef à Landau,) publie un traité de Stéréotomie en 3 volumes, où il explique par les principes de la géométrie les combinaisons de lignes et de surfaces qui constituent réellement la coupe des pierres ainsi que les procédés pratiques qu'il faut employer pour tailler ces matériaux.

C'est bien plus tard au XVIII^e siècle que Gaspard Monge (géomètre, professeur) théorisa la géométrie descriptive et l'enseigna dans les universités. Il résolut l'un des problèmes classiques de l'art des fortifications, le défilement d'une place fortifiée « à la Vauban », en utilisant les méthodes de la coupe des pierres. Il écrivit « De la perspective et Des ombres », qui sont les premiers textes connus dans lesquels il utilise les méthodes de la géométrie descriptive.

La géométrie descriptive est utilisée pour déterminer les vraies grandeurs que doivent prendre les pierres pour qu'elles fabriquent l'élément de construction dans lequel elle vont être mises en oeuvre. Ce qui caractérise la géométrie descriptive est directement issue des méthodes et des traités des appareilleurs. Articulée sur ces techniques, qu'elle théorise, la géométrie descriptive réalise l'interconnexion entre savoir théorique et savoir-faire

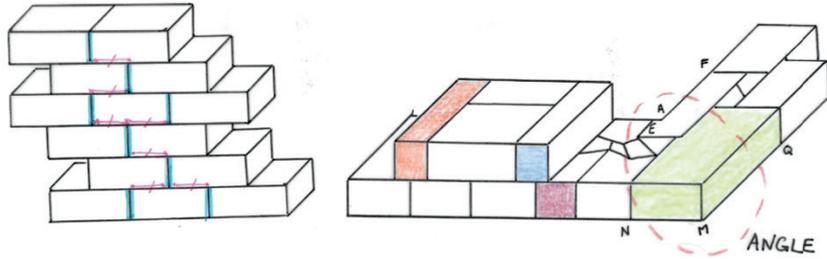
La géométrie descriptive fait découvrir des formes spatiales complexes, par l'explicitation des opérations géométriques qu'elle propose, par l'usage d'un passage entre espace et plan; et par la position qu'elle occupe entre théorie abstraite et pratique graphique.

La géométrie descriptive ne devient irremplaçable qu'à partir du moment où l'on doit représenter un objet complexe qui ne peut pas être imaginé d'une manière immédiate, comme par exemple l'intersection de deux surfaces quelconques. Sauf à avoir une grande expérience (qu'il faut bien acquérir d'une façon ou d'une autre), on ne connaît pas, a priori, la forme d'une sous-face d'escalier «tordu»; la nature de l'intersection de deux surfaces, la forme d'un voussoir situé à l'intersection de deux voûtes, les encoches qui permettront l'assemblage de plusieurs pièces de charpente. Le problème est de représenter sur la feuille de papier ces différents objets sans en avoir une «représentation mentale» préalable.

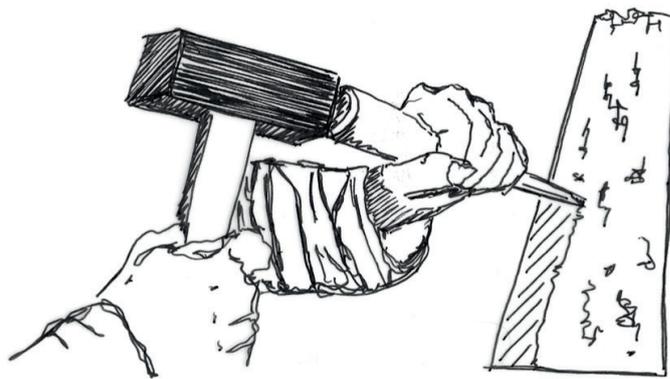
La partie suivante qui sera présentée se fera sur la base de la lecture du traité de stéréotomie écrit par Charles-Félix-Auguste Leroy, Professeur à l'École royale Polytechnique, Maître de conférences à l'École Normale et Chevalier de la Légion d'honneur.

Ce traité rédigé en 1844 tente d'être une synthèse tout en étant complémentaire des écrits rédigés depuis les premières planches de Villard de Honnecourt et jusqu'aux écrits de Monge.

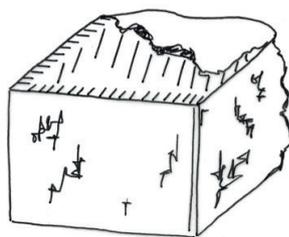
Le chapitre 2 du livre 4 de la coupe des Pierres, rassemble la construction de deux éléments : le mur et les plates bandes. Nous verrons la construction d'un mur droit et biais. Les plates bandes pourront être associées à la construction de voûtes.



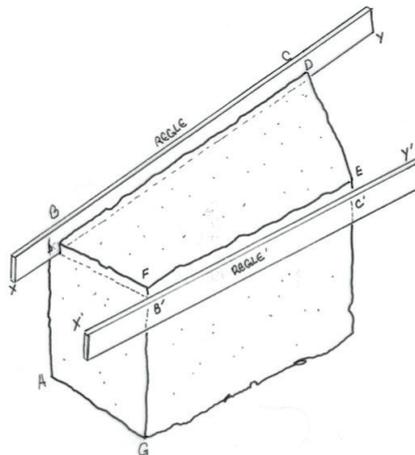
- PAREMENT
- PARPAING
- BOUTISSE
- CARREAU.



TAILLE DE LA PREMIERE CISELURE



SCHEMA D'UN BLOC
PARTIELLEMENT EQUARRIS.



Nous allons décrire quelques conditions préalables pour la bonne solidité d'un mur :

Un mur composé de parpaings, doit être relié de manière à ce que les joints verticaux d'une assise correspondent au milieu des longueurs des pierres qui composent les deux assises, inférieure et supérieure à cette dernière.

En règle générale, ces parpaings occasionnent de nombreux déchets, et sont ainsi employés en concomitance avec des boutisses et des carreaux afin d'éviter la coïncidence des joints verticaux dans deux assises consécutives.

Dans le cas des angles entre deux murs : « il faut disposer les pierres qui forment l'arête verticale M dans les assises successives, de telle sorte que la face la plus longue soit alternativement dirigée dans le sens MN et dans le sens MQ, afin que les deux murs soient murs reliés entre eux.

Pour plus de stabilité, il faut éviter de tailler les angles de telle sorte que l'angle intérieur A soit un joint. Pour cale il faut tailler la pierre de manière à former un coude EAF, en ayant le soin de faire alterner comme précédemment les assises des faces inférieures et supérieures.

Définition d'un mur droit tel qu'on l'entend en stéréotomie :

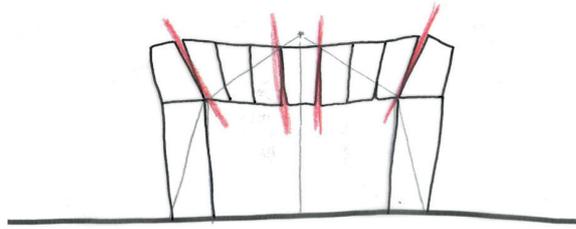
Le mur droit est celui qui se trouve compris entre deux plans verticaux et parallèles. Si jamais le mur est entre des plans qui convergent il est en talus ou biais. Voyons maintenant comment l'appareilleur et le tailleur procèdent pour la taille d'une pierre en vue de son positionnement au sein d'un mur ou d'un talus.

Soit donc ABDEFG le bloc proposé qui a, en sortant de la carrière, une forme prismatique. Sur la face ABCD, et à une petite distance du bord supérieur, l'ouvrier tracera avec une règle un trait noir BC, une ligne plane.

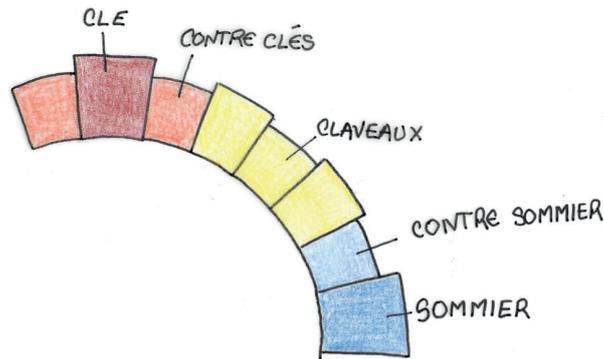
Ensuite, avec le ciseau et le maillet, il enlèvera petit à petit la pierre qui excède ce trait BC, et il taillera une ciselure ou petite bande plane BCcb dont la largeur aura 1 ou 2 centimètres.

Le tailleur posera la règle B en équilibre sur cette bande BCcb: il se transportera vers la face antérieure GFE, et après y avoir appliqué une seconde règle B' qu'il soutiendra avec ses mains, il la fera varier jusqu'à ce qu'en bornoyant les deux règles par leurs extrémités, il voie son rayon visuel raser à la fois la face intérieure XY de l'une et la face supérieure X' Y' de l'autre; puis, dans cette position de la règle, l'ouvrier marquera le trait noir B'G', qui sera une ligne située exactement dans un même plan avec le premier trait BC.

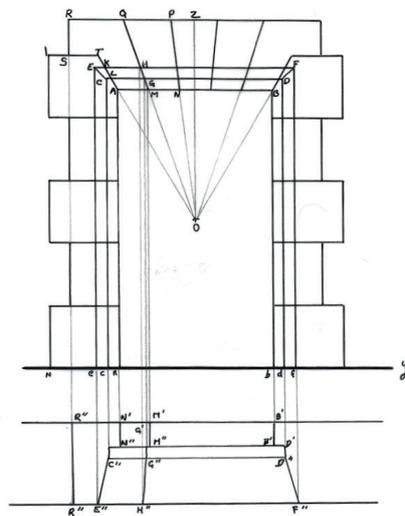
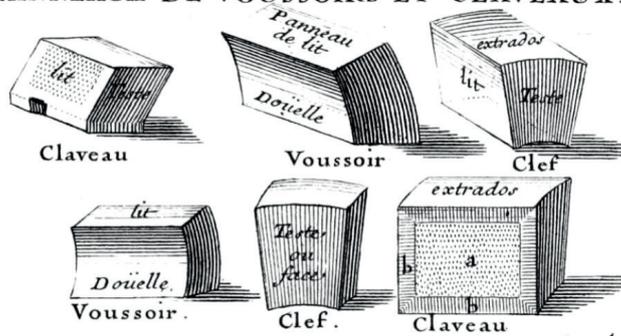
Après avoir réuni ces deux traits par un troisième BB', l'ouvrier taille, comme précédemment, une ciselure le long de B'C' et une autre le long de BB', ce qui détermine les bords du plan demandé; puis, il enlève les aspérités de l'intérieur. L'ouvrier exécutera une nouvelle face plane et perpendiculaire à la première, en se servant de l'équerre formée par deux règles en fer, assemblées solidement. Nous avons alors une pierre taillée et prête à être utilisée pour la construction d'un mur.



