

TH. BAUTIER

Les graphismes d'espaces dans l'architecture religieuse monumentale. Du Moyen-Âge occidental

Publications de l'Institut de recherche mathématiques de Rennes, 1987-1988, fascicule 2
« Science, histoire et société », , p. 5-66

http://www.numdam.org/item?id=PSMIR_1987-1988__2_5_0

© Département de mathématiques et informatique, université de Rennes, 1987-1988, tous droits réservés.

L'accès aux archives de la série « Publications mathématiques et informatiques de Rennes » implique l'accord avec les conditions générales d'utilisation (<http://www.numdam.org/conditions>). Toute utilisation commerciale ou impression systématique est constitutive d'une infraction pénale. Toute copie ou impression de ce fichier doit contenir la présente mention de copyright.

NUMDAM

Article numérisé dans le cadre du programme
Numérisation de documents anciens mathématiques
<http://www.numdam.org/>

LES GRAPHISMES D'ESPACES DANS L'ARCHITECTURE RELIGIEUSE MONUMENTALE, DU MOYEN-AGE OCCIDENTAL

Quelques extraits commentés du
Dictionnaire raisonné de l'Architecture française
du XI^e au XV^e siècle de Viollet-le-Duc.

Th. BAUTIER

- III^e Cycle de Didactique des Mathématiques, Bordeaux I.
- G.R.E.C.O. "Didactique et Acquisition des connaissances scientifiques".

Je remercie mes amis Pierre Crepel et Jean-Yves Marquet de l'aide précieuse qu'ils m'ont apportée dans cette recherche.



A Madame Kervadec.

" "Ce qui distingue dès l'abord le plus mauvais architecte de l'abeille la plus experte, c'est qu'il construit la cellule dans sa tête avant de la construire dans la ruche. Le résultat auquel le travail aboutit, préexiste idéalement dans l'imagination du travailleur". Pour une fois, surprendrions-nous Marx en flagrant délit d'idéalisme?(...).

Pour l'architecte, le plan est tout extérieur, façonné progressivement à l'aide d'indices suffisants pour aboutir finalement au programme d'exécution. Que ce soit un modèle en volume, ou un tracé sur un support plan, tablette, parchemin, ou papier, le dessein de l'architecte ou de l'ingénieur, de l'artisan ou de de l'ouvrier est toujours d'abord un dessin, outil conceptuel dont le fonctionnement demeure à explorer, de la "première idée" aux plans d'exécution".

J.P.Poitou, Dessin technique et division du travail.

Le projet de reconstituer les pratiques graphiques qui sont évoquées par J.P.Poitou, en ce qui concerne les bâtisseurs de cathédrales et d'abbayes médiévales, pose tous les problèmes d'une reconstitution archéologique. En effet, la plupart des graphismes d'espaces ¹ qui remplissent une telle fonction de "modèle pour l'anticipation et l'action", ne nous sont pas parvenus.

O. Pour avancer dans ce projet d'une archéologie du graphisme d'espace dans l'architecture médiévale, il est nécessaire de combiner les approches inductives et déductives de la recherche en Histoire des Sciences. Soit :

1) Développer une analyse a priori des fonctions de la connaissance des graphismes d'espace dans l'institution architecturale,

¹ Terme générique qui regroupe les projections, coupes, sections et perspectives modernes.

Ici, il s'agit d'étudier le sens des coupes, sections, plans au sol et élévations, au travers d'une relature du Dictionnaire raisonné de Viollet-le-Duc. Dans un autre article de la Thèse, le sens des perspectives est étudié au travers d'une lecture de Peinture et Société de Francastel.

2) Reconstituer les pratiques graphiques réelles des constructeurs médiévaux, dans les "chambres aux traits" (Savignat) ²².

0.1. Le premier point est développé dans la Thèse Didactique des transformations géométriques (Université de Bordeaux), dans le cadre d'une méthodologie très générale développée par G.Brousseau sous le nom de Théorie des Situations.

Cette Théorie est présentée ici succinctement (cf. également la bibliographie) avant qu'une des conclusions de l'étude ne soit rappelée ici.

Cette Théorie propose une subversion du rapport habituellement établi entre les connaissances et les situations humaines en général. Cette subversion est exposée par G.Brousseau dans l'article Tendances originales des recherches en didactique des mathématiques en France (1982) ²³.

"Dans [une] approche restreinte, la didactique accepte le savoir constitué comme le résultat d'une activité qu'elle n'a pas à connaître, et à plus forte raison à théoriser. Elle doit seulement traduire ce savoir en objectifs d'enseignement, puis en apprentissages.

La mise en avant de l'épistémologie et de la théorie des situations didactiques :

Dans une autre approche, la didactique va, non seulement se fonder sur une théorie de la connaissance et de la formation des concepts, mais se fondre en elle. Ayant pour objet l'étude des conditions dans lesquelles apparaissent les comportements spécifiques des savoirs considérés, en vue de leur contrôle et de leur reproduction, elle va tenter de prendre directement ces conditions, ces situations comme objet d'étude et comme moyen

²²"Il est intéressant (...) de regarder l'organisation des loges de maçons à la fin du moyen-âge. La loge, matériellement, c'est la maison de bois ou de pierre où les ouvriers travaillent à l'abri des intempéries : elle est aussi appelée "chambre aux traits", parce que c'est là que sont tracées les épures au trait des voûtes et taillées les principales pierres de ces voûtes.

Dans cette loge, la place à l'Est est réservée au maître principal qui participe au travail qui s'y déroule : en effet, dans les images, quand apparaît un maître principal, il est généralement représenté tenant à la main un compas d'ogives qui sert directement au tracé des épures".

F.35 de Dessin et architecture du moyen-âge au XVIIIème siècle, J.M.Savignat.

Cf. également D.Kimpel.

²³Cet extrait précise également la perspective dans laquelle ce travail en Histoire de l'Architecture a été conçu.

de déterminer ce qui est comparable ou non, ce qui est reproduit ou non, et ce qui est enseigné ou non. Une situation didactique ne se distingue des situations "naturelles" ou "historiques" permettant l'exercice ou l'apparition de la connaissance, que par leur caractère intentionnel - même si cette intervention d'un tiers change beaucoup de choses, il peut être intéressant de comprendre quoi - (...).

Ainsi, la situation est renversée. Il s'agit d'appréhender la connaissance par le biais des conditions dans lesquelles elle apparaît, de façon à pouvoir les reproduire au moins approximativement, et par là, de provoquer chez l'élève l'acquisition d'un savoir dont le sens et le fonctionnement soient satisfaisants. Bien sûr, les situations didactiques ne peuvent pas ressembler beaucoup aux situations "historiques" correspondantes. Ce sont leurs effets qui doivent tendre à se ressembler".

F.8 et 9. de la Thèse Théorisation des phénomènes d'enseignement des mathématiques (Annexes).

Une classification de l'ensemble des situations historiques et didactiques dans lesquelles une certaine connaissance des graphismes d'espaces intervient (de manière nécessaire), est donnée dans la Thèse. Elle permet de prévoir certains caractères généraux des pratiques graphiques médiévales.

En particulier, elle permet de prévoir que l'analyse des documents graphiques conservés jusqu'à nous aujourd'hui n'est pas suffisante pour espérer remplir le vaste projet dessiné plus haut :

Deforge et Savignat ont étudié les documents existants, ils ont montré qu'ils étaient tous liés à une obligation "externe" de relation avec l'institution, comme celle de présenter le projet aux commanditaires de l'"Oeuvre". Ils ont démontré également que ces documents "servaient à communiquer des renseignements techniques".

L'analyse a priori des situations permet de relier entre eux les trois caractères précédents des graphismes (le fait qu'ils se soient conservés, l'obligation institutionnelle auxquels ils répondent, leur fonction de transmission ou de stockage de l'information). Le sens de la connaissance (ici, comme langage permettant la communication graphique) se ramène donc bien à son fonctionnement, et à ses contraintes de fonctionnement dans les situations.

Comme pour toute connaissance mathématique, les graphismes d'espaces ne fonctionnent pas seulement comme langage, mais aussi comme modèle implicite permettant l'anticipation du résultat des actions. C'est cet aspect qui est ici étudié dans le contexte historique de l'Architecture médiévale.

0.2. La partie archéologique de ce travail est présentée dans cet article, elle vise à compléter d'une démarche inductive l'analyse a priori précédente.

Elle démontre que des graphismes d'espaces élaborés ont été utilisés par les différents membres de la Loge, dans le secret du cabinet de travail du concepteur ou "directement tracés au sol, en grandeur d'exécution, sur une aire préparée" (Deforge), bien avant le XIIIème siècle⁴.

La méthode qui a été utilisée, est directement issue de l'archéologie :

Par une analyse constructive précise des édifices actuels, il s'agit de reconstituer l'histoire de leur édification d'une manière suffisamment précise pour qu'il soit possible d'en déduire les pratiques graphiques qui apparaîtront alors comme nécessaires.

Une analyse a priori (cf. Thèse, cf. également Lebahar Le graphisme d'espace, simulation graphique et réduction d'incertitude) conduit à privilégier les questions suivantes dans la reconstitution :

- *Quels problèmes architectoniques, les constructeurs du Xème ou du XIIIème siècle, avaient-ils à résoudre ?*
- *Ont-ils cherché à une certaine époque, à les résoudre dans une stricte phase d'anticipation, i.e. sans recourir à l'expérience directe de la construction ? Ont-ils eu recours dans ce cas, à certains types de dessins pour "se représenter" mentalement et graphiquement les problèmes, pour déterminer les solutions⁵ de ces problèmes ...?*
- *Est-il possible par une démarche archéologique de "démontrer" que, pour anticiper et résoudre les problèmes architectoniques qui se posaient à eux, les bâtisseurs de cathédrales ont inventé*

⁴Ces graphismes ont disparu "parce qu'ils servaient à trouver graphiquement les solutions d'un problème précis. Ces dessins d'édifices étaient, par fonction même, "éphémères".

⁵Lebahar a mis en évidence par l'analyse des pratiques graphiques actuelles des architectes, que les représentations d'espaces pouvaient permettre une simulation graphique de l'espace et un véritable calcul graphique.

"certains des modes de représentations graphiques de l'espace, connus aujourd'hui sous les noms de "coupes", "sections", "plans au sol" ou "élévations" ?

1. Pour avancer dans ce vaste programme, je me contenterai d'emboîter le pas de Viollet-le-Duc, et de commenter de larges extraits de son Dictionnaire raisonné de l'architecture française du XIème au XVIème siècle.

Avec minutie, Viollet-le-Duc reconstitue dans le Dictionnaire, beaucoup des pratiques graphiques disparues de l'Architecture médiévale. Sans aucun doute, cette érudition a-t-elle été acquise au cours de sa pratique de la restauration des édifices romans et gothiques ; sa contribution à une archéologie du graphisme médiéval reste essentielle.

Les passages qui suivent traitent, explicitement ou non, des questions précédentes, ils ont été ici rassemblés, regroupés en quatre rubriques⁷ et commentés dans cet article.

La lecture du Dictionnaire de Viollet-le-Duc pose un certain nombre de problèmes théoriques, ils vont être exposés maintenant. Les chapitres de l'étude sont ensuite présentés.

1.1. Les extraits du Dictionnaire qui sont ici présentés, peuvent être lus en continu, et indépendamment des commentaires. Ils constituent donc un condensé des résultats de la recherche de Viollet-le-Duc, sur la question des pratiques graphiques disparues des bâtisseurs de cathédrales.

Ils démontrent, conformément à l'analyse a priori, que les graphismes d'espaces ont joué un rôle essentiel, dans ces situations où l'action est simulée sur le plan de la représenta-

⁶Sous une forme qu'il reste à déterminer. Le vocabulaire introduit par Y.Chevallard pour distinguer certains fonctionnements du savoir dans les situations historiques (proto-, para- et mathématique, cf. La transposition didactique), peut être utile pour cela.

Sans présumer des résultats, il est certain que toutes les connaissances de géométrie que nous verrons fonctionner en situations, dans ces reconstitutions auront un fonctionnement proto-mathématique.

Le contrôle par une théorie de ces tracés viendra beaucoup plus tard (Desargues, Monge ?), dans une problématique en partie étrangère à ces tentatives de "Géométrie" de l'espace architectural.

⁷"Le principe logique", "des reconstitutions diverses de pratiques graphiques", "le problème de l'élévation" et "la question des obstacles épistémologiques".

tion graphique. De manière plus précise, les graphismes d'espaces ont permis de :

- simuler les actions dans l'espace sur le plan de la représentation, dans les cas où elles seraient impossibles.
- exécuter des calculs graphiques.

1.2. Parallèlement à ces extraits, il est apparu nécessaire de développer quelques éléments d'une analyse critique. Viollet-le-Duc n'est pas en effet un auteur facile, ses démonstrations sont souvent entachées de raisonnements idéologiques (au sens d'Althusser).

Francastel est allé très loin dans l'analyse des idéologies de l'auteur qui s'expriment dans le Dictionnaire :

"On peut dire des archéologues français que, jusqu'à ces derniers temps, ils ont tous été les disciples de Viollet-le-Duc. Quelques réserves qu'il soit possible de faire sur certains de ses travaux, il n'en domine pas moins, et de très haut, tous les autres historiens de l'art du XIX^e et du XX^e siècle, aussi bien par l'ampleur de son information que par la vigueur de sa pensée.

Il n'a pas seulement imprimé une orientation décisive aux études d'archéologie médiévale, il a formulé, en outre, un certain nombre d'opinions reçues, encore aujourd'hui, par tous les historiens - comme celle de l'existence nettement distincte d'un monde roman et d'un monde gothique...

Viollet-le-Duc a transmis aux générations suivantes le dogme fondamental de la multiplicité des caractères et de la localisation régionale des édifices, c'est à dire la doctrine de la géographie des styles...

Au fond de la doctrine des écoles régionales on trouve, en dernière analyse, l'attachement aux traditions provinciales et monarchiques d'avant la Révolution. Il faut y joindre le succès des thèses folkloriques en matière d'art comme de littérature [Mérimée]...

Il s'en faut que l'idéologie dont s'inspire les théories de Caumont et de Viollet-le-Duc ait cessé d'avoir cours. Avec chaque vague de réaction le régionalisme revient en honneur. La mode du folklore durera sans doute aussi longtemps que le prestige des théories germaniques de l'instinct [sic]".

"Le problème des écoles romanes", Chap.1 de L'humanisme roman (p.2 et 14-15, première édition 1942).

J'y ajouterai pour faire bonne mesure, un anticléricalisme latent et une haine de l'Académie alors triomphant en Architecture.

2. Il faut "apprendre à (...) lire" cet auteur au travers de ses idéologies. C'est au prix de cette double lecture que nous pourrions tirer profit de "cet ouvrage incomparable [qui] tout à coup, pourrait s'éclairer à nouveau et nous donner à comprendre et à voir"⁹.

2.1. H.Damisch avance une hypothèse intéressante pour rendre compte de la fonction (idéologique) assignée par Viollet-le-Duc, à son Dictionnaire :

" Viollet-le-Duc (...) en rédigeant les volumes de son dictionnaire, ne s'est pas proposé autre chose que de forger l'instrument théorique qui devait lui permettre de discréditer définitivement un enseignement anachronique qui ne faisait point de place à l'étude raisonnée des monuments du passé et à la connaissance des principes constructifs...

Là où l'école enseignait à copier, Viollet-le-Duc entendait expliquer, analyser, raisonner¹⁰. Et nulle autre architecture que celle des XII^e et XIII^e siècles ne lui paraissait se prêter mieux, par son caractère rigoureusement déduit et lié, à ce travail de l'esprit dont il attendait qu'il ouvre la voie à une architecture nouvelle, et *moderne* ".

P.9. de Viollet-le-Duc, l'architecture raisonnée.

2.2. L'hypothèse suivante nous guidera tout au long de cette relecture du Dictionnaire de l'architecture raisonnée :

Afin de placer le style gothique sur le piédestal de la rationalité, Viollet-le-Duc est conduit à déformer l'analyse des pratiques graphiques romanes et gothiques, dans le sens suivant :

- Il surestime souvent le niveau des connaissances savantes chez les architectes gothiques, cherchant à émerveiller son lecteur de ce que les constructeurs de cette époque aient pu inventer par exemple la géométrie descriptive !

⁹Les deux citations sont de H.Damisch, p.11 de L'architecture raisonnée.

¹⁰Ce qui est développé dans son dernier ouvrage "Histoire d'un dessinateur".

- Il sous-estime symétriquement, les compétences des constructeurs romans ¹⁰ en technique architecturale.

Pour avancer dans le projet, il faudra donc être plus rationaliste que Viollet-le-Duc et continuer là où il l'a laissée, l'analyse historique concrète de l'architecture monumentale médiévale. De manière générale, l'analyse résolument constructive que l'auteur a développée avec autant de passion dans le Dictionnaire, s'arrête à l'instant même où elle pourrait s'opposer à l'une de ses idéologies...

De nombreux exemples seront donnés dans les commentaires.

3. Les quatre rubriques de l'analyse.

3.1. A propos des principes d'architecture, chez Viollet-le-Duc.

Deux points :

- L'essentiel des analyses contenues dans le Dictionnaire, consiste à qualifier chaque style par un "principe" architectonique spécifique ¹¹ : les Romains possèderaient ainsi le principe de stabilité inerte ; les Romains, le principe d'élasticité ; les Gothiques, le principe d'équilibre ¹².

- L'histoire de l'Architecture médiévale semble se résumer pour Viollet-le-Duc à la découverte (laborieuse) des conséquences d'un seul principe, selon lequel dans la construction, "c'est le porté qui détermine le portant" ¹³.

Tout semble se passer comme si le fait de décerner aux grandes architectures de telles "distinctions", facilement hiérarchisables, donnait à l'Histoire de l'architecture un sens inéluctable et interdisait à Viollet-le-Duc de se poser complètement la question des conditions historiques et techniques qui ont rendues possibles (et souhaitables) la possession de tels principes.

¹⁰Par exemple : "On voit que les constructeurs romans primitifs bâtissaient au jour le jour, s'en rapportant à l'inspiration, aux hasards, aux circonstances, comptant même peut-être sur un miracle pour parfaire leur oeuvre [sic]", p.106 de l'article "Construction".

ou :

"Cet art ne manquait ni de grandeur, ni même d'originalité (...). Cependant, après le grand essor qu'il avait pris dès les premières croisades, cet art, arrivé bien vite à une certaine perfection relative, était à bout de souffle. Il tournait dans un cercle peu étendu, parce qu'il ne reposait pas sur un principe neuf, entier, parce qu'il s'était borné à étudier la forme sans trop se préoccuper du fond".

P.208 de l'article "Style", Choix d'extraits de H.Damisch.

¹¹C'est à dire une manière condensée de parler des pratiques réelles et des représentations de ces pratiques.

¹²cf. quatrième partie.

¹³cf. première partie.

Les phénomènes observés sont en partie "naturalisés", par l'effet d'un obstacle verbal (Bachelard).

Pour dépasser cette limite importante de l'analyse historique proposée par Viollet-le-Duc, il est nécessaire de se poser la question du sens de l'évolution des styles, dans l'Histoire de l'architecture monumentale.

3.2. Sur le sens de l'évolution des styles dans l'Histoire de l'Architecture médiévale.

R. Bechmann, dans Les racines des cathédrales : l'architecture gothique, expression des conditions du milieu, a démontré une importante Thèse sur cette question du sens de l'Histoire de l'architecture médiévale. Elle est reprise ici en ces termes :

L'évolution des styles architectoniques entre le X^e et le XIII^e siècle est la résultante sur ce plan technique, de l'évolution rapide des systèmes de contraintes constructives qui pèsent sur les chantiers.

Le système de contraintes historiquement déterminées, est formé de l'ensemble des contraintes naturelles et sociales auquel un édifice doit satisfaire, augmenté de l'ensemble de ce que la société met à la disposition des constructeurs comme moyens techniques, matériaux, énergies humaines et naturelles, pour y répondre.

Selon Bechmann, le système de contraintes permet d'expliquer, à un moment donné de l'Histoire, et de la manière la plus "directe" et "fondamentale"¹⁴, le style de l'architecture, l'ensemble des pratiques techniques et des représentations de ces pratiques...

L'évolution historique de ces systèmes de contraintes est elle aussi bien connue, en particulier depuis Bechmann. Elle se manifeste essentiellement dans les édifices, sous la forme d'un double processus d'économisation du matériel :

- économisation du matériau de l'édifice.
- économisation du matériau de l'édification.

Il apparaît en effet que l'augmentation générale des contraintes constructives dans l'Histoire de l'Architecture¹⁵ a eu un effet

¹⁴Beaucoup d'autres éléments non liés aux systèmes de contraintes historiques, influencent également les types d'architecture : la connaissance ou non de certains graphismes d'espaces par exemple.

Il sera démontré que tous ces aspects prédictifs, souvent relevés par Viollet-le-Duc dans le Dictionnaire, se laissent déduire, par nécessité, de l'état du système des contraintes constructives. Ce sont donc des arguments "indirects" pour rendre compte du sens de l'évolution historique.

