



HAL
open science

Quelques caractéristiques du recours aux mathématiques dans la doctrine architecturale

Françoise Chaillou, Jean-Pierre Péneau, Agnès Troit

► To cite this version:

Françoise Chaillou, Jean-Pierre Péneau, Agnès Troit. Quelques caractéristiques du recours aux mathématiques dans la doctrine architecturale. [Rapport de recherche] 205/84, Ministère de l'environnement et du cadre de vie / Secrétariat de la recherche architecturale (SRA); Centre de recherches méthodologiques d'architecture (CERMA). 1983. hal-01887405

HAL Id: hal-01887405

<https://hal.science/hal-01887405>

Submitted on 4 Oct 2018

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

205

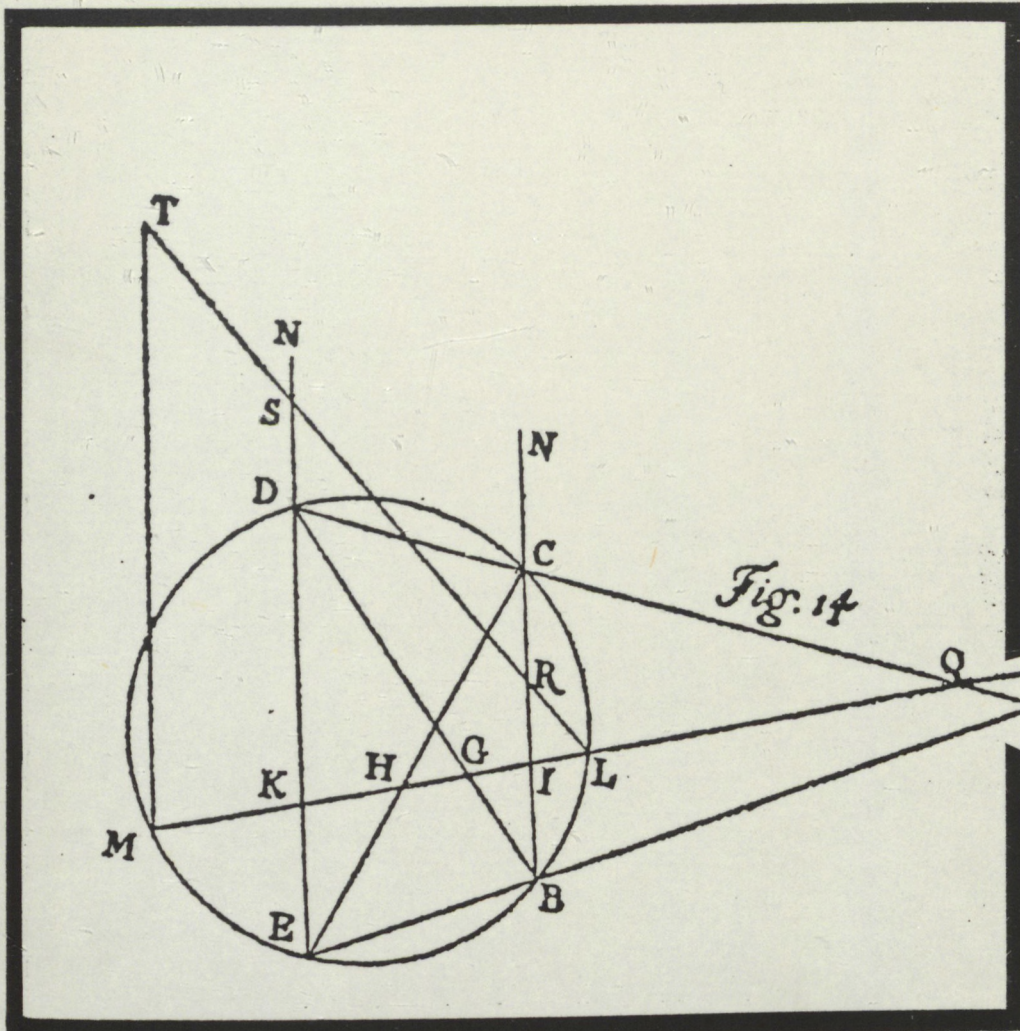


Fig. 14

QUELQUES CARACTERISTIQUES DU RECOURS AUX MATHEMATIQUES DANS LA DOCTRINE ARCHITECTURALE.

NOVEMBRE 1983

CARACTERISTIQUES DU RECOURS AUX MATHEMATIQUES
DANS LES DOCTRINES ARCHITECTURALES

Le présent document constitue le rapport de fin d'étude d'une étude remise au Secrétariat de la Recherche Architecturale en exécution du programme général de recherche mené par le Ministère de l'Environnement et du Cadre de Vie avec la D.G.R.S.T. depuis 1972. Les jugements et opinions émis par les responsables de la recherche n'engagent que leurs auteurs.

RAPPORT C.E.R.M.A. n° 44

CERMA - Association de Recherche agréée
de l'Unité Pédagogique d'Architecture de NANTES
Rue Massenet - 44300 NANTES

Tél. : (40) 59.43.24

Jean-Pierre PENEAU, architecte, responsable de
la recherche

Françoise CHAILLOU, architecte-

Agnès TROIT, secrétaire documentaliste

avec l'aide de : Guy BALLANGE, pour le travail
analytique sur la littérature
allemande,
et des services documentaires de
la fondation LE CORBUSIER.

SOMMAIRE

INTRODUCTION

G. DESARGUES - MATHEMATICIEN ET ARCHITECTE

- Oeuvres de DESARGUES
- Place des travaux de DESARGUES dans la théorie mathématique
- DESARGUES architecte

LES THEORIES DES PROPORTIONS DEPUIS LE XIXe SIECLE

- Textes de référence :

- . HENSZLMANN E.
- . VIOLLET LE DUC E.
- . THIERSCH A.
- . ZEISING A.
- . CHOISY A.
- . LUND F.M.
- . LE CORBUSIER et P. JEANNERET
- . HAMBIDGE J.
- . MOESSEL E.
- . GHYKA M.L.
- . TEXIER M.A.
- . MAILLARD E.
- . JOUVEN G.
- . FUNCK-HELLET Ch.
- . WITTKOVER R.
- . LURCAT A.
- . SCHOLFIELD

- Ecrits complémentaires :

- . BOBRISSAVLIEVITCH M.
- . FORMIGE J.
- . ALEXANDER Ch.
- . PAQUET J.P.
- . GROMORT G.
- . EGOCHARD M.

- Commentaires:recours à l'antique.

LA TOPOLOGIE CHEZ L'ARCHITECTE:

- Les approches morpho-structurales et la géométrie constructive.
- La topologie comme géométrie de l'esquisse.
- La définition des caractéristiques des trames.
- Une formalisation de la constitution du projet.

CONCLUSION EN FORME D'EPILOGUE.

BIBLIOGRAPHIE.

INTRODUCTION

Dans l'histoire de l'architecture s'inscrit constamment la revendication d'un statut théorique et la volonté de fonder une science architecturale autonome. La constitution de celle-ci soulève d'un point de vue épistémologique de sérieuses difficultés en regard des règles d'établissement des sciences de la nature et des sciences de l'homme.

La théorie scientifique construit des modèles explicatifs rendant compte des faits observés. Elle définit son objet et se munit de ses propres instruments de validation pour évaluer la pertinence des modèles ainsi constitués.

Pour leur part, lorsque les architectes parlent de théorie, ils n'ont généralement pas mis en oeuvre un appareillage conceptuel aussi rigoureux. Parmi les nombreuses tentatives de théorisation qui, depuis l'antiquité, jalonnent l'évolution de la pensée architecturale et sous-tendent la production dessinée ou construite correspondante, un très grand nombre empruntent aux sciences mathématiques des éléments de confortation ou de légitimation.

Les écrits théoriques d'architecture accusent nettement leur dépendance vis à vis de la théorie des nombres et de la géométrie de l'Antiquité. R. WITTKOVER l'a montré en particulier pour les traités d'ALBERTI et de PALLADIO.

La théorisation de la perspective, celle de la géométrie projective de DESARGUES, plus tard les apports de MONGE ne sont pas sans influencer le débat architectural, mais curieusement, ce sont toujours les procédures anciennes et les références arithmétiques et géométriques du "quattrocento" qui sont à l'oeuvre dans des écrits théoriques récents : ceux de LURCAT, ceux de LE CORBUSIER invoquant les proportions, les lois d'harmonie, les tracés régulateurs, le nombre d'or.

La vague méthodologique largement étayée par les développements des moyens de calcul automatique, n'a pas substantiellement modifié la pratique et le discours théorique des architectes. Des mathématiques communément dites modernes, ils ont cependant retenu dans la topologie, un domaine proche de leurs préoccupations.

Les recours allégoriques à cette branche des mathématiques sont plus nombreux que son utilisation circonstanciée et, il y a, pour expliquer ce phénomène, des raisons épistémologiques et scientifiques qui devraient être clarifiées.

La citation de P. EISENMAN appelant à l'aide la topologie pour résoudre les problèmes de l'architecture contemporaine est symptomatique de ce malentendu. Quelques surfaces popularisées pour leurs propriétés spatiales insolites, telles la bande de MOEBIUS ou la bouteille de KLEIN ne sont retenues que pour leur différence en regard de l'expérience de la géométrie euclidienne (celle de l'espace de tous les jours, de monsieur tout-le-monde et de l'architecte). Elles se voient dès lors attribuer des qualités transcendantales de "surfaces continues et infinies" renvoyant à des espaces sidéraux.

On pourrait multiplier les exemples de tels emprunts profanes et approximatifs à la terminologie et aux concepts des mathématiques plus ou moins récentes, mais ce travail d'enquête et de censure scientifique, ramenant la recherche à un examen soupçonneux des emprunts profanes à un domaine jalousement gardé, n'était pas dans nos intentions.

Il y a, pour cela, deux raisons :

- La première ressortit à l'absence du mathématicien de profession prévu dans l'équipe initiale (les aléas du corps enseignant des Unités Pédagogiques ayant ramené celle-ci à son expression minimale) ;
- La seconde à la conviction, qui est celle de l'auteur de ce texte, que ces emprunts, recours, cautions, ne retenant des mathématiques que ce qui tombe sous le sens commun des architectes, sont finalement utiles dans le débat et peuvent jouer un rôle instrumental, doctrinal, voire théorique important.

Le propos n'est pas ici de les dénoncer mais de les mettre au jour et de les comprendre.

Or, la tâche était d'envergure et les moyens modestes mis à la disposition du programme d'investigation ne permettaient pas de faire un inventaire complet. Aussi, nous sommes-nous contentés d'un repérage échantillonné en essayant de conserver ce caractère de recherche de "quelques caractéristiques du recours aux mathématiques dans les doctrines architecturales". Ce titre même marquait, de manière claire, les limites du propos, et conjurait, par celles-ci, le

risque d'embrasser une période trop importante, ou le péril similaire de traiter d'une question du type : mathématiques et architecture - si générale qu'elle en deviendrait oiseuse.

Puisqu'échantillonnage il y a, il faut se justifier de celui-ci. Dire d'entrée qu'il s'est réduit au fur et à mesure du travail serait honnête, sachant que l'ambition était d'abord de choisir d'étudier l'oeuvre et l'influence de quelques architectes mathématiciens des 17ième et 18ième siècles. Parmi ceux-ci, nous avons retenu initialement DESARGUES, GUARINI et WREN ; sachant que les théories mathématiques et architecturales de la Renaissance avaient déjà fait l'objet de beaucoup d'études. Pour la suite, nous souhaitions aborder la résurgence au milieu du 19ième siècle de la problématique des proportions, de manière à démêler ce qui ressortissait aux mathématiques dans les discours correspondants. Enfin, notre intention était d'examiner la période plus récente, en traitant en particulier du recours à la topologie et aux techniques de mathématiques appliquées mises en oeuvre dans la recherche opérationnelle. L'ensemble de ce programme a été engagé mais le spectacle que donne le présent rapport est plutôt celui d'un chantier que d'un édifice achevé. Certaines ailes de la construction ont fait l'objet d'un travail qui reste en sous-oeuvre, d'autres parties sont, à l'évidence, inachevées, tandis que certaines seraient peut-être assez proches d'une consistance conforme au projet.

Le moment est venu d'établir l'état des lieux.

G.DESARGUES - MATHEMATICIEN ET ARCHITECTE

Notre projet de repérage des interférences entre doctrine architecturale et mathématique trouve en Girard DESARGUES un être tout à fait exceptionnel puisqu'il est à la fois mathématicien et architecte. Certes, ses activités de mathématicien lui doivent, plus que ses réalisations architecturales, d'être passé à la postérité. Ce sera cependant un argument de cette partie de notre étude, de montrer que l'insertion dans le milieu architectural de G. DESARGUES, est peut-être plus significative et plus importante pour la genèse de son oeuvre, que ce qui est généralement retenu par les historiens des mathématiques.

Parmi ceux-ci, le spécialiste incontesté de G. DESARGUES est René TATON. A la suite des travaux de POUDRA (1) et des études de TANNERY (2), R. TATON publie en 1951 "L'oeuvre mathématique de G. DESARGUES" (3), dans lequel il a la possibilité d'utiliser un exemplaire récemment retrouvé de l'oeuvre géométrique la plus originale du 17ième siècle : "Brouillon project d'une atteinte aux évènements des rencontres d'un cône avec un plan et aux évènements des contrariétés d'entre les actions des puissances ou forces" dont on ne possédait aucun original.

Il traite longuement de l'importance de DESARGUES, qu'il considère comme le premier grand géomètre que l'Europe ait connu, dans des articles et des conférences sur l'histoire de la géométrie (4).

(1) POUDRA - "Oeuvres de DESARGUES réunies et analysées par M. POUDRA - 2 vol., PARIS (1864)

(2) en particulier la biographie assez détaillée de DESARGUES dans LA GRANDE ENCYCLOPEDIE. Vol. XIV - p. 203 et 204

(3) TATON R. - "L'oeuvre mathématique de G. DESARGUES" - PUF, PARIS (1951)
 Dans cet ouvrage, R. TATON publie les versions originales de trois textes de mathématiques pures de DESARGUES :
 - la lettre au père MERSENNE de 1636
 - le Brouillon project de 1639
 - quelques pages de géométrie insérées dans le traité de perspective de A. BOSSE

(4) Au nombre de ceux-ci on retiendra en particulier :

TATON R. - "La préhistoire de la géométrie moderne" in Revue d'Histoire des Sciences - Tome II - 1949 - 197-224

TATON R. - "La géométrie projective en France de DESARGUES à PONCELET"
 Conférence faite au Palais de la Découverte le 17 février 1951.

Cet ouvrage sert de référence, en l'absence de recherches et de publications nouvelles, dissipant les nombreuses zones d'ombre qui marquent la connaissance de la vie de celui-ci. Nous le verrons par la suite, ce sont précisément ces périodes obscures de la formation et de la jeunesse de DESARGUES, qui permettraient d'apprécier la question de son initiation à l'architecture et aux techniques instrumentales de cette discipline. De la compilation des principales biographies : celle de POUDRA, celle de TANNERY, révisées par TATON ou celle plus récente publiée dans le Dictionnaire de Biographie Française (1) (qui s'appuie elle-même sur les travaux de R. TATON), on peut retenir de manière très succincte les éléments qui suivent.

Girard DESARGUES est le fils d'un autre Girard originaire de CONDRIEU, enquêteur de la Sénéchaussée de LYON, receveur des décimes de la ville puis du diocèse, enfin notaire de 1570 à 1605. Il naît à LYON et est baptisé le 2 mars 1591. Jusqu'en 1630, (où A. BOSSE signale qu'il a obtenu à PARIS le privilège royal pour publier des écrits), on ne possède aucune information sur ses études et sur ses activités. On pense toutefois qu'il résidait à PARIS depuis 1624 et qu'il aurait été conseiller pour la construction des digues de LA ROCHELLE, où ses talents d'ingénieur avaient été appréciés par RICHELIEU pendant le siège. On est sûr, en revanche, qu'à partir de 1630, il se lie à des savants et à des amateurs de sciences qui constituent autour du Père MERSENNE la préfiguration de ce qui deviendra l'Académie des Sciences. Aux réunions du jeudi organisées par le savant minime il rencontre GASSENDI, MYDORGE le géomètre, ROBERVAL, Etienne PASCAL, CARCAVY. En 1636, il publie un traité : "Méthode aisée pour apprendre et enseigner à lire et écrire la musique", que le Père MERSENNE publiera dans son "Harmonie universelle". Toujours en 1636, il publie "Exemple de l'une des manières universelles de S.G.D. (esargues) L(yonnais), touchant la pratique de la perspective sans employer aucun tiers point de distance n'y d'autre nature, qui soit hors du champ". En 1638, il communique avec DESCARTES par l'intermédiaire du père MERSENNE. 1639 est l'année de publication de son oeuvre maîtresse "le Brouillon project". C'est également le début des échanges avec le jeune B. PASCAL. La controverse qui l'avait opposé à BEAUGRAND à propos du "Brouillon project" rebondit avec la publication en 1640 du "Brouillon project d'exemple d'une manière universelle de S.G.D.L. touchant la pratique du trait à preuves pour la coupe des pierres en l'architecture, et de l'éclaircissement d'une manière de réduire au petit pied en perspective comme en géométral et de tracer tous quadrans plats d'heures égales au soleil". C'est avec l'architecte CURABELLE que la polémique est la plus vive. Les deux opposants échangent les placards et les libelles et prolongent leur querelle par un procès dont on

(1) *Dictionnaire de Biographie Française - Article DESARGUES Girard, p. 1184*

ignore l'issue. Les sieurs TAVERNIER et LANGLOIS font également partie des géomètres et artistes assez médiocres qui alimentent la controverse. Elle se poursuit à l'Académie Royale de Peinture où A. BOSSE, disciple de DESARGUES est obligé de démissionner de sa charge d'enseignant.