EXEMPLE D'ANGLE AIGU
RUPTURE DE LA VOUTE



PANNEAUX DE VOUSOIRS ET CLAVEAUX.



Dessin représentant : des voussoirs, des claveaux et la clef
Planche représentant des voussoirs et claveau. Source :
Planche faite à la main d'un voussoir

La courbe : voute en berceau, ou la préfiguration des voutes

Il faut trouver en premier lieu le mode de division le plus avantageux pour partager cette voûte en voussoirs, c'est-à-dire en parties d'un volume assez faible pour qu'on puisse les tailler chacune dans une seule pierre, et qui soient d'une forme telle que, réunies dans un certain ordre et simplement juxtaposées, elles se soutiennent mutuellement comme si elles ne faisaient qu'un seul corps : c'est ce qu'on appelle tracer l'appareil de la voûte.

Les voussoirs désignent les pierres de taille qui composent une voûte. Le terme voussoir désignant une pierre dont l'intrados ou l'extrados est courbe. Dans ce cas, le terme claveau s'applique dans le cas où l'intrados ou l'extrados est plan.

Les claveaux sont divers voussoirs et pour qu'ils se soutiennent mutuellement, on fait converger les joints ou coupes AT, MQ, NP, ..., vers un même point O qui est ordinairement le sommet du triangle équilatéral construit sur AB; mais on a toujours soin de diviser d'abord cette largeur AB en un nombre impair de parties égales, afin d'éviter qu'il y ait un joint au milieu OZ.

Le voussoir d'un arc possède six faces, ou panneaux. Ces derniers sont opposés deux à deux : deux panneaux de douelle (correspondant à la face inférieure et supérieure du voussoir, et donc à l'intrados et à l'extrados de l'arc), deux panneaux de lits ou de coupe) (correspondant aux faces en contact avec les voussoirs voisins), et deux panneaux de tête.

La clé désigne le voussoir central lorsqu'un arc est composé d'un nombre impair de voussoirs ou claveaux. Les voussoirs sur lesquels s'appuie la clé sont appelés les contre-clés. Les pierres situées sur les piédroits et servant d'appui à l'arc sont les sommiers.

De manière générale, le joint désigne l'« espace entre deux éléments, généralement rempli de mortier, de plâtre ou par des plaques de plomb. Le mot désigne également la couche de matériau remplissant cet espace. »

Attention lorsque la largeur à franchir est considérable, les joints qui sont voisins des deux sommiers forment des angles assez aigus avec l'intrados, et les arêtes de ces joints seraient exposées à se rompre par la compression.

Tailler un voussoir : Quant à la manière de tailler les claveaux, nous allons l'expliquer en prenant pour exemple le voussoir AMST. Après avoir choisi une pierre dont la longueur égale au moins l'épaisseur R'R» du mur, et dont les et deux autres dimensions soient capables de contenir le panneau de tête AMQRST, on fera dresser exactement lorsque l'on taille une pierre que l'on dessinait à former un mur.

On tracera le contour qq'm'm»g1g»h»q, en formant des angles droits dont les côtés aient les longueurs suivantes : qh»=QH, qq'= R'R», q'm'= QM, m'm»=M'M», m'y=MG, g'g*=G'G»; puis, d'équerre sur cette face, on exécutera les deux plans parallèles xmyz et x'm'y'z' destinés à former les deux têtes du voussoir, sur lesquels on tracera les contour samqrsteta'm'q'r's't' identiques avec AMQRST.

Alors, l'ouvrier pourra exécuter le joint inférieur att'a', puisqu'il connaîtra deux directrices al et a't situées dans ce plan; et il taillera de mm e les faces stt's',srr's',rqq'r'

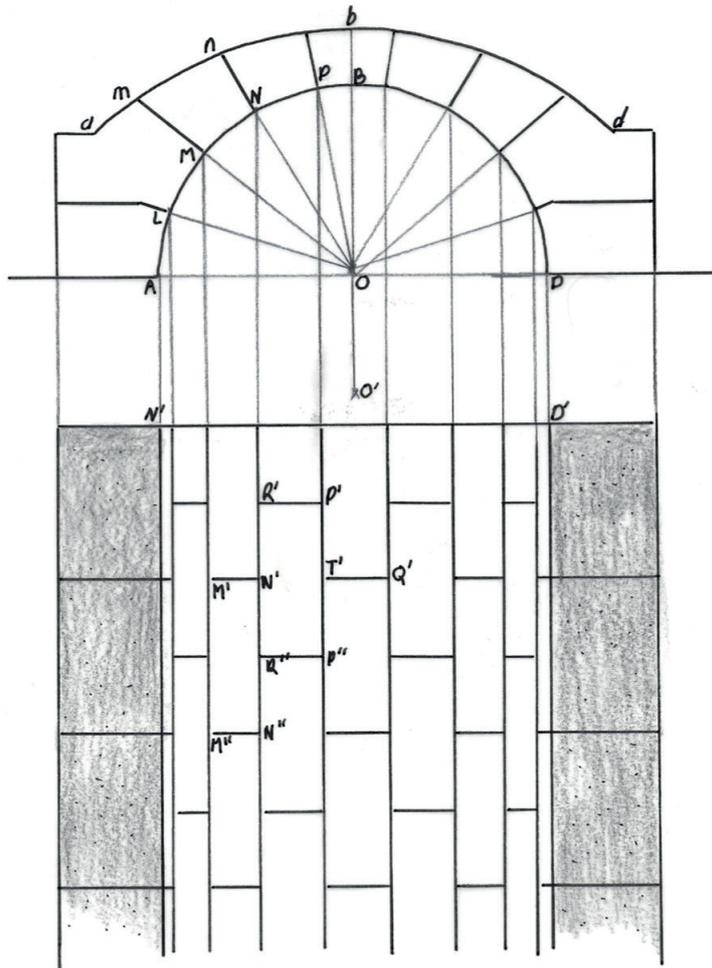


Planche représentant une voute en berceau droite

Quant à la face d'intrados $amm'a$, l'ouvrier pourrait tailler en totalité cette face plane au moyen des deux directrices on , $a'm'$, qui sont déjà marquée. Pour cela, après avoir taillé le joint inférieur $att'a'$, on achèvera de tracer sur cette face le contour $tt a''l''k''t$, en formant des angles droits dont les côtés aient les longueurs suivantes : $a'a\gg = A'AW$, $a''l''V = AL$, $l'l\gg = G'G\gg$; et alors, pour tailler la portion d'intrados $a'a\gg m\gg m'$ qui répond au tableau, l'ouvrier aura les deux directrices $a'a\gg$ et $m' m\gg$; pour le recouvrement $a\gg l'am\gg t$ il aura les deux directrices $a''l''$ et $m''g'$; pour la feuillure, il se guidera sur $l'l\gg$ et $g'g\gg$, et ainsi de suite; de sorte que par là il n'exécutera que les seules portions vraiment utiles de toutes ces faces planes.

Quant à la manière de monter la voûte, nous dirons qu'on élève, sur de forts étais en bois, deux ou plusieurs cintres composés avec des fermes de charpente, et dont le contour extérieur est parallèle à l'intrados de la voûte projetée; ensuite, sur ces cintres on pose des solives qui vont d'une ferme à l'autre, et sur lesquelles on fait reposer les voussoirs, avec le soin de vérifier, pour chacun, si l'arête de douelle offre le surplomb convenable et si le joint a l'inclinaison déterminée dans l'épure : sinon, on fait retoucher un des joints ou tous les deux.

Construction d'une voûte en berceau avec un biais :

On désigne sous le nom de Berceau toutes les voûtes dont l'intrados est une surface cylindrique, quelle que soit d'ailleurs la forme de la courbe qui sert de ligne directrice à ce cylindre. Mais lorsque les lignes n'ont qu'une longueur très courte ou égale à l'épaisseur d'un mur (comme dans la photo ci contre), alors le berceau prend le nom de Porte.

Le berceau est dit appelé en plein cintre lorsque la section droite (c'est-à-dire la section perpendiculaire aux génératrices, se trouve un demi-cercle) est surbaissé, lors que la hauteur sous clef OB est moindre que la moitié du diamètre AD du berceau, où le cintre principal est formé par une demi-ellipse dont le petit axe est vertical, où le cintre est une anse de panier ou courbe à trois centres.

Le berceau serait dit surhaussé, si la hauteur sous clef était plus grande que la moitié de l'ouverture AB , comme dans le cas où formerait le cintre principal avec une demi-ellipse dont le grand axe serait vertical.

Nous étudierons la voûte en berceau droite : ou porte droite.

Pour construire l'épure de cette voûte, on prend un plan vertical perpendiculaire à l'axe de la porte, et l'on y trace la section droite du cylindre, qui est ici un demi-cercle ABD .

Après l'avoir divisé en un nombre impair de parties égales, on achève l'appareil de la voûte comme nous l'avons indiqué précédemment. et l'un des voussoirs est projeté verticalement sur le polygone $MNP R$. Cette seule projection suffit bien pour définir complètement ce corps, attendu qu'il a ici la forme d'un prisme droit dont la longueur égale l'épaisseur $A'A\gg$ du mur proposé; et com e cette longueur peut être assignée en centimètres, on se dis pense ordinairement de tracer la projection horizontale qui n'a été marquée sur notre épure que comme un moyen de compléter la représentation graphique.