¹⁵Qui est d'une certaine façon, le "moteur de l'Histoire"...

saisissant sur l'évolution des constructions :

Les structures de soutènement provisoire se sont progressivement intégrés au bâtiment et les édifices se sont allégés de plus en plus ¹⁶.

L'explication classique de cette évolution est que les constructeurs ont pris conscience progressivement qu'ils pouvaient spécialiser les éléments d'architecture d'un point de vue fonctionnel :

Aux trois fonctions constructives fondamentales (soutenir - contrebuter - enclore) correspondent dans l'architecture gothique, le triplet (arcs de voûte - arcs boutants et contreforts - voûtains et murs de remplissage). Au contraire, dans l'architecture romane, les trois fonctions constructives sont indifférenciées dans la pierre...

Cette spécialisation dans la pierre des fonctions architectoniques conduit nécessairement à une économie de matière, elle implique également une augmentation de l'anticipation ...

3.3. Sur le sens des graphismes d'espaces en architecture :

La lecture du Dictionnaire de Viollet-le-Duc permet de conforter les Thèses précédentes, mais elle permet de les relier à la question des graphismes d'espaces. Une nouvelle explication de cette tendance historique à la spécialisation fonctionnelle des parties de l'édifice, s'en déduit :

Si les constructeurs médiévaux ont su s'adapter à l'évolution des systèmes de contraintes constructives, s'ils ont su construire avec de moins en moins de matériaux, s'ils ont su spécialiser leurs éléments d'architecture, c'est qu'ils ont développé au fur et à mesure de ces évolutions, des moyens graphiques nouveaux, grâce auxquels ils ont pu mieux prévoir, mieux anticiper, mieux préparer l'exécution de leurs édifices (cf. la Thèse).

Les extraits du Dictionnaire raisonné de l'architecture française qui sont réunis dans les Deuxième et Troisième parties de cet article, décrivent précisément quelques aspects de ces pratiques graphiques médiévales. Viollet-le-Duc y met à profit son immense érudition et sa connaissance minutieuse de la réalité des édifices.

¹⁶Aux deux extrêmes de cette longue Histoire de l'architecture monumentale de pierres, se trouvent les Pyramides et les Mégalithes d'une part (cf. Niel), la Coupole de Brunelleschi d'autre part. L'évolution y est manifeste...

3.4. A propos des obstacles épistémologiques :

Le Dictionnaire de Viollet-le-Duc a également été mis à contribution pour répondre à la question théorique de l'existence ou non d'obstacles épistémologiques, dans cette partie de l'Histoire des Sciences et des Techniques (cf. les commentaires de ces extraits). Viollet-le-Duc y apparaît encore comme un auteur irremplaçable, une fois toutes les précautions de lecture prises.

3.5. Sur le phénomène de concrétisation (Simondon) :

Un dernier élément théorique du système d'analyse, concerne le processus de concrétisation de l'objet technique, tel que Simondon l'a étudié dans un chapitre de son ouvrage Du mode d'existence des objets techniques.

La concrétisation est (...) conditionnée par une invention qui suppose le problème résolu... L'objet technique est donc la condition de lui-même comme condition d'existence de ce milieu...

Un milieu que l'être technique crée autour de lui-même et qui le conditionne comme il est contitionné par lui.

Dans l'objet technique concret, toutes les fonctions que remplit la structure sont positives, essentielles, et intégrées au fonctionnement d'ensemble...; le schème de fonctionnement incorpore les aspects marginaux ; les conséquences qui étaient sans intérêt ou nuisibles deviennent des chaînons du fonctionnement ".

P.38 et 55.

Cette étude de l'architecture fournira l'occasion d'illustrer de nombreuses fois cette notion théorique.

Viollet-le-Duc expose le principe logique qui est central dans son analyse : " c'est la chose portée qui détermine la chose portante ". Une analyse critique est esquissée dans les notes.

Ensuite, une reconstitution spéculative des pratiques graphiques qui ont conduit l'abbé SUGER à décider de la forme du Choeur de l'église de Saint-Denis, est donnée

Enfin, au détour d'une phrase de l'article "Profil", alors qu'il reconstitue les tracés préparatoires à la taille des arcs de voûtes, Viollet-le-Duc avance les arguments qui permettent de rejeter sa Thèse. Cela est repris en termes de concrétisation de l'objet technique et d'adéquation de la forme à la fonction constructive.

[TRAIT (Art du)] "C'est ainsi qu'on désigne l'opération qui consiste à dessiner, grandeur d'exécution, sur une aire, les projections horizontales et verticales, les sections et rabattements des diverses parties d'une construction, de telle sorte que l'appareilleur puisse découper les panneaux d'appareil, le gâcheur faire tailler les pièces de bois qui constituent une oeuvre de charpenterie; le menuisier, les membrures et assemblages des lambris, portes, croisées, etc.

Le trait est une opération de géométrie descriptive ¹, une décomposition des plans multiples qui composent les solides à mettre en oeuvre dans la construction...

Si les éléments de la géométrie semblent à peine connus des constructeurs carlovingiens, ils sont évidemment familiers aux architectes clunisiens, qui ont élevé la nef de Vézelay vers 1100; et, trente ans plus tard, on s'aperçoit, dans la construction du porche de la même église, que ces constructeurs ont, en géométrie descriptive, des connaissances déjà étendues, car toutes les parties de ce porche, et l'appareil notamment, sont tracées avec sûreté et précision...

En toute chose, c'est la conclusion à laquelle on veut arriver qui commande les prémisses, et personne ne commencera un livre ou un discours sans savoir, au préalable, ce qu'il veut démontrer ².

Dorénavant, dans le tracé de la structure, c'était la chose

¹Collusion de deux vocabulaires, de deux époques et de deux finalités de la connaissance des graphismes d'espaces ...

Viollet-le-Duc est aveugle à ces différences, ce qui le conduira fréquemment à surestimer les connaissances des constructeurs en graphismes d'espaces.

²L'idéologie de Viollet-le-Duc s'exprime dans la suite de ce texte :

"Une méthode aussi naturelle, aussi simple, aussi logique, ouvrirait alors un champ nouveau à l'architecture, comme elle l'ouvrirait encore aujourd'hui, si l'on voulait se donner la peine de l'appliquer avec rigueur et en utilisant les éléments dont nous disposons".

portée, sa configuration, sa pesanteur, sa position logique, qui allaient imposer les membres et les formes de la chose qui porte
3...

Encore une fois c'était là un progrès, une idée nouvelle, car cette idée n'avait pas été développée avec cette rigueur, ni chez les Grecs, ni dans les édifices romains 4...

En architecture, tout est problème à résoudre ... L'art (...) a besoin de recourir à des principes absolus, doit adopter une méthode logique dans sa marche, serrée dans son application. Les maîtres du XII^e siècle comprirent ainsi leur rôle, et s'ils ne

3C'est le principe fondamental selon Viollet-le-Duc. Or, l'inversion de l'ordre des décisions et des actions, dans l'anticipation puis l'exécution, est certainement connue de tous les architectes, de toutes les époques.

C'est la première leçon de la pratique architecturale : les contraintes se trouvent en hauteur, il faut prévoir les problèmes et chercher à les résoudre "avant" qu'ils ne se posent.

Il est donc difficile d'adhérer à l'idée de Viollet-le-Duc, que ce principe fut "découvert" par les Gothiques...

4Viollet-le-Duc exprime ici, une conception générale de l'Histoire où l'idée de progrès est le corollaire de l'idée d'ignorance et d'incompréhension. Une hypothèse similaire a été défendue par Simondon, dans son étude de l'Architecture monumentale :

Les parties horizontales des Temples grecs et des dolmens, manifesteraient avec évidence l'ignorance des constructeurs des propriétés constructives de la pierre (qui travaille à l'extension, au contraire du bois !...).

De telles hypothèses d'ignorance sont absolument inacceptables en Histoire des Sciences et des Techniques. Elles marquent souvent, les limites du modèle théorique lui-même (cf. la Thèse, pour d'autres illustrations de ce principe général).

5 Il sera montré plus loin que si les constructions gothiques manifestent dans la pierre l'idée que le "porté détermine le portant", ce n'est pas "parce que" les constructeurs gothiques avaient cette idée et que leurs prédécesseurs ne l'avaient pas, mais parce que la réalisation de ce principe éternel de l'architecture, est une des conséquences de l'évolution du système de contraintes constructives.

L'évolution des styles architecturaux dans l'Histoire n'a pas le sens d'une compréhension progressive des propriétés constructives de la pierre (Simondon), elle n'est pas non plus liée à la lente découverte du principe que le "haut détermine le bas" (Viollet-le-Duc), car ce sont tous les deux, des faits d'expériences immédiatement acquis par la pratique.

Le principe logique

nous ont pas laissé d'écrits «pour nous le dire, ils ont élevé assez de monuments, encore entiers, pour nous le prouver » ...

« Un moine de génie semble avoir provoqué cette révolution dans l'art de bâtir. Suger fit reconstruire l'église de Saint-Denis en 1137. Elle était terminée, ou peu s'en faut, en 1141. Or, on voit apparaître déjà, dans ce qui nous reste de ce monument, le système de structure dit *gothique*...

La figure explique l'ensemble du tracé de la partie conservée du tour du chœur élevé par Suger. Le plein cintre a complètement disparu ; tous les arcs sont tracés en tiers-point, et c'est leur projection horizontale ^{??} qui commande impérieusement déjà la place et la forme des piliers. En d'autres termes, l'architecte a dû tracer les voûtes d'abord sur son plan, avant d'arrêter la disposition des piliers ...

Fig.
1.

Nous ne nous occupons que de la partie comprenant les chapelles et le double collatéral qui appartient à la structure de 1137. On remarquera que les branches d'arcs ogives *ab*, *cd*, *de*, *df*, etc., sont sensiblement égales. Du moment que l'arc brisé

« Dans l'article "Construction", il explicite la métaphore :

" Or, si nous pouvons enseigner la géométrie avec les livres imprimés d'hier, nous ne pouvons faire de même pour la construction; il faut nécessairement aller chercher ses principes là où ils sont tracés, dans les monuments; et ce "livre de pierre", si étranges que soient ses types ou son style, en vaut bien un autre quant au fond, quant à la pensée qui l'a dicté".

✓ Il ne serait certainement pas dans l'idée de Viollet-le-Duc d'interpréter cette phrase dans le sens moderne d'une sémiologie de l'espace (analyser l'édifice comme porteur d'une intention du constructeur de s'exprimer sur l'espace, comme un "discours" sur l'espace).

Un exemple symptomatique de ce courant de pensée :
"L'environnement humain se compose de signes. Or, les signes, parce qu'ils s'articulent en signifiants et en signifiés, et parce qu'ils renvoient les uns aux autres, doivent se distinguer et jusqu'à un certain point s'opposer. L'oeuvre architecturale se distribue donc fatalement [sic] en signes distincts,

« (suite) et là intervient même la fonction essentielle de sa décoration : (...) l'encadrement de la porte la détache comme port [sic]", H. Van LIER L'espace architectural Encyclopaedia Universalis, 299 b et c, tome 2.

Viollet-le-Duc nous mettrait sans doute en garde contre ce type de "dérive", qui finalement évite le problème de l'analyse constructive.

C'est sans doute la plus grande leçon que peut nous donner aujourd'hui Viollet-le-Duc, de chercher les explications les plus "fondamentales", de ne pas se contenter d'une explication esthétique ou sémiologique d'un phénomène patent en architecture, si la "réalité constructive" suffit à donner une explication rationnelle.

De nombreux exemples sont développés dans ces extraits.

° On dirait aujourd'hui verticale.

Le principe logique

était admis, les petites différences de longueur de ces branches n'empêchaient pas que leurs clefs atteignissent le même niveau...

Ces arcs de voûte et leurs rabattements tracés, le maître de l'oeuvre a projeté leurs naissances sur les points où elles devaient porter, ainsi que nous l'avons indiqué en P pour la colonne p - le profil des arcs-doubleaux étant n et celui des arcs ogives s - ces naissances ont imposé la forme et la dimension des tailloirs, et par suite celle du chapiteau et de la colonne...

Il existe, dans le tracé général de ces chapelles et collatéraux du choeur de l'église de Saint-Denis, une irrégularité notable.

Les projections d'arcs-doubleaux normaux au cercle du rond-pont ABC ne tendent pas au centre Q de ce cercle. Le centre de la seconde précinction LK est en T, au delà du centre Q sur le grand axe, tandis que le centre de la troisième précinction d, d', sur laquelle sont posés les centres des chapelles circulaires est en Q, et celui de la tête e I des chapelles est en V (...).

Le traceur a fait danser ces lignes comme on fait danser les marches d'un escalier dans une plaque tournante, pour éviter les différences trop grandes que donneraient les secteurs à chacune de leurs extrémités. En effet, si le maître eût tracé les rayons tendants à un centre, les arcs d'entrée des chapelles eussent eu une ouverture hors de proportion avec celle des archivoltas AB du sanctuaire. Le tracé des arcs des voûtes devenait plus difficile¹⁰...

C'était par le tracé général des voûtes que le maître commençait l'opération graphique du plan. Une méthode pareille exigeait une pratique très complète de la géométrie, non-seulement de la part du maître, mais aussi chez les metteurs en oeuvre, car il fallait à chaque sommier se rendre compte de la pénétration des surfaces qui venaient se grouper en faisceaux¹¹.

Mettons en parallèle deux systèmes de piles de nefs portant des voûtes en arcs d'ogive. L'un, A, appartient à l'église cathédrale de Paris ; l'autre, B, à l'église cathédrale de Reims. Le premier date de 1195, le second de 1220 environ. Jetons les yeux sur la coupe de la nef de l'église Notre-Dame de Paris (...).

Fig.

Nous verrons que des piliers cylindriques partent : à rez-de-chaussée, deux archivoltas, un arc-doubleau, deux arcs ogives et un faisceau de trois colonnettes destinées à porter les arcs des voûtes hautes ; au premier étage, une galerie voûtée, c'est-à-dire un arc-doubleau et deux arcs d'ogives ; à la hauteur des

¹⁰Peut-être atteint-on là, une des limites de la validité des reconstitutions de Viollet-le-Duc. Ces irrégularités peuvent aussi avoir été produites par des adaptations sur le chantier, sans que l'anticipation de ce problème ne se soit fait sur le graphisme.

Quelle est par exemple, la signification d'une expression comme "ces irrégularités, appréciables seulement sur un plan exactement rapporté" ?

¹¹Viollet-le-Duc reconstitue précisément les tracés préparatoires à la réalisation de ce tailloir, dans l'article "Construction" (cf. extrait).

Le principe logique

fenêtres, un contrefort, le mur percé de baies, deux colonettes pour les formerets, l'arc-doubleau et les deux arcs ogives des voûtes hautes.

Le maître de l'oeuvre, en maintenant le système des piles cylindriques, croyait certainement partir d'une donnée simple, et cependant ce premier point devait lui causer des embarras et l'obliger à des complications d'épures.

On voit sur notre figure, en A, la projection horizontale de tous ces membres superposés à la demi-circonférence du pilier cylindrique ...

On voit, par cet exemple, quelles complications et quels tâtonnements entraîne l'emploi incomplet d'une méthode, une fois un principe admis ¹².

L'ordonnance ne commence réellement qu'au-dessus du tailloir des gros chapiteaux, et cette ordonnance est gênée par cette nécessité d'un tailloir carré posé parallèlement au grand axe de la nef.

L'architecte a procédé logiquement pour la partie supérieure ; il tracé ses arcs de voûtes avant tout, et ceux-ci lui ont donné la forme, la place et la dimension des supports ; mais cette surface carrée dans laquelle il fallait se renfermer et qui lui était donnée par le cylindre inférieur, l'obligeait à mêler les membres, à les enchevêtrer les uns dans les autres pour trouver leur plan ...

Il eût été plus logique et plus simple de poser les tailloirs diagonalement, puisque c'était parallèlement et perpendiculaire au grand axe de la nef qu'il avait à développer les membres de la structure ... Ce raisonnement, comme on le pense bien, fut bientôt suivi par les maîtres, dès le commencement du XIII^e siècle ¹³.

¹²Il faudrait reprendre ce passage en termes d'adéquation au système de contraintes historiques. Principalement, il faudrait montrer que les constructeurs "concrétisent" (au sens de Simondon) progressivement, les fonctions constructives : dans le pilier cylindrique primitif, il se trouve des régions qui ne sont pas utiles d'un point de vue constructif, d'autres qui sont peut-être juste suffisantes.

Cette analyse se trouve exposée, au détour d'une phrase, dans l'article "Profil" du Dictionnaire (cf. extrait).

¹³Cf. sur ce point E. Panofsky, Architecture gothique et Pensée scolastique et l'article "Profil" du Dictionnaire de Viollet-le-Duc.

Cette évolution des piliers est-elle une illusion rétrospective, un fait esthétique justiciable d'une analyse sémiologique (selon H. Damisch, "l'originalité du style gothique (comme Viollet-le-Duc l'a bien aperçu) dans le fait que l'ossature apparente, le réseau des nervures et des membres saillants jeté comme un filet sur la maçonnerie, propose d'emblée à l'observateur un schéma structural...") ou le résultat visible d'un processus historique de résolution de problèmes ?

La réponse de Viollet-le-Duc à cette question est donnée dans les extraits, elle est strictement constructive et complète utilement l'explication sémiologique classique.

Le principe logique

La cathédrale de Reims fut fondée en 1212; la partie de la nef voisine du transept s'élevait vers 1220, vingt-cinq ans après la construction des piles de la nef de Notre-Dame de Paris. Le plan B donne la moitié de la projection horizontale d'un des piliers de la nef de Notre-Dame de Reims (partie ancienne), avec les membres que portent ces piliers. L'architecte conserve la pile cylindrique, mais il diminue comparativement son diamètre, et il la cantonne de quatre colonnes engagées (Une tentative de ce genre avait déjà été faite dans la partie de la nef de Notre-Dame de Paris voisine des tours, et dont la construction date de 1215 environ). Fig. 3.

Sur cette pile, il pose un chapiteau, ou plutôt un groupe de chapiteaux dont les tailloirs réunis adoptent la forme générale indiquée en G. Mais, grâce à ces colonnes engagées sur le cylindre et à la forme franche des tailloirs, l'ordonnance au-dessus de cette pile se lie à la partie inférieure...

Le progrès sur l'exemple précédent est très-sensible. Tous ces membres ont leur place, ils ne se gênent plus réciproquement : aussi, à Notre-Dame de Reims, la stabilité est parfaite, l'effet clair, l'aspect rassurant.

Les conséquences logiques du principe devaient cependant être poussées plus loin encore. En 1231 furent commencés les travaux de reconstruction de la nef de l'église abbatiale de Saint-Denis. L'architecte chargé de cette reconstruction est resté inconnu, ainsi que la plupart des maîtres de cette époque. Mais l'édifice qu'il nous a laissé indique dans toutes ses parties une sûreté et une perfection rares dans l'art du trait.

Prenons, ainsi que nous venons de le faire pour les cathédrales de Paris et de Reims, une des piles de la nef, et voyons comment les divers étages de la construction viennent se poser sur cette pile. Les dernières traces de la colonne cylindrique centrale qui s'accorde si peu avec les divers membres des voûtes sont effacées; les arcs de ces voûtes commandent absolument la forme de la pile... La position nécessaire de ces membres de voûtes donne rigoureusement la forme et le nombre des membres de la pile... Fig. 4.

La figure horizontale de la naissance de ces divers arcs est tracée sur notre figure avec leurs profils. L'arc ogive c du collatéral peut naître et prendre sa courbure avant la doublure b de l'arc-doubleau, de sorte que cet arc ogive repose sur l'assiette qui sert de point d'appui à cette doublure b ; aussi voit-on les deux projections se confondre en c' ...

Il est facile de reconnaître que ce dernier tracé est préférable aux deux premiers. Cela est plus clair et plus logique. Les arcs des voûtes ont chacun leur support; les chapiteaux de ces supports sont nettement accusés par les épannelages de ces arcs compris entre des parties rectilignes. Les projections des bases et celles des chapiteaux sont les mêmes, sauf, pour ces bases, que les angles sont judicieusement choisis en W , afin de ne pas gêner la circulation.

Dans cette voie, les maîtres du moyen âge ne devaient s'arrêter qu'à la dernière limite... Cinquante ans au plus après l'adoption de ces principes de tracés, les architectes en étaient arrivés à donner exactement à la section horizontale des piles la section

Le principe logique

des arcs... Ces méthodes les amenaient à ne plus concevoir une construction que par des tracés de projections horizontales superposées, et c'était naturellement les plans des parties supérieures (...) qui commandaient les sections horizontales des parties inférieures.

Villard de Honnecourt donne quelques plans d'édifices voûtés, et l'on peut constater que le tracé de ces plans dérive essentiellement de la nécessité de structure des voûtes...

Le système de tracé de notre architecture du moyen âge, du XII^e siècle à la fin du XV^e, peut se résumer en ces quelques mots: "C'est la chose portée qui commande la forme de la chose qui porte" ¹⁴. Et cela sans qu'on puisse trouver une seule exception à cette loi si simple et naturelle ¹⁵.
Article "Trait", p. 197 à 214.