DESARGUES est, dit-on, affecté par cette opposition acharnée. Il abandonne la lutte en 1644 et renonce à publier d'autres écrits. Il quitte PARIS peu après 1648 et l'on ne possède plus beaucoup de renseignements sur la fin de sa vie. Il réside à LYON ou à CONDRIEU, est à PARIS en juillet 1657. En novembre 1658, il rédige, toujours à PARIS, son testament. Il meurt en 1661.

OEUVRES DE DESARGUES

L'oeuvre en géométrie de DESARGUES qui nous est parvenue comprend les textes suivants :

- "Exemple de l'une des manières universelles du S.G.L.D. touchant la pratique de la perspective sans employer aucun tiers point de distance n'y d'autre nature, qui soit hors du champ". PARIS, 1636 (12 pages). Trois exemplaires de cet ouvrage sont connus.

Le texte a été réédité dans "Manière universelle de Mr. DESARGUES pour pratiquer la perspective par petit-pied comme le géométral" de A. BOSSE, PARIS (1648) pp. 321-334. Il est complété par d'autres fragments importants dus à DESARGUES : théorèmes sur la projectivité du rapport anharmonique et sur les triangles homologues. pp. 335-343.

- Lettre de DESARGUES au père MERSENNE (4 avril 1638) sur les problèmes des tangentes - publiée dans "Oeuvres de DESCARTES" de ADAM-TANNERY, t. XI et dans "Oeuvres de FERMAT" de TANNERY-HENRY, t. IV.
- Brouillon project d'une atteinte aux évènements des rencontres d'un cône avec un plan et aux évènements des contrariétés entre les actions des puissances ou forces, PARIS (1639).

Aucun exemplaire de ce texte au tirage très faible n'était connu. On utilisait une copie manuscrite faite en 1679 par Ph. de la HIRE, disciple de DESARGUES, retrouvée chez un bouquiniste parisien par CHASLES et déposée à la bibliothèque de l'Institut. En 1951, peu avant la mise sous presse de son livre, R. TATON peut utiliser un exemplaire original retrouvé à la Bibliothèque Nationale, et faire la part de quelques modifications dues à la copie de Ph. de la HIRE.

- "Brouillon project d'exemple d'une manière universelle du S.G.D.L. touchant la pratique du trait à preuves pour la coupe des pierres en l'architecture ; et de l'éclaircissement d'une manière de réduire au petit-pied en perspective comme en géométral et de tracer tous quadrans plats d'heures légales au soleil" - PARIS (1640).

Deux exemplaires de cet ouvrage sont actuellement connus.

R. TATON (1) rappelle qu'en dehors de quelques fragments polémiques figurant dans le texte de POUDDRA, et du traité de musique édité par le Père MERSENNE, on ne connaît le reste de l'oeuvre de DESARGUES que par les commentaires d'A. BOSSE. Ce dernier se fait le porte-parole des idées de DESARGUES dans trois traités rédigés de manière parfois confuse :

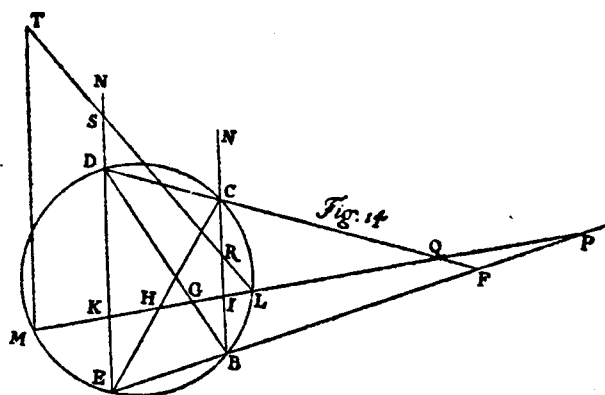
- "La manière universelle de M. DESARGUES... pour poser l'essieu et placer les heures et autres choses aux cadrans du soleil" par A. BOSSE. - PARIS, Impr. de P. DES Hayes (1643)
- "La pratique du trait à preuves de Mr DESARGUES... pour la coupe des pierres en l'architecture" par A. BOSSE - PARIS, Impr. de P. Des Hayes (1643)
- "La manière universelle de Mr DESARGUES, pour pratiquer la perspective par petit-pied, comme le géométral. Ensemble les places et proportions des fortes et faibles touches, teintes ou couleurs" par A. BOSSE... - PARIS, Impr. de P. Des Hayes (1653)

Les "leçons de ténèbres" relatives au tracé des ombres qui sont fréquemment citées par les savants de l'époque, correspondraient soit à un autre traité perdu sur les coniques, soit au brouillon project de 1639.

Nous extrayons de l'édition du "Brouillon project" de R. TATON la formulation du célèbre "Théorème de DESARGUES", la reproduction de la figure qui lui correspond ainsi que la transcription actuelle du texte.

(1) TATON R. - "La Préhistoire de la "Géométrie moderne" - Op. cit., note (20), p. 215

"Quand en un plan, à quatre points B, C, D, E , comme bornes couplées trois fois entre elles, passent trois couples de droites bornales $BCN, EDN, BEF, DCF, BDR, ECR$, chacune de ces trois couples de droites bornales § le bord courbe d'une quelconque coupe de rouleau, qui passe à ces quatre points B, C, D, E , donne en quelconque autre droite de leur plan ainsi qu'en un tronc I, G, K , une des couples de noeuds d'une involution $IK, PQ, GH, § LM, §$ si les deux bornales droites d'une des couples BCN, EDN , sont parallèles entre elles, les rectangles de leurs couples relatives de brins déployez au tronc sont entre eux comme leurs gemeaux les rectangles des brins pliez au tronc § de mesme ordre sont entre eux."



R. TATON en propose la transcription suivante :

"Les coniques d'un faisceau ponctuel, défini par quatre points dont trois quelconques ne sont pas alignés, déterminent sur chaque droite de leur plan des couples de points en involution ; les trois coniques dégénérées du faisceau, qui sont les couples de côtés opposés du quadrangle complet, satisfont à cette propriété."

Après une éclipse de près de deux siècles, l'oeuvre de DESARGUES est signalée par les mathématiciens du début du 19ième, en particulier par SERVOIS (1), BRIANCHON (2), PONCELET (3). Mais c'est CHASLES dans sa célèbre histoire de la géométrie (4) qui va insister sur son importance. C'est sur les conseils de CHASLES que POUDRA entreprendra la recherche, la publication et l'analyse de ses différentes oeuvres dans l'ouvrage de 1864 (5)

(1) SERVOIS F.J. - "Solutions peu connues de différents problèmes de géométrie pratique" - PARIS (An XII)

(2) BRIANCHON C.J. - "Mémoire sur les lignes du second ordre..." - PARIS (1817)

(3) PONCELET J.V. - "Traité des propriétés projectives" - PARIS (1822)

(4) CHASLES M. - "Aperçu historique sur l'origine et le développement des méthodes en géométrie" - PARIS (1837)

(5) POUDRA - Op. cit.

PLACE DES TRAVAUX DE DESARGUES DANS LA THEORIE MATHEMATIQUE

L'évaluation du rôle et de l'influence de l'oeuvre de DESARGUES dans la théorie mathématique et de manière plus précise dans la géométrie ne constitue plus à proprement parler un objet de recherche. Les travaux que nous avons signalés dans les rappels biographiques et bibliographiques qui précèdent, ont permis de bien situer l'importance et l'étendue des innovations arguésiennes dans le panorama général de l'histoire des mathématiques.

Mais, là encore, pour un lecteur de ce travail peu au fait des étapes de cette histoire, nous avons jugé bon de procéder à quelques rappels. Cette mise en ordre succincte de données de seconde main paraît nécessaire pour aborder en connaissance de cause la dernière partie de ce chapitre sur DESARGUES - et la plus importante en regard de notre objet - intéressant la relation entre géométrie et architecture. De la même manière, il sera indispensable d'apporter préalablement des éléments sur DESARGUES architecte, dans un domaine où les informations sont beaucoup moins abondantes.

Si nous nous référons à nouveau à l'un des écrits de R. TATON sur le sujet (1), il ne fait pas de doute que DESARGUES est à la source de l'une des branches de ce qu'il est convenu d'appeler la "géométrie moderne" (2). Le cours inaugural de Félix KLEIN en 1872 connu sous le nom de "programme d'ERLANGEN" est un peu l'acte de naissance de cette classification "moderne", subdivisant la géométrie, considérée auparavant comme un tout, en une série de géométries particulières, caractérisées par le groupe des transformations qui laissent invariantes leurs propriétés.

Cette révolution est apparue à la suite de l'introduction des groupes de substitution par E. GALOIS en 1831 et de leur étude systématique par C. JORDAN. F. KLEIN et S. LIE influencés par JORDAN étendent la notion de groupes aux opérations continues et l'appliquent aux transformations géométriques. Mais comme le rappelle R. TATON, citant L. CREMONA (3) "quoique les méthodes puissent

(1) TATON R. - "La préhistoire de la "Géométrie moderne" - Op. cit.

(2) "C'est cette orientation nouvelle caractérisée par l'introduction d'éléments à l'infini et d'éléments imaginaires, par un recours plus ou moins apparent à l'appui de la géométrie analytique, par l'étude et l'emploi des diverses transformations géométriques et par une clarification encore impartiale des différentes propriétés que de nombreux auteurs désignèrent sous le nom de géométrie moderne." R. TATON - Op. cit. p. 197

(3) CREMONA L. - "Eléments de géométrie projective" - Fonds de E. DEWULF 1ère partie - p. VIII - PARIS (1875)

être considérées comme modernes, la matière est vieille". En effet, certains concepts utilisés par ces formes modernes de la géométrie apparaissent déjà dans les traités de l'antiquité (1). Ce sont ces éléments épars qui, n'étant pas constitués en théorie cohérente, vont cependant représenter l'amorce des découvertes et des développements réorganisés par la classification de F. KLEIN.

Plutôt qu'un résumé ou un rapport paraphrasé, nous préférons donner "in extenso" le texte de R. TATON dans lequel il situe la genèse de l'oeuvre de DESARGUES parmi les courants ayant marqué les développements de la géométrie :

"Trois courants d'idées principaux ont, en effet, dirigé l'évolution de la géométrie depuis le XIVe siècle, époque où cette science renaît véritablement en Occident sous l'influence de la tradition grecque transmise par les Arabes, jusqu'à la fin du XVIIIe siècle.

*Le premier courant a pour objet de préciser et d'approfondir la connaissance des **Eléments** d'Euclide tout en améliorant leur présentation logique. Les **Euclidis Elementorum** de R. Simson (Glasgow, 1756) et les **Eléments de Géométrie** de Clairaut (Paris, 1741), de Legendre (Paris, 1794) et de S.F. Lacroix (Paris, 1799) sont, à la fin du XVIIIe siècle, les exemples les plus remarquables de cette tendance.*

*Le second courant, nourri de l'enseignement d'Apollonius et spécialement de son **Traité des sections coniques**, amène la floraison de nombreux traités sur les sections coniques inspirés plus ou moins directement de l'Antiquité ; il contribue aussi à la création par Descartes et Fermat de la "géométrie cartésienne", application des nouvelles techniques algébriques à la résolution des problèmes géométriques de lieux à la manière d'Apollonius. (1)*

Tandis que ces deux premières tendances, issues des deux oeuvres géométriques les plus célèbres de l'Antiquité, sont d'inspiration purement théorique, le troisième courant est, pendant la plus grande partie de son évolution, dominé par des soucis d'ordre pratique. Il tire son origine des études sur la perspective, entreprises en Italie au XVe siècle par F. Brunelleschi, L.C. Alberti

(1) Il est important de noter que c'est le changement progressif de méthode et de conception introduit par Newton, Euler, Monge et Lacroix qui permet de passer de cette "géométrie cartésienne" à la géométrie analytique élémentaire moderne.

(1) R. TATON cite la théorie des diamètres conjugués dans les coniques d'APOLLONIUS ainsi qu'une proposition équivalente à la définition de la polaire d'un point. La notion de rapport anharmonique se trouve chez PAPPUS. Un porisme d'EUCLIDE connu par le seul commentaire du même PAPPUS se rapprocherait du théorème de DESARGUES sur les triangles homologues. R. TATON - Op.cit. p. 118

et P. del Franceschi (1) pour donner une assise rationnelle aux divers arts plastiques et à l'architecture. Ce mouvement s'étendit ensuite dans les divers pays d'Europe occidentale et de nombreux artistes et théoriciens parmi lesquels il suffit de citer les noms de Léonard de Vinci, Pélerin, G. B. del Monte, Dürer et Stevin participèrent à l'élaboration de cette nouvelle science concurremment d'ailleurs avec celle de la méthode des projections, première esquisse de la géométrie descriptive utilisée par les architectes, les constructeurs de fortifications et les tailleurs de pierre et de bois.

Mais dans une science déjà très évoluée, comme l'était la géométrie après Euclide et Apollinius, des progrès réellement essentiels ne pouvaient venir que d'un changement radical d'orientation. C'est ainsi que le premier courant étudié n'amena de réels progrès qu'au XIXe siècle, à la suite de la révision complète de ses principes de base, entraînée par les nouvelles théories de Lobatschewsky, Bolyai et Riemann. De même, la géométrie analytique et l'analyse infinitésimale sont nées de nouvelles orientations données aux procédés géométriques antiques. Le même fait se vérifie pour la géométrie moderne : ses deux apparitions successives sont dues à deux esprits remarquablement créateurs et originaux : Girard Desargues (1593-1661) et Gaspard Monge (1746-1818) chez qui confluèrent deux tendances, l'une purement géométrique, l'autre influencée par des besoins pratiques. (1)

(1) L'histoire de la perspective se trouve traitée dans G. Loria : *Storia della Geometria, descrittiva...* (Milano, 1921), pp. 3-78 ; Amodeo : *Origine e sviluppo della geometria proiettiva* (Napoli, 1939), pp. 6-18 et divers articles signalés dans cet ouvrage ; Coolidge : *A History of Geometrical Methods* (Oxford, 1940), pp. 106-9. Notons encore l'histoire de la perspective de Poudra (Paris, 1864), un peu confuse et déjà très vieillie.

Les écrits de DESARGUES représentent une oeuvre mathématique de première importance et l'un des principaux textes de l'histoire de la géométrie. Avant de passer en revue les éléments marquants et les principales innovations qu'ils contiennent, il faut noter que leur teneur générale est caractérisée par un travail unificateur et que cette unification est régie par un point de vue à caractère projectif. L'outil pratique de la perspective - technique empirique des peintres et architectes - devient, avec la généralisation projective de DESARGUES, une branche de la géométrie. Cette extension introduit de nouvelles notions, de nouveaux outils, de nouvelles théories, de nouveaux théorèmes.

(1) TATON R. - *La préhistoire de la "Géométrie Moderne"* - Op. cit. pp. 119-200

Nouvelles notions que celles de point à l'infini dans le plan ou celle de droite à l'infini dans l'espace ; nouveaux outils que les divisions ou faisceaux harmoniques que DESARGUES introduit sous le nom d'involutions de quatre points ou de quatre droites ; nouvelles théories que la théorie élémentaire des polaires par rapport à une conique ou que l'unification de la géométrie des coniques par la création d'une théorie projective de celles-ci ; nouveaux théorèmes sur les triangles homologues, ou sur les diagonales d'un quadrilatère complet. Cette énumération ne représente qu'un échantillonnage des innovations et des développements originaux proposés par DESARGUES, il faudrait ajouter des modes de constructions (construction de la polaire à l'aide de la règle, construction d'un trièdre) des développements sur les asymptotes, les paramètres, les foyers, des démonstrations comme celle de la projectivité du rapport anharmonique.

En dépit de cette richesse et de ce potentiel, les écrits de DESARGUES sont violemment attaqués et son oeuvre tombe dans l'oubli. Les raisons de cette désaffection, que ne viennent compenser ni l'estime de DESCARTES ou de FERMAT ni la reprise d'une partie de ses idées par ses disciples PASCAL ou PH. DE LA HIRE, sont à chercher principalement dans le succès de l'approche analytique préconisée par le même DESCARTES dans sa "Géométrie". Ce succès, renforcé par les premiers résultats de l'analyse infinitésimale, marque la prédominance du calcul sur les recherches plus spéculatives liées aux méthodes de la géométrie. A côté de ces arguments de poids, les autres raisons généralement invoquées, telles la malveillance de quelques contemporains, l'obscurité de son langage ou le faible tirage de ses écrits paraissent secondaires. L'oeuvre de DESARGUES sombre dans un oubli qui ne cessera qu'avec le renouveau dû à une rencontre entre la géométrie et les problèmes concrets de représentation. Ce sera le mérite de G. MONGE de provoquer, avec la mise au point de la géométrie descriptive, dès 1766, le regain d'intérêt pour les méthodes de projection cylindrique et centrale et de façon plus générale le développement de travaux nouveaux en géométrie pure.