Pour appliquer le trait sur la pierre, on choisira un bloc qui soit capable du voussoir $MNPQR$ que nous prenons pour exemple, mais qui n'a pas besoin d'être un parallépipède rectangle.

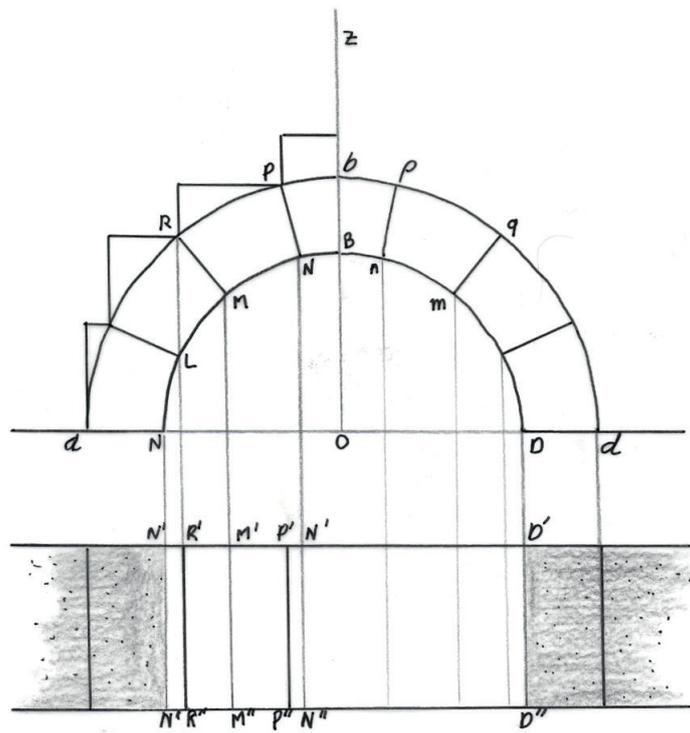


Planche représentant une voute en berceau droite

Il suffit que ce bloc ait à peu près la forme d'un prisme droit dont la longueur égale au moins à celle $A'A$ du voussoir, et dont la base $kn''li$ puisse contenir le panneau de tête $MNPQR$, avec le soin de tourner celui-ci convenablement : il sera bon de faire coïncider, s'il est possible, le côté NP d'un des joints avec le lit de carrière $kn''n'h$.

L'ouvrier dressera la face $kn''li$, de manière qu'elle soit exactement plane, et il y marquera le contour $m\gg n\gg p\gg q\gg r\gg$ identique avec $MNPQR$, en prenant la droite $n''p'' = NP$, et déterminant les autres sommets par leurs distances aux deux points N et P , puis en traçant l'arc $n\gg a\gg m\gg$ avec le même rayon que MN : mais lorsqu'il y a plusieurs voussoirs égaux, comme dans le cas actuel où il s'agit d'un plein cintre, il est plus commode de tailler, une fois pour toutes, sur un châssis de bois ou une feuille de carton, un panneau découpé suivant la forme RNP ; et en appliquant ce panneau sur la face plane $kn''li$, on tracera immédiatement tout le contour $m\gg a\gg n\gg p\gg q\gg r\gg$ de la tête du voussoir.

Maintenant, par la droite $n''p''$, et perpendiculairement à la face de tête, l'ouvrier fera passer un plan $kn''n'h$ qu'il exécutera au moyen de l'équerre, et il y marquera le contour exact du joint supérieur NP , en formant des angles droits dont les côtés soient : $n''n' = N'N'$, $p''p' = P'P'$

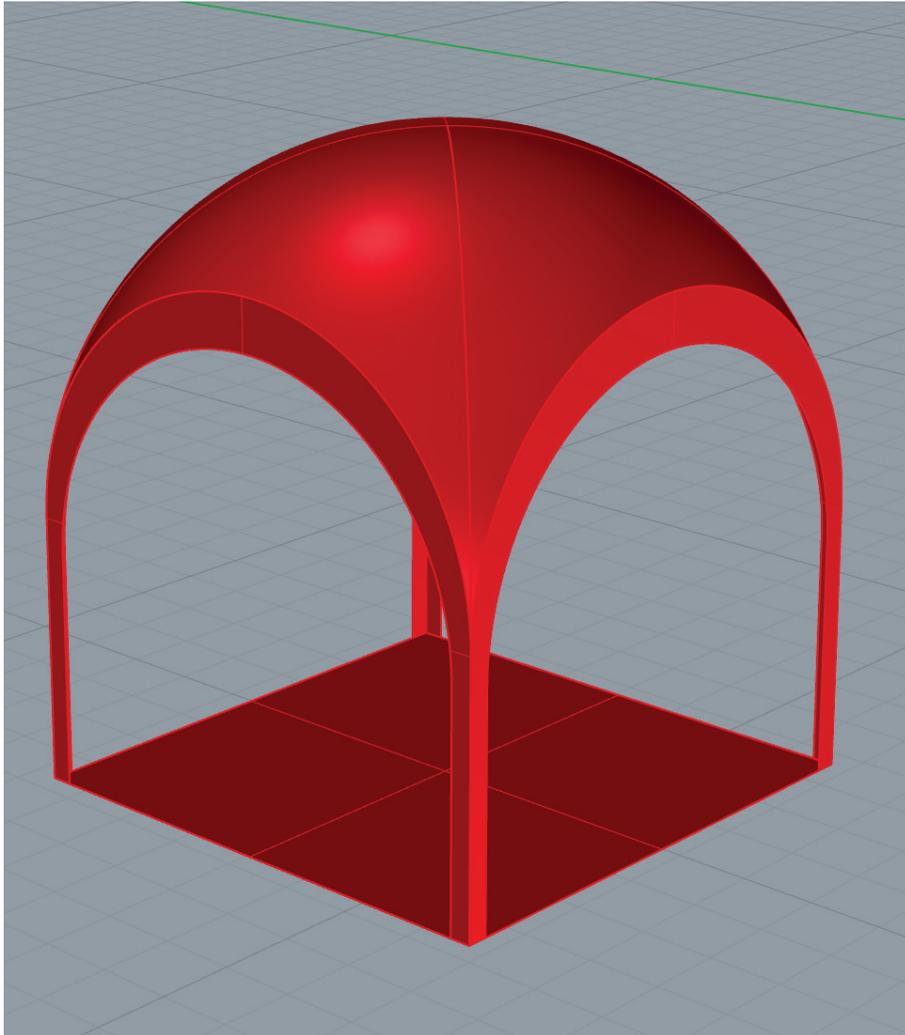
Il agira de même pour le joint inférieur MR , en faisant passer par le côté $m\gg r\gg$ un plan perpendiculaire à la face de tête, et en y traçant le contour de ce joint qui est un rectangle $m'V'm'$ dont la longueur égale encore $M'M$. Alors l'ouvrier pourra dresser facilement la seconde face de tête $m'n'p'q'r'$, puisqu'il connaîtra, par ce qui précède, deux droites $n'p'$ et $m'r'$ contenues dans ce plan, lequel d'ailleurs devra se trouver perpendiculaire aux deux joints, ce que l'on vérifiera avec l'équerre ; et ensuite, sur ce plan indéfini, il appliquera le panneau $MNPQR$ pour y tracer le contour $m'n'p'q'r'$ de cette seconde tête du voussoir.

Quant à la douelle cylindrique, cette surface courbe admet pour génératrice une ligne droite, et dès lors elle pourra s'exécuter comme un plan, pourvu qu'on assigne à l'ouvrier des points de repère sur lesquels il appuiera l'arête de sa règle. Or, si l'on divise les deux arcs $m'a''&'n''$, $m'a'&'n'$, déjà marqués sur la pierre, en un même nombre de parties égales, les points a' et $a''&'$ et a'' ,... seront évidemment des repères qui correspondront à une même position de la génératrice rectiligne du cylindre.

Enfin, pour la face supérieure $p''q''q'p'$ et la face latérale $q''r''r'q'$ les opérations précédentes ont fait connaître trois droites de chacune d'elles, et c'est plus qu'il n'en faut pour tailler ces plans, qui sont en outre d'équerre sur la tête du voussoir. D'ailleurs, ordinairement on ne fait qu'ébaucher ces deux faces, du moins quand le mur est en maçonnerie.

Dans la construction d'une voûte, il y aurait une question à étudier : ce serait de rechercher quelles sont la forme et les dimensions qu'il est le plus avantageux de donner à l'ensemble de cette construction, pour qu'elle satisfasse à la fois aux conditions d'une grande stabilité et aux convenances qu'exigent la place et l'usage auxquels on la destine. Ce qui pourrait faire l'ordre d'une étude entièrement dédiée à ces questions de stabilité.

L'OUTIL INFORMATIQUE COMME PARALLÈLE À UNE CONSTRUCTION



En résumé, on peut considérer que l'établissement d'une épure, que ce soit d'un mur ou voûte peut se résumer au suivi d'une liste d'exécution d'opérations mathématiques que l'on pourrait qualifier de production d'un algorithme. Par algorithme, j'entends résoudre les problèmes logiques et mathématiques, en vue de l'établissement d'un objet. C'est à dire le moment où l'on introduit des données initiales : les mesures que l'objet doit avoir, et ensuite via un programme (écrit stéréotomique renvoyant à l'établissement à l'objet. Nous travaillons sur cette construction en vu de la fourniture du résultat constructible et stable structurellement.