¹⁴A la fin de cet article, il peut sembler que la Thèse selon laquelle "l'évolution historique des sections des piliers entre le XII^e et le XIII^e siècles illustre la découverte laborieuse du principe selon lequel "le portant détermine le porté" est démontrée.

En fait, il n'en est rien et l'explication est ailleurs, dans une analyse constructive plus précise encore, celle qui a été donnée ici, se contentant d'être descriptive.

Curieusement, c'est Viollet-le-Duc, dans son article "Profil" qui va avancer les arguments pour rejeter sa Thèse.

¹⁵La fin de l'article est dans le pur style de l'auteur :

"De ce système à l'absence de tout système qui nous fait, entre autres exemples, élever des colonnes le long d'un mur pour ne rien porter du tout, et pour occuper les yeux des badauds, il y a loin, nous en conviendrons volontiers. Mais considérer comme un progrès cet oubli des lois les plus naturelles de l'architecture, et prendre des airs dédaigneux devant les oeuvres d'artistes qui ont appliqué une raison rigoureuse à ce qu'ils faisaient, quand on a perdu l'habitude de raisonner, cela fait sourire, si ce n'était pas si cher [sic]".

Elle résume très bien l'idéologie de l'auteur :

- Haine de l'académisme, alors triomphant dans le domaine architectural.

- Recherche d'arguments tendant à privilégier le caractère "savant" du Gothique du Nord de la France, en particulier par reconstitution sans doute majorante, de leur bagage graphique.

Le principe logique

[PROFIL] "S'entend, en architecture, comme section faite sur une moulure... Pour faire tailler une moulure, une corniche, un bandeau, une archivoltte, on en donne le profil au tailleur de pierre ¹⁶...

Dans tout profil, il y a deux éléments, l'utilité et le sentiment plus ou moins vrai de la forme et de l'effet que doit produire cette forme. Le sentiment ici n'est autre chose que le moyen de traduire un besoin sous une forme d'art ¹⁷ ...

Les architectes romans, pendant le XI^e siècle et le commencement du XII^e (...) semblent avoir suivi leur sentiment dans le tracé des profils, ce que leur indiquait le besoin, l'effet ou le goût; ils cherchaient par des moyens empiriques dirons-nous, à profiter de la lumière pour donner une expression à leurs profils. Si nombreux que soient les exemples de profils romans que nous avons pu recueillir et comparer, on ne peut les soumettre qu'à certains principes généraux (...), mais qui ne dérivent pas de procédés purement géométriques.

Il en est tout autrement lorsqu'on aborde l'architecture de l'école laïque du XIII^e siècle. Alors la géométrie s'établit alors en maîtresse, et les profils sont dorénavant tracés d'après des lois fixes dérivées des angles et des cercles ¹⁸..."

¹⁶Comme dans les autres extraits du Dictionnaire, le graphisme va jouer un grand rôle pour communiquer la forme au tailleur de pierres, mais aussi pour déterminer la forme elle-même.

¹⁷Ce qui est le slogan même du rationalisme constructif prôné par Viollet-le-Duc. Pour cet auteur, toute la réalité architectonique peut trouver une raison d'être au plan strictement constructif. De nombreux exemples convaincants sont donnés dans les extraits.

¹⁸Il faut s'interroger sur le sens historique de cette irruption de la géométrie dans les pratiques d'architecture. Elle peut être rapprochée du phénomène bien connu (Gimpel, Bechmann, Kimpel) de centralisation progressive des décisions entre les mains d'un seul homme, du X^e au XV^e siècle.

En effet, pour que les profils se ressemblent et pour qu'ils dérivent de lois géométriques, il faut qu'il y ait une instance (une institution) qui le décide (Chevallard 1986, J.M.Savignat)...

Mais il faut faire attention à ne pas se laisser abuser par les nombreuses relations d'analogies qui existent entre des phénomènes historiques, par nature étrangers l'un à l'autre. Trois exemples :

1) "La production des édifices dans le monde féodal traduit immédiatement dans l'espace construit, le mode de domination". Cette phrase de Savignat dans Dessin et architecture, pourrait induire un principe d'isomorphisme entre analyse des idéologies et analyse historique concrète.

Le principe logique

¹⁹ Article "Profil", p.483, 484, 498.

"Laissons les profils extérieurs, pour nous occuper des tracés et des transformations des profils intérieurs pendant les XII^e et XIII^e siècles.

Revenons en arrière, et analysons les profils des arcs des voûtes au moment où le système de la structure dite gothique est adopté, vers 1140, dans l'Ile-de-France. (...) L'église abbatiale de Saint-Denis ouvre, du temps de Suger, la période de la transformation de l'architecture romane en architecture réellement française [sic]...

Fig.

Les arcs sont déjà profilés à Saint-Denis, et présentent les sections A pour les arcs formerets, B pour les arcs ogives. Quant aux arcs-doubleaux, ils prennent le même profil que les formerets, avec un listel inférieur large (la ligne ponctuée *ab* étant le milieu du profil de ces arcs-doubleaux).

Ces exemples sont fournis par les voûtes des chapelles du chœur. Dans la tour nord de cette église, qui date de la même époque, les arcs ogives présentent déjà une arête à l'intrados, ainsi que l'indique le profil C. Il n'y a plus rien dans ces profils qui rappelle les moulures décorant parfois les arcs-doubleaux des monuments de la période romane...

A Saint-Denis, l'architecte considère l'arc ogive comme un nerf, une baguette, il trace un gros tore; pour lui, le formeret n'est qu'un arc-doubleau engagé, aussi prend-il la section de cet arc-doubleau...

Les architectes de l'Ile-de-France, (...) semblent avoir répugné [sic] à adopter les nerfs saillants sous les boudins principaux

¹⁹(suite)

Il me paraît que ces deux objets d'étude qui relèvent de points de vue très différents, ne doivent pas être rapprochés aussi rapidement l'un de l'autre, sous peine de manquer l'occasion d'une analyse concrète de la fonction (non idéologique) des connaissances en jeu, les graphismes d'espaces en l'occurrence.

2) Si les découvertes en architecture et l'idéologie de Brunelleschi présentent une relation évidente d'analogie (Argan), l'une ne peut pourtant être déduite de l'autre.

Il semble que le seul lien de causalité qui soit explicatif (prédictif et non pas seulement analogique), consiste à ramener l'un et l'autre phénomène à l'évolution historique concrète des systèmes de contraintes.

Sur ce sujet, Viollet-le-Duc est encore une fois de plus, le conseiller irremplaçable (p.52 à 54 des extraits choisis par H.Damisch) et le parfait idéologue (cf. l'extrait annoté).

3) Panofsky ne fait que constater un état de fait dans Architecture gothique et pensée scolastique, un isomorphisme entre évolution des profils de piliers gothiques et évolution des écritures, il n'explique aucune des deux évolutions.

des arcs des voûtes, jusque vers le milieu du XIII^e siècle ²⁰.

Ils essayèrent de donner à ces arcs une apparence de fermeté par d'autres moyens. Les parties de l'église abbatiale de Saint-Denis qui datent de 1240 environ nous fournissent un exemple de ces tentatives.

En A, est tracé le profil des archivoltas des bas-côtés; en B, celui des arcs-doubleaux; en C et D, ceux des arcs ogives. Les profils d'archivoltes A, dont nous ne donnons ici qu'une moitié, participent encore, à cause de leur épaisseur, des tracés antérieurs, avec boudins sur les arêtes et méplat intermédiaire... Fig. 19.

Le profil d'arc-doubleau B présente un tracé très-étudié; la ligne *ab* est inclinée à 60°. Ainsi que le montre notre figure, c'est sur cette ligne que sont posés les centres du boudin supérieur *c* et du cavet intermédiaire *e*. Du centre *c* d'une ligne à 45° ayant été tirée, c'est sur cette ligne que se trouvent placés les centres du boudin inférieur *g* et des baguettes *h* et *i*. De plus, le boudin *g* est tangent à la ligne inclinée à 60° *ab*. Or, ce gros boudin a 4 pouces de diamètre et le boudin C, 3 pouces... Le centre du cavet supérieur est en *l*, c'est-à-dire au point de rencontre de la verticale *bl* avec l'horizontale tirée du centre *c*. Pour les profils des arcs ogives C et D, le système de tracé n'est pas moins géométrique. (...), on voit que la méthode de tracé est la même.

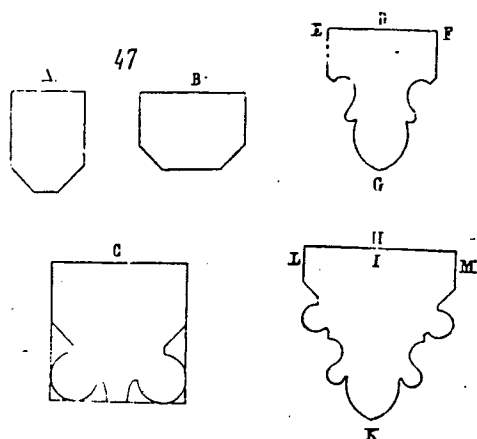
Sur les détails E et F des boudins principaux, nous avons donné deux des méthodes employées dès cette époque pour nerver ces cylindres. Dans l'exemple E, le tracé donne l'arête vive obtenue au moyen de tangentes à 30° (...). Dans l'exemple F, les centres des arcs *ik* sont pris sur les angles d'un triangle équilatéral, dont le côté est deux fois le rayon du boudin.

Suivant qu'on a voulu obtenir un filet plus ou moins large, on a fait la section *o* plus haut ou plus bas sur les arcs de cercle. Les tâtonnements arrivent ici à des formules.

Voyons maintenant comment, en Champagne, les architectes,

²⁰ Incidemment, Viollet-le-Duc va avancer (cf. note 22) une explication constructive de cette "réticence" historique. Il explicite en effet plus loin, le problème qui est posé par la question de la mouluration de la partie visible des arcs-ogives.

Pour l'instant, il reconstitue, avec grande précision, les constructions géométriques nécessaires pour tracer les épures des arcs de voûtes de Saint-Denis, Troyes puis Carcassonne.



L'évolution des profils d'arcs de voûtes entre le XI^e et le XIV^e siècle, est illustrée dans l'article "Construction" par les dessins suivants. Ils valent sans doute autant qu'un long discours...

Le principe logique

toujours en suivant la méthode des angles à 45°, à 60° ou à 30°, pour le tracé des profils d'arcs, arrivent à donner à ces profils un caractère qui appartient à leur génie et qui s'accorde avec la nature des matériaux employés...

L'habile architecte de l'église Saint-Urbain de Troyes (...) connaît bien la nature des matériaux qu'il emploie. Il sait qu'il ne faut pas trop les évider, s'ils ont une charge à porter; que pour les boudins des arcs, par exemple, il ne faut pas les détacher par des cavets trop creux; cependant, il prétend élever un édifice d'un aspect léger, remarquable par la délicatesse de ses membres. Voici donc comme il tracera (en A) les archivoltés de la nef ²¹ (...).

Fig.
22.

Il donnera au boudin inférieur deux centres a et a' , un nerf b dont les contre-courbes auront leurs centres posés sur les lignes ac , $a'c'$, tracées à 60°; le rayon cb étant égal au rayon ab . De l'un des centres a , il élèvera une ligne ad à 45°. Sur cette ligne, il posera le centre e du deuxième boudin. Mais observons que l'architecte doit bander ces archivoltés au moyen de deux rang de claveaux, plus un formeret pour la voûte du collatéral.

Le deuxième boudin, de 0m,108 de diamètre (4 pouces), est tangent aux lignes d'épannelage du second claveau; sa position est donc fixée. Du centre e , tirant deux lignes à 30° et 60°, la rencontre de ces deux lignes avec celles d'épannelage lui donne les centres des contre-courbes du filet f . L'horizontale tirée de ce centre, et rencontrant la ligne verticale d'épannelage, lui donne en g le centre du cavet h . La verticale fg prolongée lui donne le filet surmontant ce cavet. Il trace alors le cavet supérieur i dont le centre est sur la verticale dj . Ce centre est au niveau de celui de la baguette k .

Sur le claveau inférieur de 0m,31 de largeur, pour obtenir le listel l assez fort pour résister à la pression, il élève du centre a' une ligne à 45° ao . Du point de rencontre de cette ligne avec le cercle du boudin, tirant une horizontale, il pose le centre de la baguette p sur cette horizontale, en prenant la ligne à 45° comme tangente.

Cette baguette remplit l'évidement qui serait trop prononcé en q , et même dans la crainte que l'évitement restant s ne soit trop aigre, il trace la deuxième baguette s , dont le centre est posé sur la ligne à 45°. C'est la même crainte des évidements ²² qui

²¹"Au dixième de l'exécution", précise Viollet-le-Duc.

²²Telle est donc pour Viollet-le-Duc, l'explication constructive de l'apparition de ces baguettes et nervures saillantes sur les arcs de voûtes gothiques.

Plus loin, il mentionnera l'idée qu'une mouluration complexe permet astucieusement d'économiser la masse tout en conservant la résistance à la charge.

Ces explications ne sont sans doute pas définitives, car elles peuvent être reliées à l'évolution du système de contraintes constructives :

L'évolution de la mouluration des arcs de voûte, n'est que l'une des manifestations du mouvement général d'économisation de la masse pour l'édifice et pour l'édification. Et ce mouvement, n'est que la réponse au niveau des pratiques architectoniques et des représentations de ces pratiques, de l'augmentation des contraintes constructives, dans le système historique...

Le principe logique

²³ lui fait tracer, sur le deuxième claveau, la baguette t. (...) Le tracé du formeret s'explique de lui-même. (...) Le tracé des arcs ogives de l'église Saint-Urbain, donné en B et en C, n'est pas moins remarquable...

Les architectes de l'Ile-de-France ne se décident pas volontiers [sic] à recourir à ces nerfs saillants; s'ils les emploient pour les boudins inférieurs, dès la fin du XII^e siècle, anguleux d'abord, puis à contre-courbe et à filets plus tard, ils ne les adoptent pour les boudins latéraux des arcs que fort rarement avant le milieu du XIV^e siècle...

L'église Saint-Nazaire de Carcassonne nous fournit un exemple bien frappant de ce fait. Cette église, dont la construction est élevée entre les années 1320 et 1325, donne des tracés d'arcs-doubleaux et d'arcs ogives, procédant toujours du système développé plus haut, mais avec des simplifications notables.

Dans le profil A d'arc-doubleau, le boudin inférieur (5 pouces 1/2 de diamètre) étant tracé, de son centre a, la limite à 45° ab a été élevée jusqu'à sa rencontre avec la verticale cb, limite du profil. L'angle cba a été divisé en deux parties par la ligne be. **Fig. 23.** Tenant compte de la saillie du nerf, sur cette ligne a été posé le centre f du boudin (4 pouces de diamètre); le rayon du cavet est égal à celui du boudin et est placé en g. Le centre h du grand cavet est posé sur la ligne à 45°. Pour tracer les nerfs à contre-courbes, on a tracé les triangles équilatéraux *aji*, *flm*. La même méthode, avec des différences sensibles que la figure fait assez comprendre, a été employée pour le tracé des arcs ogives et des arcs-doubleaux B, C, E, F...

Ici, les nerfs saillants apparaissent sur les boudins latéraux, mais seulement dans les deux exemples A et F.

Ne perdons pas de vue les exemples précédents. Dans ces exemples, la même méthode de tracé est adoptée (...). Il s'agit de soumettre la matière à une forme appropriée à l'objet, en la dégageant de tout le superflu, en lui donnant l'apparence qui

²³(suite) Tout cela forme le processus historique d'adéquation de la forme de l'objet architectural à sa fonction.

Aux différentes époques historiques, il semble que les éléments d'architecture (piliers, arcs de voûte, etc...) aient réalisé dans la pierre l'état de la représentation mentale du constructeur. En ce sens, les représentations mentales des constructeurs sont (en partie) lisibles dans les édifices.

Le principe logique

indique ²⁴le mieux sa fonction...

Dans ces derniers exemples, la matière a été réduite déjà à son minimum ²⁵ de force; amoindrir encore les résistances, c'était se soumettre aux éventualités les plus désastreuses. Mais le minimum de force obtenu, il s'agit de donner à ces membres une apparence plus légère, sans inquiéter le regard.

Les architectes ont observé que les nerfs saillants ajoutés aux boudins donnent à ceux-ci une apparence de fermeté, de résistance, qui loin de détruire l'effet de légèreté, l'augmente encore. Ils observent que les corps soumis à une pression, comme les arcs de pierre, résistent en raison, non de leur surface réelle, mais de la figure donnée à cette surface ²⁴...

²⁴ Il ne s'agit pas seulement d'"indiquer sa fonction", mais de l'assurer. L'expression vient en plus.

Il semble que, jusqu'avant le Flambloyant, l'esthétique reste compatible avec le constructif, qu'elle cherche à en manifester, sans déformations trop importantes la "réalité constructive".

Avec le Flambloyant, les problèmes constructifs sont en grande partie résolus, le décor devient alors le lieu de l'invention et le graphisme prend alors un nouveau sens : Il n'est plus ce grâce à quoi je résous les problèmes qui se posent, mais ce grâce à quoi je pose de nouveaux problèmes (c'est ainsi que peuvent s'interpréter la complexification croissante des différents projets dessinés de la Facade de la Cathédrale de Strasbourg.

La conséquence de cette proposition est immédiate : Tout l'édifice devient (par un processus généralisé de concrétisation) la réalisation concrète de la représentation graphique. L'édifice est devenu graphique (R.Recht) !

²⁵ Expression sans doute excessive, les cathédrales gothiques ne sont pas des jeux de quilles en équilibre.

²⁶ Le système de contraintes constructives est ici utilisé de manière particulièrement astucieuse : Le tracé des moulurations permet de diminuer de manière importante, la masse de l'arc ogive, tout en conservant la résistance à la charge puisque celle-ci ne dépend que de l'enveloppe de la section.

C'est donc à un nouveau phénomène d'adéquation de l'objet technique à sa fonction constructive, auquel on assiste ici.

Le principe logique

Peut-être pensera-t-on que nous nous sommes trop étendu ²⁷sur ces détails de l'architecture du moyen âge; mais nous trouvons là une occasion de faire ressortir l'esprit de méthode, le sens logique qui guident les architectes de l'école laïque naissant au XII^esiècle".

Article "Profil", pages 503 à 528.