DESARGUES ARCHITECTE

L'activité d'architecture n'est pas de toute évidence la préoccupation exclusive de G. DESARGUES. Dans une société où les spécialisations sont moins étroites et où la pratique architecturale reste encore relativement libre, nous le voyons apparaître tour à tour comme ingénieur, comme géomètre, comme architecte dans les écrits le concernant (1). Lui-même, pas plus que ne le fait son disciple A. BOSSE, ne se présentent sous ce vocable. "Lyonnais" semble être pour l'un comme pour l'autre, parlant du premier, un titre distinctif suffisant. Pourtant, s'il ne fait pas "métier d'architecture", DESARGUES dessine des projets, réalise des constructions relativement importantes et se fait une spécialité de la disposition et de l'appareillage des escaliers. Il enseigne l'art du trait, connaît la perspective et la gnomonique puisqu'il s'appuie sur ces techniques pour construire sa théorie géométrique et, ce faisant, réformer la pratique de celles-ci. On peut donc, en l'absence de toute information sur sa jeunesse, faire l'hypothèse qu'il a été initié à ces disciplines. Pour l'art du trait, s'agit-il d'une initiation des maîtres-maçons lyonnais ou parisiens, ou d'un apprentissage par les livres ? A cette question il est difficile de répondre. On peut cependant envisager de manière conjecturale deux hypothèses qui ramènent l'une et l'autre, à un demi-siècle d'intervalle, à la figure d'un autre lyonnais, autre architecte : Philibert DELORME. Sans apporter plus de preuve, il est frappant de noter chez l'un et chez l'autre une connaissance très poussée de l'art du trait et de toutes ses possibilités. Cette caractéristique plaiderait pour l'existence à LYON et dans la région lyonnaise d'une tradition de grande maîtrise technique des procédures du trait de coupe des pierres. Cette tradition perpétuée par un enseignement de haut niveau était sans doute transmise plus volontiers dans un cadre corporatiste et compagnonique marqué par l'influence familiale comme ce fut le cas pour Ph. DELORME. On objectera, à juste titre, que dans les structures sociales figées du 17^{ième} siècle, le fils d'un fonctionnaire royal ne pouvait que difficilement se plier aux formations données partiellement sur le tas des métiers du bâtiment. Reste la deuxième éventualité d'une initiation livresque aux techniques du trait. Là encore nous sommes renvoyés à Ph. DELORME et au premier tome de l'Architecture publié en 1567, qui est le seul traité de l'époque abordant de manière explicite et détaillée la question du "trait géométrique". Il faut attendre en effet 1642 et le livre du père Jésuite DERAND (3) (qui rend hommage à la méthode de DESARGUES) et ceux de Mathurin JOUSSE, Maître maçon publiant à LA FLECHE un livre sur le trait (2),

(1) DESARGUES figure à la page 177 du "Nouveau Dictionnaire Biographique et Critique des Architectes Français" de Ch. BAUCHAL, édité en 1887

(2) JOUSSE M. - "Le secret d'architecture découvrant fidèlement les traits géométriques, coupes et dérobenens nécessaires dans les bastimens" - LA FLECHE (1642)

(3) DERAND J. - "L'Architecture des voûtes" - PARIS (1643)

et A. BOSSE (1) pour voir à nouveau ce domaine échapper à la tradition de transmission par apprentissage. On peut imaginer que les talents mathématiques de DESARGUES lui concilient la faveur des maîtres maçons et qu'il pourra aborder la question du trait de coupe des pierres à la fois par des échanges techniques avec ceux-ci - pour qui il doit être un conseiller écouté - et par l'étude du livre de Ph. DELORME. Notons que ce texte ne doit pas être tombé en désuétude puisqu'il est réédité à ROUEN en 1648.

En l'absence d'information directe sur les activités d'architecte de DESARGUES, il a été possible de dépasser les spéculations de pure conjecture qui précèdent par des éléments plus précis. DESARGUES est un savant connu, et même si ses théories sont controversées par certains, c'est un homme dont le talent et les réalisations sont appréciées. Cette estime lui vaut d'être cité dans des descriptions d'édifices parisiens. On conserve de la même façon la mémoire de sa contribution à différents projets par les textes de l'époque. Si l'on exploite tour à tour ces sources ainsi que ses différentes biographies, on arrive à la liste qui suit des réalisations attribuées à DESARGUES :

- Projet pour l'Hotel de ville de LYON, vers 1646
- Hotel dit de l'EUROPE à LYON, en 1651
- Aménagement d'une maison sur une pile du vieux pont sur la SAONE à LYON
- Perron du chateau de VIZILLE, en 1653
- Escalier de la maison VEDEAU DE GRAMMONT à PARIS
- Escalier de l'hôtel de L'HOPITAL à PARIS
- Hôtel ROLIN rue de CLERY à PARIS
- Perron de l'hôtel de TURENNE rue NEUVE ST-LOUIS à PARIS (plus tard couvent des filles du St Sacrement)
- Maison du Sieur AUBRI rue des BERNARDINS à PARIS
- Escalier au PALAIS ROYAL à PARIS en 1660.

Il est clair que l'analyse et la reconstitution de cet ensemble de réalisations et de projets représente une tâche qui dépasse le cadre et les possibilités du présent travail. Certains éléments peuvent cependant être communiqués mais pour situer correctement l'oeuvre architecturale de DESARGUES, en regard des courants architecturaux de son temps, il serait nécessaire de compléter l'investigation dans un cadre historiographique bien délimité.

Actuellement, nous avons réuni des informations sur une partie de ces constructions. Le travail déjà effectué permet d'apporter quelques précisions ci-après.

(1) BOSSE A. - *"La pratique du trait à preuves de Mr DESARGUES... pour la coupe des pierres en l'architecture"* - PARIS (1643)

Un des escaliers du Palais Royal est parfois attribué à DESARGUES (1). Rappelons que le Palais du cardinal de RICHELIEU est dû à MERCIER qui était son architecte. Dans l'ouvrage de CHAMPIER et ROGER-SANDOZ, on trouve une description de la seconde cour et un rappel des appréciations peu flatteuses portées sur celle-ci :

"Dans la seconde cour, au contraire, il n'y avait rien où l'on ne trouvât quelque critique à formuler : l'escalier même, dont la longueur était extraordinaire, et qui "par sa grandeur et par sa majesté, dit SAUVAL, "a surpris tant de monde" paraissait défectueux à quantité de gens, comme au géomètre DESARGUES qui lui reprochait d'être caché dans un coin de l'édifice et de n'avoir ni égalité de pilastres ni continuation de moulures" (2)

Les deux auteurs s'appuient sans doute sur la description de SAUVAL :

"Dans la seconde cour au contraire, il n'y a rien où l'on ne trouve quelque chose à redire ; l'escalier même dont la largeur est si extraordinaire et qui par sa grandeur et sa majesté a surpris tant de monde paraît défectueux à quantité de gens : les partisans de DESARGUES disent qu'il est plein de défauts et qu'il n'y a ni continuation de moulures, ni égalité de pilastres, d'autres encore voudraient qu'il ne soit pas caché dans un des coins de cette cour, comme il est, et qu'on eut moins de peine à le trouver. (3)

Nous trouvons effectivement pour l'instant trace d'un avis de DESARGUES sur cet escalier, mais pas d'indication permettant de lui en attribuer la paternité ni de le voir en concevoir un autre dans le palais.

Le même SAUVAL insiste pourtant bien sur les qualités des escaliers dus à DESARGUES - que ce soit dans une maison aujourd'hui détruite de la rue des BERNARDINS :

"La maison du Sieur AUBRI a une ~~entée~~ entrée la plus superbe du monde, puisqu'enfin on s'imagine entrer dans quelqu'un de ces vieux Palais ou de ces vieilles

(1) BAUCHAL, dans son *Nouveau Dictionnaire Biographique et Critique des Architectes français* indique que DESARGUES avait construit un grand escalier au Palais-Royal - Op. cit., p. 177

(2) CHAMPIER V., ROGER-SANDOZ G. - "Le Palais-Royal" - PARIS (1900)

(3) SAUVAL H. - "Histoire et recherches des Antiquités de la Ville de PARIS", p. 42 - PARIS (1724), p. 160

ruines des Romains : et le tout pour avoir fait orner certains logis derrière le sien de deux hautes ordonnances de pilastres les uns sur les autres, après les dessins de Desargues ; si bien que de part et d'autre on diroit qu'ils sont rompus. Son escalier est si commode qu'il ne s'en voit point à PARIS qu'on trouve plutôt, où on entre plus à l'aise, ni dont l'abord soit plus grand et plus superbe."

ou de l'Hotel de l'Hopital :

"L'escalier de cet Hotel est de la nouvelle manière de DESARGUES. Il est de pierre à quatre branches, porté sur des arcades et continué avec ses moulures de haut en bas, sans saut ni interruption aucune, et sans changement d'ordonnance. Au lieu de ses quatre branches néanmoins s'il n'en avoit qu'une il seroit plus magnifique et plus noble."

De façon unanime on attribue à DESARGUES l'escalier du chateau de VIZILLE. CHARVET (3) appelle l'attention sur le fait que cet escalier n'est pas le plus grand mais est celui qui se trouve dans la cour à "contre-façade du château". Au vu de la description du château de VIZILLE parue dans l'Encyclopédie d'Architecture (4), l'identification de cet escalier ne semble pas prêter à confusion. Pourtant, la description de l'ouvrage par L. HAUTECOEUR conduit à s'interroger :

"L'escalier sur cour de ce même chateau de VIZILLE, qui serait l'oeuvre de DESARGUES comprend d'abord quelques marches qui sont accessibles de trois côtés différents et qui conduisent à un premier palier, puis une seconde volée accessible de deux côtés seulement, enfin une volée parallèle au mur du château, qui arrive au palier central installé au-dessus d'une descente en cave. La cage ornée de balustres, dessine un polygone".(5)

(1) SAUVAL - *Op. cit.* - T. III - P. 2

(2) SAUVAL - *Op. cit.* - T. III - P. 3

(3) CHARVET - "LYON artistique" - Ed. BERNOUX et CUMIN - LYON (1899) - p. 21

(4) BENOUVILLE C. - "Le chateau de VIZILLE" - L'ENCYCLOPEDIE D'ARCHITECTURE - 4ième série - Tome IV - p. 107 - pp. 171 et 172

(5) HAUTECOEUR L. - "Histoire de l'Architecture classique en France" - Tome 1er, p. 742

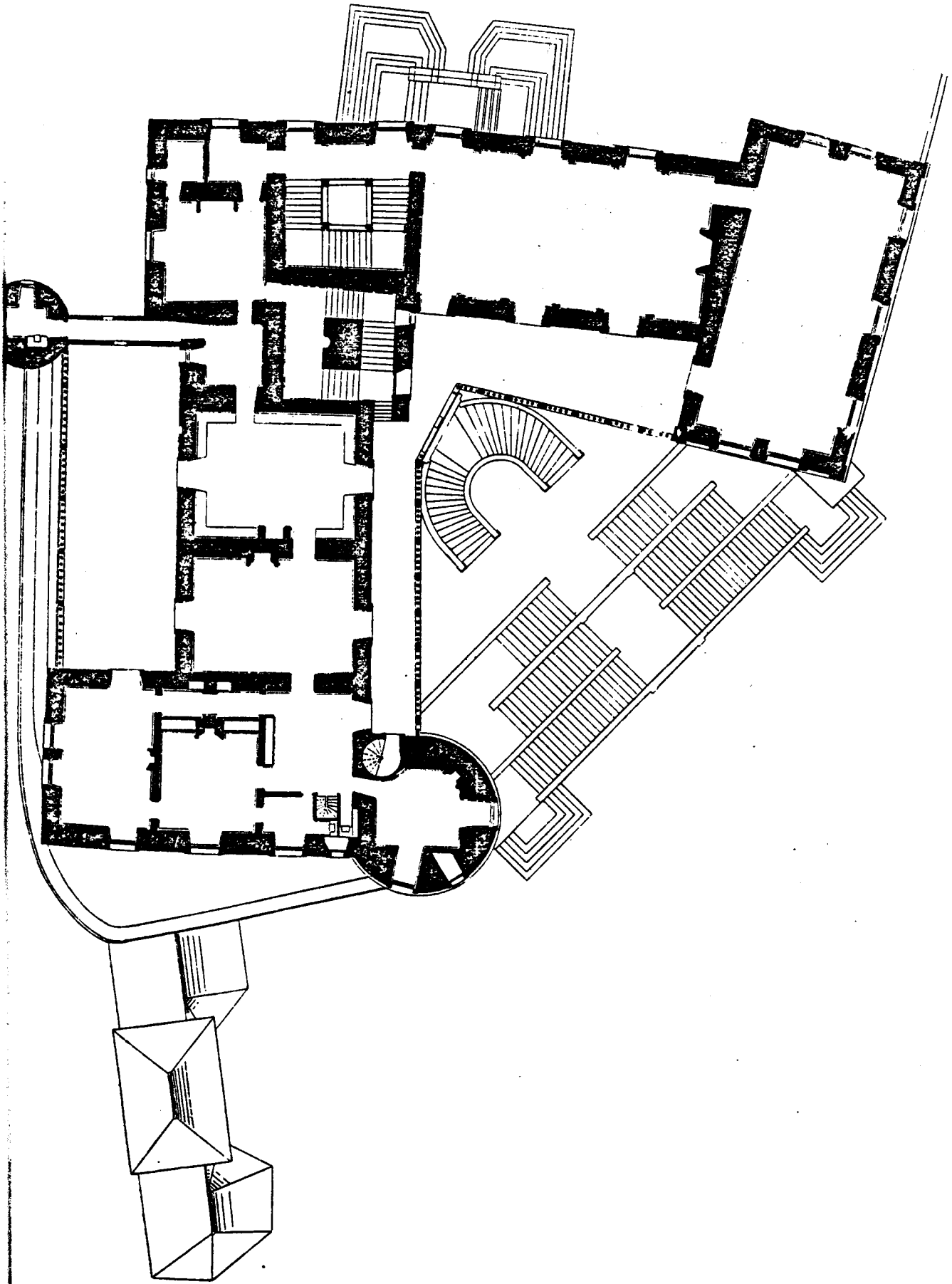
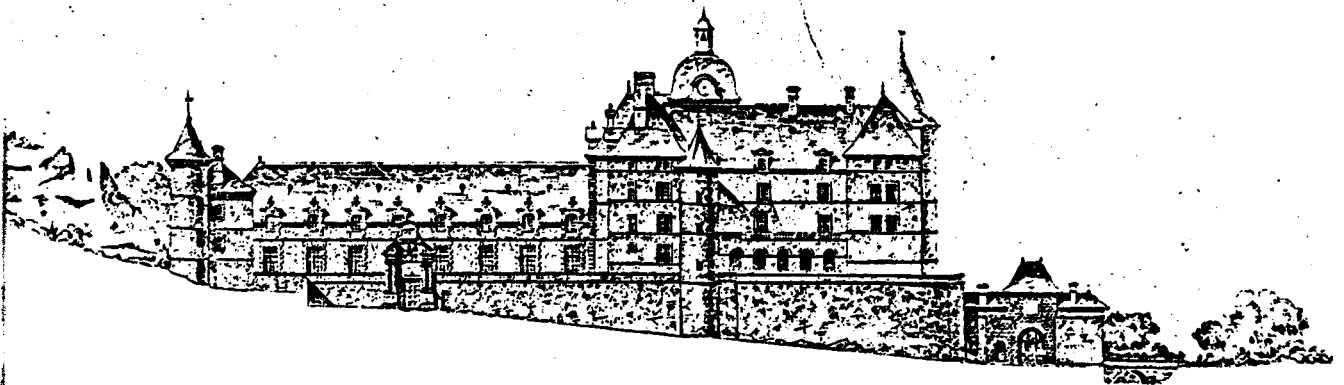


Fig. 2. — Plan du château de Vizille (Isère).
État actuel. — Échelle de 0,0033 p. m.

S

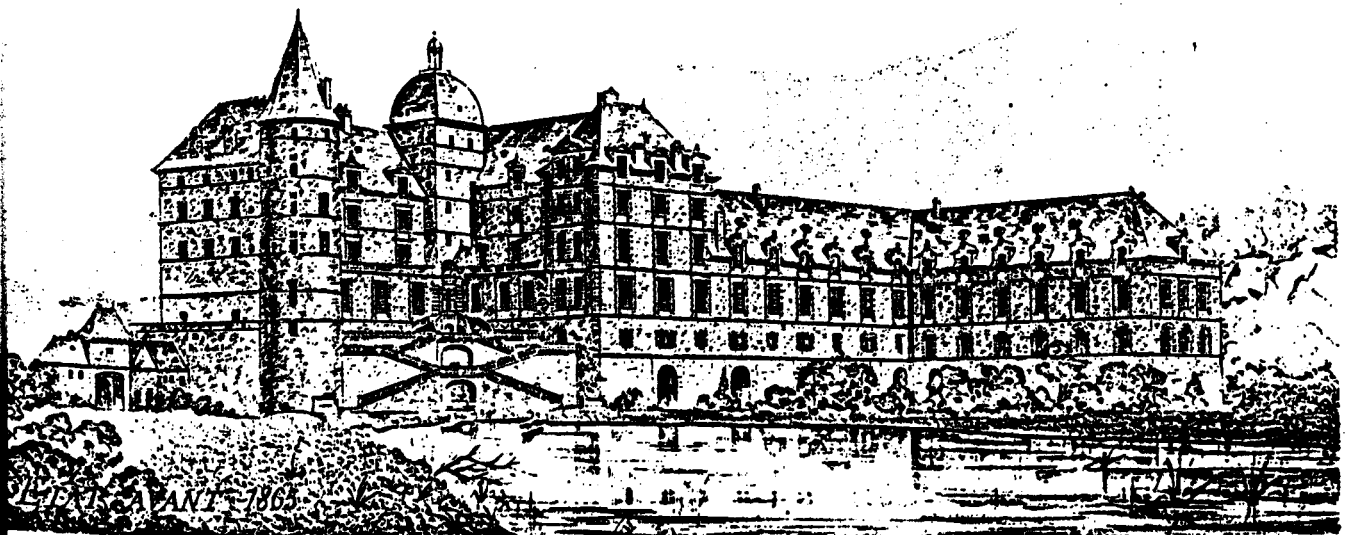
PL. 171



FAÇADE POSTERIEURE

ETAT DU CHATEAU AVANT L'INCENDIE 1865.

FAÇADE PRINCIPALE



Benouville del.



Héliogravure Dujardin

CHATEAU DE VIZILLE

Nous avons commencé à rechercher des figurations de la maison construite sur le Pont de Pierre sur la SAONE, qui est citée par D'AVILER dans un article du "Dictionnaire universel français" (Dictionnaire de TREVAUX)

"La plus considérable qui se voie est celle qui a été construite par le sieur DESARGUES au bout du pont de pierre sur la Saône à Lyon. Lequel par cet ouvrage a laissé à sa patrie un monument de sa capacité dans l'art de la taille de pierre" (1)

CHARVET nous apprend que DESARGUES avait conçu pour cette maison un escalier et une rampe très hardie. Il indique une représentation de cette maison dans un ouvrage de STEYERT (2). L'image correspondante, donnée ci-dessous, est tout à fait insuffisante pour repérer la maison et a fortiori les détails construits par DESARGUES. Selon CHARVET, les architectes lyonnais BERNARD et MONVENOUX en possédaient des dessins. Il en existait une gravure publiée à LONDRES en 1837 et la bibliothèque de la Ville de LYON détenait également sous le n° 490 de la collection Coste une représentation de cette maison.