Aujourd'hui le domaine d'application des machines ne cesse de croître depuis leur apparition. Dans notre cas, on peut par les mêmes opérations que les traités stéréotomiques construire des murs et des voûtes en vue de l'élaboration d'une chapelle. Pour construire cette voûte, il faut connaître les éléments architecturaux qui composent cette voûte. et la manière de modéliser l'arc ou les arcs que composent cette voûte. Il faut savoir que les arcs sont construits à partir de courbes géométriques applicable avec le logiciel Rhinoceros 3D. C'est un logiciel de conception assisté par ordinateur développé par Robert McNeel & Associates. Il sert à concevoir des formes complexes. « Rhino peut créer, éditer, analyser, documenter, rendre, animer et traduire des courbes, surfaces et solides, des nuages de points et des maillages. » <https://www.rhino3d.com/features/>

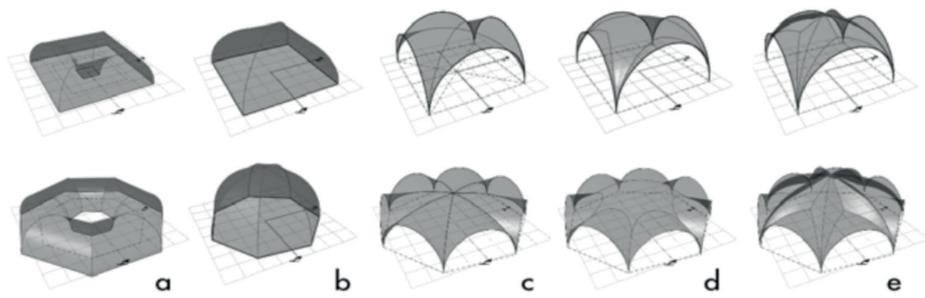
Nous allons voir comment on dessine des voûtes avec le logiciel Rhino 6.

Photo de réalisation de voûtes (Rhino)

De même, on peut se poser la question de l'automatisation en vue de produire un programme de construction de voûte.

« Depuis 2007 et l'apparition de nouveaux logiciels comme Grasshopper, l'algorithme peut être implémenté en utilisant un langage visuel de programmation. Cela dispense le chercheur de compétences poussées en programmation tout en lui permettant de réduire le va-et-vient entre la géométrie et le programme qui l'a générée et lui conférant par la même occasion plus de temps pour développer des algorithmes efficaces ».

Plusieurs expérimentations ont déjà été réalisées avec Grasshopper pour reconstruire des éléments architecturaux : « Parmi les projets les plus notables, nous pouvons citer l'extraction des tracés géométriques régulant la construction des fortifications bastionnées (Jacquot et al., 2016), des tracés des ordres classiques (Chevrier et al., 2009 ; De Luca et al., 2006) ou des tracés de baies gothiques (Havemann, 2005 ; Takayama, 2013) » .



Dans le cas d'un relevé, redessiner un relevé à la main n'est pas conseillé, en effet la première personne retranscrit une manière de voir l'objet, il n'est pas judicieux de refaire afin de ne pas réinterpréter le «déjà interprété», au risque d'avoir un biais marqué dans la construction d'un état.

Le plus courant aujourd'hui est l'analyse d'un relevé par un scanner laser. Le scanner laser, balaye toute la surface à reconstruire numériquement. On obtient un nuage de point ou l'on va trouver et extraire des données. Via Cloud compare nous reconstruisons et nettoyons les nuages de points afin d'avoir le moins d'erreur ou de biais (erreur de consolidation, données absente ou manquantes) Puis nous pouvons par Rhinoceros 3D retracer et retravailler ce nuage de points en vue de comprendre la structure et la typo morphologie de la voûte.

Une autres option est aussi possible, comme nous pouvons le lire dans LIEN

« On obtient un nuage de points ou l'on va trouver et extraire des données, les valeurs des paramètres de créations communs à toutes les génératrices (plan de naissance, portée et flèche). Une fois le nuage de l'intrados de la voûte importé dans Grasshopper, plusieurs opérations automatiques vont se succéder. Un volume englobant minimum est généré pour fournir une approximation des différents plans et axes de création de la voûte. La seconde étape de l'extraction est la détermination de la typologie de la voûte. À partir de l'ontologie, une bibliothèque de modèles architecturaux paramétriques a été implémentée dans Grasshopper. Une bibliothèque d'une vingtaine de courbes génératrices a ainsi été créée. Trois paramètres contrôlent les propriétés dimensionnelles de ces courbes : le plan de naissance, la portée (la largeur), et pour certaines courbes : la hauteur (la flèche). Complétée par l'implémentation des modèles de courbes directrices, la bibliothèque permet de modéliser plusieurs centaines de voûtes différentes par la variation des paramètres dimensionnels mais également typologiques (types de génératrices et de directrices). Les trois valeurs des paramètres permettant la génération de n'importe quel arc implémenté dans la bibliothèque de modèles paramétriques ont été extraits du nuage de point de la voûte lors de la première étape. Chacun de ces modèles théoriques d'arc est instancié selon les valeurs obtenues lors de l'analyse précédemment menée (Figure 4, a). Pour chaque arc ainsi modélisé, la distance moyenne entre la géométrie paramétrique et le nuage de point est calculée. Il est ainsi possible de déterminer le type d'arc présent dans les données relevées, ainsi que d'identifier ses caractéristiques dimensionnelles : portée et flèche. La voûte est finalement modélisée par le balayage de l'arc instancié le long des génératrices identifiées lors de l'opération d'extraction des paramètres générateurs des arcs ».

**LES OPÉRATIONS : QU'EN EST IL
D'UNE CONSTRUCTION QUI DOIT ÊTRE
CONSERVÉE ?**



Pour étayer notre réflexion dans ce chapitre nous allons appliquer nos réflexions précédentes sur un objet d'étude. La chapelle des Mathérons, Eglise de la Madeleine, Aix en Provence.

Contexte : Le Couvent des Prêcheurs d'Aix s'installe en marge des bourgs à moins de 40 mètres des remparts à l'époque entre 1226 et 1273.

« Pour cet ordre qui a placé la ville au cœur de sa pastorale, cette situation péri-urbaine offrait un espace suffisant à l'emprise foncière de ses locaux et à leurs développements ultérieurs, tout en plaçant les religieux au contact des fidèles habitant les faubourgs populeux et dynamiques constitués aux portes de la ville, auxquels ils adressent leurs prédications et dont ils peuvent capter les aumônes ».

L'édifice fait de 63 m de long sur 27 m de large. Le bâtiment doit en grande partie ses dispositions actuelles aux maîtres maçons et architectes Jean et Laurent Vallon. C'est en 1691, que ces derniers commencèrent la rénovation de cette Eglise.

« Les travaux, dont Jean Boyer a minutieusement restitué le détail, se sont échelonnés jusqu'en 1703, gommant, sans pour autant totalement les effacer, les multiples campagnes de constructions qui les ont précédés depuis la fin du XIIIe siècle et ont servi de base à leur projet. » p. 5

Une étude entre 2012 et 2014a permet de relever et d'analyser la vie du bâtiment qui est toujours visible derrière la rénovation des frères Vallon. Cette étude porte sur l'édifice dans son entièreté : des fondations jusqu'à la toiture. Elle rend compte d'une l'évolution de l'édifice depuis sa construction.

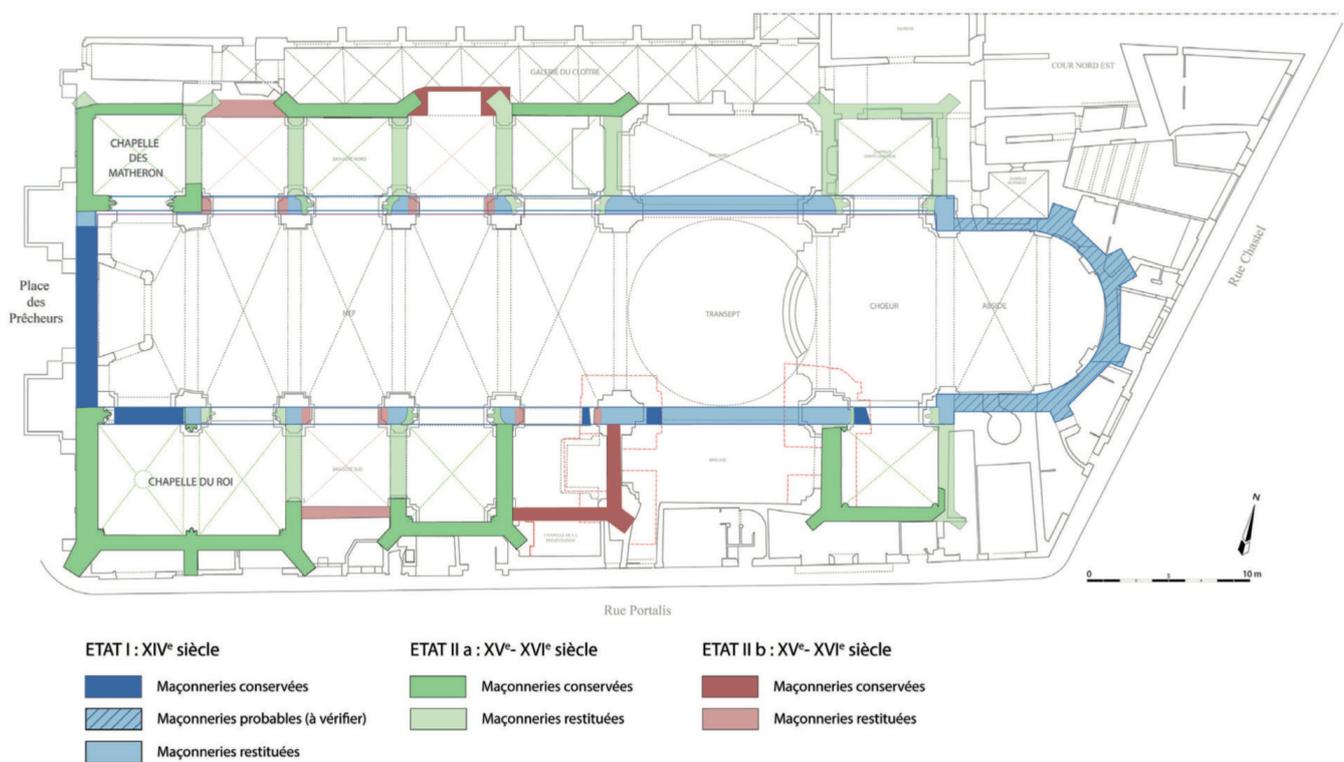
Historique : d'après le texte : LIEN.

L'église de la fin du Moyen-Age (mi XIVe-début XVe siècle) :

La dispositions de l'église à cette période n'a pas pu être mise en avant. Malgré tout, nous la retrouvons dans la documentation de l'époque. Un incendie a été évoqué en 1383 mais n'a pas pu être prouvé, cependant il expliquerait l'absence de bois à cette époque.