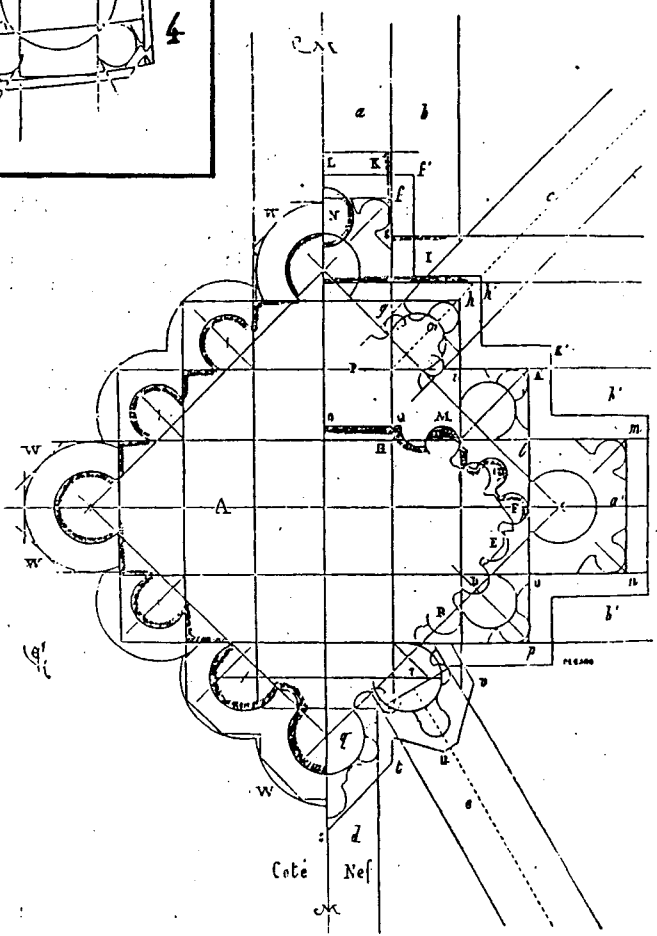
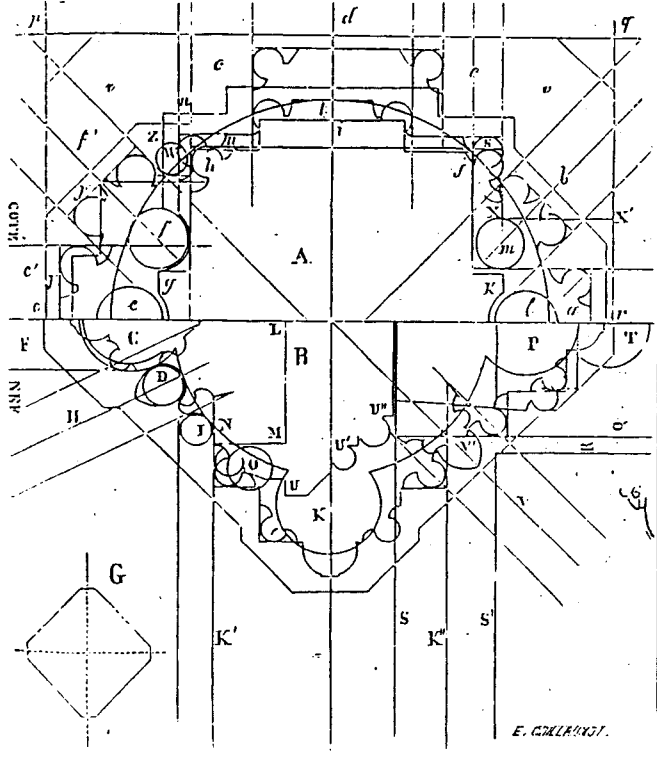
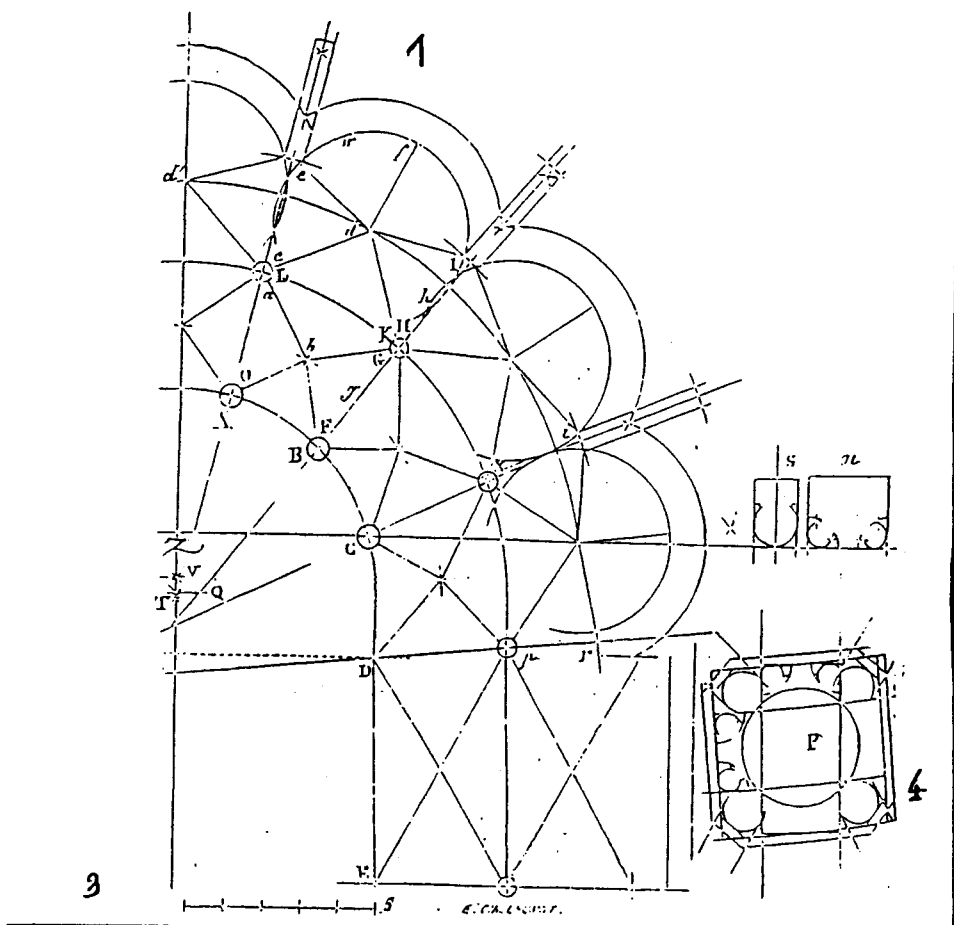
²⁷Ces extraits ont permis de développer un exemple de concrétisation des fonctions constructives. Les commentaires ont démontré que :

1) Le constructeur a besoin du graphisme pour aborder les problèmes qui se posent à lui, et que la réalité qu'il construit devient le reflet fidèle de ce qu'il sait.

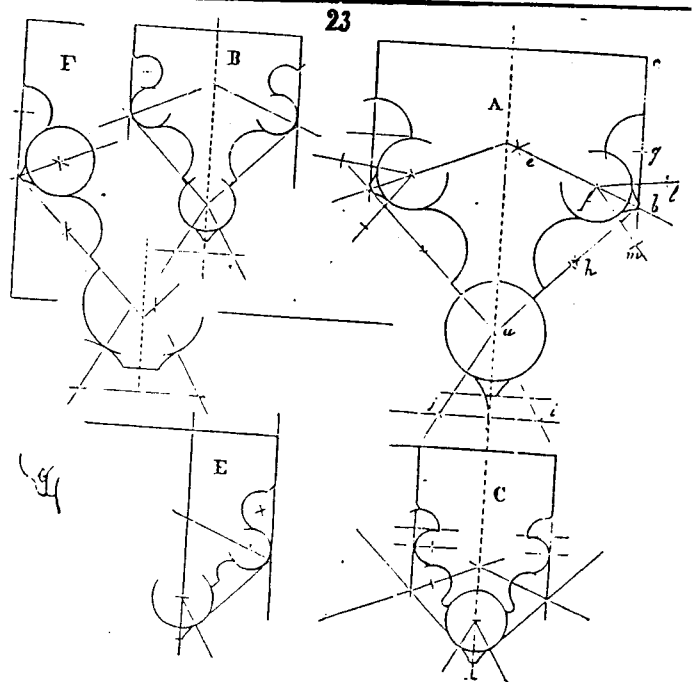
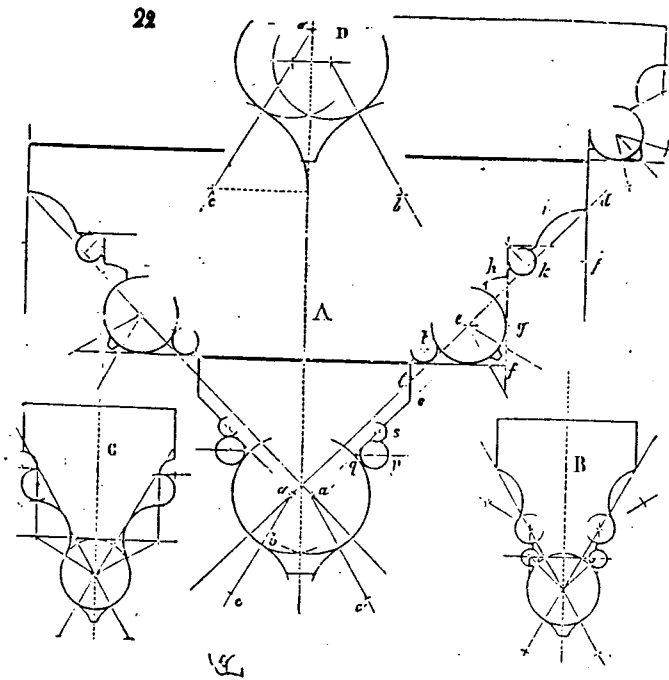
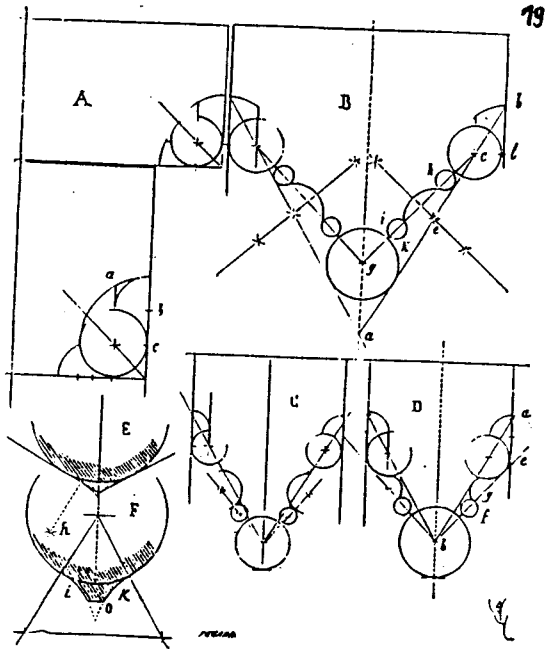
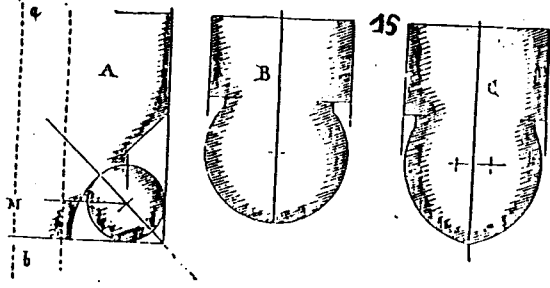
Les objets techniques architecturaux sont donc la réalisation concrète des représentations graphiques qui ont été utilisées, tout autant qu'ils révèlent la représentation mentale des problèmes pour le constructeur. Dans ces deux sens, les édifices sont donc bien des "livres de pierre".

2) Les phénomènes historiques (connaissances, éléments techniques, idéologies) peuvent être ramenés à l'état des systèmes de contraintes constructives, mais ils ne peuvent sans inconvénients être amalgamés l'un à l'autre par des principes adéquats d'analogie ou d'isomorphisme.

Le principe logique



Le principe logique



Reconstitutions diverses.

Ici, se trouvent réunies de nombreuses reconstitutions de pratiques graphiques architecturales. Elles illustrent chacune l'importance qu'a pris le graphisme d'espace dans l'Architecture, pour l'anticipation des formes et des problèmes, ainsi que pour la recherche graphique des solutions aux problèmes.

Dans tous les cas, et conformément à l'analyse a priori (CF. la Thèse Didactique des transformations géométriques), les pleins et les vides de l'espace sont traités de manières assez semblables :

Les constructions géométriques sur la représentation plane, se font aussi bien à l'intérieur des objets que dans l'espace, ce qui apporte la preuve que le recours au graphisme d'espace est nécessaire pour résoudre les problèmes qui sont posés.

[**Cathédrale**] Dans cet extrait, et peut-être de manière unique dans tout le Dictionnaire, Viollet-le-Duc pose clairement les problèmes posés par le projet d'une reconstitution des pratiques graphiques (disparues) des constructeurs gothiques. L'argumentation est très convaincante.

Sur d'autres points, il sera nécessaire de "corriger" la tendance de cet auteur à attribuer aux Gothiques, une "connaissance" trop savante de ces graphismes, mais, ici, l'argumentation est convaincante.

"Examinons (...) le plan de cette partie de l'édifice [le haut chœur de la Cathédrale d'Amiens], qui sortait de terre seulement un peu avant 1240, c'est-à-dire au moment où l'on commençait aussi la Sainte-Chapelle du Palais à Paris.

On reconnaît, dans le plan du chœur de Notre-Dame d'Amiens, une main savante ; là plus de tâtonnements, d'incertitudes ¹ : aussi, nos lecteurs ne nous saurons pas mauvais gré de leur faire **Fig. connaître la façon de procéder employée** par le troisième maître **22.** de l'oeuvre de la cathédrale d'Amiens, Renault de Cormont, pour tracer le rez-de-chaussée de l'abside.

Soit AB la ligne de base de la moitié de l'abside ; les espaces AC, CB les écartements des axes des rangées des piles ; soit la ligne AX l'axe longitudinal du vaisseau. Sur cette ligne d'axe, le traceur a commencé par poser le centre O à 2m,50 de la ligne

¹Le problème habilement résolu ici, concerne l'alignement des deux premiers piliers intérieurs du chœur de la cathédrale avec ceux de la nef centrale (cf. fig. 22).

Reconstitutions diverses.

AB : les deux cercles CE, BD ont été tracés en prenant comme rayons les lignes OC, OB. L'arc de cercle, dont BD est la moitié, a été divisé en sept parties égales ; le rayon FO prolongé a été tiré ; ce rayon vient couper l'arc CE au point d'intersection du prolongement de l'axe CC', et, passant par le centre O, rencontre le point correspondant à C. Fig. 21.

Comment le traceur aurait-il obtenu ce résultat ? Est-ce par des tâtonnements ou par un moyen géométrique ?

Les côtés BFGH n'appartiennent pas à un polygone divisant le cercle en parties égales. Il y a lieu de croire que c'est le tracé primitif de l'abside qui a commandé l'ouverture de la nef principale, et que Renault de Cormont n'a fait que suivre, quant à la plantation de cette abside, ce que ses prédécesseurs avaient tracé sur l'épure. Si le tracé de l'abside n'avait pas commandé l'espace AC, le hasard n'aurait pu faire que le point d'intersection de la ligne FO, se prolongeant jusqu'au point correspondant à C avec l'axe CC', se rencontrât sur l'arc CE...

Tous les tracés et la plantation avaient dû être préparés par Robert de Luzarches, le premier architecte.

Quoiqu'il en soit, ce fait indique clairement que les tracés de cathédrale étaient commencés par le rond-point; c'était la disposition de l'abside qui commandait l'écartement relatif des piles de la nef et des bas-côtés.

Les rayons GO, HO tirés donnaient, par leur rencontre avec le petit arc CE, les centres des autres piles du sanctuaire. Quant aux chapelles, celles de la cathédrale d'Amiens présentent cinq côtés d'une octogone régulier. Voici comment on s'y pris pour les tracer : La ligne NP, axe de la chapelle, étant tirée, les lignes GG', FF' ont été conduites parallèles à cet axe. La base FG du polygone étant reculée pour dégager la pile, la ligne LM a été tirée, divisant en deux angles égaux l'angle droit F'LS. L'angle MLS a été divisé en deux angles égaux par une ligne LR. L'intersection de cette ligne LR avec l'axe NP est le centre T de l'octogone. Les lignes TR, TM, TZ, TF' donnent la projection horizontale de quatre des arcs de la voûte. Il en est de même des lignes OC, DKF, OG, etc...

Tout ce grand ensemble de constructions est admirablement planté, régulier, solide ; les différences dans les ouvertures des chapelles sont de trois ou quatre centimètres en moyenne au plus [sic].

On voit que ce sont les projections horizontales des arcs de voûtes qui ont commandé la disposition du plan".

Article "Cathédrale", p.331 et 333.

²On dirait aujourd'hui verticales.

Reconstitutions diverses.

[CONSTRUCTION] Viollet-le-Duc reconstitue les tracés préparatoires à la taille de la naissance des arcs, au sommet des piles. Un exemple beaucoup plus complexe est donné ensuite (lorsque les différents arcs s'intersectent) ici, ils sont seulement disposés les uns à côté des autres.

Les différents "niveaux" de contraintes constructives, sont mis en gras dans le texte, ce qui permet de démontrer la nécessité interne de l'utilisation de ces coupes horizontales.

" La première condition pour établir le plan d'un édifice de la fin du XII^e siècle étant de savoir s'il doit être voûté et comment il doit être voûté, il faut donc, dès que le nombre et la direction des arcs de ces voûtes sont connus, obtenir la trace des sommiers sur les chapiteaux, car ce sera la trace de ces sommiers qui donnera la forme et la dimension des tailloirs et chapiteaux (...).

Fig.

Supposons donc une salle devant être voûtée, ayant dans l'oeuvre, 12 mètres de large et composée de travées de 6 mètres d'axe en axe. (...) Nous admettons que les claveaux doivent pour une salle de cette étendue, avoir 0m,40 de largeur et de hauteur...

27.

Prenons (...) sur la figure [précédente] la naissance A de deux formerets, de deux arcs ogives et d'un arc-doubleau. Soit AB le nu du mur, CD la directrice de l'arc-doubleau, DE la directrice de l'arc ogive ; nous traçons la saillie du formet ³. **Les arcs ogives commandent l'arc-doubleau.** De chaque côté de la figure DE nous portons 0m,20 et tirons les deux parallèles FG, HI, qui nous donnent la largeur de l'arc ogive. Du point H, rencontre de la ligne HI avec l'axe CD, sur cette ligne HI nous prenons 0m,45, c'est-à-dire un peu plus que la hauteur des claveaux de l'arc ogive, et nous tirons la perpendiculaire IG, qui nous donne la face de l'arc ogive. **Dans le parallélogramme FGIH, nous traçons le profil convenable.**

Fig.

28b.

Des deux côtés de l'axe CD prenant de même 0m,20 nous tirons les deux parallèles KL, MN. Du point H, portant 0m,40 sur l'axe CD de H en C', nous tirons une perpendiculaire LN à cet axe, qui nous donne la face de l'arc-doubleau; nous inscrivons son profil. En P, nous supposons que la colonne portant formeret ⁴ dépasse la naissance des arcs ogives et doubleaux; en R, nous admettons (...) que le profil du formeret vient tomber verticalement sur le tailloir du chapiteau ⁵. Pour tracer ce formeret, dans ce dernier cas, nous prenons sur la ligne AB, du point M en Q, 0m,40 et de ce point Q élevant une perpendiculaire sur la ligne AB, nous avons le parallélogramme inscrivant le profil du formeret.

Les tailloirs des chapiteaux sont tracés parallèles aux faces des arcs, ainsi que le démontre notre figure. Des sommets G et L, tirant des angles à 45 degrés, nous rencontrons l'axe DE en O, qui est le centre de la colonnette portant les arcs ogives, et l'axe CD en S, qui est le centre de la colonne de l'arc-doubleau ; nous traçons ces colonnes conformément à la règle [selon laquelle "on donne un diamètre tel que la saillie du tailloir sur le nu de cette colonne devra être plus forte que le rayon de la

³"habituellement, la moitié de la largeur de l'arc ogive" p.45.

⁴Telle que sur le dessin perspectif, à droite.

⁵Tel que sur le dessin perspectif, à gauche.

Reconstitutions diverses.

colonne" ⁶. Derrière ces colonnes isolées, on figure les retours de pilastres qui renforce la pile ; alors le formeret R retombe sur une face de ces pilastres portant chapiteau comme les colonnes.

Souvent, les formerets ne descendaient pas sur le tailloir des chapiteaux des grands arcs, et ne possédaient pas non plus une colonnettes portant de fond : ils prenaient naissance sur une colonnettes posée sur la saillie latérale du tailloir, ainsi que l'indique la figure en plan et en élévation perspective" ⁷. Fig. 29.

Article "Construction", p.45 à 47.

[Profil] Viollet-le-Duc complète ici la reconstitution précédente en donnant un mode plausible de tracé des profils, c'est à dire de la partie visible des arcs de voûte que constituent les moulurations.

Comme dans les extraits précédents, rien n'est laissé au hasard, les constructions graphiques sont rationnelles.

" Ainsi, A était l'arc-doubleau, B l'arc ogive, C le formeret, le mode de tracé des profils est le même pour tous trois. Dans l'épannelage de l'intrados, il dégage de chaque arête un boudin de 0m,10 à 0m,12 de diamètre (4 pouces à 4 pouces 1/2); abaissant du centre a une perpendiculaire sur l'intrados, il obtient le point b, centre de l'arc de cercle dont bc est le rayon de 0m,08 (3 pouces ⁸).

Du point d, rencontre de la ligne à 45° gd avec le cercle, il mène la ligne à 45° de. Il élève du centre la perpendiculaire af, pour éviter l'amaigrissement ⁹, comme il a tracé la ligne horizontale ai du même centre pour couper l'angle aigu formé par la rencontre des deux sections de cercle. Le même tracé est adopté pour les trois arcs, comme l'indique notre figure" ¹⁰. Fig. 16.

Article "Profil", p.506 à 507.

⁶Cette règle de sécurité est assez curieuse, car elle ne permet pas de s'assurer que le diamètre des arcs est suffisant pour supporter les voûtes...

⁷Cette reconstitution semble toucher tous les édifices construits à la fin du XII^esiècle, les piles supports sont alors constituées de trois colonnettes adossées.

⁸Il semble que ces indications de mesure ne soient pas significatives, étant entendu qu'au XII^esiècle, l'uniformisation des unités de longueur est loin d'être faite.

Etant donné la précision désirée, il est certain que des nombres fractionnaires simples de l'unité (variable) pouvaient toujours être pris, ce qui assure la compatibilité métrique de l'ensemble, et facilite la transmission des renseignements à l'intérieur du chantier.

⁹Cf. l'autre extrait de l'article "Profil", où cette idée est développée.

¹⁰C'est le cas des arcs des voûtes de la cathédrale de Paris, tracés et taillés vers 1165.

Reconstitutions diverses.

Ces extraits mettent en évidence deux phénomènes majeurs de l'Histoire de l'Architecture religieuse médiévale :

- Le problème central chez les Gothiques de la localisation des effets de la masse, qui est une conséquence du processus historique d'économisation du matériel pour l'édifice et l'édification.

- La concrétisation des fonctions constructives dans l'objet architectural (Simondon). C'est à dire le moment où l'objet devient la réalisation concrète de son modèle graphique¹¹. Ce phénomène est à la fois une aide à la résolution des problèmes qui se posent et une difficulté (un obstacle ?) placée sur le chemin des problèmes qui suivront¹², il y a rarement de progrès absolus dans la Technique (Simondon)...

[Construction] "La nef de l'église Notre-Dame de Dijon est voûtée suivant la méthode gothique primitive. Les arcs ogives sont sur plan carré et recoupés par un arc-doubleau. Les piles inférieures sont cylindriques... Voici une vue d'une travée intérieure de la nef de Notre-Dame de Dijon...Fig.