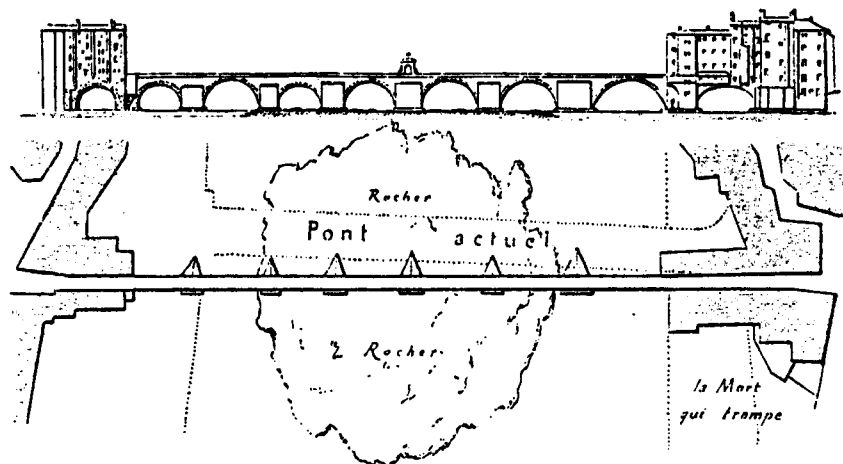


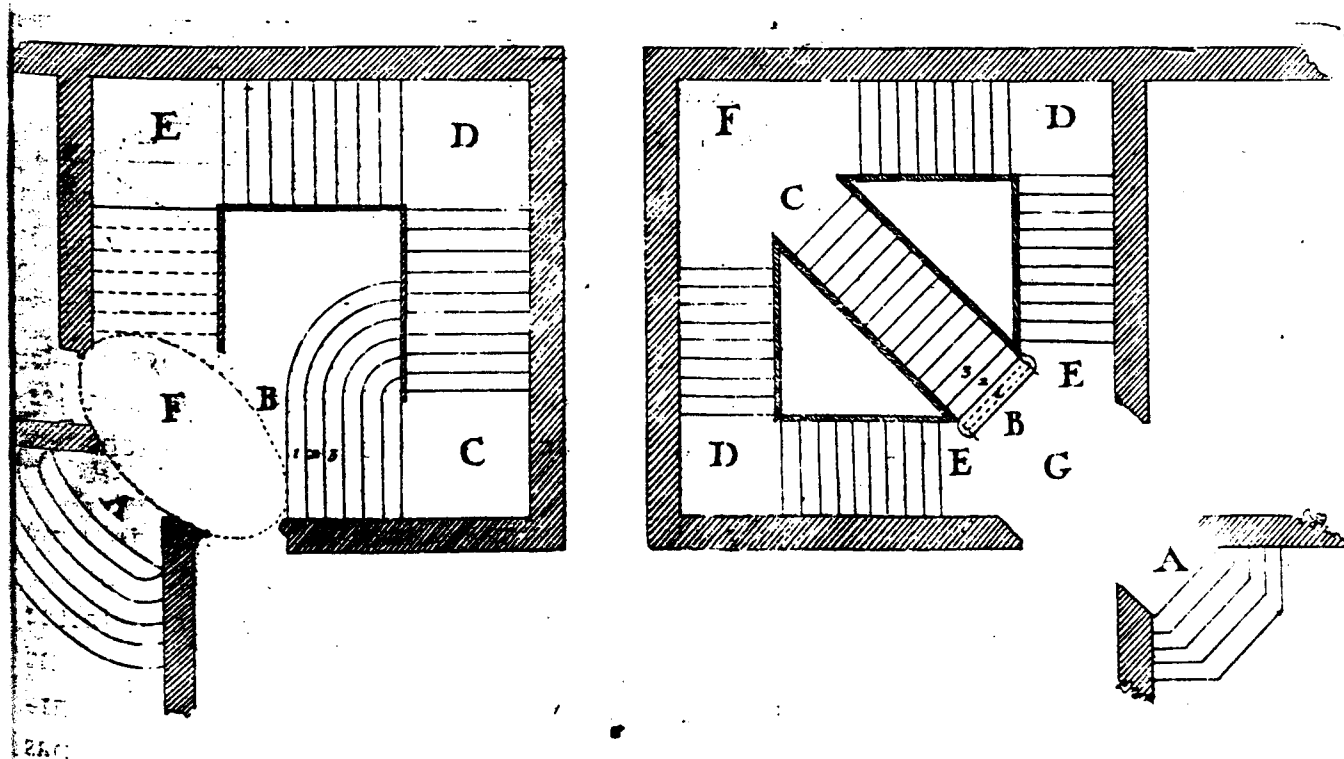
Fig. 289. — PLAN ET ÉLÉVATION DE L'ANCIEN PONT SUR LA SAONE
D'après divers documents recueillis par l'auteur.

L'ancien pont de pierre, comme on l'appelait, était établi en aval du pont de Nemours, actuel qui l'a remplacé. Il se composait de neuf arches d'inégales dimensions et dont quatre étaient établies sur un rocher granitique, émergeant au milieu de la Saône. La première arche du côté de Saint-Nizier et celle du côté du Change supportaient des maisons formant rues et d'un effet très pittoresque. L'une de ces arches existe encore sous le quai Humbert (cf. t. I, p. 279, fig. 325). A l'extrémité opposée se trouvait un abîme dangereux pour les nageurs et que l'on appelait la Mort-qui-trompe à cause de l'aspect calme de l'eau, qui le recouvrait d'un remous paisible. Il a été comblé par l'élargissement du quai Villeroy, actuellement de Saint-Antoine, qui a été étendu de 45 mètres sur la rivière de 1845 à 1848.

(1) Article signé D'AVILER dans le "Dictionnaire Universel Français" - 1771 - T-8, p. 213

(2) STEYERT A. - "Nouvelle Histoire de la Ville de LYON" - Ed. BERNOUX et CUMIN, LYON (1894, 1895) - Tome 2 - P. 297

Dans son cours, F. BLONDEL reproduit deux plans d'escalier dûs à DESARGUES. L'un de ceux-ci dont L. HAUTECOEUR reprend le plan (1) est celui de l'hôtel ROLIN, rue de CLERY.

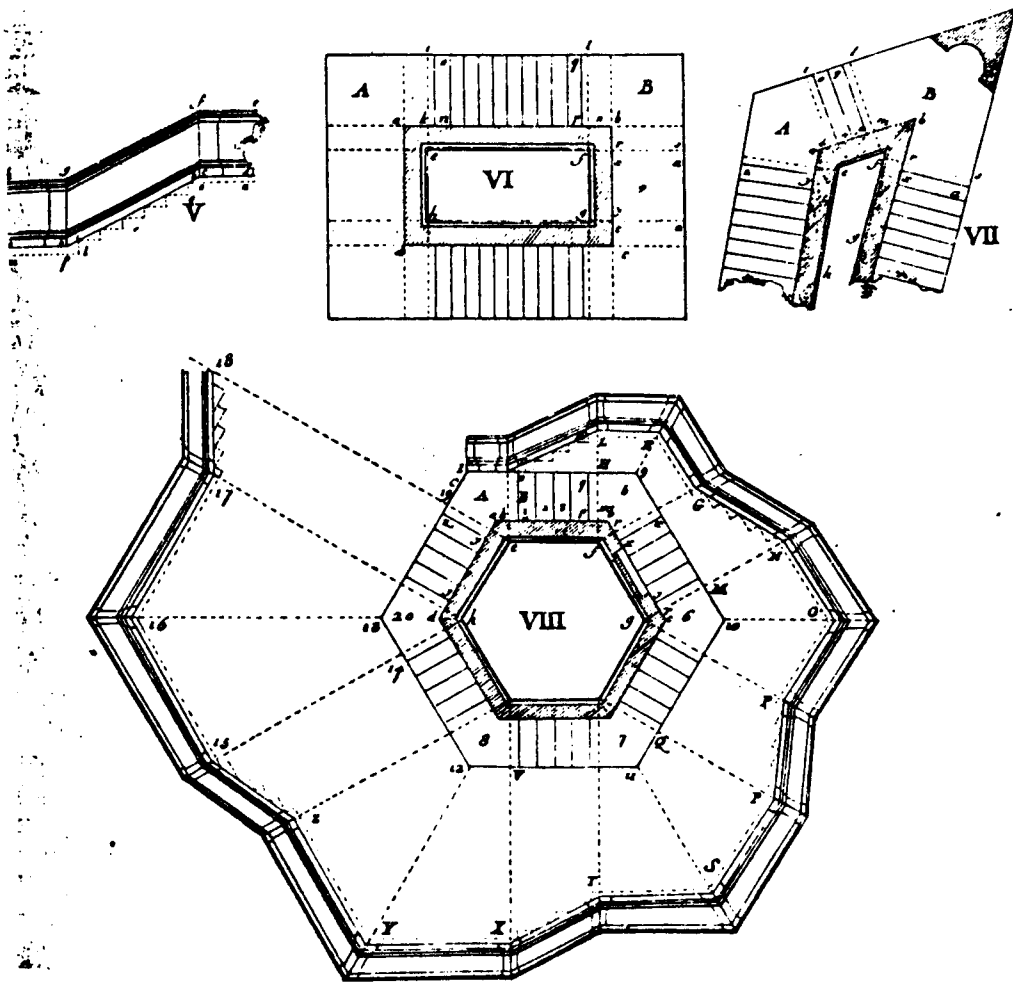


F. BLONDEL présente un type d'escalier bâti dans un angle de bâtiment n'ayant pas d'autres ouvertures et "d'autre jour que celui qui luy vient par la porte et par la fenestre qui luy répond dans les estages au-dessus... est pourtant très clair et très agréable". Des deux exemples qu'il donne, celui de l'hôtel ROLIN, à droite, présente une solution spatiale et distributive plus originale. Il permet une exacte superposition des paliers d'accès aux étages et occupe de manière optimale le centre de la cage généralement dégagée, comme c'est le cas pour l'escalier de gauche. F. BLONDEL ne cite pas l'auteur de ce dernier, il signale en revanche, que l'autre est de "l'invention de M. DESARGUES".

(1) HAUTECOEUR L. - *Op. cit.* p. 703

L. HAUTECOEUR estime, pour sa part, que les deux sont de DESARGUES (1).

Toujours dans le domaine des escaliers, F. BLONDEL traite de manière détaillée de la méthode, due également à DESARGUES, pour éviter les ressauts dans les mains-courantes et rambardes (2). (Nous trouvons également des échos de cette innovation dans les traités d'A. BOSSE). Les schémas V à VIII de la planche qui suit, montrent le principe de réservation d'une marche supplémentaire (ou de demi-marches) par volée, qui permet d'obtenir la continuité. F. BLONDEL attribue là encore leur conception à DESARGUES.



(1) HAUTECOEUR - *Op. cit.* p. 702

(2) BLONDEL F. - "*Cours d'Architecture*" - PARIS (1683) - Livre III, chap. XVI

"M. Desargues est le premier qui a donné le moyen d'éviter les ressauts et conserver l'égalité des paliers en perdant la moitié d'une marche à chaque bout d'une rampe. Sa manière est assez bien expliquée dans les figures du Livre d'Architecture du Sr. Bosse, en cette manière..."

Ces quelques éléments montrent en dépit du caractère un peu décousu de leur présentation qu'il devrait être possible de reconstituer une image un peu plus précise des réalisations architecturales, de DESARGUES.

Une fois ce travail établi, l'on serait sans doute mieux à même de situer ses positions en regard des tendances architecturales et des mouvements doctrinaux qui leur correspondent. L. HAUTECOEUR voit dans ces manipulations géométriques de DESARGUES et de ses collègues un indice de leur goût classique

"Le fait que les architectes aient préféré les figures avec angles droits ou les demi-polygones inscrits dans un demi-cercle vous prouve que ces hommes n'étaient pas encore, lorsqu'ils traçaient un plan, animés par l'esprit baroque, qui se plairait aux courbes, contre courbes, lignes sinueuses, ce qui ne veut pas dire qu'ils n'aient pas été sensibles au charme de cet esprit, lorsqu'ils dessinent des ornements. Beaucoup d'entre eux ont été amis de mathématiciens ou, comme DESARGUES, mathématiciens eux-mêmes. Ils ont joué, comme le faisait alors le jeune PASCAL, avec les droites et les ronds. Ce goût n'est-il pas une manifestation de l'esprit classique ?" (1)

Nous avons avancé l'hypothèse d'une parenté d'approche entre les positions architecturales de DESARGUES et celles de Ph. DELORME. Une autre similitude a été mise en avant par un chercheur américain, W.M. IVINS (2). En analysant les termes du brouillon project, il constate que ceux-ci sont : ou bien très imagés, pour se rapprocher de la langue commune, ou bien tirés du vocabulaire architectural. Il note une analogie étroite entre certains d'entre eux et les termes d'ALBERTI dans le "Della Pittura". Nous donnons ci-après quelques exemples des définitions de DESARGUES.

TRONC	Quand à divers poincts d'une droicte passent indifferemment diverses autres droictes, cette droicte en laquelle sont les poincts est icy nommée Tronc
RAMEURE	Plusieurs rameaux droicts déployez au tronc à l'adventure, sont icy tous ensemble nommez Rameure. Quand en une ligne droite AFD un poinct A, est commun à chacune de deux pièces AF, Ad, ou bien ces deux pièces sont placées séparément, l'une AF, d'une part, § l'autre AD, de l'autre part de leur poinct commun A, qui par ce moyen est entre elles deux, ou bien elles sont placées toutes deux conjointement d'une mesme part de leur poinct commun A, qui par ce moyen n'est pas entre elles deux.

(1) HAUTECOEUR L. - *Op. cit.* p. 440

(2) IVINS W.M. - "Scripta Mathematica" - XIII - 1947, p. 209
"A note on Desargues's Theorem"

- BRIN DE RAMEAU Chaque pièce ou segment d'un rameau contenuë entre son noeud § quelque autre rameau ou son noeud, est icy nommé **Brin** de ce rameau.
- ARBRE. TRONC. Quand en une droite AH, il y a un point a, commun § semblablement engagé ou dégagé aux deux pièces de chacune de trois couples, AB, AH ; AC, AG ; AD, AF, dont les trois rectangles sont égaux entre eux, une telle condition en une droicte est icy nommée **Arbre**, dont la droicte mesme est **Tronc**.
- SOUCHE Le pointc comme A, ainsi commun à chacune de ces six pièces AB, AH, AC, AG, AD, AF, y est nommé **Souche**.
- BRANCHE Chacune des mesmes six pièces AB, AH, AC, AG, AD, AF, y est nommée **Branche**.
- NOEUD Chacun des bouts separez B C D F G H, des branches de chacune des trois couples AB, AH ; AC, AG ; AD, AF, y est nommé **Noeud**.

RECTANGLES RELATIFS ENTRE EUX

Les deux rectangles de chacune de deux couples de brins relatives entre elles, comme les rectangles des brins de la couple GD, GF, § des brins de la couple CD, CF, y sont nommez **Rectangles relatifs entre eux**.

Comme le signale IVINS, nous trouvons chez ALBERTI la même terminologie arboricole avec des appellations comme "troncho", "nodo", "virgulti". Il paraît difficile, par ailleurs, d'imaginer que DESARGUES n'était pas au fait des traités importants de perspective et, à côté de celui d'ALBERTI, de ceux de J. PELERIN ou de VIGNOLE. Cette familiarité avec les procédures de la perspective lui ayant vraisemblablement permis les développements géométriques originaux du "Brouillon project" et des théorèmes annexés au traité de perspective de A. BOSSE.

Le prolongement de ces investigations constituerait une recherche dans la recherche. Nous préférons, à ce stade du travail, donner le programme relativement précis des études à conduire.

Celles-ci devraient concerner les points suivants :

- Analyse comparative des méthodes du trait de coupe des pierres proposées par Ph. DELORME et celles préconisées par DESARGUES, telles qu'elles sont présentées dans le traité d'A. BOSSE.(1)
- Influences de ces méthodes nouvelles du trait de coupe en particulier sur les propositions du Père DERAND et sur le traité plus tardif de FREZIER.
- Investigation historiographique sur l'oeuvre architecturale de DESARGUES, essai de reconstitution d'une iconographie. Etude architecturale des éléments retrouvés en regard des courants et des références de l'époque.

Ce travail devrait permettre de répondre à la question que nous continuons de nous poser à propos de DESARGUES : Quel architecte était ce mathématicien que la postérité a classé parmi les plus importants des temps modernes ?

Nous savons à tout le moins qu'il s'attribuait lui-même un rôle et des objectifs plus modestes :

"J'avoue franchement que je n'eus jamais de goust, à l'estude ou recherche ny de la Phisique ny de la Géométrie, sinon entant qu'elles peuvent servir à l'esprit d'un moyen d'arriver à quelque sorte de connoissance, des causes prochaines des effets de chose qui se puissent réduire en acte effectif, ou bien de commodité de la vie qui soit en usage pour l'entretien et conservation de la santé ; soit en leur application pour la pratique de quelque art..." (2)

(1) L'histoire de la stéréotomie ou "art du trait" en FRANCE est faite par J.M. PEROUSE DE MONTCLOS dans "L'Architecture à la française - XVIème, XVIIIème, XVIIIème siècles". L'analyse des caractéristiques mathématiques des méthodes de son ouvrage récent de projection n'y est cependant qu'amorcée.