En 1380, selon les études de Jean Pourrière, l'église serait encore présente en ruine dans le paysage de la ville. La reconstruction de l'église est avérée avoir été effectuée en février 1344, si l'on se réfère les écrits. Un second incendie aurait eu lieu en 1383, donnant lieu à une seconde reconstruction. À l'une ou l'autre de ces églises doivent être attribués plusieurs pans de murs piégés dans les reconstructions du XVIIe siècle et recoupés par les chapelles latérales qui investissent les flancs de la nef à partir du milieu du XIVe siècle. p.8

La cohérence du plan d'ensemble de l'édifice qu'ils dessinent et, surtout, la forte empreinte qu'ils ont laissée dans l'église actuelle, dont ils façonnent largement les dispositions, invitent cependant à réunir ces maçonneries dans un même état architectural qui pourrait être le résultat d'une exécution conduite sur plusieurs années, selon un programme pré-établi par les Prêcheurs. p. 8-9



Concernant la nef, aucune élévation n'a pu être effectuée, mais s'accordant bien au plan et à la disposition de l'église médiévale, elle est attribuée à ce même programme. « Construit sur un plan à pans coupés, ce volume est épaulé sur toute sa hauteur par quatre contreforts d'angle et ajouré par des fenêtres, aujourd'hui murées, au profil en arc brisé proche du tiers-point. Ses élévations appareillées en pierre de taille recourent, à l'instar des extensions gothiques de la cathédrale Saint-Sauveur (transept, chevet et chapelle de l'archevêque Armand de Narcès) qui leur sont à peu près contemporaines, au calcaire coquillier de type pierre de Bibémus pour le chaînage des contreforts et l'encadrement des baies, et au calcaire beige lité pour les parements. » p.11

« À Aix-en-Provence comme ailleurs, ces dispositions ont guidé tous les développements ultérieurs de l'église des Prêcheurs qui, sous la pression des dévotions familiales, s'est progressivement agrandie. » p.12

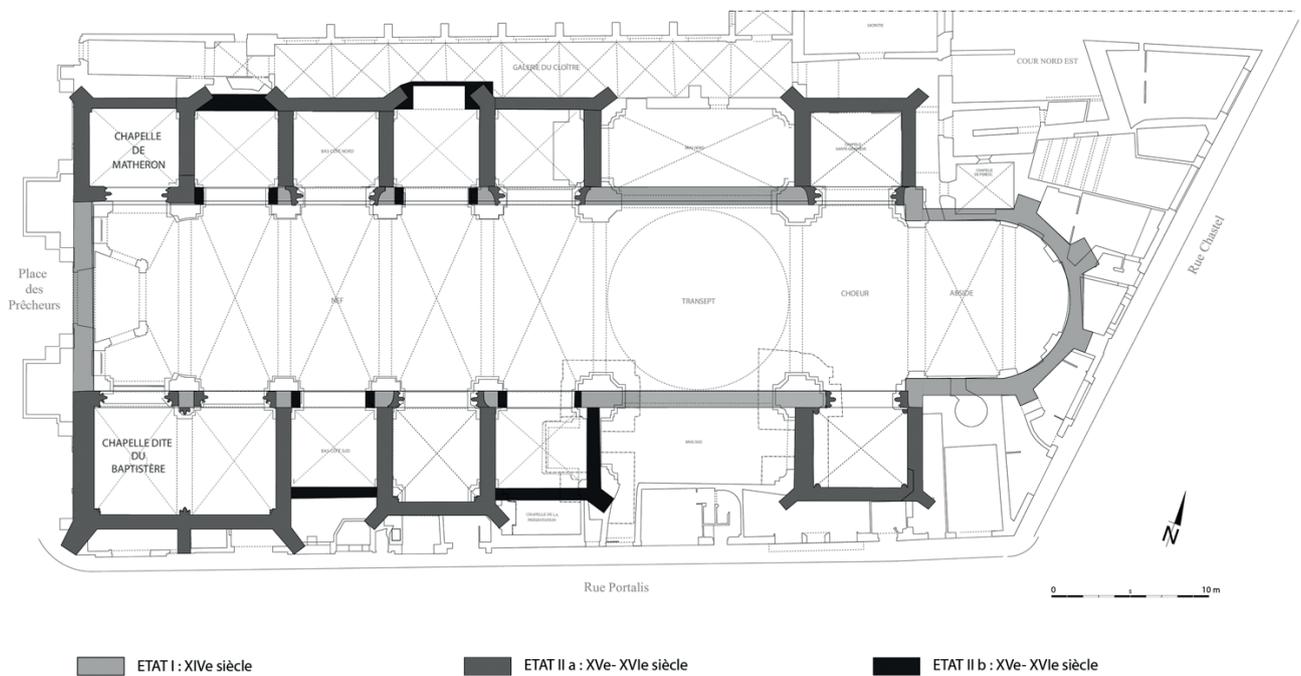
L'église des XVe-XVIe siècles : multiplication des chapelles funéraires et travaux d'entretien

« Dès le milieu du XIVe siècle, les abords de la nef et du chœur sont ainsi investis par des chapelles privées, familiales ou de confrérie comme celle de saint Pierre martyr connue dès 1420. Indépendantes les unes des autres, ces chapelles communiquent avec la nef moyennant le percement d'arcades au travers des murs gouttereaux. Au nord comme au sud, les contreforts, qui épaulent leurs angles extérieurs, trahissent leur mise en place à différentes périodes, souvent sans se soucier de laisser un vide entre deux constructions le temps qu'une troisième chapelle ne vienne s'y glisser. » p.12

« La plupart des chapelles latérales dont l'emprise se lit encore aisément dans le plan de l'église ont été réunies en bas-côtés à l'Époque moderne et ne sont plus apparentes en élévation. Seules les deux premières d'entre elles, entièrement appareillées en pierre de taille et voûtées sur croisées d'ogives, ont été conservées presque intactes dans les reconstructions de la fin du XVIIIe siècle. » p.13

« la chapelle des Mathéron est également désignée sous le vocable de Notre-Dame du Saint-Rosaire. Elle tient ce nom de la confrérie installée en 1500 par René Matheron, seigneur de Peynier et filleul du roi René, dans la chapelle familiale où il demande à être inhumé le 11 mai 1512. Entièrement montée en pierre de taille et dallée du même matériau, la chapelle des Matheron se développe sur une seule travée de plan presque carré, couverte d'une voûte d'ogives dont les nervures moulurées en doucines et cavets reposent sur des culots armoriés. Elle s'ouvre sur le vaisseau central de la nef par une grande arcade brisée reçue au niveau du sol sur des bases prismatiques et parcourue par une moulure continue à la modénature accentuée, où s'enchaînent doucines et scoties. Les parois murales de la voûte comme celles des murs latéraux ont été uniformisées par un badigeon à la chaux ocre pour recevoir des faux-joints peints restituant un appareil factice régulier qui constitue le décor primitif de la chapelle, avant son réaménagement dans la première moitié du XVIIe siècle. Aucun bois n'a pu être rattaché à sa construction. » p.14-15

La chapelle est entièrement appareillée en pierre de taille, qui recourt exclusivement au calcaire coquillier du type pierre de Bibémus. » p.13



Les travaux des frères Vallon (fin XVIIe-début XVIIIe siècle)

« Ce sont les interventions de Jean et Laurent Vallon, vraisemblablement conduites sur les plans du second, qui, entre 1691 et 1703, transforment radicalement l'église des Prêcheurs, unifiant et modernisant l'architecture composite de ce bâtiment.

Déjà largement entaillées par les arcades des chapelles latérales, les élévations intérieures des murs gouttereaux médiévaux sont alors reprises et entièrement parementées en pierre de taille pour laisser place à des arcatures latérales en plein-cintre, rythmées par de puissants piliers corinthiens composés. Un entablement mouluré couronne l'ensemble, au-delà duquel l'église est rehaussée d'un niveau de fenêtres hautes et voûtée. Ainsi remaniée, la nef se développe sur cinq travées de part et d'autre desquelles les anciennes chapelles latérales gothiques sont unifiées en bas-côtés sur le même principe. Elle s'arrête, à l'est, sur un transept non saillant doté à sa croisée d'une coupole, qui s'ouvre sur une travée droite précédant l'abside. La mise en place, dans le chœur, d'une grande quadrature prolongeant la nouvelle architecture au-delà de l'autel, vient clore, au début du XVIIIe siècle, cette campagne. » p.17-18