L'architecte de l'église Notre-Dame de Dijon disposait d'un terrain exigu, resserré entre des rues étroites; il ne pouvait donner aux contre-forts de la nef, étayant tout le système, une forte saillie en dehors du périmètre des bas côtés...

Voici donc comment le constructeur résout le problème :

Il élève la pile entre les deux points voulus; il charge fortement la tête de l'arc-boutant en A; il incline le chaperon BC de manière à le rendre tangent à l'extrados de l'arc; puis il amène la face postérieure du pinacle D jusqu'au point E en porte à faux sur le parement F... Ainsi, la poussée de la grande voûte est fortement comprimée d'abord par la charge A... Fig.

L'architecte recule son pinacle, charge la pile en dehors de son aplomb jusqu'au point E, c'est-à-dire jusqu'au point où la rupture de l'arc-boutant aurait lieu... Sous la charge, le point S' ne peut se relever...

Il assure ainsi la stabilité de la pile FG, trop faible par elle-même pour résister à la poussée sans l'appoint de cette charge, et en même temps il comprime les reins de l'arc-boutant au point où cet arc tendrait à se briser en se relevant¹³. Ne perdons pas de vue l'intérieur... Etudions les détails : Le bloc de pierre T, contre lequel vient buter le dernier claveau de l'arc-boutant, n'est autre que le linteau portant le contre-fort (...) et dans la hauteur duquel linteau sont pris les deux chapiteaux qui portent les formerets de la voûte. Ce linteau est juste posé au niveau de l'action de la poussée de la grande voûte.

¹¹Le premier exemple de concrétisation dans l'Histoire de l'Architecture médiévale concerne l'emploi des arcs de cercle dans les constructions, cela confère aux édifices un caractère graphique essentiel !

¹²Dans l'exemple précédent du cercle : facilité de reproduction et de transmission, mais éloignement des courbes de la chaînette qui fournit la solution optimale au problème de voûtement (Simondon).

¹³" Le fait est encore plus probant que toutes les déductions logiques; la construction de Notre-Dame de Dijon, malgré la faiblesse de ses contre-forts extérieurs, n'a pas subi la moindre déformation ".

Reconstitutions diverses.

Disséquons cette construction pièce à pièce. Nous voyons :

- en A, la colonne, quille principale du triforium au droit des piles qui portent les naissances d'un arc-doubleau et de deux arcs ogives, quille flanquée de ses deux colonnettes B ¹⁴; en C, les grandes colonnettes en délit qui posent sur le tailloir du gros chapiteau du rez-de-chaussée...;
- en D, le chapiteau du triforium; en E, le sommier de l'arcature du triforium, d'un seul morceau; en F, les deux morceaux fermant l'arcature;
- en G, l'assise du plafond du triforium reliant l'arcature et l'assise des chapiteaux M au contre-fort extérieur sous le comble, contre-fort dont les assises sont tracées en H; en G' une des dalles posées à la suite de celle de G et reliant le reste de l'arcature à la cloison bâtie sous les fenêtres supérieures dont I est l'appui (ces dalles G' portent le filet-solin K recouvrant le comble du bas côté);
- en L, le premier morceau du contre-fort extérieur vu au-dessus du comble; en M, l'assise des chapiteaux des grandes voûtes portant les deux bases des colonnettes en délit des formerets;
- en N, le sommier des grandes voûtes dont le lit supérieur est horizontal ¹⁵, et qui porte les naissances des deux arcs ogives et de l'arc-doubleau; en O, le second sommier (...); en P, le troisième sommier ne portant plus l'arc-doubleau, qui est dès lors indépendant (...); en Q, le quatrième sommier ne portant plus que l'épaulement derrière les arcs ogives pour poser les premiers moellons des remplissages;
- en R, le linteau (...) reliant les sommiers à la pile dont les assises sont tracées en S : ce linteau porte les épaulements derrière les arcs ogives, car il est important de bien étayer ces arcs ogives indépendants déjà et dont les claveaux sont figurés en T, tandis que l'un des claveaux de l'arc-doubleau est figuré en V;
- en X, l'assise du contre-fort extérieur portant amorce de l'appui des fenêtres, les bases des colonnettes extérieures des fenêtres, et le filet passant par-dessus le filet-solin du comble, ainsi que l'indique le détail perspectif Y.

L'arrivée des claveaux des arcs-boutants vient donc buter le linteau R, et à partir de ce linteau, l'intervalle entre la pile S et la voûte est plein (voy. la vue intérieure) ¹⁶.

Article "Construction", p. 136 à 142.

Fig.
80.

" Puisque ces constructeurs avaient admis l'arc-boutant, c'est-à-dire une résistance opposée sur certains points aux poussées des

¹⁴Elles sont visibles, au contraire de A, cf. la vue intérieure.

¹⁵Cf. la reconstitution par Viollet-le-Duc, de la méthode employée par les gothiques pour déterminer la forme des pierres de ce tailloir.

¹⁶Ce qui est peut-être le plus remarquable dans cette longue énumération, c'est le haut niveau d'anticipation des formes, chez les constructeurs.

Certaines formes sont très complexes (comme le tailloir, cf. plus loin) et nécessitent un véritable calcul graphique, d'autres sont déjà complètement standardisés (les colonnes et les assises par exemple). La géométrisation de l'espace architectural est déjà très avancée.

Reconstitutions diverses.

voûtes, il fallait bien réunir ces poussées et faire que leur résultante n'agît exactement que sur ces points isolés ¹⁷...

Si (...) ayant groupé nos naissances d'arcs en un faisceau aussi serré que possible, nous ne considérons les sommiers que comme des assises en encorbellement (...) en taillant leurs lits horizontaux jusqu'à ce que les développements des courbes de chacun des arcs nous permettent de dégager leurs claveaux de cette masse en tas de charge, alors nous serons certains d'avoir à la base de nos voûtes, une résultante de pressions agissant suivant une ligne dont nous pourrions exactement apprécier le point de départ, la puissance et la direction ¹⁸...

Les constructeurs, voulant avoir des sommiers à lits horizontaux jusqu'au point où ces arcs cessent de se pénétrer, observent que la méthode la plus simple, pour que ces sommiers ne posent pas de difficultés de tracé, consiste à donner aux arcs ogives et aux arcs-doubleaux un même rayon ¹⁹...

Voyons maintenant à tracer ces sommiers ²⁰ :

Soient AB la directrice de l'arc-doubleau, AC les directrices des arcs ogives. A est posé sur le nu du mur. De ce point A, prenant sur la ligne AB une longueur AD égale à l'épaisseur du claveau de l'arc-doubleau, et considérant AD comme rayon, nous formons le demi-cercle D'DD".

Fig.

Nous traçons alors la coupe de l'arc-doubleau sur plan horizon-48b. tal. Nous tirons deux parallèles EF aux directrices AC d'arcs ogives, en laissant entre ces parallèles une distance égale à la largeur des claveaux d'arcs ogives.

Ce sont les projections horizontales ²¹ des arcs ogives. Prenons les points G de rencontre des lignes d'axes des arcs ogives, nous traçons la coupe de ces arcs ogives sur plan

¹⁷Viollet-le-Duc va relier ce problème de localisation des effets destructeurs de la masse, à une nouvelle occasion de recourir aux graphismes d'espace.

¹⁸Le problème de la localisation des effets de la masse est résolu d'une manière "subtile" : La solution est réalisée dans la pierre, par une concrétisation (Simondon) de la fonction de localisation des effets de la masse.

Cela est atteint par la géométrisation croissante des arcs de la voûte et des arcs-boutants, elle-même rendue possible par le recours à des graphismes d'espaces spécifiques, un plan au sol, une élévation, et leur coordination.

¹⁹La facilité des tracés, qui permet la reproduction et la standardisation des formes, est un élément décisif du système de contraintes architectoniques.

²⁰Cette reconstitution pêche sans doute par excès de géométrisation. Il n'est pas nécessaire en effet que le plan au sol, l'élévation et le tracé des épures soient sur le même support. Même rationnelle, la méthode réellement employée a pu s'éloigner un peu plus d'une coordination de géométrie descriptive.

²¹Nous disons aujourd'hui, projections verticales.

Reconstitutions diverses.

horizontal. Nous avons le lit inférieur du premier sommier ²².

Dans les vides qui restent entre la demi-circonférence D'DD" et les arcs ogives en H, nous faisons passer les colonnettes qui sont destinées à porter les formerets. Le contour du lit inférieur du premier sommier obtenu, nous pouvons tracer (seulement alors) le tailloir du chapiteau...

Notre intention est de réunir autant que possible les arcs en un faisceau étroit...

Il nous faut rabattre sur la ligne NO l'arc-doubleau, et sur la ligne AC l'arc ogive. Il est clair que ces deux arcs cessent de se pénétrer au point P sur plan horizontal. Du point P, élevant une perpendiculaire PP' sur la ligne NO, et une seconde perpendiculaire PP" sur la ligne AC, base de l'arc ogive, cette première perpendiculaire PP' viendra rencontrer l'extrados de l'arc-doubleau rabattu au point Q. Ce point Q indique donc la hauteur où l'arc-doubleau se dégage de l'arc ogive; c'est le niveau du lit du dernier sommier.

Il s'agit de diviser la hauteur PQ en un certain nombre d'assises, suivant la hauteur des bancs. Supposons que trois assises suffisent :

Le lit supérieur du premier sommier sera en R, du second en S, et du troisième en T... Il suffira de procéder de la même manière pour l'arc ogive, en traçant les lits R'S'T' à partir de la ligne de base AC, distants entre eux comme le sont les lits RST...

Cela fait, nous pouvons donner à l'appareilleur chacun des lits de ces sommiers, en reportant sur plan horizontal, comme nous l'avons tracé en X, les coupes que nous donnent sur les arcs rabattus les lits RST, R'S'T'. Alors nous obtenons :

- 1° en a le lit inférieur du premier sommier, déjà tracé comme souche des arcs ;
- 2° en b, le lit supérieur du premier sommier qui fait le lit inférieur du second ;
- 3° en c, le lit inférieur du troisième sommier ;
- 4° en e, le lit supérieur de ce troisième sommier avec ses coupes inclinées marquées en d....

Pour faire comprendre, même aux personnes qui ne sont pas familières avec la géométrie descriptive [sic], l'opération que nous venons de tracer, nous supposons les trois sommiers de la figure précédente vus les uns au-dessus des autres en perspective et moulurés. En A, on voit le premier sommier, en B le second, en C le troisième avec ses coupes normales aux courbes des arcs ; en D les claveaux des arcs-doubleaux, en D' ceux des arcs ogives affranchis des sommiers, et dès lors semblables entre eux jusqu'à la clef".

Fig.
48t.

Article "Construction", p. 90, à 92.

²²La superposition des claveaux réguliers des arcs-doubleaux et des arcs ogives (dessinés en U et U' sur les rabattements) permet de reconstituer la première section (reproduite en a, sur X).

Reconstitutions diverses.

Une immense érudition est ici mise à profit pour reconstituer dans le détail (de manière toujours spéculative) les pratiques graphiques des constructeurs médiévaux, qui apparaissent nécessaires pour déterminer la forme des larmiers (sculptures en forme d'arabesques qui surplombent les corniches des piliers intérieurs).

[PROFIL] "Prenons ces larmiers qui, extérieurement, remplacent la corniche antique, et qui couronnent toutes les ordonnances de nos édifices du commencement du XIII^e siècle (...). S'ils sont très-inclinés, l'angle de pente a 60° (en A)...

La face *cd* de la mouchette étant déterminée en raison de la résistance de la pierre et de l'effet qu'on veut obtenir... On a pris les deux tiers de cette face, lesquels, répartis sur la ligne *cd* prolongée en *b*, donnent le rayon *fd* : la mouchette est ainsi tracée.

Du point *f* élevant une verticale, du point *d* traçant une horizontale, du point *f* une ligne à 45° avec l'horizon, on a obtenu le point *e*, centre d'un cercle dont le rayon est *eg*. Du point *e*, traçant une ligne *eh*, suivant un angle de 60°, on obtient sur la ligne *db* le centre *h* d'un cercle dont *hi* est le rayon. Du point *h*, traçant une ligne horizontale, et du point *k*, arête inférieure du profil, élevant une ligne à 30° au-dessus de l'horizon, on obtient le point *l*, centre d'un cercle dont *lm* est le rayon. Ainsi le profil du larmier est-il tracé, inscrit dans l'épannelage *cok* ²²³.

Fig. 12.

Si le larmier doit être moins incliné, sa pente est donnée par une ligne suivant un angle de 45° (voyez le tracé B); la face *cd* de la mouchette est par conséquent inclinée à 45°. Prenant les deux tiers de cette face comme précédemment (...) on obtient le point *f*. De ce point, élevant une ligne à 45° et une verticale *fp*; de la rencontre de cette verticale avec l'arc de cercle-mouchette *dp*, tirant une ligne *ps* à 45°, on obtient le point *s*, centre du cercle dont le rayon est *st*. De ce point *t*, abaissant une ligne à 45°, et du centre *s* une ligne à 60°, on obtient le point de rencontre *v*, centre d'un cercle dont *vq* est le rayon.

Du centre *v*, tirant une ligne horizontale, abaissant une verticale jusqu'à la ligne *cd* prolongée, on obtient *x*. De ce point *x*, traçant une ligne à 30° au-dessus de l'horizon, on obtient par la rencontre de cette ligne avec l'horizontale de point *y*, centre d'un cercle dont le rayon est *yn*; le congé *z* est

²²³Cette reconstitution des tracés préparatoires du constructeur, pourra faire penser aux reconstitutions des défenseurs de la Thèse classique sur l'utilisation massive du nombre d'or dans l'Architecture (cf. par exemple, le cahier de Boscodon n°4).

Il ne me semble pas que ce soit le cas des reconstitutions faites par Viollet-le-Duc. Un argument permet de trancher le doute en sa faveur (cf. note suivante).

Reconstitutions diverses.

un quart de cercle dont le centre est en u ²⁴.

Tels sont tracés, par exemple, les larmiers des corniches de l'ordonnance inférieure de l'abside de Notre-Dame de Reims, qui vont se marier au nu des contreforts supérieurs...".

Article "Profil", pages 498 à 501.

Viollet-le-Duc émet une hypothèse sur la prise en compte avec l'architecture gothique, de la position du fidèle dans l'espace de l'édifice.

"Les méthodes suivies pour le tracé des profils d'arcs sont invariables, parce qu'un arc est toujours vu suivant tous les angles possibles (...). Mais il n'en est pas ainsi d'un bandeau, d'une base, d'un tailloir, d'un profil horizontal ²⁴ en un mot, dont la position peut, par l'effet de la perspective, masquer, ou tout au moins diminuer une partie des membres...

Il ne paraît pas que pendant la période romane on ait modifié le tracé des profils en raison de leur place ; mais à dater du commencement du XIII^e siècle, l'étude des effets de la perspective ²⁷ sur les profils apparaît clairement.

Nous en trouvons un exemple remarquable dans la cathédrale d'Amiens élevée de 1225 à 1230. Les bandeaux intérieurs, les bases et tailloirs du triforium, sont tracés en raison du point de vue pris du pavé de l'église.

Voici comment a procédé l'architecte de la nef de Notre-Dame d'Amiens pour le tracé des tailloirs et des bases des colonnettes de la galerie. L'angle visuel le plus fermé, perpendiculaire à la nef, permettant d'apercevoir les tailloirs, est de 60°. Le profil a été tracé suivant la méthode indiquée en A, méthode qui n'a pas besoin d'être décrite après les démonstrations précédentes.

Fig. 27.

D'après cet angle visuel, le tailloir se trouve réduit, par la perspective, au profil A'. (...) Pour les bases, le profil est celui indiqué en B. Les regardant suivant l'angle de 60° qui a servi à les tracer, on ne peut voir que les membres indiqués en

²⁴Selon ces reconstitutions, presque tous les éléments d'une épure de larmier (mais aussi de profil de voûte ou de profil de pilier) sont repérés les uns par rapport aux autres, selon des distances ou des angles très particuliers.

Cela peut s'expliquer comme condition essentielle d'une transmission fiable des renseignements graphiques, du concepteur vers les tailleurs de pierres.

Un angle ou une longueur quelconque, c'est une quantité qui doit être mesurée sur le graphisme (la mesure peut y être écrite), et donc des complications bien inutiles qui surgissent...

²⁵Suit une troisième reconstitution de tracé, pour un larmier encore moins incliné.

²⁶Nous dirions aujourd'hui, "vertical".

²⁷La sculpture romane confirme ce point de vue : les statues ne sont pas sculptées en fonction du point de vue d'où elles seront vues.

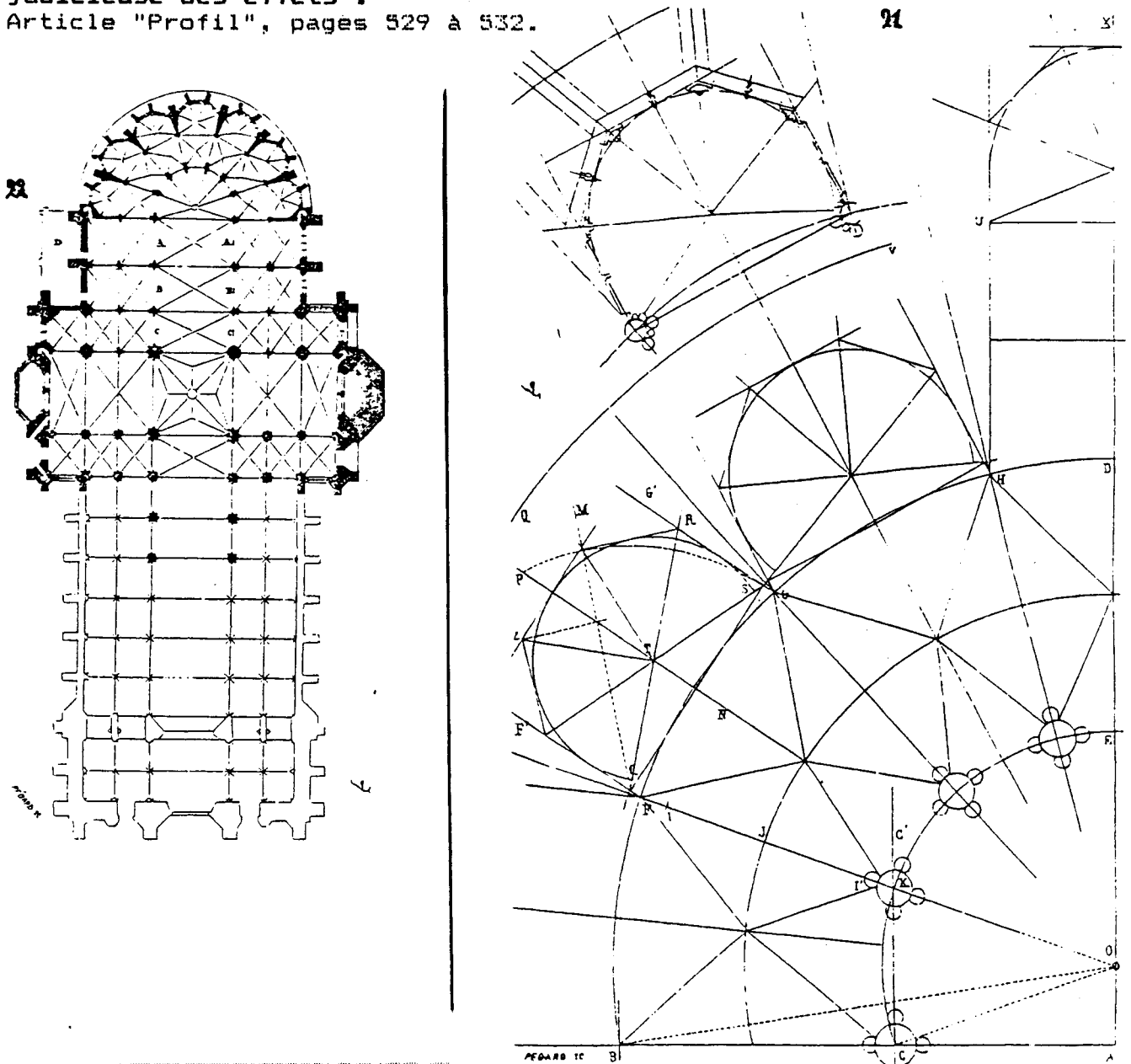
Par contre, les déformations perspectives (anamorphoses) apparaissent avec le gothique, dans la sculpture.

Reconstitutions diverses.

B' : mais en prenant un peu plus de champ, de manière à les voir suivant un angle de 45°, le profil donné par la perspective est celui de B", qui est satisfaisant et en rapport de proportions avec les colonnettes ²⁰...

Ce que nous tenions à démontrer ici, c'est que le hasard ou la fantaisie n'ont été pour rien dans le tracé des profils de l'architecture du moyen âge, que ceux-ci sont soumis à des lois établies par les nécessités de la structure et sur une entente judicieuse des effets".