(2) in Reconnaissance de Monsieur DESARGUES dans le traité de A. BOSSE "Manière universelle de Monsieur DESARGUES pour pratiquer la perspective... Cité par R. TATON.

Nous l'avons vu, l'apport fondamental de DESARGUES en mathématiques reste à peu près méconnu de ses contemporains. Pourrait-on, à l'inverse, constater une influence marquante de ses idées sur l'architecture de son temps ? Pour être encore plus près de notre interrogation, serait-il possible de lui attribuer une quelconque inflexion de la doctrine architecturale ?

D'une manière générale, les écrits de DESARGUES, comme ceux de ses amis et disciples, montrent qu'il s'est attaché davantage à la résolution des problèmes instrumentaux qu'aux considérations générales sur l'esthétique, la nature du beau ou les licences que l'on peut prendre dans l'interprétation des paradigmes de l'architecture de l'antiquité. C'est au titre de cette position utilitariste qu'il figure dans le texte de 1675 de F. BLONDEL. Ce dernier, en raison des affinités que pourraient lui donner sa formation mathématique et des citations qu'il fait dans son cours, pourrait être le théoricien d'architecture le plus proche de DESARGUES, et, à ce titre, en diffuser certaines idées.

Or, les historiens d'architecture, et en particulier E. KAUFMANN, ne prêtent pas une importance très significative au travail de l'académicien : "Il n'apporte pas de vraies solutions aux problèmes de son époque. Son gros Cours d'Architecture ne contient que les rudiments de la doctrine italienne. A l'exception de quelques remarques sur l'unité et la simplicité et de quelques suggestions pratiques, on n'y trouve que d'interminables discussions sur les ordres et les relations numériques" (1). De l'avis de KAUFMAN partagé par d'autres historiens, les innovations architectoniques et typologiques du moment sont davantage le fait de LE VAU, LEMERCIER ou J.H. MANSART. F. BLONDEL apparaît comme le tenant des spéculations abstraites sur l'idéal d'une beauté rationnelle reposant sur les calculs, l'expérience et les leçons de l'antiquité. Ayant fort peu construit, il n'enrichit pas le "corpus" des objets architecturaux de référence qui servent de point d'appui aux développements doctrinaux. L'hypothèse d'une diffusion par F. BLONDEL de certaines positions défendues par DESARGUES est en réalité très faible, quand bien même elle aurait été vérifiée, la portée réduite du "Cours d'Architecture" en limiterait l'importance.

Une autre voie, non moins modeste, correspond peut-être à la diffusion des techniques de coupe de pierres et à l'influence de la méthode proposée par DESARGUES par les auteurs de traités comme ceux du père DERAND ou FREZIER.

(1) PEROUZE DE MONTCLOS J.M. - *Op. cit.* - Livre deux "La stéréotomie, pierre de touche de la manière française".

J.M. PEROUZE DE MONCLOS voit dans la grande maîtrise de cette science de l'appareillage une des caractéristiques de l'architecture française du XVII^e au XVIII^e siècle (1). Mais il affirme aussi que les sommets géométriques atteints par les traités ne modifient pas, de manière substantielle la mise en oeuvre par les constructeurs qui depuis le Moyen-âge ont mis au point des techniques empiriques de tracés et de coupes plus ou moins secrètes : "le trait reste hermétique, il appartient à quelques initiés et bien des appareilleurs pourraient en remonter sur ce point au plus savant architecte" (2).

Ce n'est vraisemblablement pas dans cette direction non plus qu'il faudra rechercher une filiation décisive entre mathématique et architecture. De toute évidence dans ce domaine de la stéréotomie, la théorisation n'est venue qu'après une longue pratique et ces apports n'ont pas eu les effets directs et rapides que l'on aurait pu imaginer. Pour analyser plus finement l'évolution, nous maintenons cependant le programme d'une étude détaillée des techniques géométriques de projection et de leur transformation. Le fait qu'il existe à côté de la pratique quasi secrète et initiatique du trait, un domaine qui fait l'objet de travaux scientifiques de plus en plus rigoureux publiés au grand jour, sans que l'on puisse dire clairement si cet éclairage théorique a des effets bénéfiques dans la pratique, devrait constituer un problème tout à fait stimulant pour l'historien des sciences et des techniques.

(2) PEROUZE DE MONCLOS J.M. - *Op. cit.* p. 86

LES THEORIES DES PROPORTIONS DEPUIS LE XIXe SIECLE

Il est admis généralement que la théorie des proportions est une partie significative du discours théorique sur l'architecture. Cette importance explique que la théorie des proportions selon ses modalités orientées davantage vers l'arithmétique ou la géométrie est un des domaines privilégiés des interactions entre architecture et mathématiques.

L'on s'accorde également pour attribuer le regain d'intérêt observé au 19^{ième} siècle pour la question des tracés géométriques et des systèmes de proportions à un faisceau de causes dont on peut retenir surtout :

- le développement de l'archéologie antique,
- le "revival" gothique,
- les progrès de la pensée scientifique en général,
- les liens entre la psychologie et la physiologie de la perception,
- la naissance d'une esthétique expérimentaliste.

Il n'est pas dans notre propos de reconstituer l'historique de ces courants, ni d'en évaluer l'importance respective, en regard des mouvements d'idées qui structurent les doctrines architecturales dans une période où naît et se développe la modernité (1). Notre projet est plus limité. Il consiste successivement à examiner la place des mathématiques dans les propositions les plus significatives de la théorie architecturale des proportions, à en apprécier la teneur en regard de l'avancement des sciences mathématiques, enfin, à caractériser la portée et la signification du recours à celles-ci qui est fait par la doctrine architecturale.

Ce programme implique de façon évidente le recueil des matériaux consignant les propositions. Nous avons pris le parti de les restituer sous une forme cumulative et analytique, pour laisser à chacun ses caractéristiques propres et éviter par là une dilution dans une synthèse, dont la logique même risquait de gommer les particularités et de mettre exclusivement l'accent sur des propriétés communes. Ce choix a pour inconvénient, outre la lourdeur, une tentation, quasi obsessionnelle de constituer la totalité d'une enquête exhaustive sur le sujet. Il a fallu conjurer ce danger, et se convaincre que l'on ne pouvait, sauf à prolonger sans fin les délais d'achèvement du travail, donner un panorama complet de l'abondante et inégale littérature traitant du sujet.

(1) Dans le cadre de la littérature anglophone, cet historique a été écrit en 1958 par Ph. SCHOFIELD. "The theory of proportions in architecture" CAMBRIDGE University Press (1958)

Certaines recherches bibliographiques sur des travaux italiens ou danois sont en suspens, certains articles n'ont pu être retrouvés, certains architectes ayant utilisé les tracés ne sont pas mentionnés. En dépit de ces regrets nous pensons avoir constitué un échantillonnage substantiel, sur une période allant grossièrement du milieu du 19ième siècle à nos jours.

Pour présenter ce corpus, nous avons distingué ce qui nous a semblé correspondre aux textes importants et les écrits complémentaires qui, sous forme d'articles ou d'oeuvres moins connues, apportent un éclairage intéressant sur le sujet. Les uns et les autres sont présentés dans les fiches qui suivent.

HENSZLMANN E. - "Théorie des proportions appliquées dans l'architecture depuis la XIII^{ème} dynastie des rois égyptiens jusqu'au XVI^{ème} siècle" Arthus BERTRAND, PARIS (1860)
Texte in 4° et gd inf.

Emeric HENSZLMANN, architecte hongrois, publie en France en 1860 un des premiers ouvrages consacré entièrement à la question des proportions. Son travail fait l'objet d'un rapport d'Albert LENOIR qui est repris par la Revue Générale de l'Architecture dans le 15^{ème} volume de 1857 (p. 152-156).

Le système proposé par HENSZLMANN repose sur les mesures de ce qu'il appelle le "triangle fondamental", ce triangle baptisé aussi "triangle du cube", a pour côtés:

- le côté du cube,
- la diagonale du carré,
- la diagonale du cube (droite joignant deux sommets opposés de faces différentes).

Ce triangle est connu depuis la publication par C.L. STIEGLITZ en 1827 de son ouvrage d'esthétique intitulé "Geschichte der Baukunst vom frühesten Alterthum bis in die neueren Zeiten" STIEGLITZ reconnaissait devoir lui-même le principe de ce tracé à un architecte nommé ROEBER. Ce dernier ne semble pas avoir, par ailleurs, laissé un nom à la postérité.

A côté de cette source explicitement reconnue, HENSZLMANN évoque un traité (1) d'inspiration vitruvienne sur les proportions des pinacles ainsi que les dessins de tracés triangulaires servant de guides aux figures d'hommes et d'animaux du carnet de VILLARD de HONNECOURT.

A partir des valeurs d'un cube de côté unité, HENSZLMANN construit des triangles croissants et décroissants.

"C'est dans les valeurs des deux côtés de tels triangles, croissants et décroissants, pris dans les doubles, les moitiés et les quarts des grands côtés, enfin dans les doubles et les moitiés des petits côtés que les anciens ont cherché et trouvé les proportions de leurs parties et de leurs membres d'architecture, considérant toujours le petit côté du triangle fondamental comme unité à laquelle correspond dans leurs temples, la largeur de la cella dans l'oeuvre" (Op. cit. p. 1)

Avant d'appliquer sa méthode aux constructions de l'antiquité (dont il peut examiner les relevés dus aux pensionnaires de l'Académie de France), HENSZLMANN a pu expérimenter son dispositif en l'appliquant au relevé d'une église de sa Hongrie natale : l'église Sainte Elizabeth de CASSOVIE.

Le tableau ci-après contient les valeurs caractéristiques dont HENSZLMANN recherche la présence dans des constructions de l'époque égyptienne jusqu'au XVI^{ème} siècle. Il s'agit d'une série de valeurs des deux côtés d'un triangle rectangle. Ce triangle fondamental a pour valeur U' et D', le premier triangle supérieur a pour petit côté u' et pour grand côté D'' A partir de ces valeurs, les supérieures sont en chiffres arabes et romains, les inférieures en lettres majuscules et minuscules. Ainsi "1" est égal à 3/2 de V' "2" = 3/2 de d", "3" = 3/2 de 1. Pour les décroissants A = 2/3 D", B = 2/3 D', C = 2/3 A.

Le choix de ces rapports d'augmentation et de diminution est lié à des considérations sur les proportions musicales.

(1) Il s'agit du traité de Mathias RORITZER qui date du XVI^{ème} siècle.

VALEURS DES COTÉS DES TRIANGLES SEMBLABLES DÉRIVÉS DU TRIANGLE DU CUBE.

VALEURS		VALEURS	
DES GRANDS COTÉS.	DES PETITS COTÉS.	DES GRANDS COTÉS.	DES PETITS COTÉS.
XVI. 44,390339	16. 31,388869	K 0,186234	k 0,131687
XV. 36,2447338	15. 25,628906	L 0,152059	l 0,107522
XIV. 29,593693	14. 20,925912	M 0,124153	m 0,087791
XIII. 24,1631559	13. 17,085937	N 0,101373	n 0,071681
XII. 19,729129	12. 13,950608	O 0,082770	o 0,058527
XI. 16,108770	11. 11,390625	P 0,067382	p 0,047787
X. 13,152733	10. 9,300405	Q 0,053180	q 0,039018
IX. 10,739180	9. 7,593750	R 0,045055	r 0,031838
VIII. 8,768502	8. 6,200270	S 0,036786	s 0,026012
VII. 7,159453	7. 5,062500	T 0,030037	t 0,021239
VI. 5,845668	6. 4,133313	U 0,024524	u 0,017341
V. 4,772970	5. 3,375000	V 0,020023	v 0,014159
IV. 3,897112	4. 2,755675	W 0,016349	w 0,011561
III. 3,181980	3. 2,250000	X 0,013350	x 0,009439
II. 2,598073	2. 1,837117	Y 0,010899	y 0,007706
I. 2,121320	1. 1,500000	Z 0,008900	z 0,006293
D'' 1,73205080756	d'' 1,2247448	A' 0,007266	a' 0,005137
D' 1,41421336219	U' 1,0000000	B' 0,005933	b' 0,004195
A 1,154700	a 0,816496	C' 0,004844	c' 0,003423
B 0,942809	b 0,666666	D' 0,003953	d' 0,002797
C 0,769800	c 0,544331	E' 0,003229	e' 0,002283
D 0,628339	d 0,444444	F' 0,002637	f' 0,001863
E 0,513200	e 0,362887	G' 0,002153	g' 0,001522
F 0,419026	f 0,296296	H' 0,001758	h' 0,001243
G 0,342133	g 0,241923	I' 0,001435	i' 0,001014
H 0,279331	h 0,197330	K' 0,001172	k' 0,000829
I 0,228088	i 0,161283	L' 0,000937	l' 0,000676
		M' 0,000781	m' 0,000532

Successivement, HENSZLMANN met en évidence sa gamme de mesures pour des temples de l'architecture grecque. Il constate pourtant l'impossibilité d'appliquer ses séries aux proportions de l'architecture égyptienne. Il reproduit un système plus satisfaisant découvert par D. RAMEE et rapporté dans "l'Histoire de l'Architecture" de ce dernier.

L'ouvrage comporte, in fine, des considérations sur l'influence de l'architecture en bois sur les formes de l'architecture égyptienne et dorique grecque. Les planches comportent des analyses des parties d'édifices ou édifices suivants :

- Tombeau de NUM HOTEF
- Temple de KHONS à KARNAK
- Promenoir de THOTMES III à KARNAK
- RA SPEDS d'IBSAMBUL (Tombeau de RAMSES II)
- Temple de PHILAE

- Temple de la ville de SELINONTE et temple de l'Acropole
- Petit temple, grand temple et basilique de PAESTUM
- Temple d'ASSOS
- Temple de CORINTHE
- Temple de la Concorde d'AGRIGENTE
- Temple de CORA
- Plan restauré du PARTHENON primitif
- Temple d'EGINE
- Temple de RHAMNUS
- Temple de THESEE
- Temple du PARTHENON
- Propylées d'ATHENES
- Temple de BASSAE
- Propylées d'ELEUSIS
- Temple de NEMEE
- Temple de SUNIUM
- Temple de METAPONTE
- Temple d'OLYMPIE
- Temple de CERES
- Temple de NEPTUNE à PAESTUM

- Sainte Sophie de CONSTANTINOPLE
- Saint SERGE et BACCHUS
- Saint FRONT de PERIGUEUX

- Eglise de MELVERODE
- Eglise de PETERSBERG
- Eglise de LANDSBERG
- Eglise de PAULINZELLE
- Eglise de GERNRODE
- Eglise de FROSE
- Eglise de HECKLINGEN
- Eglise de NEMLEBEN
- Cathédrale de TOURNAI
- Abbatale de ST-GERMAIN-DES-PRES

- Cathédrale de REIMS
- Cathédrale de COLOGNE
- Cathédrale de VIENNE
- Cathédrale de MARBOURG
- Cathédrale de MEISSEN
- Cathédrale de FRIBOURG
- Eglise abbatiale de ST-DENIS
- Cathédrale de NOYON
- Eglise de GELNHAUSEN
- Eglise de ZSAMBEK (Hongrie)

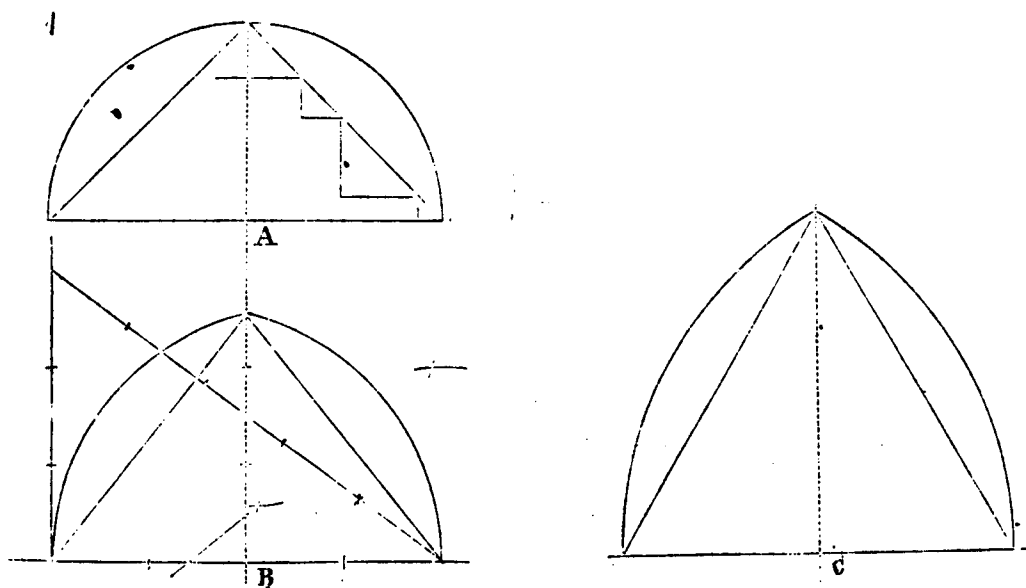
- VIOLLET LE DUC E. - "Dictionnaire raisonné de l'Architecture Française"
PARIS (1863)

Au début de l'article "Proportion" du Dictionnaire raisonné de l'Architecture Française VIOLLET LE DUC reprend une argumentation qu'il avait déjà développée dans le neuvième des "Entretiens sur l'Architecture". Selon lui, l'Architecture n'est pas l'esclave d'un système figé de proportions définies une fois pour toutes. Au lieu de ce qu'il qualifie de "méthode aveugle", ou de "formule inexpliquée et inexplicable", l'architecture doit faire un usage aussi libre des rapports proportionnels, qu'elle applique de manière la plus variée, les lois de la géométrie. Cette comparaison recèle en réalité une dépendance puisque VIOLLET-LE-DUC estime que les proportions sont filles de la géométrie. Celle-ci règnant en maîtresse en architecture mais aussi dans la nature qu'elle soit organique ou inorganique.