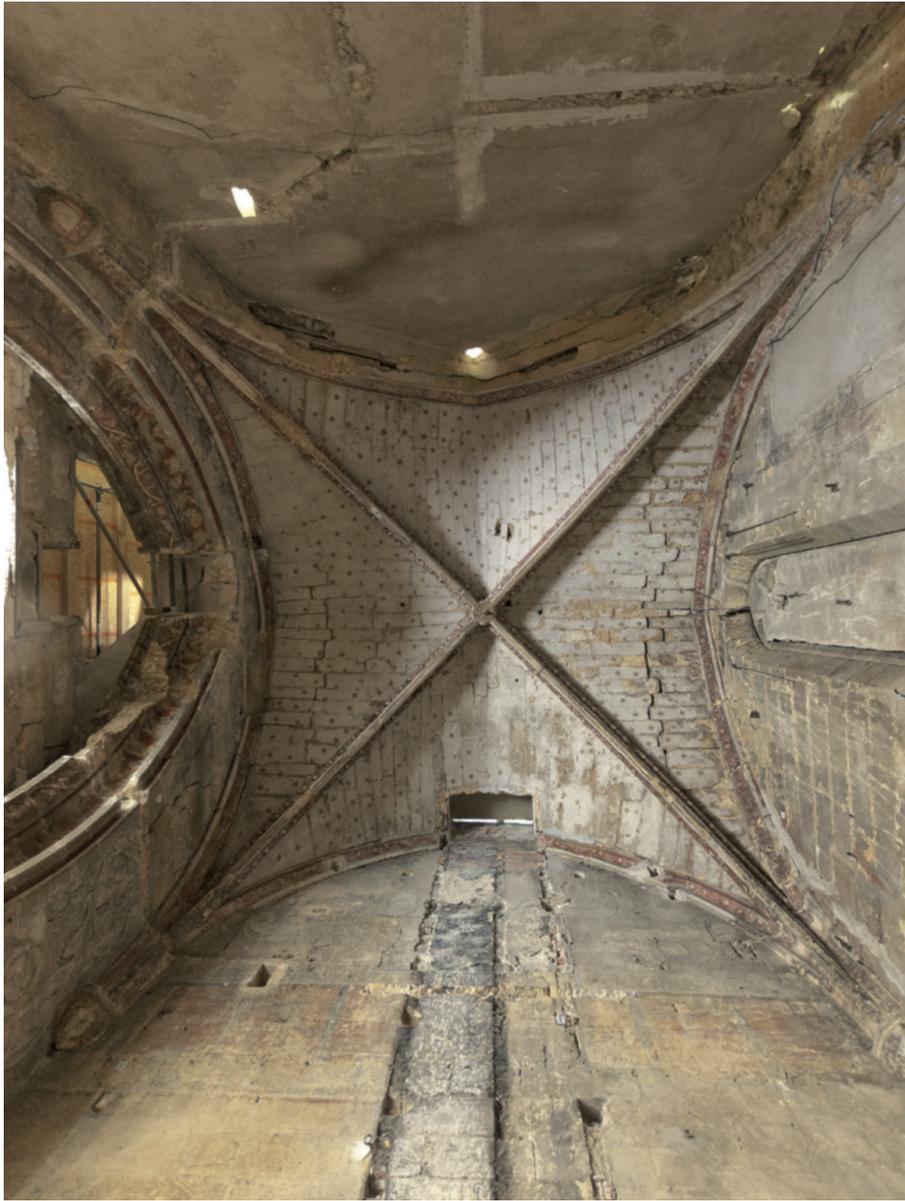
« Dans cet ensemble, les deux premières chapelles latérales, la façade occidentale à oculus et le chevet de la fin du Moyen Âge, simplement rehaussés pour s'adapter aux nouvelles élévations, ont été repris en l'état. » p.18

« Au nord, alors que toutes les chapelles ont été démembrées pour être intégrées au bas-côté, celle des Matheron est restée en l'état et une simple cloison d'attente en pan de bois a été dressée, à l'est, pour la séparer du bas-côté. » p.20

« Édifiée à la fin du XIIIe siècle, l'église des Prêcheurs d'Aix connaît jusqu'à la Révolution plusieurs grandes campagnes de travaux : une reconstruction au XIVe siècle, plusieurs chantiers successifs qui, entre le milieu du XIVe et la fin du XVIe siècle, élargissent sa nef sous la poussée des dévotions privées, une restauration massive à l'Époque moderne (1691-1703) et de multiples interventions d'entretien et de réaménagements sur les décors et les élévations que l'on ne saisit aujourd'hui que très partiellement.

Ces chantiers, auxquels s'ajoutent les travaux de remise en état post-révolutionnaire et les campagnes de restaurations contemporaines, ont contribué aux migrations, au sein de l'édifice, des matériaux de construction, en particulier des bois de charpente dont plusieurs éléments ne sont plus en position originelle. »

Aujourd'hui, l'Eglise suit une grande campagne de restauration, la chapelle que nous allons étudier est actuellement plongé edans le noir. il à fallu réfléchir au meilleur moyen de relever l'objet. Le choix de la ou des techniques de mesure et leur degré de précision dépend de ce que l'on cherche et de ce que l'on veut enregistrer.



Voûte de la chapelle des Matheron (cl. G. Thomann)

En effet « Utiliser des instruments de mesure trop perfectionnés, sans savoir pourquoi, à la recherche d'une précision que nous qualifierons d'illusoire, parce que sans corrélation consciente et argumentée avec les finalités du relevé, conduit à établir une sorte de préséance par le truchement d'équipements coûteux (donc de techniciens « spécialisés »), quand cela ne relève pas de la simple superstition, voire de l'imposture¹⁷⁰.

170 Manfred Schuller, architecte-archéologue, au cours des campagnes de travaux récemment menés sur la cathédrale de Ratisbonne : Cahiers de la recherche architecturale et urbaine, no 9-10, p. 81 sq., Paris, 2002.

« Pour avoir du sens et garantir de bons résultats, le relevé doit s'imposer comme programme. Il doit être élaboré avec conscience, dirigé par une intention précise et déterminée de connaissance et conduit avec une méthode interdisciplinaire. Il en résulte que le relevé est lié à l'opération particulière à accomplir, et requiert un véritable projet, comme la construction même de l'architecture... Le relevé est la réponse qui est donnée à une série d'interrogations suscitées par une intention de connaissance : il a donc un mobile et un but, c'est-à-dire qu'il tend à un résultat à partir d'exigences spécifiques ». 159 Roberto de Rubertis, «Il nuovo rilievo», dans R. de Rubertis (éd.), *La Città rimossa*, Roma, Officina Edizioni, 2002, p. 21–22

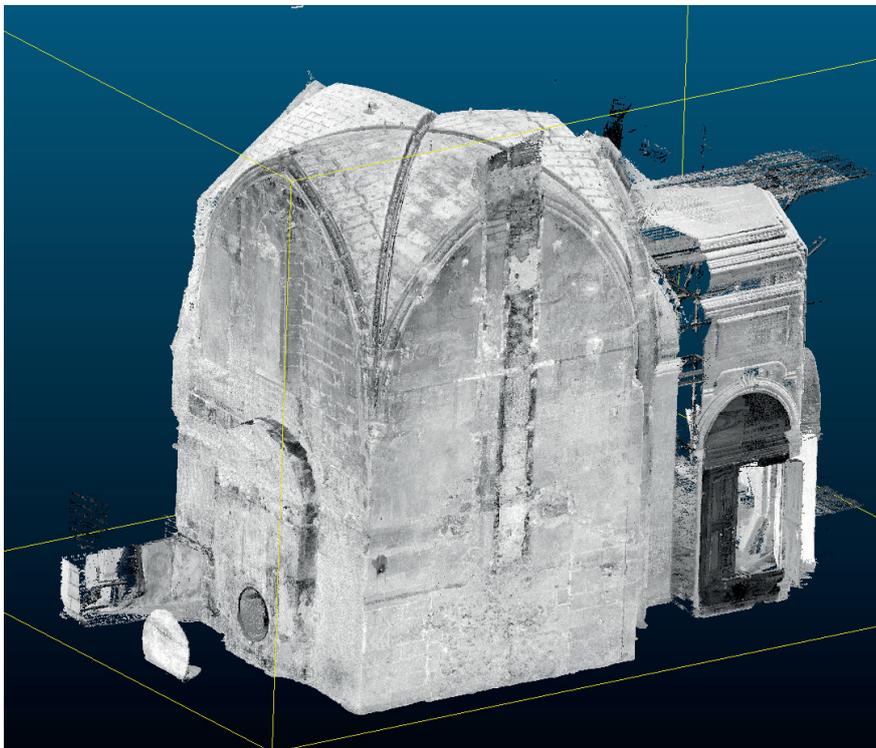
Les protocoles suivis :

Ce qui nous intéresse ici, c'est de relever la voûte qui compose cette chapelle des Mathéron. De la décrire structurellement et morphologiquement, afin de pouvoir la replacer dans un contexte historique.

Le relevé à la main : Le but de transcrire la réalité sur un document papier en l'occurrence la position pierre à pierre qui compose la voûte. Pour avoir des informations supplémentaires il est toujours judicieux d'avoir un relevé pratiqué à la main. Cela permet d'avoir des informations au delà des mots. L'importance du rapport et/ou du légendage des documents. Dans notre cas le relevé à la main s'est avéré compliqué en raison de l'obscurité au sein de la chapelle. Il aurait fallu revenir avec du matériel afin d'éclairer l'espace.

Le relevé photogrammétrique : le but est d'avoir des informations sur la morphologie d'un objet, la géométrie et la texture d'une surface. Mais ce type de méthode impose pour un relevé à l'intérieur, d'avoir une luminosité suffisante, constante et homogène.

Relevé lasergrammétrie : le but est d'avoir des informations sur la morphologie de l'objet tout comme la photogrammétrie. Dans notre cas c'est la seule méthode d'acquisition qui nous permettait de repartir avec une information sur la chapelle, compte tenu qu'une seule visite a pu avoir lieu. Le but ici est de créer une version numérique de la chapelle existant le plus précisément possible. Ceci, afin de permettre une analyse détaillée de la géométrie de la voûte.



Protocole : Tout d'abord il faut définir l'emplacement des différentes stations d'acquisition et notamment la station qui sera de référence. La station de référence va permettre de recalibrer les relevés de l'intérieur et de l'extérieur sur un même nuage, l'assemblage des données pourra se faire sur Cloud Compare. Après avoir choisi les stations d'acquisitions il faut placer les mires sphériques, il faut que de chaque station au moins trois mires soient visibles, et que ces trois mires soient présentes sur au moins une autre acquisition. L'emplacement des mires est important car elles permettent un géo-référencement qui peut remplacer un relevé disto, et permettent donc de recalibrer sur le nuage de points que créera le relevé laser l'acquisition photo-grammétrique qui apporte de nouvelles connaissances (couleur, plus de données de mesures, ...). Une fois les mires mises en place, l'acquisition peut commencer. A chaque station il faut faire attention à ce que le scanner laser soit de niveau, le niveau se trouve sur le pied portant le scanner laser. La station de référence doit avoir une qualité et une résolution d'acquisition plus importante que les autres. La qualité d'acquisition se définit sur le laser et en fonction de la qualité prendra un temps plus ou moins long. Le scanner laser prendra des informations à une longueur de portée précise (qualité) et un nombre de points au millimètre (résolution).

Une fois relevé, nous avons donc acquis de la donnée brute sans distinction ou classement. Une deuxième phase consiste donc à passer à une interprétation de cette donnée à travers une interprétation, en modélisant géométriquement l'objet.