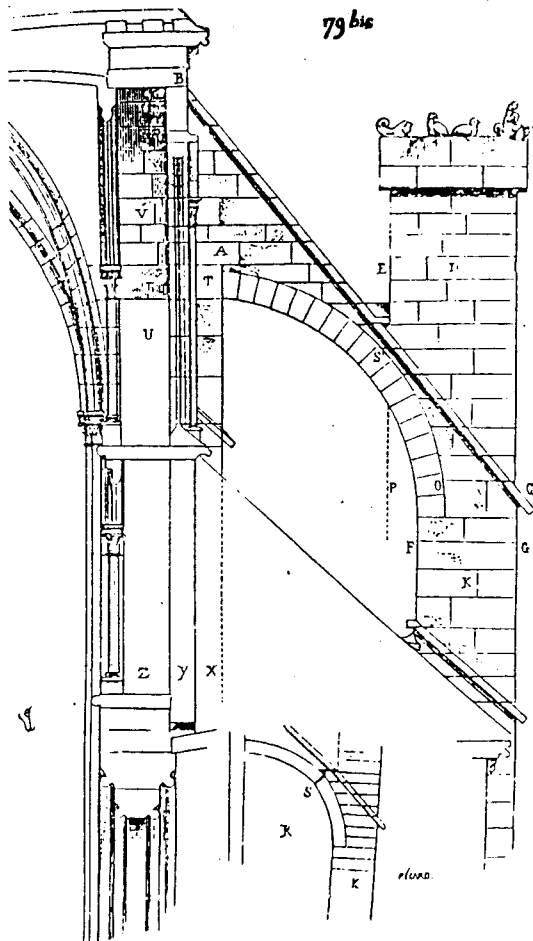
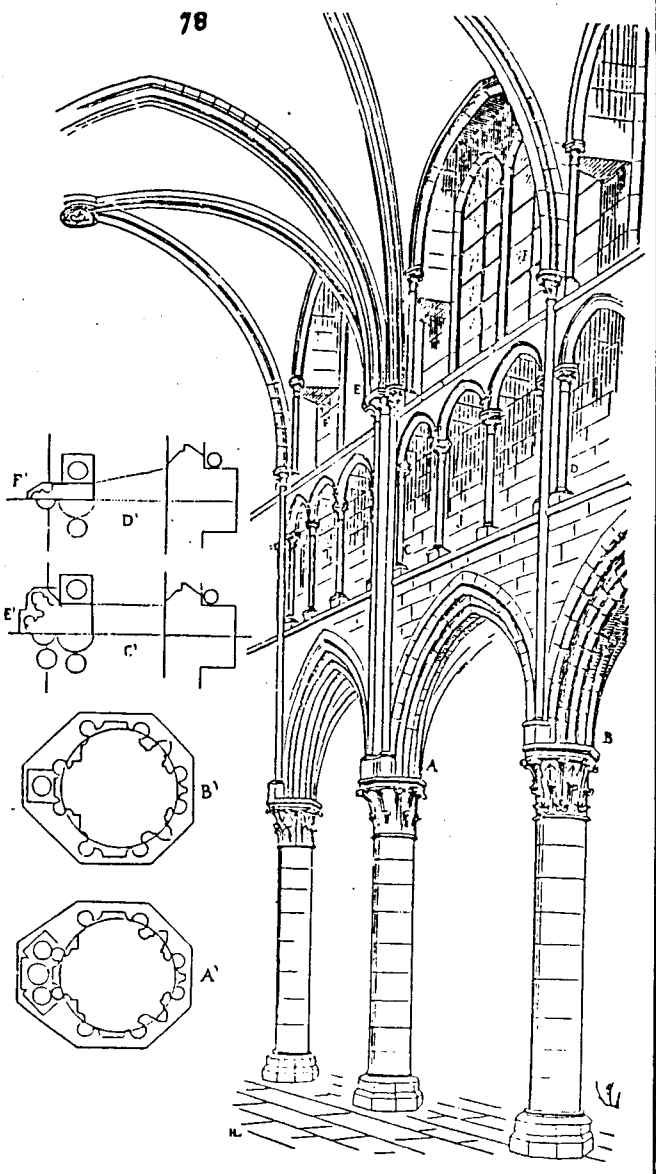
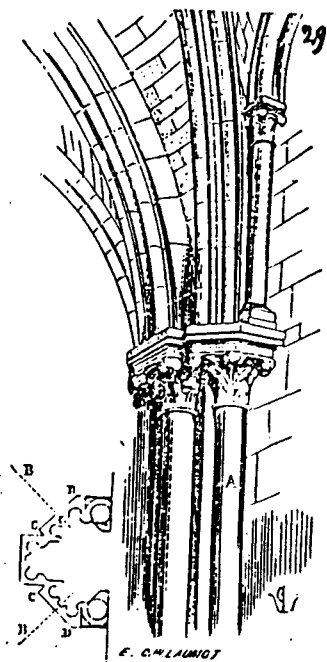
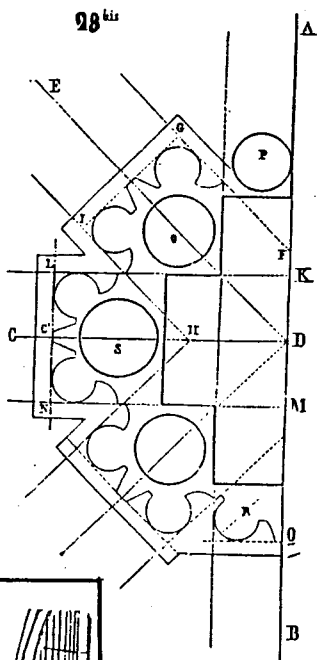
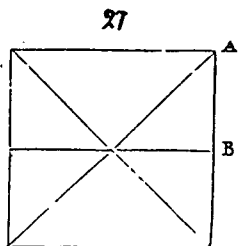
Article "Profil", pages 529 à 532.



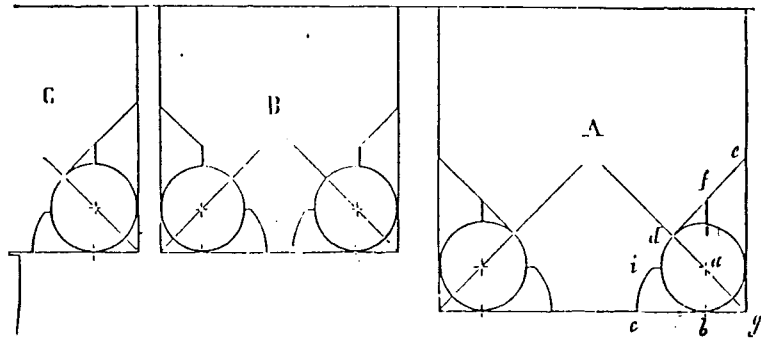
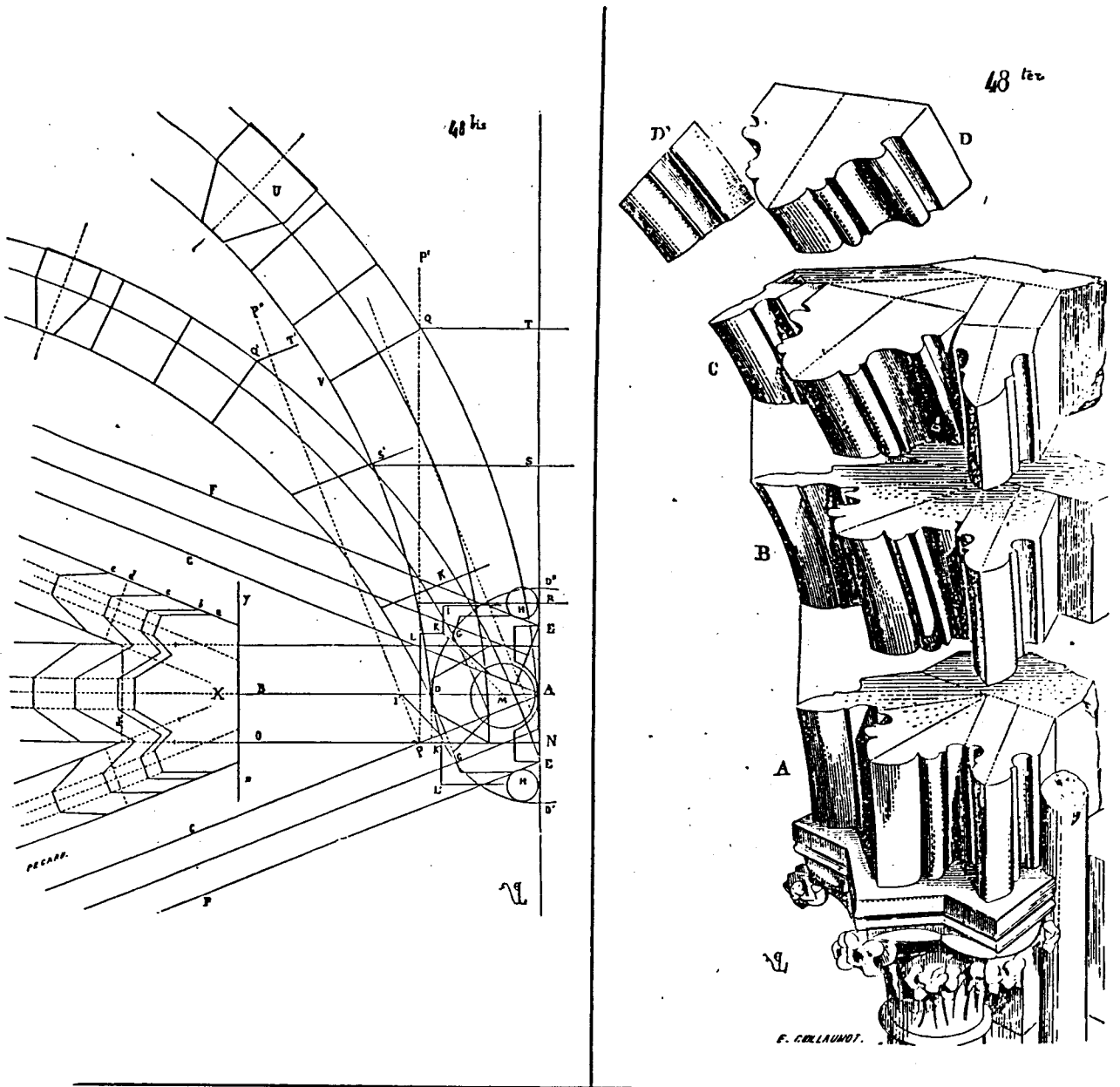
²⁰Sans doute, Viollet-le-Duc a-t-il péché par excès de convictions.

La méthode graphique (astucieuse) de Viollet-le-Duc pour "rendre" l'effet perspectif, est sans doute une pure invention. Les constructeurs devaient visualiser le résultat sans passer par un graphisme, la seule expérience accumulée est sans doute suffisante pour cela.

Reconstitutions diverses.



Reconstitutions diverses.



L'élévation gothique.

A partir de l'analyse constructive de la Cathédrale de Bourges, Viollet-le-Duc va introduire l'idée que la maîtrise de l'élévation est le problème nouveau essentiel que les Gothiques ont eu à résoudre.

La comparaison des élévations des Cathédrales de Reims et d'Amiens permet de préciser le sens de l'évolution des solutions données à ce problème central.

Cet extrait du Dictionnaire démontre que la représentation mentale d'un problème et de sa solution, dépend essentiellement des supports sensibles sur lesquels le sujet peut s'appuyer, et de la précision de l'anticipation qu'ils permettent.

[Arc-Boutant]

" La plupart des auteurs qui ont écrit sur l'architecture religieuse du moyen-âge se sont émerveillés de la hauteur prodigieuse de ces nefs, et ils ont voulu trouver dans cette élévation une idée symbolique. (...) Mais au moment où l'architecture religieuse se développe dans le Nord de la France, lorsqu'on étudie scrupuleusement les monuments, on est frappé des efforts que font les architectes pour réduire au contraire, autant que possible, la hauteur des nefs...

C'est à Bourges plus que partout ailleurs, peut-être, qu'on aperçoit les efforts des constructeurs pour restreindre la hauteur des édifices religieux dans les limites les plus strictes¹.

¹Il est plausible en effet que l'élévation ne posait pas problème, du moins avec la même "intensité", pour les Romains.

"Les voûtes et le contrebutement ne viennent pas compliquer sa structure. La tâche essentielle de l'architecte roman consistait à tracer le plan au sol" (R.Recht).

Ce plan au sol était au minimum le tracé grandeur réelle des fondations. Il pouvait aussi être un dessin réduit et comporter dans certains cas une indication des nervures des voûtes (cf. Histoire d'un Hotel de Ville et d'une Cathédrale de Viollet-le-Duc).

Mais les constructeurs romans ont pu se représenter (mentalement) l'élévation de l'édifice ainsi que les problèmes constructifs que posait l'édification, par des moyens autres que graphiques. Citons :

Examinons cette coupe transversale :

Impossible de construire un bas-côtés extérieur plus bas que le collatéral C ; il faut le couvrir, la hauteur du premier comble F est donnée forcément par les pentes convenables pour de la tuile ; il faut éclairer la nef, les fenêtres B sont larges et basses, elles commandent la hauteur du collatéral intérieur A ; il faut aussi poser un comble sur les voûtes de ce collatéral, la hauteur de ce comble donne l'appui des fenêtres G : ces fenêtres supérieures elles-mêmes sont courtes, et d'une proportion écrasée, elles donnent la hauteur des grandes voûtes...

Fig.
34.

Ainsi, donc, avant de chercher une idée symbolique dans la hauteurs des nefs gothiques, voyons-y d'abord une nécessité contre laquelle les constructeurs se débattent pendant cinquante années avant d'arriver à la solution du problème², savoir : d'élever de grands édifices voûtés, d'une excessive largeur, de le rendre stables, de les éclairer, et de donner à toutes les parties de l'architecture une proportion heureuse⁴.

²(suite) Citons :

- l'emploi d'un vocabulaire précis qui véhicule tout le sens de la forme à réaliser (par exemple, le mot "berceau" suffit pour désigner la tâche à exécuter et se représenter le résultat),
- la reconduction des solutions antérieures (par exemple, l'utilisation des arcs en tiers-point), qui constitue la tradition constructive.

Un voûtement aussi original que celui de l'église Saint-Philibert de Tournus (cf. Bautier 1985) a peut-être nécessité le tracé d'esquisses et de coupes verticales, afin de mieux se représenter l'agencement des berceaux. Mais, cela constitue un contre-exemple à une "tendance" générale, spécifique au style roman :

Dans l'Architecture religieuse monumentale du X^{ème} et du XI^{ème} siècle, l'anticipation des formes et des problèmes, la recherche des solutions à ces problèmes, a nécessité le plus souvent un seul support graphique, un plan au sol. Ce plan pouvait comporter des indications relatives à la disposition des voûtes et des arcs de décharge.

³Viollet-le-Duc ne me semble pas tomber dans le piège de l'illusion rétrospective, qui consisterait à chercher à rationaliser "après-coup" cette travée de la Cathédrale de Bourges.

Il est possible à partir de ce texte, de chercher à reconstituer le système de contraintes constructives dans lequel les constructeurs se sont "débattus" pendant un demi-siècle. Viollet-le-Duc nous y invite d'ailleurs...

⁴Peut-être faut-il ajouter au système de contraintes défini par Viollet-le-Duc, d'autres éléments comme :

- les moyens d'écoulement des eaux, il y est fait allusion dans d'autres passages du Dictionnaire.
- la résistance au vent pour les parties hautes de l'édifice, selon W.Clark et R.Mark, ce qui fournit l'explication constructive des doubles volées d'arc-boutants.

Or ce problème est loin d'être résolu à Bourges. Les piles seules de la nef sont démesurément longues, les fenêtres sont courtes, les galeries de triforium écrasées, le premier collatéral hors de proportion avec le second" ⁵.

Article "Arc-boutant", p.187 puis 200.

[CATHÉDRALE]

"Le plan de la cathédrale d'Amiens n'indique pas que les premiers maîtres de l'oeuvre aient la pensée d'élever, comme à Chartres, à Laon et à Reims, quatre tours aux angles des transepts; de sorte que nous voyons aujourd'hui la cathédrale d'Amiens à peu près telle qu'elle fut originairement conçue, si ce n'est que les deux tours de la façade eussent dû avoir une base plus large et une plus grande hauteur...

Fig.

Voici la coupe transversale de la nef de cette immense église, la plus vaste des cathédrales françaises, dont le plan couvre une surface, tant vides que pleins, de 8,000 mètres environ ⁶. Il est intéressant de comparer les deux coupes transversales des cathédrales de Reims et d'Amiens. La nef de la cathédrale d'Amiens, élevée rapidement d'un seul jet, dix ans environ avant celle de Reims, présente une construction plus légère, mieux entendue ⁷.

20.

⁵Viollet-le-Duc commente d'une manière similaire l'élévation primitive de Notre-Dame de Paris, pages 288 à 293 de l'article "Cathédrale".

⁶Il s'agit de mètres carrés.

"Le plan de la cathédrale de Cologne couvre une surface de 8,9000 m. environ ; celui de la cathédrale de Reims une surface de 6.650 mètres; celui de la cathédrale de Bourges une surface de 6,200 mètres; celui de la cathédrale de Paris une surface de 5,500 mètres ". Note de Viollet-le-Duc.

⁷L'évolution dans l'Histoire des styles n'est jamais simplement accumulative. sur une faible période de temps, tout au moins.

Afin de dégager l'idée d'un processus historique, il a fallu se limiter aux tendances "macroscopiques" suivantes:

- l'évolution du système de contraintes constructives, gouvernée par l'évolution plus générale de la société dans l'Histoire. Principalement le double processus d'économisation des matériaux (mais aussi du temps et de l'énergie) pour l'édifice d'une part, pour l'édification d'autre part.

- l'adéquation nécessaire de toutes les constructions à leur système de contraintes (puisqu'elles ont été construites!...).

L'élévation gothique.

⁹A Reims, non-seulement dans le plan et les parties inférieures de l'édifice on retrouve encore quelques traces des traditions romanes: mais dans la coupe de la nef il y a un luxe d'épaisseurs de piles qui indique, chez les constructeurs, une certaine appréhension ⁹.

A Reims, les arcs-boutants sont placés trop haut; on ne comprend pas quelle est la fonction du deuxième arc ¹⁰⁰. Le triforium est petit, mesquin [sic]; les arcs doubleaux, afin de diminuer la poussée des voûtes, sont trop aigus, et prennent, par conséquent, trop de hauteur; leur importance donne de la lourdeur à la nef principale; il semble que ces voûtes, qui occupent une énorme surface, vous étouffent ¹¹.

La construction préoccupe [!].

Dans la nef d'Amiens, au contraire, on respire à l'aise; à peine si on songe aux piles, aux constructions [sic]; on ne voit pas, pour ainsi dire, le monument; c'est comme un grand réservoir d'air et de lumière.

Bien que la cathédrale de Reims soit un édifice ogival, on y sent encore l'empreinte du monument antique; que cette influence soit due au génie de Robert de Coucy, ou aux restes d'édifices romains répandus sur le sol de Reims ¹², elle n'en est pas moins

⁹(suite)

- le développement de techniques nouvelles, qui est une conséquence de l'utilisation de supports graphiques de plus en plus nombreux. Ils permettent une augmentation radicale de l'anticipation des formes au détriment de l'initiative sur le chantier, qui se transforme alors en exécution.

Ces différents pôles, sont liés par la faculté des représentations d'espaces de permettre un véritable calcul graphique et une simulation plane des actions spatiales (Lebahar), ce qui rend compte :

- du phénomène de concrétisation.
- de l'adéquation progressive de l'objet à ses fonctions constructives
- de l'économisation des matériaux.

⁹Les moines-convers ne sont pas plus "craintifs" que les architectes du XV^e siècle. Seulement, ils ne répondent pas au même système de contraintes, et ne résolvent pas les mêmes problèmes...

¹⁰Pour R.Mark et W.Clark, les arcs-boutants supérieurs servent efficacement à lutter contre l'influence du vent.

¹¹Bien que Focillon qualifie cette cathédrale d'"épaisse entre toute", Viollet-le-Duc paraît surtout chercher à augmenter de manière artificielle la différence d'appréciation entre les deux élévations.

L'auteur ne tarit pas d'éloges sur l'ensemble de la cathédrale d'Amiens (cf. également son commentaire sur le plan au sol, dans l'extrait suivant de l'article "Cathédrale").

¹²Viollet-le-Duc met ici en avant, un caractère essentiel du système de contraintes historiques :

Les vestiges d'un édifice antérieur, imposent des contraintes très importantes, pour le travail de reprise aux constructeurs.

L'élévation gothique.

¹³sensible.

La cathédrale d'Amiens, comme plan et comme structure, est l'église ogivale par excellence. En examinant la coupe, on n'y trouve nulle part d'excès de force. Les piles des bas-côtés, plus hautes que celles de Reims, ont près d'un tiers de moins d'épaisseur. Le triforium B est élancé et permet de donner aux combles des bas-côtés une forte inclinaison. Les arcs-boutants sont parfaitement placés de façon à contre-butter la grande voûte. La charge sur les piles inférieures est diminuée par l'évidement des contre-forts adossés aux piles supérieures; les arcs doubleaux sont moins aigus que ceux de Reims. Fig. 20.