Une autre filiation est avancée entre les proportions, la stabilité et la géométrie. Elle permet de proposer la forme-clé du triangle comme principe de référence de mise en proportion :

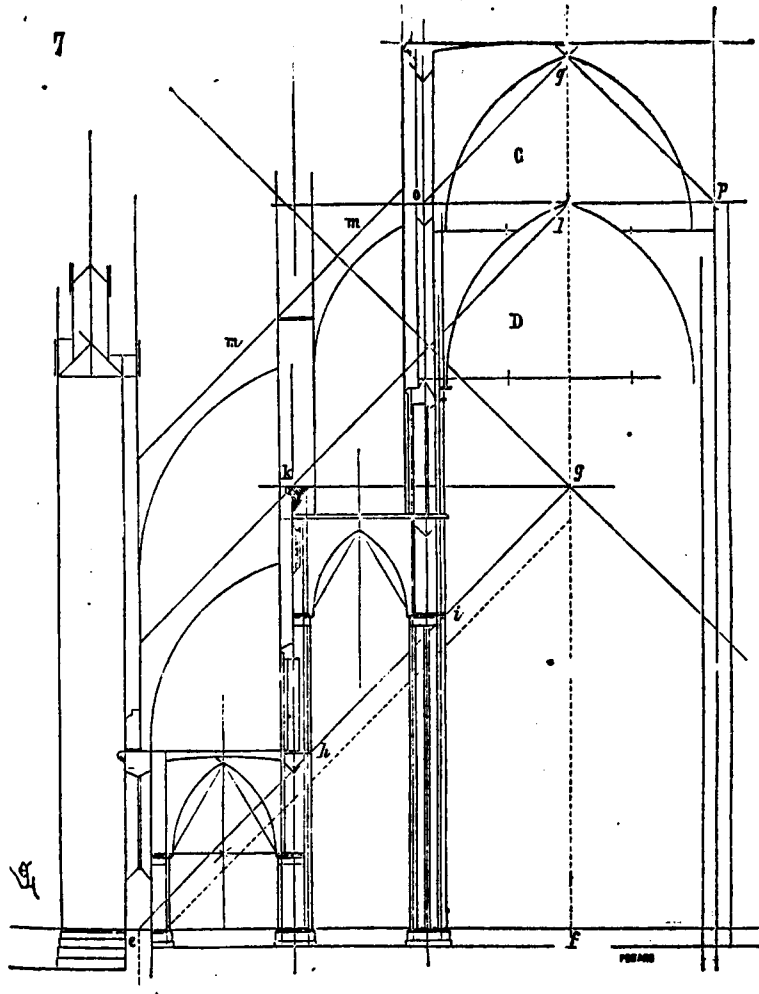
"Les proportions en architecture s'établissent d'abord sur les lois de la stabilité, et les lois de la stabilité dérivent de la géométrie. Un triangle est une figure entièrement satisfaisante, parfaite, en ce qu'elle donne l'idée la plus exacte de la stabilité".(1)

Les triangles admis comme générateurs de proportions par les architectes du Moyen-Age sont au nombre de trois : le triangle isocèle rectangle, le triangle isocèle égyptien (de base quatre et de hauteur deux et demi), le triangle équilatéral. L'usage de ces triangles garantit, en outre, une stabilité parfaite. Cette sensation pourra, de manière extensive, être obtenue si l'on trace à partir de ces triangles des portions de cercle donnant respectivement des arcs de cercle ou des arcs brisés comme le montre la figure ci-après :



(1) Op. cit. p. 534

Développant sa démonstration, VIOLLET LE DUC montre la présence des triangles qu'il a retenus dans les façades et les coupes de monuments de l'époque médiévale. Il passe de la simple mise en évidence de leur présence à l'évaluation des erreurs entraînées par le refus de les appliquer. Il donne ainsi la coupe de la cathédrale de BOURGES en montrant que ses proportions écrasées sont dues à un achèvement prématuré de la voûte qui aurait dû être construite à une hauteur plus élevée, illustrée par la coupe ci-après et donnée par la règle du triangle.

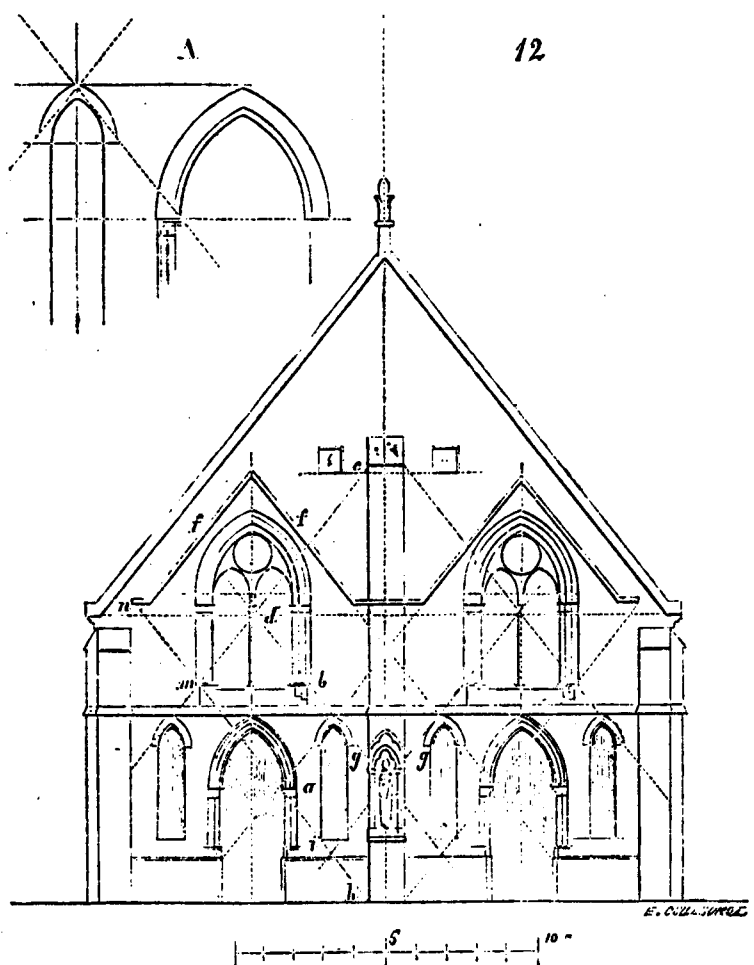


La façade de l'ancien hôpital de COMPIEGNE est, en revanche, présentée comme preuve de l'usage de ces tracés triangulaires. VIOLLET LE DUC recommande de ne pas les imiter platement mais de les étendre et de les perfectionner pour établir un système harmonique de proportion complet. Il appelle celui-là de ses vœux en constatant que son absence réduit les architectes contemporains à s'en remettre au hasard ou au sentiment.

La citation qui suit montre bien son intuition de la nécessité de concilier les méthodes modulaires et géométriques :

"Si le système harmonique des proportions admis par les grecs diffère de celui admis par les architectes occidentaux du Moyen-âge, un lien les réunit. Chez les Grecs, le système harmonique dérive de l'arithmétique ; chez les Occidentaux du Moyen-âge, de la géométrie ; mais l'arithmétique et la géométrie sont soeurs. Dans ces deux systèmes, on retrouve un même élément : rapports de nombres, rapports d'angles et de dimensions donnés par des triangles semblables. Mais copier les monuments Grecs sans connaître les rapports de nombre à l'aide desquels ils ont été mis en proportion, la raison logique de ces rapports, et mettre à néant la méthode géométrique trouvée par les gens du Moyen-âge, ce ne peut être le moyen d'obtenir ces progrès dont on nous parle beaucoup, sans que nous les voyons se développer.

Il serait aujourd'hui plus sincère de reconnaître qu'en fait de principes architecturaux, nous avons tout à apprendre de nos devanciers depuis l'art de construire jusqu'à ces grandes méthodes harmoniques de l'antiquité ou du moyen-âge" (1)



Façade de l'ancien
hôpital de COMPIEGNE

(1) Opus cit. p. 560

- THIERSCH A. - "Die Proportionen in der Architektur"
in Handbuch der Architektur (IV - 1)
Ed. J.PH. DIEHL, DARMSTADT (1883)

Le texte de A. THIERSCH sur les proportions constitue le deuxième volet d'une partie consacrée à la composition architecturale, dans ce traité largement diffusé.

Auguste THIERSCH se propose de passer en revue les monuments les plus significatifs de l'histoire de l'architecture, pour mettre en évidence une loi générale qu'il pense être la théorie antique de "l'analogie". Notons que le terme est pris ici dans l'acception grecque rappelée par VITRUVÉ de "rapport". Le constat d'une répétition de ces "rapports" devrait permettre d'en faire une caractéristique significative des oeuvres de référence du passé.

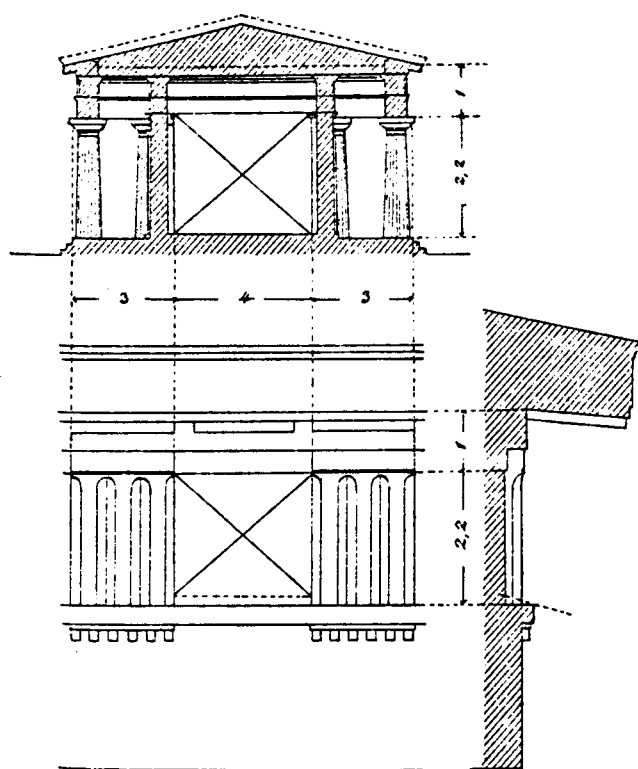
Au début de son texte, A. THIERSCH rappelle les travaux de HENSZLMANN, de VIOLLET-LE-DUC et de ZEISING. Il leur reproche de chercher un tracé géométrique ou une règle de rapports applicables de façon systématique pour garantir une bonne mise en proportion. Pour sa part, il formule comme suit le principe qu'il a découvert :

"Nous avons trouvé, en observant les oeuvres les plus réussies de tous les temps que dans chacune de ces oeuvres une forme fondamentale se répète et que les parties forment par leur composition et disposition des figures semblables. Or, il y a un nombre infini de figures et de formes fondamentales différentes entre elles qui ne sont considérées en elles-mêmes et pour elles-mêmes, ni belles ni laides. L'harmonie ne résulte que de la répétition de la figure principale de l'oeuvre dans ses subdivisions".

Les proportions des parties caractéristiques repérées sur les élévations, les plans et les coupes par les diagonales des rectangles obéissent à la loi d'analogie géométrique.

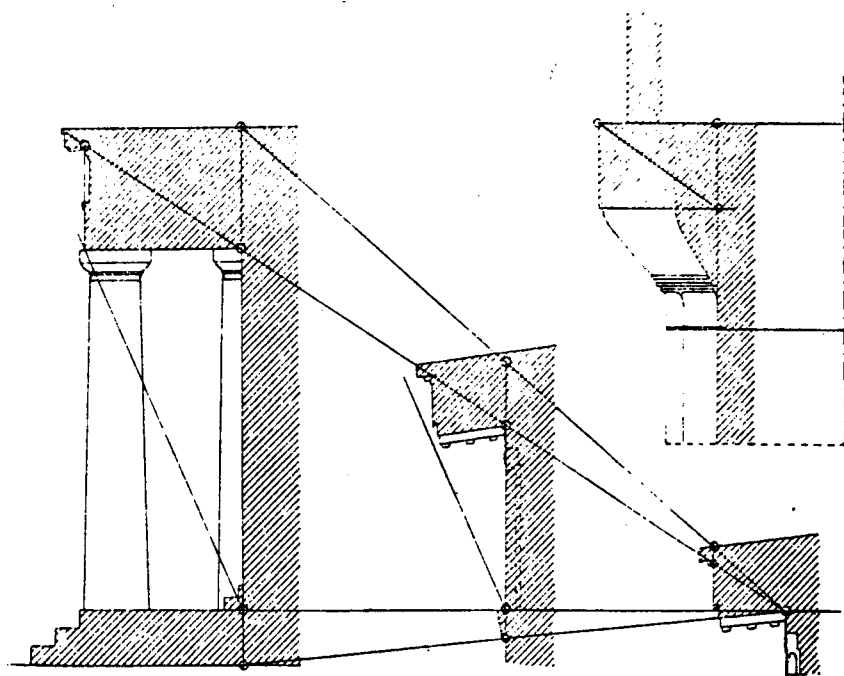
A. THIERSCH va apporter les preuves de ce qu'il avance en passant successivement en revue des monuments des périodes caractéristiques de l'histoire de l'architecture. Le premier chapitre est consacré à l'architecture dorique. Le type "d'analogie" qu'il recherche est bien illustré par les schémas ci-après où il met en évidence les mêmes proportions entre la coupe de la cella du temple de Poséidon à PAESTUM et la proportion (apparente - voir à ce propos le trait pointillé en coupe) des métopes de l'entablement.

Fig. 9.



Poseidon-Tempel in Pastum.

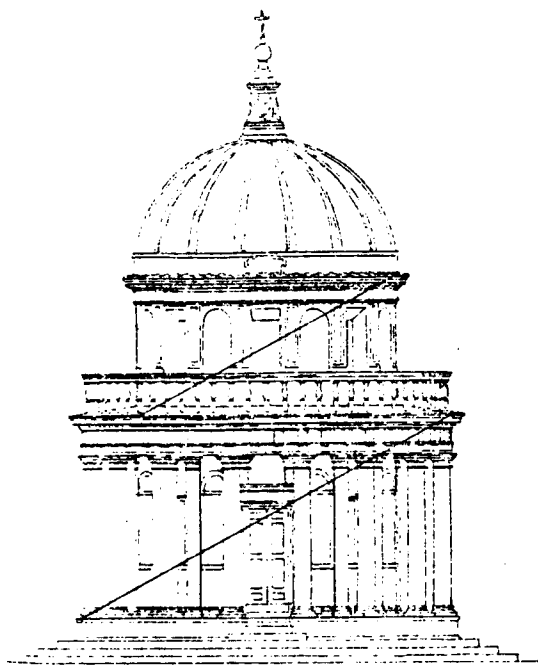
De la même façon, il figure ce principe par des coupes à différentes échelles d'éléments constitutifs du même temple de PAESTUM ou d'autres temples, dont il rappelle en un tableau (p 47) les proportions.



Vom Parthenon zu Athen.

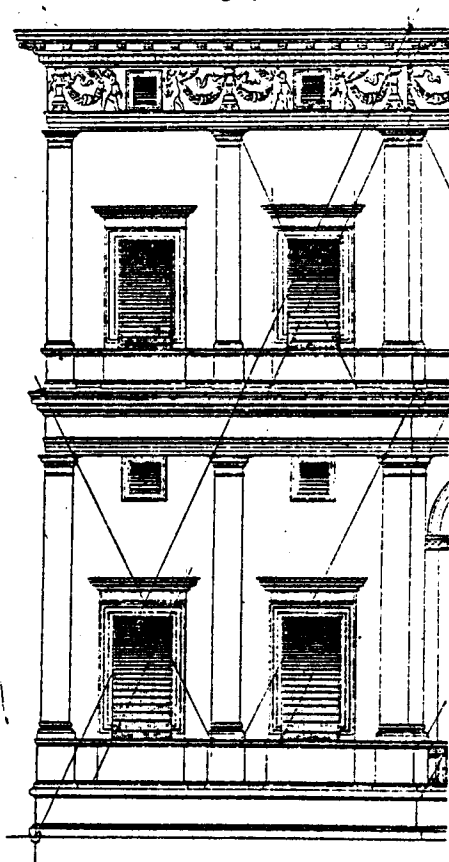
Les mêmes analyses sont présentées successivement dans des chapitres intéressant l'architecture ionique, l'architecture romaine, l'architecture des débuts de la chrétienté et du Moyen-âge, l'architecture de la Renaissance et des temps modernes.

Fig. 59.



Kirche San Pietro in montorio zu Rom.

Fig. 72.



Von der Villa Farnesina in Rom.

Dans sa conclusion, A. THIERSCH inscrit les principes d'une approche organiciste de la question des proportions : la géométrie intéresse le monde anorganique, la nature organique régie par les phénomènes de croissance est le domaine de la "répétition de la forme fondamentale". Dans cette perspective, le bâtiment peut être appelé "symboliquement un organisme" (1). L'effet de monotonie qui pourrait résulter de l'emploi de cette loi d'analogie doit être conjuré par un autre principe qui est celui du "contraste". THIERSCH est conscient que les règles qu'il propose ne vont pas transformer leur utilisateur en artiste. "Aucune règle de l'art ne remplace le manque de génie" dit-il en conclusion.