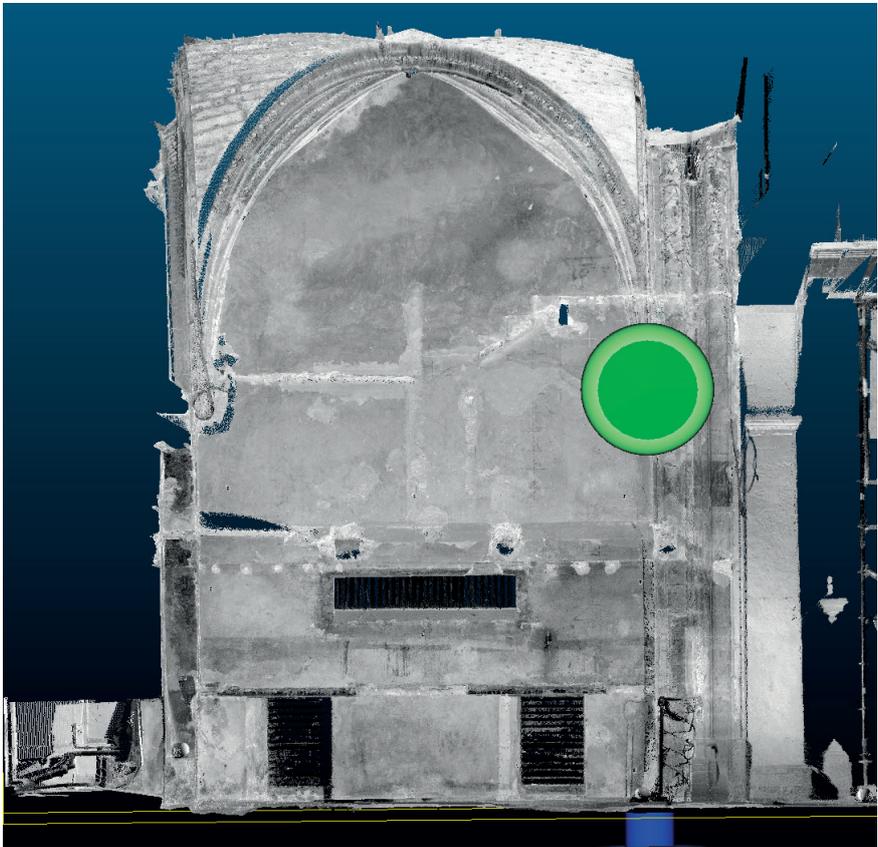
C'est à ce moment que l'on voit apparaître les traités stéréotomique et autres écrits d'architectures, enfin de chercher la règle qui correspond à la construction de notre objet. Suivant la complexité de l'objet, il faut être conscient que plusieurs modèles sont possibles. Afin de mieux comprendre la position de chaque pierre, les unes par rapports aux autres, il est possible de décomposer le modèle en plusieurs parties afin de mieux identifier leurs relation réciproques pour garantir la cohérence des informations produites au cours du processus de restitution.

Ortho- photographies :

Afin de mieux visualiser la morphologie de la structure, des images orthorectifiées sont réalisable avec le logiciel Cloud compare. Une image orthorectifiée est la création d'une « coupe » en 2 dimensions à partir de données 3D grâce à des méthodes de conversion présentes dans le logiciel.

La création d'une projection orthographique, où la perspective est supprimée de la représentation des données du nuage de points, permet de révéler des détails qui ne seraient pas visibles autrement. Cela est particulièrement pertinent par rapport à l'étude de l'espace à l'œil nu, où les différences sont beaucoup moins perceptibles.

Si l'étude des images orthorectifiées permet d'observer ces subtiles différences, elles ne fournissent pas des mesures exactes telles que les rayons, les angles et les distances. C'est à ce moment qu'un travail de redessin est nécessaire avec l'utilisation du logiciel Rhinoceros 3D



relevé scanner laser 3D puis traitement du nuage de point avec Cloud compare

Traçage des nervures de la voûte

Une fois que les modèles de nuage de points et de maillage ont été créés, un tracé de la courbure de chaque nervure peut être reproduit.

Dans Rhinoceros 5 : Application produite dans la cathédrale de Welles en Angleterre. Dans le cadre d'une campagne de relevé des baies que composent les bas cotés de la cathédrale. Ils souhaitent établir si oui ou non des courbures simples ou multiples sont présentes. « l'intrados (bord le plus à l'intérieur) du profil de chaque côte a été tracé à l'aide de l'outil « courbe de point de contrôle ». L'intrados a probablement marqué le point où la côte reposait sur le centrage en bois construit avant la construction physique de la voûte.

L'outil « courbe de point de contrôle » a été utilisé plutôt qu'un arc outil car cela supposerait que chaque nervure était constituée d'un seul arc, et entraînerait potentiellement des inexactitudes dans les résultats. L'essentiel était de s'assurer que le tracé fourni était aussi réaliste que possible et d'être ouvert à la possibilité que les courbures des nervures aient été constituées de plus d'un arc.

Dans un premier temps, le traçage des voûtes pour créer un modèle filaire a clarifié les hypothèses sur les différents ensembles de baies faites lors de l'étude des images orthorectifiées.

La comparaison dans Rhinoceros 5 de la vue en perspective 3D avec les vues 2D projetées orthographiquement (dessus, avant et droite) a permis d'analyser en détail la courbure de chaque nervure; encore une fois, ils ont constaté que les vues 2D créaient un format plus lisible pour vérifier leurs principes géométriques.

L'étude des courbures des nervures a révélé que chaque nervure construite était basée sur un seul arc, cependant, elles avaient des rayons différents et des points centraux différents; soit au-dessus, en dessous ou sur la ligne d'impost. Il est devenu évident que plusieurs rayons étaient utilisés de manière cohérente dans toutes les voûtes, et des motifs ont commencé à émerger en termes d'utilisation.

Une fois ces différences révélées, ils ont commencé à postuler comment les voûtes ont été conçues et construites en reconstruisant numériquement l'échantillon de baies sélectionné et en les superposant aux modèles de levés numériques pour plus de précision. Par conséquent, sans la précision des levés numériques, des différences subtiles peuvent être manquées et les conclusions sur les processus de conception et les relations peuvent être moins précises ».

Cette démarche systématique, associant tracés manuels et outils information (visualisation 3D par nuages de point), nous a permis de conclure que notre voûte était composée de quatre parties formant un croisée d'ogive typique de la période gothique.

CONCLUSION

CONCLUSION

L'objectif de ce travail était de confronter l'apport respectif des méthodologies traditionnelles et numériques : épure et dessins à la main versus outils numériques. Nos réflexions nous ont conduit à comprendre leur complémentarité.

En effet, « le relevé manuel/visuel » et « le relevé mécanique/automatique » permettent lorsqu'ils sont associés de palier aux limitations inhérentes des approches individuelles car « aucun instrument de mesure n'est neutre, pas même une règle, un crayon, ni la main elle-même : chaque outil, chaque instrument a son domaine de validité qu'il s'agit de connaître et de maîtriser ». L'évolution historique des techniques montre à quel point la diversité des approches est source de progrès.

« L'acquisition des données constitue une phase prioritaire, ces dernières, analysées, vérifiées, mises successivement en forme, donneront le résultat. Elles peuvent être réparties en trois catégories : les dessins, les images et les informations provenant de la littérature et des documents d'archives. L'usage du relevé, s'il se réduit aux opérations de mesure et de détermination géométrique, sans s'interroger sur la consistance réelle de l'objet architectural étudié aux différentes phases de son existence, est d'une portée limitée pour la connaissance de celui-ci, et donc pénalisant au moment d'opérer les choix relevant d'un projet de restauration. En fonction de la complexité et de l'ancienneté de l'objet, le relevé réclamera un groupe plus ou moins nombreux d'experts de différentes disciplines ».

On peut donc dire que le relevé crée la connaissance par le moyen d'une procédure d'investigation qui recueille les données non seulement de l'objet analysé mais de tout le savoir collectif qui a constitué les valeurs de l'objet ; il en reconstruit l'histoire et en interprète les significations. »

159 Roberto de Rubertis, «Il nuovo rilievo», dans R. de Rubertis (éd.), *La Città rimossa*, Roma, Officina Edizioni, 2002, p. 21–22

Le relevé est la réponse qui est donnée à une série d'interrogations suscitées par une intention de connaissance : il a donc un mobile et un but, c'est-à-dire qu'il tend à un résultat à partir d'exigences spécifiques.

L'intérêt du relevé est donc de sélectionner les éléments signifiants, afin de répondre à une question donnée (historique, analytique, pathologique...),

D'un côté on peut retenir que les dessins à la main peuvent induire en erreur en terme de fiabilité du levé original. En effet toute acquisition de données passe par un œil et donc en résulte une interprétation de l'information. Le relevé laser est un progrès lors de l'arpentage notamment dans les voutes (car plus besoin d'échafaudage si grande voute). C'est un modèle de base pour l'analyse d'un bâtiment.

« L'utilisation et la visualisation des données 3D ont changé la perception de l'information, la façon d'accéder et d'échanger des connaissances, ainsi que les méthodes d'interprétation et d'analyse des données du patrimoine construit ».

Kévin Jacquot, Livio de Luc

Cependant, « La vérification visuelle est un complément nécessaire du relevé « automatique », « high-tech »²³⁷, pour identifier par exemple les détails de peintures murales relevées par photographie²³⁸ dans une sorte d'application du principe de la « levée de doute ». Dans le cas de « l'anatomie constructive »²³⁹ ou de l'analyse archéologique²⁴⁰, la mise en évidence des épidermes, traces d'outils de taille, d'usure, de pathologie, n'est possible que grâce à l'observation directe, par l'œil derrière lequel se trouve le cerveau qui comprend et interprète.

L'exemple de la chapelle des Mathérons exemplifie cette complémentarité des approches.

Le relevé en architecture ou l'éternelle quête du vrai, 2011, édition Lieux dits, Colloque de la Cité de l'architecture et du patrimoine.