On ne voit plus, au sommet de la nef d'Amiens, cette masse énorme de maçonnerie ¹⁴, qui n'a d'autre but que de charger les piles afin d'arrêter la poussée des voûtes. Ici, toute la solidité réside dans la disposition des arcs-boutants et l'épaisseur des culées ou contre-forts A ¹⁵.

A Amiens, les murs ont disparu: derrière la claire-voie du triforium en C, ce n'est qu'une cloison de pierre, rendue plus légère encore par des arcs de décharge; au-dessus des fenêtres supérieures en E, il n'y a qu'une corniche et un cheneau; partout entre la lumière. Les eaux du grand comble s'écoulent simplement, facilement et par le plus court chemin, sur les chaperons des arcs-boutants supérieurs. (...).

Il est difficile de voir une construction plus simple et plus économique, eu égard à sa dimension et à l'effet qu'elle produit".

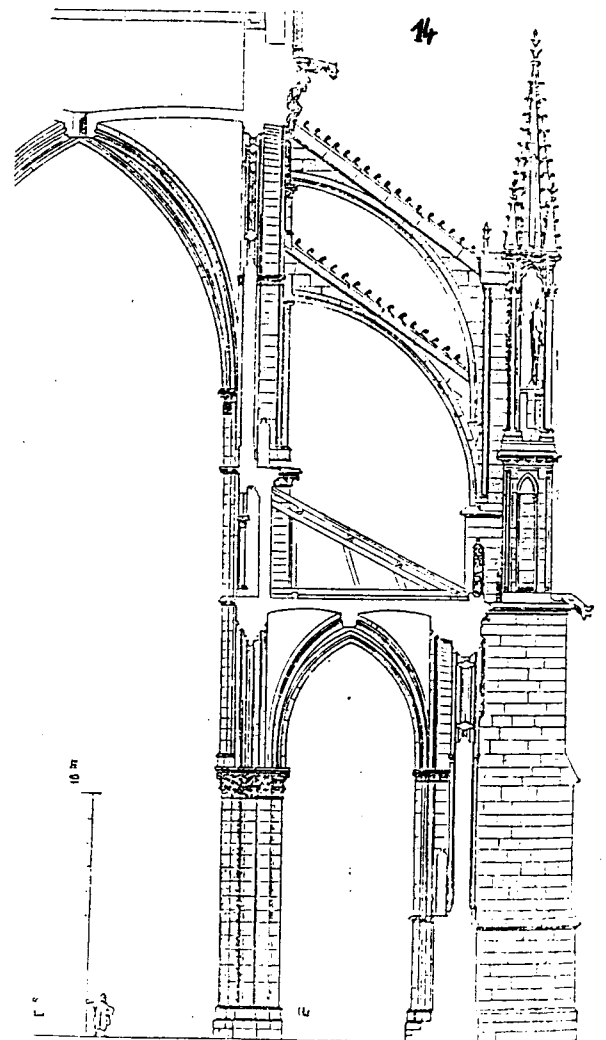
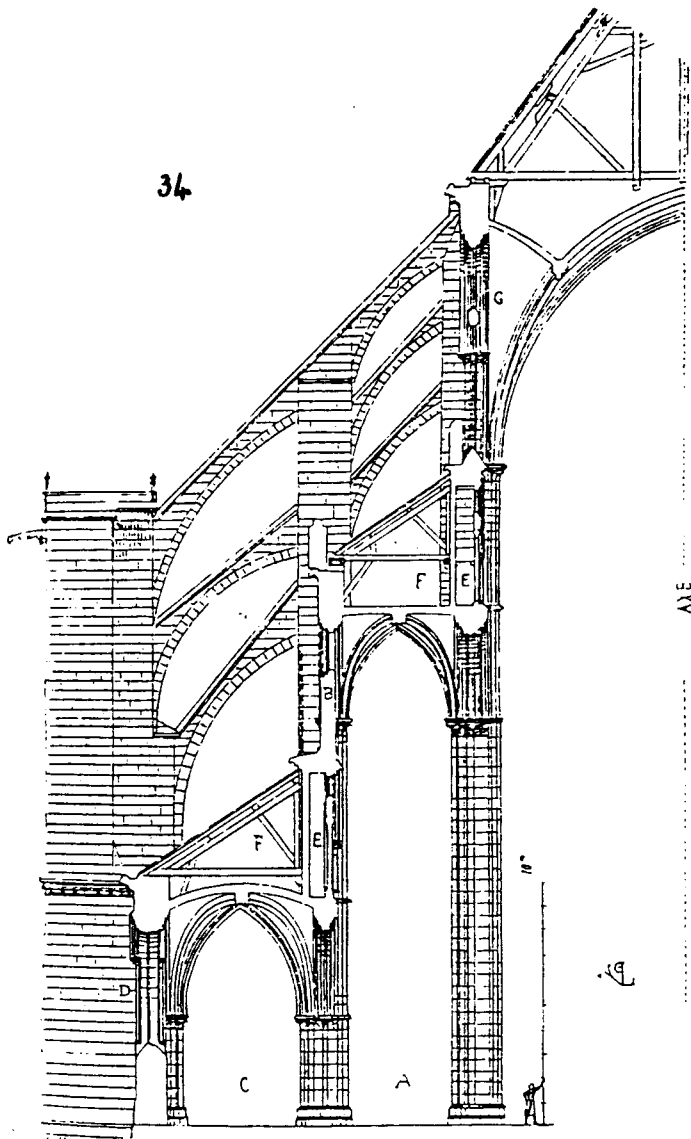
Article "Cathédrale", pages 328 à 331.

¹³(suite) C'est ainsi qu'une bonne partie de l'originalité du style gothique de l'Ouest de la France (Mussat), provient du fait que les édifices (les cathédrales de Poitiers et d'Angers, pour ne citer que les exemples les plus monumentaux) ont conservé le plan au sol et une partie des murs romans.

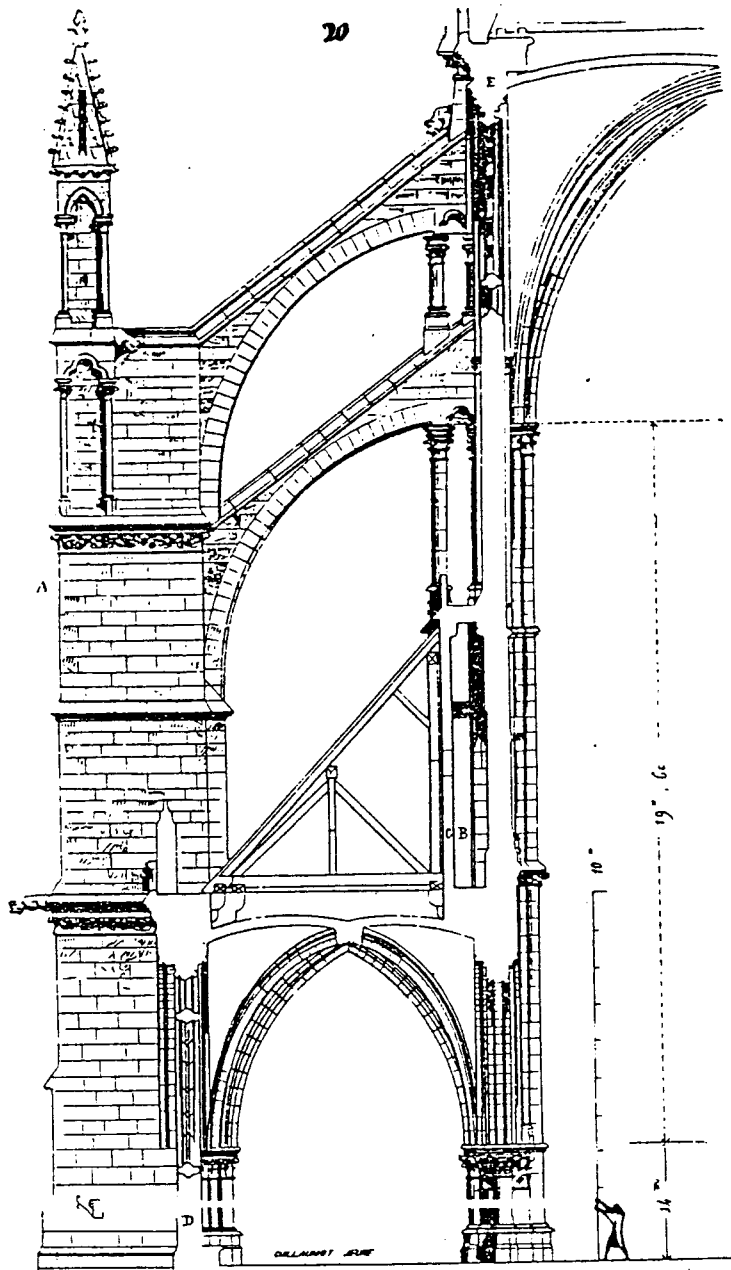
A l'inverse, la nouveauté des formes gothiques n'aurait pu s'épanouir sans l'émergence en parallèle, des cités en pleine expansion économique, et qui pouvaient faire "table rase" du passé.

¹⁴Ce sont les pinacles.

¹⁵De manière très nette dans cet extrait, l'adéquation de la forme aux fonctions constructives apparaît être pour Viollet-le-Duc, l'un des sens de l'évolution historique des styles architecturaux.



L'élévation gothique.



Obstacle épistémologique

Dans ces extraits du *Dictionnaire*¹, Viollet-le-Duc retrace les grandes lignes de l'évolution des styles architecturaux occidentaux. Les passages écrits en gras résument les phases du processus historique des inventions architectoniques, en particulier ses ruptures.

Cette analyse, malgré tous ses débordements idéologiques, va beaucoup nous aider à avancer quelques hypothèses relatives à la nature de ces ruptures, en particulier relativement aux questions théoriques suivantes :

1) Dans l'évolution des pratiques d'architecture qui se constitue en processus historique, les ruptures que l'auteur met en avant dans son analyse, sont-elles liées à un obstacle épistémologique² ?

2) Les extraits précédents du *Dictionnaire* ont démontré que de nombreuses connaissances en graphismes d'espaces, sont apparues entre le X^e et le XIV^e siècle. Y-a-t-il un lien entre un éventuel obstacle épistémologique et l'augmentation de ces connaissances ?

[Construction] " Le principe de la construction romaine est le suivant : établir des points d'appui présentant par leur assiette et leur parfaite cohésion, des masses assez solides et homogènes pour résister au poids et à la poussée des voûtes ; répartir ces pesanteurs et poussées sur des piles fixes dont la résistance inerte est suffisante. Ainsi la construction romaine n'est qu'une concrétion habilement calculée dont toutes les parties dépourvues d'élasticité se maintiennent par les lois de la pesanteur et leur parfaite adhérence ...

Cette méthode était la conséquence de l'état social et politique de la société romaine. En effet, elle demandait une bonne direction, en n'exigeant qu'un nombre restreint d'ouvriers habiles et intelligents, sous lesquels pouvaient travailler un nombre considérable de simples manoeuvres...

Manquant de savoir, ne possédant que des traditions presque effacées, n'ayant ni ouvriers habiles, ni engins puissants, les architectes de l'époque carolingienne firent des efforts inouis pour élever des édifices d'une petite dimension, pour les rendre solides et pour les voûter...

Déjà, dans les édifices du XI^e siècle, on voit la construction faire des progrès sensibles qui ne sont que la conséquence de fautes évitées avec plus ou moins d'adresse³ car l'erreur et ses effets instruisent plus les hommes que les oeuvres parfaites [sic]...

Les constructeurs romans (...) reconnurent bientôt que leurs

¹Ils ont été aussi repris par H.Damisch dans son choix d'extraits.

²Cf. bibliographie.

³Sans doute extrême. Cf. Focillon. par exemple, pour une information plus sereine.

Obstacle épistémologique

bâtisses n'offraient pas un ensemble concret lié, une agglomération parfaitement stable, que les piliers formés de placages de pierre enfermant un blocage composé de médiocre mortier, subissaient des effets, des tassements inégaux qui causaient des déchirures dans les constructions et par suite des accidents graves. Il fallut donc chercher les moyens propres à rendre ces effets nuls...

Il fallut que leur intelligence suppléât à ce défaut de puissance⁴.

La tâche n'était pas aisée à remplir : aussi, les expériences, les tâtonnements, les essais furent-ils nombreux ; mais cependant, dès l'origine de ces essais, on voit naître un système de construction neuf, et ce système est basé sur le principe d'élasticité, remplaçant le principe de stabilité absolue [où les masses sont immobiles, passives] adopté [sic] par les Romains⁵.

La voûte romaine, sauf de rares exceptions, est faite de blocages... Les constructeurs romains au lieu de maçonner la voûte en blocage, la construisirent en moellons bruts novés dans le mortier... ; déjà ces voûtes, si un mouvement venait à se déclarer dans les points d'appui, présentaient une certaine élasticité, par suite de la réunion des claveaux. [elles] ne se brisaient pas comme une croûte homogène, et suivaient le mouvement des piles⁶.

Mais cette première modification ne rassurait pas [sic] entièrement les constructeurs romains : ils établirent sous ces voûtes, de distance en distance, au droit des points d'appui les plus

⁴De manière tout à fait convaincante, Viollet-le-Duc met en relation réciproque le système de contraintes constructives (ensemble de ce que la société permet et interdit à un moment donné de son histoire) avec les inventions techniques des constructeurs.

C'est le principe même de la relation de nécessité qui relie les seconds aux premiers.

L'analyse de Viollet-le-Duc me paraît avoir démontré :

- 1) L'influence déterminante du système de contraintes historiques sur les pratiques, les représentations de ces pratiques, ainsi que les "styles" architectoniques.
- 2) Que l'évolution des éléments précédents, peut être ramenée à l'évolution des systèmes de contraintes dans l'Histoire.

⁵Y a-t-il un obstacle épistémologique, derrière ce changement de représentations des pratiques en architecture ?

⁶Il y a là un ensemble d'idées nouvelles pour l'architecture monumentale : penser à la dégradation irréversible de l'édifice - ne plus considérer l'édifice comme éternel, penser l'édifice comme "machine active" (Simondon) - rejeter l'idée de masse inerte, tendre vers une synergie fonctionnelle supérieure - lutter contre la tendance au syncrétisme (Simondon, cf. plus loin).

Ces couples d'idées positives - négatives forment un premier obstacle épistémologique, sur le chemin emprunté par le processus historique.

Obstacle épistémologique

résistants. des arcs doubleaux en pierres appareillées. cintrés sous l'extrados des voûtes. Ces arcs doubleaux, sortes de **cintres permanents élastiques**⁷⁷ (...). suivaient les mouvements des piles, se prêtaient à leur tassement, à leur écartement, et maintenaient ainsi, comme l'aurait fait un cintre en bois, les concavités bâties au dessus d'eux⁷⁸.

Article "Construction", pages 41 à 62¹⁰.

"Cependant les obstacles [sic], les difficultés semblaient naître à mesure que les constructeurs avaient cru trouver la solution du problème [de voûtement]. Les effets des poussées des voûtes si parfaitement connus des Romains étaient à peu près ignorés des

⁷⁷L'expression est heureuse, car elle conduit à l'idée d'économisation des matériaux de construction par une intégration progressive des cintres provisoires à l'édifice (cf. introduction).

Dans le voûtement par berceaux, les cintres provisoires sont les gabarits en bois (couchis) et les poutres qui recouvrent la totalité de la surface à couvrir ; dans les voûtes gothiques, l'économie de bois est essentielle (Bechmann).

⁷⁸Ils allaient permettre également un allègement notable des voûtains. La solution au problème du voûtement, les arcs-doubleaux, conduit à sa propre négation, l'allègement de la voûte.

L'évolution technique se fait en deux temps, conformément à la théorie de Simondon : tendance au syncrétisme par adjonction d'un élément supplémentaire, retour à la synergie par intégration des fonctions essentielles dans un nouveau système.

⁷⁹La pagination est ici celle du choix d'extraits faits par H. Damisch Viollet-le-Duc, l'Architecture raisonnée, Ed. Hermann.

¹⁰Cette analyse de Viollet-le-Duc décrit une première rupture dans le processus historique des pratiques et des représentations des pratiques, en architecture monumentale :

Faute de moyens matériels suffisants, il a fallu inventer !

Elle peut être reprise en termes d'obstacle épistémologique, car elle remet en cause, de manière fondamentale, les pratiques architecturales et les représentations des pratiques.

De manière très significative, ce premier obstacle épistémologique est directement liée à l'augmentation des contraintes dans les systèmes constructifs. Il apparaît comme étant le correspondant, sur le plan théorique de l'épistémologie, de l'évolution historique concrète...

Obstacle épistémologique

constructeurs romans ¹¹.

¹²

Le premier, parmi eux [sic], qui eut l'idée de bander un berceau plein cintre sur deux murs parallèles, crut certainement avoir évité à tout jamais les inconvénients attachés aux charpentes apparentes (...). Son illusion ne dut pas être de longue durée, car, les cintres et les couchis enlevés, les murs se déversèrent en dehors, et la voûte tomba entre eux. Il fallut donc trouver des moyens propres à prévenir de pareils sinistres...

Vers la fin du XI^e siècle déjà, beaucoup d'églises et de salles ainsi voûtées, bâties depuis un demi-siècle, tombaient en ruine, et il fallait les reconstruire ¹³. Ces accidents étaient un enseignement pour les constructeurs : ils leur donnaient l'occasion d'observer certains phénomènes de statique dont ils

¹¹Excessif certainement. Dans l'article de 1985, j'avance la même conclusion à partir du constat suivant : Dans les édifices romans, aucun élément de construction n'assure une fonction porteuse ou une fonction de contrebutement exclusive. Par exemple, le contre-fort et le mur romans, par leur appareillage entrecroisé, forment une unité constructive indistincte, ils assurent indifféremment les deux fonctions constructives.

Il faut corriger cette interprétation, car elle engage la compréhension du rapport entre système de contraintes et représentation des pratiques dans l'Architecture :

¹²(suite) Dans le système de contraintes constructives du X^e et XI^e siècle, le constructeur roman ne peut influencer sur la résistance à la charge de l'édifice, sans augmenter en même temps sa résistance au contrebutement. Pour le démontrer, il faudrait faire intervenir que :

1) la connaissance limitée des constructeurs en graphismes d'espaces à cette époque (essentiellement les plans au sol) ne leur permettait pas d'intervenir sur l'équilibre de l'édifice par des directions obliques...

2) le système de contraintes ne rendait pas nécessaire une spécialisation fonctionnelle des parties, il autorisait une plus grande dépense de matériaux.

Le constructeur roman peut néanmoins avoir une "idée claire" des différences entre tendance à l'effondrement et tendance au déversement de la voûte, verticales et obliques !

Il n'y a pas de relation simple entre ces deux ordres de phénomènes : les constructeurs peuvent avoir des connaissances de géométrie dont ils ne trouvent pas l'usage dans leur pratique, ils peuvent aussi mettre en oeuvre des éléments de géométrie sans en avoir une connaissance réflexive ...

¹³Cette affirmation, qu'il faudrait sans aucun doute nuancer, nous invite à se poser la question du sens de cette insuffisance "technique" de certains édifices romans, et à se demander si elle est liée ou non à un obstacle épistémologique.

n'avaient pas la moindre idée ¹⁴...".
Article "Construction", pages 63 à 65.

¹⁵La construction des voûtes était donc la grande préoccupation des architectes du moyen âge; ils étaient arrivés (...) à des combinaisons ingénieuses en elles-mêmes, qu'ils n'avaient pas encore trouvés les moyens propres à maintenir sûrement ces voûtes et qu'ils en étaient réduits aux expédients.

Ainsi, par exemple, ils maçonnaient les remplissages de ces voûtes en tuf, en matériaux légers, afin de diminuer les effets des poussées; ils les réduisaient d'épaisseur autant que possible; ils bloquaient des maçonneries sous les combles des collatéraux au droit des poussées, dans l'espoir d'empêcher le déversement des piles; ils posaient des chaînages en bois transversaux à la base de ces contre-forts masqués par la pente des combles, pour rendre les piles solidaires des murs extérieurs ¹⁶.

Ces expédients étaient suffisants dans de petites constructions; ils ne faisaient dans les grandes, que ralentir l'effet des poussées sans les détruire complètement.

Il faut se rendre compte de ces effets pour concevoir la suite de raisonnements et d'essais par lesquels les constructeurs passèrent de l'ignorance à la science.

Soit, la coupe transversale d'une église romane de la fin du XI^e siècle, construite comme celle de Vézelay, avec voûtes d'arêtes sur les collatéraux et sur la nef centrale. En A, la construction est figurée telle que l'architecte l'avait conçue; en B, telle que l'effort des voûtes hautes l'avait déformée...

Fig.
15.

Ces effets se produisaient partout de la même manière. En les étudiant, les constructeurs crurent non sans raison, puisque le fait est constant, que tout le mal était produit par la poussée des arcs plein cintre (...): que la déformation subie par ces arcs indique leurs points faibles, savoir: la clef et les reins...

C'est ainsi que, dans les voûtes du XII^e siècle, nous voyons peu à peu les arcs doubleaux s'éloigner du plein cintre pour se rapprocher de l'arc en tiers-point...