Les oeuvres suivantes lui ont servi pour développer son argumentation :

Architecture dorique

Temple de POSEIDON à PAESTUM
 Temple d'HERAKLES à AGRIGENTE
 Temple d'ATHENA à EGINE
 Temple d'ATHENA à SYRACUSE
 Temple de THESEE à ATHENES
 PARTHENON à ATHENES
 Temple d'APOLLON à BASSAE

Architecture ionique

Temple d'ATHENA NIKE à ATHENES
 Temple d'HISSOS
 Temple de l'ERECHTEION à ATHENES
 Temple d'ATHENA à PRIENE
 Temple de ZEUS à AIZANI
 Tour des vents à ATHENES
 Monument de LYSICRATE à ATHENES

Architecture romaine

Temple d'ANTONIN et FAUSTINE à ROME
 Temple de JUPITER à BAALBEK
 Temple de la CONCORDE à ROME
 PANTHEON de ROME
 Temple de la Fortune virile à ROME (sans illustration)
 Temple de JUPITER à POMPEI (sans illustration)
 Tête de pont de CHAMAS
 Arc de triomphe d'AUGUSTE à SUSE
 Arc de triomphe de TRAJAN à ANCONE
 Arc de triomphe de TITUS à ROME
 Tour d'HADRIEN à ATHENES
 Arc de triomphe de SEPTIME SEVERE à ROME
 Arc de triomphe de CONSTANTIN à ROME
 Temple de VESTA à TIVOLI
 Temple du Forum de NERVI à ROME
 Temple de JUPITER à PALMYRE
 Entablement du COLISEE à ROME
 Entablement du temple de MARS ULTOR à ROME
 Colonne du théâtre de MARCELLUS à ROME

Architecture des débuts de la Chrétienté et du Moyen-âge

Eglise de PARENZO
 Eglise SAN VITALE à RAVENNE
 Eglise SAINT SATURNIN à TOULOUSE

Architecture de la Renaissance et des temps modernes

Plan de BRAMANTE pour SAINT-PIERRE DE ROME
 Eglise SAN PIETRO IN MONTORIO à ROME
 Façade de SAINT-PIERRE par MICHEL-ANGE
 Villa ROTONDA à VICENCE
 Façade du Palais STROZZI à FLORENCE
 Fenêtre du palais MASSIMI à ROME
 Façade du palais BARTOLINI à ROME
 Façade du palais PANDOLFINI à ROME
 Façade du palais PITTI à FLORENCE
 Façade du palais STROZZ à FLORENCE
 Façade du palais GUADAGNI à FLORENCE
 Façade de la villa FARNESINE à ROME
 Façade de la basilique de VICENCE
 Coupe de la salle principale du palais MASSIMI à ROME
 Propylées de KLENZE à MUNICH
 Musée de BERLIN de SCHINKEL

- ZEISING A. - "Der goldne Schnitt"
HALLE (1884)

Dans ses travaux mathématiques sur le pentagone, le pentagramme et les polyèdres, Adolf ZEIZING a été confronté à ce qu'il appelle la "section d'or". Il a pu ainsi rattacher cette question aux réflexions et résultats de ses prédécesseurs. C'est grâce au travail d'histoire de la géométrie de CHASLES publié en 1837, qu'il a pu établir la filiation avec les oeuvres de CAMPANUS et de LUCA DI BORGIO. Les travaux de LEIBNIZ, de NEWTON, de DESCARTES ou d'EULER ont détourné la réflexion mathématique de ces questions.

Dans un ouvrage de 1854 "Neue Lehre von der Proportionen", A. ZEIZING a déjà souligné l'importance de la section d'or dans le corps humain, les plantes, les oeuvres d'art. Il regrette que depuis cette publication personne n'ait repris le flambeau.

Le présent ouvrage est consacré à une analyse mathématique des caractéristiques et propriétés des sections d'or. Il distingue l'approche arithmétique lui permettant d'établir des tableaux et de définir les propriétés des valeurs obtenues à partir de la section d'or, et la démarche géométrique qui est l'occasion de rappeler les nombreuses constructions mettant en évidence cette même section.

A. ZEISING avait également publié en 1855 un ouvrage d'esthétique intitulé "Aesthetische Forschungen". Il ne fait qu'une part réduite au problème des proportions dans ce travail marqué par l'approche idéaliste des catégories du "beau".

Tabelle

der auf- und absteigenden Reihe der Proportionalwerthe,
welche sich nach dem Gesetz des goldnen Schnitts aus der Einheit entwickeln.

m ^{XX}	=	15126,999	93389	30386	48104	02993	44835	41866	37580,
m ^{XIX}	=	9349,000	10696	33103	60343	37755	44827	32970	18732,
m ^{XVIII}	=	5777,999	82692	97282	87760	65238	00008	08896	18848,
m ^{XVII}	=	3571,000	28003	35820	72582	72517	44819	24073	99884,
m ^{XVI}	=	2206,999	54689	61462	15177	92720	55188	84822	18964,
m ^{XV}	=	1364,000	73313	74358	57404	79796	89630	39251	80920,
m ^{XIV}	=	842,998	81375	87103	57773	12923	65558	45570	38044,
m ^{XIII}	=	521,001	91937	87254	99631	66873	24071	93681	42876,
m ^{XII}	=	321,996	89437	99848	58141	46050	41486	51888	95168,
m ^{XI}	=	199,005	02499	87406	41490	20822	82585	41792	47708,
m ^X	=	122,991	86938	12442	16651	25227	58901	10096	47460,
m ^{IX}	=	76,013	15561	74964	24838	95595	23684	31696	00248,
m ^{VIII}	=	46,978	71376	37477	91812	29632	35216	78400	47212,
m ^{VII}	=	29,034	44185	37486	33026	65962	88467	53295	53036,
m ^{VI}	=	17,944	27190	99991	58785	63669	46749	25104	94176,
m ^V	=	11,090	16994	37494	74241	02293	41718	28190	58860,
m ^{IV}	=	6,854	10196	62496	84544	61376	05030	96914	35316,
m ^{III}	=	4,236	06797	74997	89696	40917	36687	31276	23544,
m ^{II}	=	2,618	03398	87498	94848	20458	68343	65638	11772,
m	=	1,618	03398	87498	94848	20458	68343	65638	11772,
m	=	1,000	00000	00000	00000	00000	00000	00000	00000,
'm	=	0,618	03398	87498	94848	20458	68343	65638	11772,
"m	=	0,381	96601	12501	05151	79541	31656	34361	88228,
"m	=	0,236	06797	74997	89696	40917	36687	31276	23544,
IV _m	=	0,145	89803	37503	15455	38623	94969	03085	64684,
V _m	=	0,090	16994	37494	74241	02293	41718	28190	58860,
VI _m	=	0,055	72809	00008	41214	36330	53250	74895	05824,
VII _m	=	0,034	44185	37486	33026	65962	88467	53295	53036,
VIII _m	=	0,021	28623	62522	08187	70367	64783	21599	52788,
IX _m	=	0,013	15561	74964	24838	95595	23684	31696	00248,
X _m	=	0,008	13061	87557	83348	74772	41098	89903	52540,
XI _m	=	0,005	02499	87406	41490	20822	82585	41792	47708,
XII _m	=	0,003	10562	00151	41858	53949	58513	48111	04832,
XIII _m	=	0,001	91937	87254	99631	66873	24071	93681	42876,
XIV _m	=	0,001	18624	12896	42226	87076	34441	54429	61956,
XV _m	=	0,000	73313	74358	57404	79796	89630	39251	80920,
XVI _m	=	0,000	45310	38537	84822	07279	44811	15177	81036,
XVII _m	=	0,000	28003	35820	72582	72517	44819	24073	99884,
XVIII _m	=	0,000	17307	02717	12239	34761	99991	91103	81152,
XIX _m	=	0,000	10696	33103	60343	37755	44827	32970	18732,
XX _m	=	0,000	06610	69613	51895	97006	55164	58133	62204.

Fig. 20.

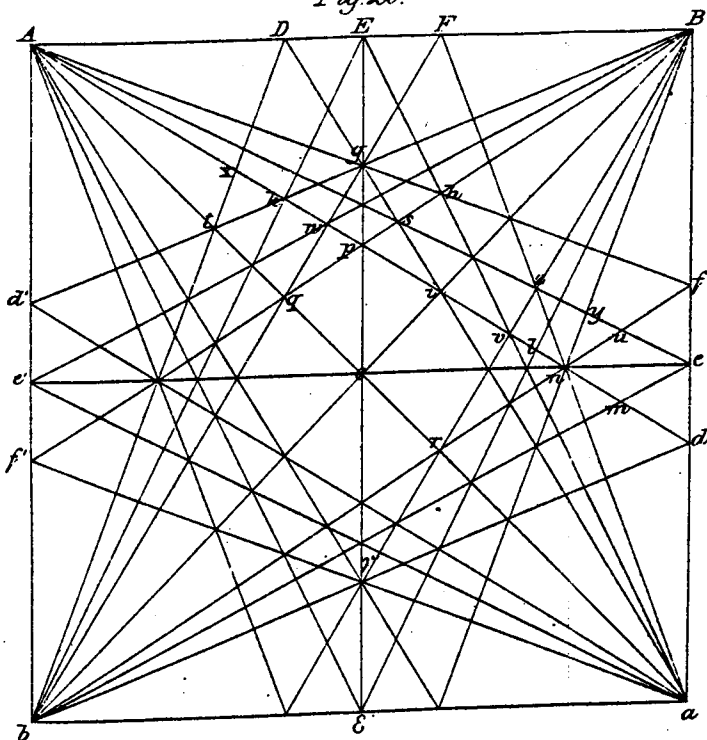


Fig. 26.

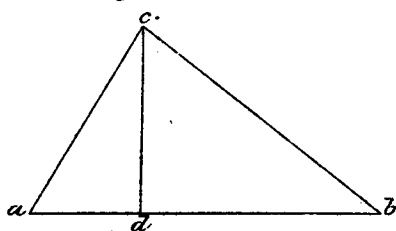


Fig. 21.

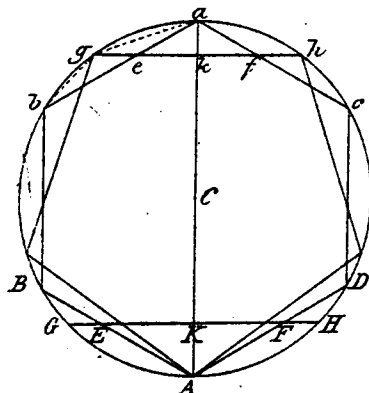


Fig. 28.

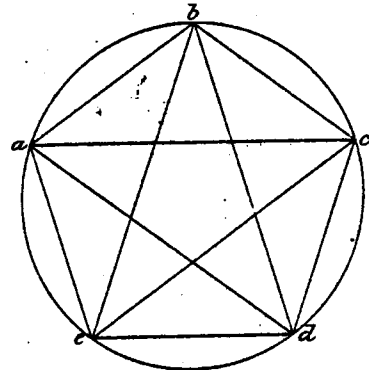


Fig. 29.

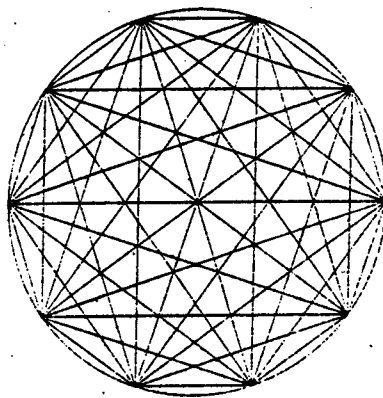


Fig. 7.

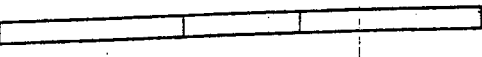


Fig. 8.

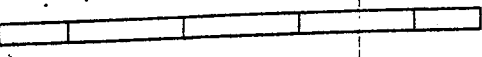


Fig. 9.

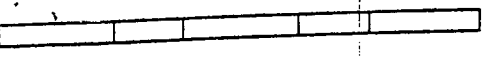


Fig. 10.

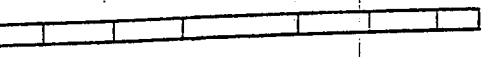


Fig. 11.

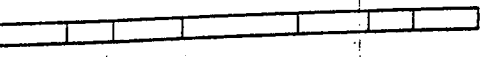


Fig. 12.

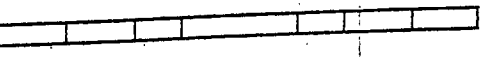


Fig. 13.

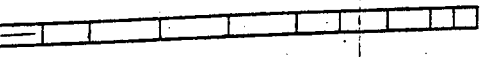


Fig. 14.

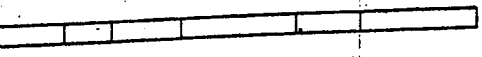


Fig. 15.

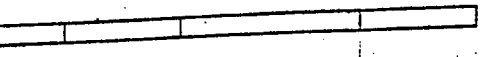


Fig. 19.

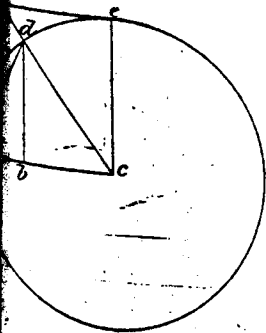


Fig. 22.

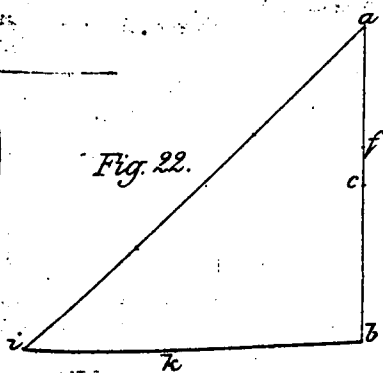
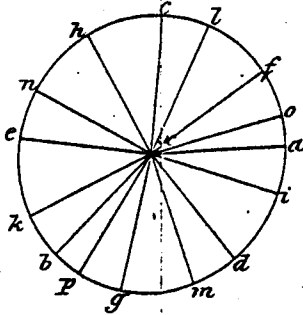
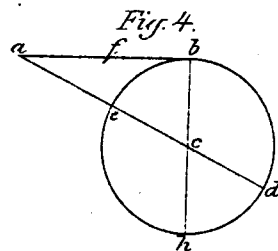
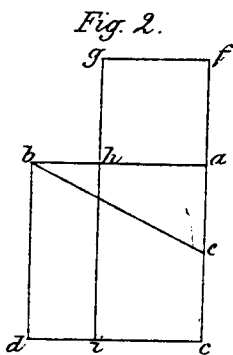
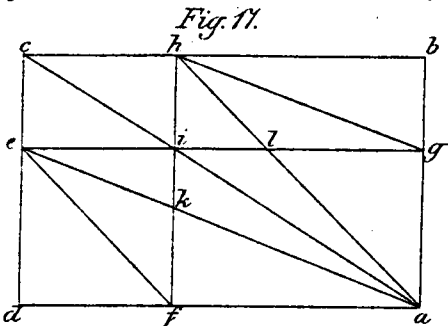
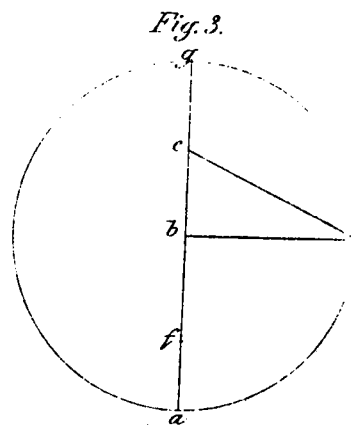
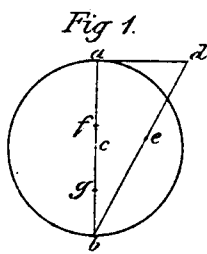
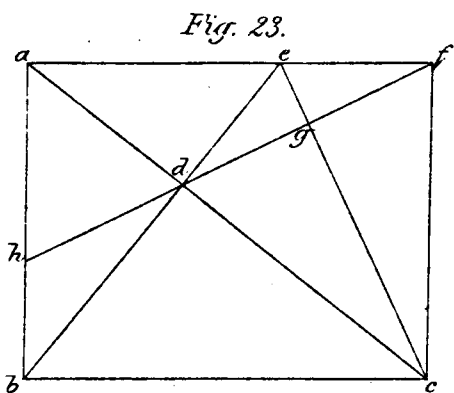


Fig. 30.





← ○ Um 1000 absteigende Reihe. ○ →

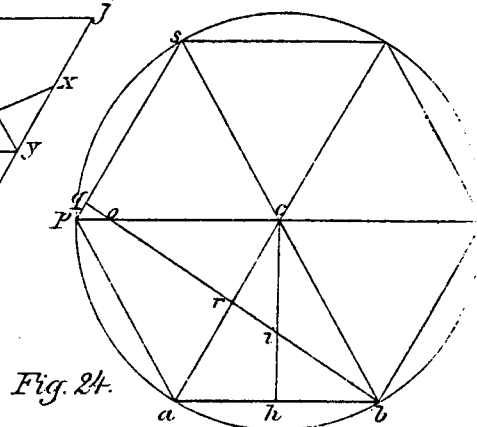
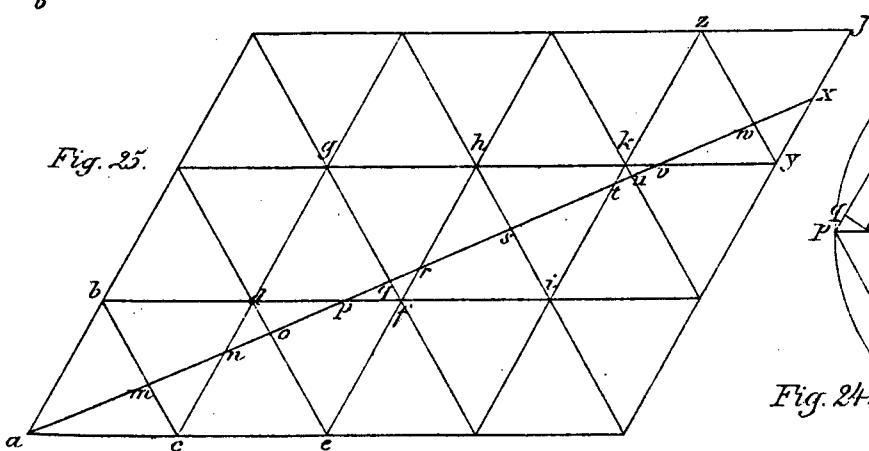
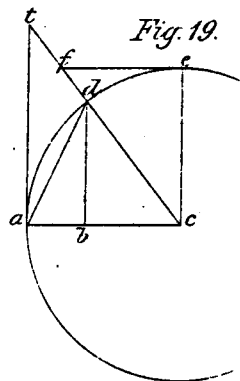
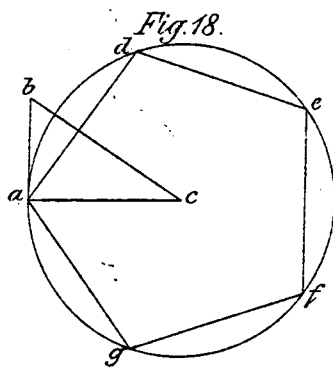
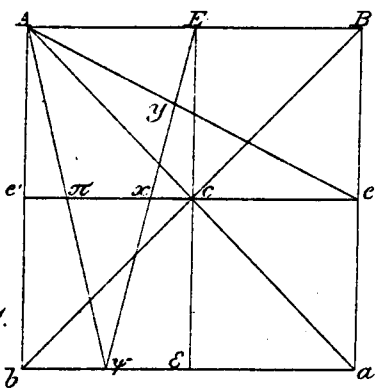
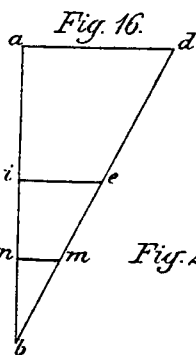
Fig. 5. ...