BIBLIOGRAPHIE

Site internet :

- <http://bestrema.fr/category/maconnerie/> (pour les voutes, encorbellement, balcons et explication des acquisitions de données et du traitement)
- https://pierres-info.fr/biblio-taille_de_pierre/traite-coupe-pierres.pdf
- http://passerelles.bnf.fr/reperes/viollet_le_duc_01.php

Livre :

- Sakarovitch Joel, *Epures d'architecture: de la coupe des pierres à la géométrie descriptive*, Edition-Birkhauser (historical Studies, Science Networks), 1998
- Leroy CFA, *Traité de stéréotomie*, 1844, + Planches annexes.
- *L'élévation architecturale ou l'éternelle quête du vrai*, 2011, édition Lieux dits, Colloque de la Cité de l'architecture et du patrimoine.
- *Encyclopédie des métiers, La maçonnerie et la taille de pierres*, 8 volumes, Association Ouvrière des Compagnons du Devoir du Tour de France
- « l'architecture et la crise de la science moderne, alberto Pérez-Gomez éditions architecture + recherches/ Pierre Mardaga.

Mémoire :

- Thuries Lionel, *Outils numérique et évolution de la conception architecturale*, 2013, Séminaire Forme information Novation Conception - Architecture Virtuelle, sous la direction de J.P. Goulette et S. Marques

Article :

- *Tracing the past : a digital analysis of Wells cathedral choir aisle vaults*, Nicolas Webb, Alexandra Buchanan.
- Sandrine Claude, Lisa Shindo, Jean-Louis Edouard. *L'église des Prêcheurs d'Aix-en-Provence : lecture archéologique et datations dendrochronologiques (La Madeleine, Aix-en-Provence).. ARCADE. Ap- proche diachronique et Regards croisés : Archéologie, Dendrochronologie et Environnement*, Apr 2014, Aix-en-Provence, France. pp.151-170. hal-02143984
- *Méthodes, formalismes et outils pour l'observation dimensionnée d'édifices*. Available from: https://www.researchgate.net/publication/237702011_Methodes_formalismes_et_outils_pour_l_observation_dimensionnee_d_edifices [accessed Dec 11 2020].
- *Modélisations sémantique et géométrique de structures maçonnées : Conference: Mètres et paramètres, mesure et démesure du projet. 7ème Séminaire de Conception Architecturale Numérique, SCAN'16At: Toulouse, France*, https://www.researchgate.net/publication/307964787_Modelisations_Semantique_et_Geometrique_de_Structures_Maconnees

Colloque/ vidéos :

- LIEVAUX Pascal, REGERT Martine, DILLMANN Philippe, MAGNIEN Aline, Introduction au chantier scientifique, dans : Chantier scientifique Notre-Dame– état des lieux et perspectives, [Colloque tenu à l’Institut National du Patrimoine, 2, rue Vivienne à Paris, les 19 et 20 Octobre 2020], [en ligne] Disponible sur : https://miti.cnrs.fr/colloque/action-transverse-miti-chantier-scientifique-notre-dame/#voir_videos

- GALLET Yves, ALBRECHT Stephan, LEROUX Lise, MOULIS Cédric, YBERT Arnaud, WARME Nicolas, Groupe travail «pierre», dans : Chantier scientifique Notre-Dame– état des lieux et perspectives, [Colloque tenu à l’Institut National du Patrimoine, 2, rue Vivienne à Paris, les 19 et 20 Octobre 2020], [en ligne] Disponible sur : [https://miti.cnrs.fr/colloque/action-transverse-miti-chantier-scientifique-notre-dame/#voir_videos- DE LUCA](https://miti.cnrs.fr/colloque/action-transverse-miti-chantier-scientifique-notre-dame/#voir_videos-DE_LUCA)

- Livio, GRANIER Xavier, RODIER Xavier, JACQUOT Kevin, MALAVERGNE Olivier, Groupe travail «données numériques», dans : Chantier scientifique Notre-Dame– état des lieux et perspectives, [Colloque tenu à l’Institut National du Patrimoine, 2, rue Vivienne à Paris, les 19 et 20 Octobre 2020], [en ligne] Disponible sur : https://miti.cnrs.fr/colloque/action-transverse-miti-chantier-scientifique-notre-dame/#voir_videos

C

Conception (CNTRL) :

« Action de concevoir. Souvent associé à l'exécution, réalisation »

Concevoir : « [Le suj. désigne un être pensant, l'accent est mis sur l'activité abstractive de l'esprit]

Former le concept, l'idée générale ou non d'un objet et, p. ext., se représenter un objet par la pensée. »

Conservation curative :

Actions entreprises directement sur un bien pour arrêter une détérioration et/ou limiter une dégradation.

Construire (CNTRL) :

Du latin "cum" avec qui donne l'idée de renforcer et "struo" empiler, verbe qui relie directement le métier de maçon

« Réaliser un édifice, un ouvrage d'art selon un plan déterminé. [...] Assembler des éléments selon un plan pour exécuter un mécanisme capable de fonctionner selon les prévisions. »

Épure (CNTRL) :

Dessin ou trait exécuté sur un mur ou sur une surface horizontale, en grandeur réelle, pour guider la construction d'une partie d'un édifice ou l'assemblage d'une machine; p. ext. ce même dessin à échelle réduite. Représentation linéaire à une échelle donnée, d'une figure à trois dimensions par ses projections (en élévation, en plan, de profil ou en coupe), permettant de situer dans l'espace la figure ainsi représentée. Grandes lignes d'une œuvre ou d'un système de pensée.

G

Géométrie (CNTRL) :

Partie des mathématiques ayant pour objet l'étude de l'espace (v. espace1A) et des figures qui peuvent l'occuper. Ouvrage traitant de cette partie des mathématiques. Forme qui ressemble à une figure étudiée par cette partie des mathématiques. Science innée de l'espace et des figures qui peuvent l'occuper.

M

Matériau (CNTRL):

C'est la transformation de la roche en matériau de construction.

« Type de matière qui entre dans la construction d'un objet fabriqué. »

Mise en oeuvre :

Réalisation d'une pensée, d'un plan en un objet concret.

P

Plate-bande (encyclopédie Diderot) :

Moulure carrée, plus haute que saillante. Dans l'ordre dorique, la plate-bande est la face qui passe immédiatement sous les triglyphes, et qui est à cet ordre ce que la cymaise est aux autres. Ce terme est dérivé des deux mots plat et bande, comme si l'on disait une bande qui est plate.

Plate-bande arasée, c'est une plate-bande dont les carreaux sont à têtes égales en hauteur, et ne font pas liaison avec les assises de dessus. Plate-bande bombée et réglée, c'est la fermeture ou linteau d'une porte, ou d'une croisée qui est bombée dans l'embrasure ou dans le tableau, et droite par son profil.

Plate-bande circulaire, plate-bande d'un temple ou d'un porche, de figure ronde. Telle est la plate-bande de l'entablement ionique de l'église de S. André sur le mont Quirinal à Rome, qui subsiste avec beaucoup de portée par l'artifice de son appareil.

Plate-bande de baie, c'est la fermeture carrée qui sert de linteau à une porte ou à une fenêtre, et qui est faite d'une pièce, ou de plusieurs claveaux dont le nombre doit être impair, afin qu'il y en ait un au milieu qui serve de clé. PLATE-BANDE, c'est dans la coupe des pierres, une voute droite et plane, de niveau ou rampante, qui sert de linteau ou de fermeture à une porte, à une fenêtre, ou à toute autre baie, comme d'architrave sur les entre-colonnements. Les pierres qui en sont les parties, s'appellent claveaux, et non pas voussoirs, comme aux autres voutes. La longueur de la plate-bande entre les pieds droits, s'appelle portée.

Pierre :

Matériau de construction formé de la roche d'où elle est extraite.

R

Reconstruction :

Construction d'un édifice ou d'un ensemble d'édifices en totalité ou en partie, dans le respect ou non de la forme initiale, après qu'ils aient été détruits ou fortement endommagés. Une reconstruction peut inclure des opérations de reconstitution.

Réhabilitation :

« Opération d'urbanisme consistant dans le nettoyage et la remise en état d'un quartier ou d'un immeuble ancien. » CNTRL

« En géologie, l'altération, plus précisément l'altération des minéraux, est l'ensemble des modifications des propriétés physico-chimiques des minéraux, et donc des roches, par des réactions abiotiques, induites par les agents atmosphériques à l'origine de l'altération météorique (ou météorisation), les eaux souterraines, responsables de l'altération de subsurface, et les eaux thermales, à l'origine de l'altération hydrothermale » wikipédia

Restauration :

Actions entreprises sur un bien en état stable ou stabilisé, dans le but d'en améliorer l'appréciation, la compréhension et/ou l'usage, tout en respectant son intérêt patrimonial et les matériaux et techniques utilisés

Roche :

Assemblage de minéraux généralement solide et formé.

Surface (CNTRL) :

Partie extérieure d'un corps, d'un objet, qui circonscrit le volume occupé par celui-ci. Face apparente, extérieure ou supérieure, partie visible d'un corps, d'une chose; face limitant un solide. Étendue constituant la limite supérieure d'une masse. Être géométrique à deux dimensions qui peut être considéré, soit comme l'ensemble des points limitant une portion finie ou infinie de l'espace et jouissant d'une même propriété définie, soit comme engendré par le déplacement d'une courbe dont le mouvement satisfait à une loi déterminée. Surface algébrique. Surface qui, par rapport à des axes de référence cartésiens, est représentée par une équation du type: $f(x, y, z) = \text{zéro}$. Surface réglée. Surface engendrée par une droite qui se déplace suivant une loi déterminée. L'étude des surfaces réglées profita (...) de l'introduction d'un nouveau système de coordonnées qui devait entraîner la naissance d'une véritable géométrie de la droite (Hist. gén. sc., t. 3, vol. 1, 1961, p. 38). Surface de révolution. Surface engendrée par une courbe plane, tournant autour d'un axe situé dans son plan. Le XVII^e siècle ajoute (...) le calcul de l'aire des surfaces de révolution (Bourbaki, Hist. math., 1960, p. 193).

V**Voûte (CNTRL) :**

Ouvrage de maçonnerie cintré, fait notamment de pierres spécialement taillées ou de béton, et servant à couvrir un espace en s'appuyant sur des murs, des piliers ou des colonnes. Paroi supérieure d'une cavité naturelle présentant une courbure en forme de dôme. Relief de forme arquée.