Soit par calcul théorique ou pratique, il est certain que les constructeurs du XII^e siècle comptèrent un moment réduire assez les poussées des voûtes pour se passer de butées et les maintenir

¹⁴Cette formulation laisse présager la présence d'un nouvel obstacle épistémologique...

¹⁵Il n'a pas été repris dans ces extraits, les arguments qui paraissent relever soit des idéologies de l'auteur, soit de l'illusion rétrospective ou d'une thèse finaliste sur le sens de l'Histoire..

¹⁶Toutes ces inventions techniques sont des adaptations du système constructif antérieur, pour pallier à la difficulté repérée, et non pas une accommodation, un changement irréversible du système.

Dans le vocabulaire de Simondon, les architectures romanes tendent alors vers le syncrétisme, elles s'éloignent provisoirement de l'état de synergie fonctionnelle (cf. son cours).

sur des piles d'une épaisseur médiocre, pourvu qu'elles fussent chargées ; car ils ne pensèrent pas tout d'abord qu'il fût nécessaire d'opposer des arcs-boutants à des poussées qu'ils croyaient avoir à peu près annulées, soit par l'obliquité des arcs ogives, soit par la courbe brisée des arcs doubleaux ¹⁷.

Cependant l'expérience leur montra bientôt qu'ils s'étaient trompés. La résultante des poussées obliques des arcs ogives plein cintre, ajoutée à la poussée des arcs doubleaux en tiers-point, était assez puissante pour renverser des piles très élevées au-dessus du sol et qui n'étaient qu'un quillage sans assiette ¹⁸. Ils posèrent donc des arcs-boutants...

Bientôt des effets se manifestèrent dans ces constructions, par suite des poussées des voûtes et malgré ces arcs-boutants. Voici pourquoi :

Derrière les reins des arcs et des voûtes en T, on bloquait des massifs de maçonnerie bâtarde, autant pour charger les piles que pour maintenir les reins des arcs et de leurs remplissages. Ces massifs eurent en effet l'avantage d'empêcher la brisure des arcs au point H, mais toute la charge des remplissages agissant de K en O, et cette charge ne laissant pas d'être considérable, il en résulta un léger relèvement à la clef B, l'arc n'étant pas chargé de O en B, et par suite une déformation, indiqué dans la figure. Fig. 26.

Cette déformation produisit une brisure au point O', niveau supérieur des massifs, et par conséquent une poussée très oblique O'P au dessus de la tête des arcs-boutants. Dès lors l'équilibre était rompu.

Aussi fut-il nécessaire de refaire tous les arcs-boutants des monuments gothiques primitifs quelques années après leur construction; et alors on se contenta d'élever la tête de ces

¹⁷Dans l'Architecture monumentale du Xème et XIème siècle, le chargement des voûtes apparaît comme étant le mode principal de contrebutement des poussées.

Cela est viable dans le système de contraintes du début du Moyen-Âge. les nombreux édifices romans encore debouts, sont là pour le témoigner. Cela ne l'est plus avec l'évolution historique.

Il faut préciser la forme historique de cette rupture historique fondamentale.

¹⁸Ici, apparaît un des arguments décisifs qui va faire basculer l'Architecture monumentale d'un système technique dans un autre :

C'est la localisation des effets de la masse.

Dans le système primitif, il est impossible de canaliser les effets verticaux et obliques de la masse en des points isolés. Ce que vont découvrir les derniers constructeurs romans...

arcs-boutants, ou on les doubla d'un second arc" ¹⁹.
Article "Construction", pages 79 à 102.

"Ce qui (...) préoccupa [les constructeurs], dès la fin du XII^e siècle, ce fut l'observation rigoureuse d'un principe qui jusqu'alors n'avait pas été impérieusement admis. Ce principe était celui de l'équilibre des forces substitué au principe de stabilité inerte, si bien pratiqué des Romains et que les constructeurs romans s'étaient vainement efforcés de conserver dans leurs grands édifices composés de plusieurs nefs.

Reconnaissant l'impossibilité de donner une assiette suffisante pour résister à la poussée des voûtes, les constructeurs du XII^e siècle prirent un parti franc : ils allèrent chercher leurs moyens de résistance ailleurs. Ils ne voulurent plus admettre les piliers isolés que comme des points d'appui maintenus verticalement, non par leur propre assiette, mais par des lois d'équilibre. Il importait alors seulement qu'ils eussent une force suffisante pour résister à une pression verticale ²⁰...

Ce dont on peut être certain, c'est qu'à la fin du XII^e siècle les constructeurs n'avaient adopté l'arc-boutant qu'en désespoir de cause [sic], qu'ils cherchaient à l'éviter autant que faire se pouvait, qu'ils se défiaient de ce moyen dont ils n'avaient pu

¹⁹La maîtrise des problèmes posés par l'élévation est en effet radicalement différente de ceux posés par le plan au sol : Elle nécessite une quantification précise de l'inclinaison, de la position du point d'appui ainsi que de la volée de l'arc-boutant (Viollet-le-Duc en reconstitue différentes étapes dans le point "Elévations gothiques").

²⁰La différence dans les pratiques architecturales romanes et gothiques ne tient pas dans une telle différence de principes : le principe d'équilibre est le descendant direct du principe d'élasticité.

C'est dans l'augmentation radicale de la précision de l'anticipation que se situe la différence, en particulier au niveau de l'élévation.

Si les constructeurs gothiques ont pu aller aussi loin dans cette quantification (cf. toutes les reconstitutions précédentes), c'est manifestement grâce aux calculs graphiques et aux possibilités de simulation qui sont offerts par la maîtrise progressive des coupes verticales.

Se trouve ainsi démontrée la construction dialectique d'une représentation mentale et d'une représentation graphique de problèmes nouveaux. Le second obstacle est donc très lié à l'augmentation radicale des possibilités d'anticipation du sujet, par le recours à un support graphique de représentation.

encore apprécier les avantages et la puissance ²¹(...).

La meilleure preuve que nous puissions en donner, c'est que quelques années plus tard, les architectes, ayant soumis définitivement, dans les édifices à trois nefs, leur système de voûtes à une raison d'équilibre, opposèrent des arcs-boutants aux poussées des voûtes qui n'en avaient eu que partiellement ou qui n'en avaient pas, et supprimèrent les arcs-boutants du XII^e-siècle, probablement mal placés ou insuffisants, pour les remplacer par des buttées neuves et bien combinées, sous le rapport de la résistance et de la pression ²² [c'est le cas de la cathédrale de Novon et de celle de Paris au XIII^e-siècle]...". Article "Construction", p. 112 à 115.

" Outre les avantages de l'économie, de la facilité d'approvisionnement et d'exécution, les constructions en petits matériaux convenaient (...) parfaitement au système adopté par les architectes du XII^e-siècle...

Si, dans ce système, il y a une solidarité complète entre les points d'appui chargés et les remplissages, les clôtures, les murs, qui ne le sont pas, il faudra nécessairement qu'il y ait rupture. Mais si, au contraire, les constructeurs ont eu le soin de faire que tout ce qui porte charge conserve une fonction indépendante, puisse se mouvoir, tasser librement; si les parties accessoires ne sont que des clôtures indépendantes des effets de pression ou de poussée, alors les ruptures ne peuvent se faire et les déliaisonnements sont favorables à la durée de la construction au lieu de lui être nuisibles.

Les Romains, qui n'opposaient que des résistances passives aux poussées, avaient parfaitement admis ce principe de déliaisonnement, de liberté entre les parties chargées des constructions voûtées et celles qui ne le sont pas. Les grandes salles des Thermes antiques sont en ce genre des chefs-d'oeuvre de combinaison...

Ces principes, les constructeurs gothiques les ont étendus beaucoup plus loin que ne l'avaient fait les Romains, parce qu'ils avaient (...) adopté un système de construction où toute force est active, et où il n'y a point, comme dans la construction romaine, de résistances inertes agissant par leur masse compacte...

Il fallait donc trouver le moyen de suppléer aux résistances inertes des points d'appui romains par une force aussi puissante, mais dérivée d'un autre principe. Ce moyen, ce fut de charger les points d'appui destinés à maintenir les poussées jusqu'à ce qu'ils atteignissent une pesanteur suffisante pour résister à

²¹Cette "résistance" à l'arc-boutant ne peut avoir une origine psychologique. Elle provient plus sûrement de ce que les constructeurs gothiques sont en train de prendre conscience des problèmes posés par l'élévation, de trouver les moyens propres à se représenter ces problèmes (par des coupes verticales dessinées), et inventer les solutions adaptées à ces nouveaux problèmes (cf. "l'élévation gothique").

²²On ne peut trouver une expression plus nette de la substitution d'une représentation de l'équilibre en architecture par une autre.

Obstacle épistémologique

l'action de ces poussées ²³...".
Article "Construction". p. 121 à 124.

Et pour terminer, en guise de conclusion :

" Si la construction gothique n'est pas soumise à des formules absolues, elle est esclave de certains principes. Tous ses efforts, ses perfectionnements tendent à convertir ces principes en lois, et ce résultat, elle l'obtient. équilibre; forces de compression opposées aux forces d'écartement; stabilité obtenue par des charges réduisant les diverses forces obliques en pesanteurs verticales; comme conséquence ²⁴ . réduction des

²³Cela est identique à la pratique romane, sauf que ce supplément de masse est localisé dans le cas gothique et donc relativement faible.

L'analyse constructive des différences dans les styles architectoniques entre le XI^{ème} et le XIV^{ème} a permis de dégager un obstacle épistémologique, rencontré par les constructeurs médiévaux au passage du XII^{ème} siècle. Cet obstacle épistémologique peut indifféremment se décrire en termes de :

- spécialisation constructive par concrétisation des fonctions techniques dans l'objet,
- localisation des effets de la masse,
- augmentation de l'anticipation des formes et de la précision de l'anticipation, par une utilisation généralisée des graphismes d'espaces.

Comme dans le cas du premier obstacle épistémologique, ces différentes formulations ne font que reprendre sur des plans différents, les effets de l'évolution historique des systèmes de contraintes.

²⁴Il semble au contraire que la réduction des sections horizontales soit d'abord une conséquence du processus historique d'économisation de la masse.

Elle a pour conséquence :

- 1) au niveau des pratiques architecturales, une meilleure gestion des effets de la masse et une tendance à leur localisation,
- 2) au niveau des représentations de ces pratiques, le principe d'équilibre identifié par Viollet-le-Duc.

Comme dans beaucoup d'autres domaines, ce sont les contraintes historiques - ce que la société permet et interdit, les moyens techniques qu'elle met à la disposition des constructeurs - qui déterminent donc en dernière analyse, les représentations mentales des sujets.

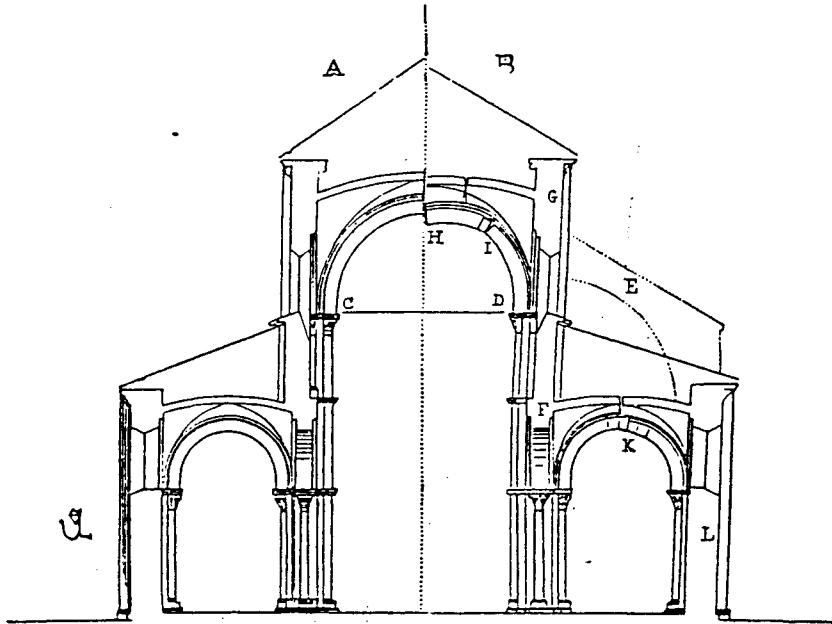
A la lumière de cette étude d'Histoire de l'Architecture, il apparaît que le lien entre les deux ordres précédents de phénomènes (les pratiques sociales et les représentations de ces pratiques) réside dans le fait qu'il y a ou non nécessité dans la situation historique de se poser certains problèmes et d'inventer les moyens de l'obtention des solutions. Cet aspect est développé dans la Thèse.

Obstacle épistémologique

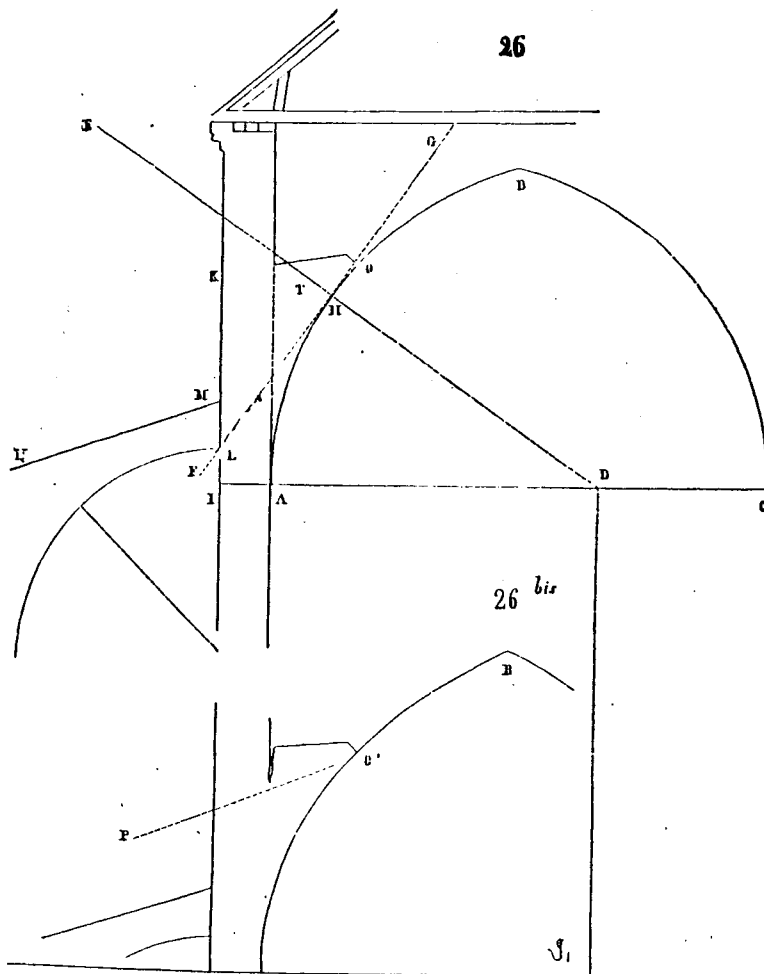
sections horizontales des points d'appui : tels sont ces principes, et ce sont encore ceux de la véritable construction moderne".

Article "Construction". p.126.

15



26





*Eugène Viollet le Duc (1814-1879), photographie de Nadar.
Ill. G. Bernage.*

BIBLIOGRAPHIE

- Abraham. P. Viollet-le-Duc et le rationalisme médiéval, 1934, résumé dans le *Bull. monumental* 1934.
- Althusser L., Balibar E. Lire le Capital, 1980, petite collection Maspero.
- Bautier Th. Contrebuter la poussée des voûtes/ L'architecture romane/ La conception hétérogène, Séminaire 1985, Science, Histoire, Société, Université Rennes I.
- Bautier Th. Didactique des transformations géométriques, Thèse de doctorat (soutenue en 1990), Université de Bordeaux I.
- Bechmann R. Les racines des cathédrales. L'architecture gothique, expression des conditions du milieu, 1984, Payot.
- Bony J. La genèse de l'architecture gothique : accident ou nécessité ?, "Revue de l'art", n58-59, 1982-83.
- Boudon Ph. Sur l'espace architectural, essai d'épistémologie de l'architecture, 1971, Dunod.
- Bourdieu P. Postface de Architecture gothique et pensée scolastique, 1967, Ed. de Minuit.
- Bourgeon F. et Dhombre P. Maître Guillaume et le journal des bâtisseurs de cathédrales, 1978, Univers-MEDIA.
- Brousseau G. Les obstacles épistémologiques et les problèmes en mathématiques, 1976, Comptes rendus de la XXVIII^e rencontre de la C.I.E.A.E.M., Louvain la neuve.
- Brousseau G. Problèmes d'enseignement des décimaux, 1980 et 1981, Vol. 1.1. et 2.1. de Recherches en didactique des mathématiques.
- Brousseau G. Tendances originales des recherches en didactique des mathématiques en France, 1982, 1986 rééd. Annexes de la Thèse.
- Brousseau G. Les obstacles épistémologiques et les problèmes en mathématiques, 1983, Vol. 4.2. de Recherches en didactique des mathématiques.
- Brousseau G. Théorisation des phénomènes d'enseignement des mathématiques, 1986, Bordeaux I.
- Brousseau G. Obstacles épistémologiques et conflits socio-cognitifs. Relations, 1986, article n°3, Tirage IREM de Bordeaux.
- Brousseau G. Les obstacles épistémologiques et la didactique des mathématiques, 1989, article n°5, Tirage IREM de Bordeaux.

- Clark W. et Mark R. Le gothique : une architecture empirique, n°87 de "Pour la science".
- Chevallard Y. La transposition didactique, La Pensée Sauvage.
- Chevallard Y. Esquisse d'une théorie formelle du didactique, 1986, Luminy.
- Collectif F. Brunelleschi, sa vie, son oeuvre par Antonio Manetti et Giorgio Vasari, 1985. Ed. par l'école nationale supérieure des Beaux-Arts.
- Collectif L'Art des bâtisseurs romans, la Géométrie et les Maîtres de l'Œuvre, la Construction : les métiers et les outils, 1985, Cahier de Boscodon n°4.
- Damisch H. introduction de Viollet-le-Duc. L'architecture raisonnée, 1978, Coll. Savoir, Hermann.
- Deforge Y. Le graphisme technique, son histoire et son enseignement, 1981, Champ Vallon.
- Duby G. Le Moyen-Age, 1987, Hachette.
- Durliat M. L'Art roman, 1982, Ed. Mazenod.
- Erlande-Brandenburg A. L'Art gothique, 1983, Ed. Mazenod.
- Focillon H. Moyen-Age roman et Gothique, 1938, Biblio essais.
- Francastel P. L'humanisme roman, 1942 puis 1970 Ed. Mouton.
- Gimpel J. Les bâtisseurs de cathédrales, 1980, Seuil.
- Kimpel D. L'apparition des éléments de série dans les grands ouvrages, n°47 "Histoire et Archéologie".
- Lebahar J.C. Le dessin d'architecte, simulation graphique et réduction d'incertitude, 1983, Ed. Parenthèses.
- Mussat A. A propos des interprétations de l'architecture gothique, dans "Hommage à René Jullian", 1978, "Arch.art fr.", 25.
- Mussat A. Le style gothique de l'Ouest de la France (XII^e-XIII^e siècles.), Thèse, 1963, Paris.
- Niel F. Dolmens et Menhirs, 1957, Coll. Que sais-je ?, P.U.F.
- Panofsky E. Architecture gothique et pensée scolastique, 1948, puis 1967, Ed. de Minuit.
- Poitou J.P. Dessin technique et division du travail, n°12 de "Culture technique", Les ingénieurs, mars 1984, Ed. par le Centre de Recherche sur la Culture Technique.
- Paul-Lévy F., Segaud M. Anthropologie de l'espace, 1983, n°1 Coll. Alors. Ed. Centre de Création Industrielle.
- Recht R. La loge et le soi-disant "secret" des bâtisseurs de

cathédrales, n°47 "Histoire et Archéologie".

- Savignat J.M. Dessin et architecture du moyen-âge au XVIIIème siècle, 1983, Ed. Ecole Nat. Supérieure des Beaux-Arts.
- Simondon G. Du mode d'existence des objets techniques, 1969, Aubier Montaigne.
- Simondon G. Plan général pour l'étude des techniques, Cours donné à la Sorbonne en 1968-69, (multig.)
- Villard de Honnecourt Carnet, introduction et commentaires de A. Erlande-Brandenburg, R.Pernoud, J.Gimpel et R.Bechmann, 1986, Stock.
- Viollet-le-Duc, Dictionnaire raisonné de l'Architecture française du XIè au XVIè siècle, 1854-69, Ed. de Sancey.
- Viollet-le-Duc, Histoire d'un Hotel de Ville et d'une cathédrale, éd. Berger-Levrault.
- Viollet-le-Duc, Histoire d'un dessinateur, comment on apprend à dessiner, 1879, éd. Berger-Levrault.
- Viollet-le-Duc, L'architecture raisonnée, choix d'extraits du "Dictionnaire" par H.Damisch, 1978, Coll. Savoir, Hermann.
- Viollet-le-Duc, Encyclopédie médiévale, choix d'extraits du "Dictionnaire" par G.Bernage, 1978, Ed. Inter-Livres.