$\frac{m^2}{34}$	$\frac{m^3}{55}$	$\frac{m^4}{90}$	$\frac{m^5}{145}$	$\frac{m^6}{236}$	$\frac{m^7}{387}$	$\frac{m^8}{618}$	$\frac{m^9}{1000}$
------------------	------------------	------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	--------------------

○ → Von 1 aufsteigende Reihe. ○ →

Fig. 6. ...

$\frac{m^2}{180}$	$\frac{m^3}{618}$	$\frac{m^4}{236}$	$\frac{m^5}{654}$	$\frac{m^6}{1190}$	$\frac{m^7}{1794}$	$\frac{m^8}{29034}$
-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	--------------------	--------------------	---------------------



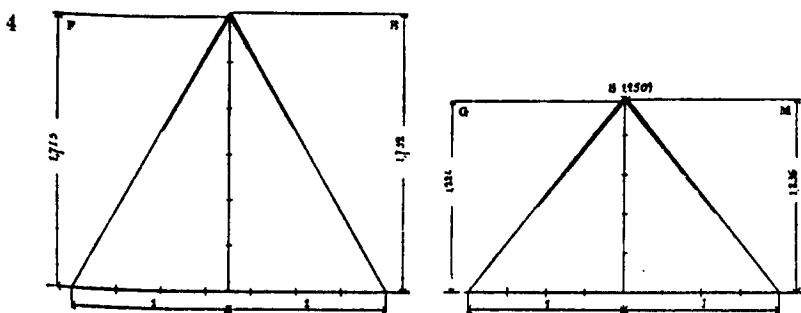
- CHOISY A. - "Histoire de l'Architecture" - 2.vol., PARIS
Réédition Vincent FREAL et Cie, PARIS (1964)

Dans les deux tomes de l'Histoire de l'Architecture, A. CHOISY traite, à plusieurs reprises, de la question des proportions et des tracés. Les considérations sur ce thème sont formulées successivement à propos des périodes marquantes de l'histoire de l'architecture, en un découpage qui rejoint celui des grandes civilisations. Les lois de mise en proportion sont généralement présentées avec les dispositifs de corrections optiques, lorsque CHOISY peut faire état de la présence de ceux-ci.

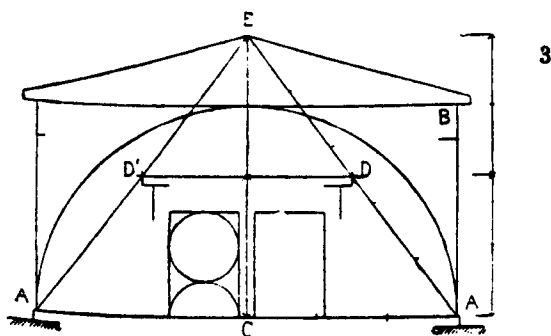
A propos de l'architecture égyptienne, assyrienne, perse, indienne, grecque, gothique, ainsi que pour l'architecture principalement française du 17^{ème} siècle, CHOISY estime qu'il y a des règles de tracés et de mise en proportions. Point de vue qui est cependant marqué par son approche rationaliste et constructiviste de l'architecture. On ne trouve nulle part de considérations mystiques sur le nombre d'or. Dès qu'il aborde pour la première fois le problème, à propos de l'architecture égyptienne, il pose la question :

"Les proportions des édifices sont-elles régies par ce vague sentiment de l'harmonie qu'on nomme le goût, ou bien résultent-elles des procédés de tracés définis et méthodiques ?" (1)

La réponse est bien sûr affirmative et divisée en deux modalités : les rapports simples et les cotes entières choisies pour des raisons de commodité et de mise en oeuvre - les tracés géométriques - dont CHOISY reconnaît le caractère sacré dans le cas du triangle 3, 4, 5, mais dont il essaie de minimiser l'importance. Le triangle égyptien est présenté comme régulateur des proportions après une procédure constructive qui allie les méthodes arithmétiques et graphiques. CHOISY insiste sur la nécessité de cette conciliation et donne des exemples d'approximation réalisant un tel compromis.



Approximations de
la méthode de tracé
par les triangles.
CHOISY, op. cit. p.50



Exemple de l'ARSENAL
du PIREE
CHOISY, op. cit. p.309

(1) CHOISY A. - Op. cit., p. 48, vol. 1

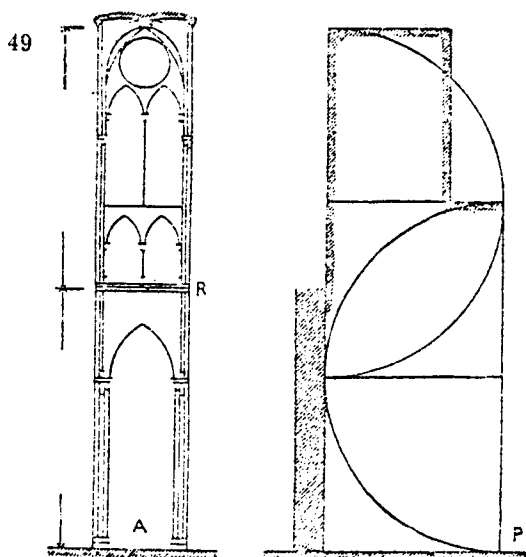
Les chapitres sur l'architecture assyrienne, perse, indienne et grecque sont l'occasion de reprendre cette thèse de la mise en oeuvre conjointe d'un système modulaire et d'un système de triangles. L'architecture grecque en particulier fait l'objet d'une présentation détaillée de procédures de tracés essentiellement modulaires. A partir de l'exemple du temple de PAESTUM étudié par son collègue AURES, ou de l'arsenal du PIREE, CHOISY montre la mise en oeuvre de ces mesures simples et signale l'utilisation préférentielle des nombres carrés et impairs et l'exclusion des nombres pairs. Il met également en évidence la présence des triangles 3, 4, 5.

Dans le deuxième tome, le chapitre sur les proportions dans l'architecture gothique, et celui plus réduit sur l'architecture du 17ième, sont l'occasion de réitérer les mêmes principes :

- expression des dimensions en cotes entières,
- rapports simples,
- tracés géométriques.

Pour ces derniers, l'accent est mis à nouveau sur le rôle privilégié du triangle égyptien et du triangle équilatéral. CHOISY cite la contribution de CESARIANO à propos de la cathédrale de MILAN mais il s'inscrit surtout dans la filiation des idées de VIOLLET LE DUC sur le "mode gothique".

"VIOLLET LE DUC a montré, par toute une série d'exemples, que ce mode se vérifie dans les monuments de notre architecture. On peut discuter sur tel ou tel point de détail mais l'ensemble des vérifications met, croyons-nous, le principe hors de cause."



Rapports simples :

Fig. 49-A : Proportions de la NEF D'AMIENS (VIOLLET LE DUC)

P : Proportions de la façade de Notre-Dame de PARIS
CHOISY - Op. cit. p.216

LUND F. Macody - "AD QUADRATUM

Etude des bases géométriques de l'Architecture Religieuse dans l'Antiquité et au Moyen-Age découvertes dans la cathédrale de NIDAROS"

Ed. Albert MORANCE, PARIS (1922)

L'ouvrage de l'architecte norvégien F.M. LUND est, pour l'essentiel, la présentation détaillée et la justification de ses thèses, dans la polémique qui l'oppose à d'autres architectes de son pays pour la reconstruction de la cathédrale de NIDAROS (ancien nom de la ville de TRONDHEIM). Le projet que LUND a proposé en 1916, à partir de tracés géométriques et d'une théorie des proportions utilisant le nombre d'or, est en effet contesté. Il va essayer de construire une argumentation justifiant la solution qu'il préconise. La présentation détaillée de cette dernière occupe une part importante du livre.

L'introduction et le premier chapitre permettent de bien situer les allégeances pythagoriciennes à la mystique des nombres et des tracés de l'auteur :

"Il apparait, en effet, nettement, que l'art de la construction sacrée au Moyen-Age est une continuation directe de l'art sacré des temples antiques, qui, lui-même, est l'expression de l'harmonie universelle, telle que la concevait la philosophie grecque.

Le temple devait être l'expression matérielle du caractère inexplicable de l'existence ; c'est pourquoi les proportions en furent déterminées d'une façon irrationnelle par un rapport géométrique et harmonique croissant de l'unité à la totalité, ainsi qu'il s'exprime dans le pentagramme qui, pour les Pythagoriciens, était le symbole de la solidarité interne du cosmos, l'oeuvre d'art universelle."

Traitant uniquement d'architecture religieuse, F.M. LUND va essayer de retrouver le système géométrique permettant la mise en proportion de l'édifice. Il rend hommage à VIOLLET LE DUC pour sa compréhension de l'art de construire médiéval mais estime que sa règle des triangles ne conduit pas à la solution du problème de mise en proportion. Il reprend le débat engagé à propos de la cathédrale de MILAN en 1392, et la controverse entre la composition "ad triangulum" et "ad quadratum" pour retenir la supériorité de ce dernier tracé. Le triangle rectangle ayant des côtés de longueur 1 et 2 fait en effet intervenir la valeur $\sqrt{5}$. F.M. LUND va essayer de montrer la présence de ce triangle dans les façades, les plans et les coupes de nombreux édifices.

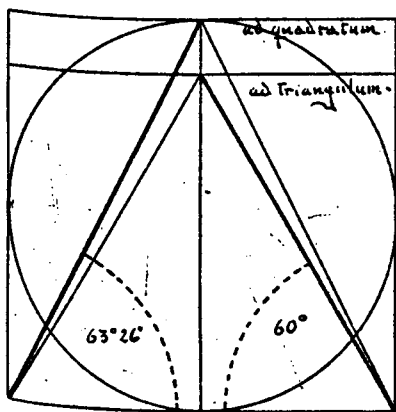


Fig. 1.

Tour à tour la démonstration de la construction "ad quadratum" est mise en évidence sur les cathédrales de PARIS et de COLOGNE, sur des églises et des cathédrales d'ANGLETERRE, des PAYS D'EUROPE CENTRALE, du DANEMARK et de NORVEGE.

Quelques considérations sur la section d'or et sur son emploi dans l'architecture grecque permettent à F.M. LUND d'appliquer son dispositif au temple de la CONCORDE d'AGRIGENTE et au PARTHENON. L'utilisation de la section d'or au Moyen-Age lui sert d'introduction au long exposé consacré du chapitre XIV au chapitre XXII à la cathédrale de NIDAROS. Les détails de la reconstitution sont précédés d'une étude historique et archéologique très détaillée du bâtiment.

F.M. LUND donne en appendice le dessin "ad quadratum" de la cathédrale d'AMIENS.

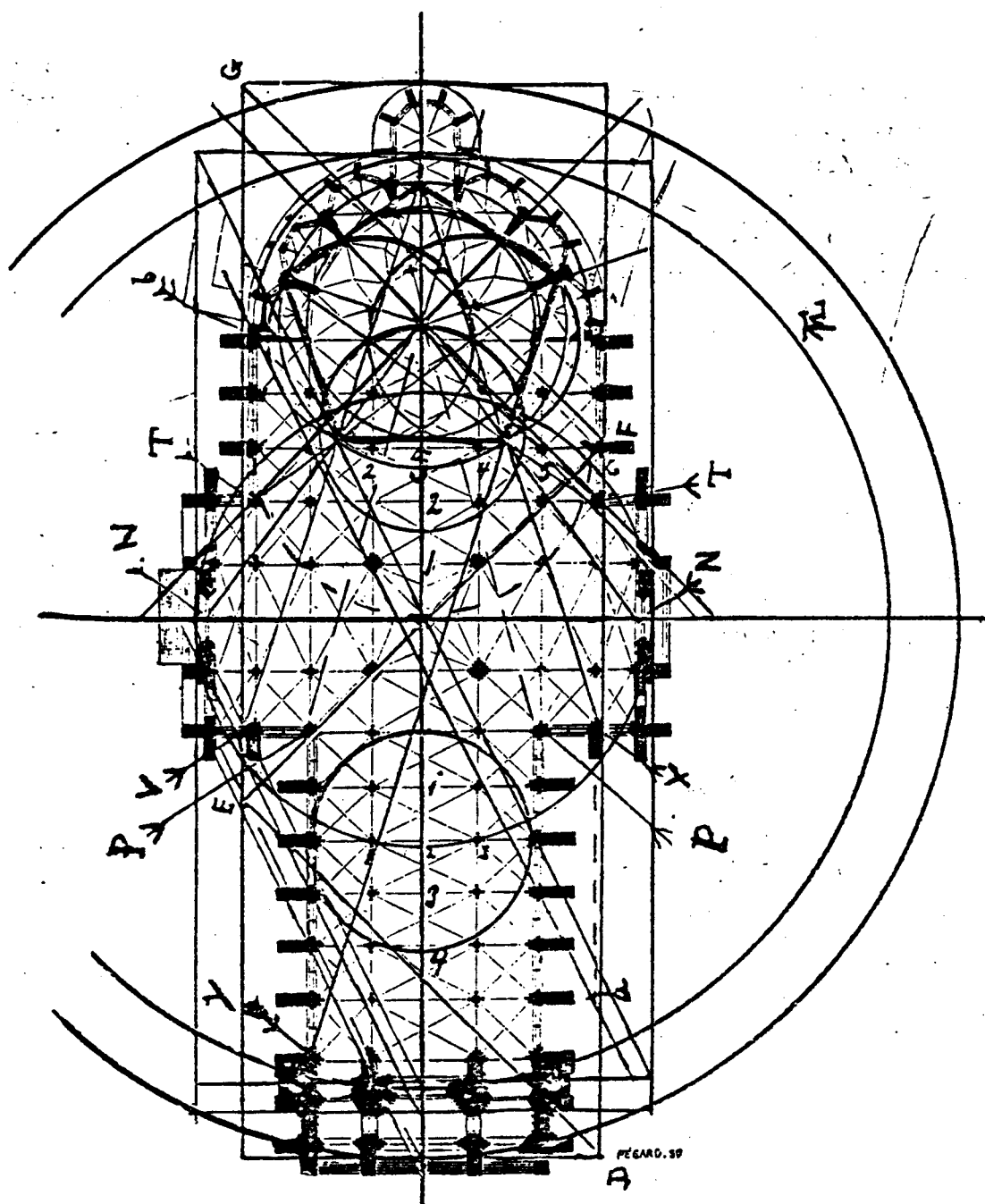


Fig. 66. -- Plan de la cathédrale d'Amiens.

- LE CORBUSIER - "Vers une architecture"
Editions G. CRES et Cie (1923)

Dans le manifeste de l'architecture nouvelle que représente "Vers une architecture", un chapitre est consacré aux tracés régulateurs (1). Lecteur de CHOISY, de DIEULAFOY, de BLONDEL, LE CORBUSIER emprunte aux uns et aux autres des exemples de tracé. Pour ses interprétations du tracé du capitole, du Petit Trianon ou pour ses propres propositions sur les projets de la Villa SCHWOB, de la maison d'Amédée OZENFANT, ou des hôtels particuliers d'AUTEUIL, il met en oeuvre des diagonales dont les angles répétés caractérisent les proportions des éléments des façades. LE CORBUSIER définit sur le mode lyrique qui caractérise le ton du livre les avantages du tracé régulateur :

"Un tracé régulateur est une assurance contre l'arbitraire, c'est l'opération de vérification qui approuve tout travail créé dans l'ardeur, la preuve par neuf de l'écolier, le C.Q.F.D. du mathématicien.

Le tracé régulateur est une satisfaction d'ordre spirituel qui conduit à la recherche de rapports ingénieux et de rapports harmonieux. Il confère à l'oeuvre l'eurythmie.

Le tracé régulateur apporte cette mathématique sensible donnant la perception bienfaisante de l'ordre. Le choix d'un tracé régulateur fixe la géométrie fondamentale de l'ouvrage ; il détermine donc l'une des impressions fondamentales. Le choix d'un tracé régulateur est un des moments décisifs de l'inspiration, il est l'une des opérations capitales de l'architecture" (1)

LE CORBUSIER utilise des illustrations du livre de CHOISY qui constituait avant 1927 l'un des rares livres d'architecture de sa bibliothèque (2). Il reproduit notamment les schémas du temple primitif. Celui-ci est l'occasion d'appeler l'attention sur la triple nécessité des mesures de la géométrie et du rythme. Le module réglé sur le pied ou le coude met à l'échelle, la géométrie est présentée comme une activité instinctive, de même que les rythmes :

"Souvent en l'homme, par une fatalité organique, la même fatalité qui fait tracer la section d'or à des enfants, à des vieillards, à des sauvages, à des lettrés.

Un module mesure et unifie ; un tracé régulateur construit et satisfait".

(1) Ce chapitre avait été publié dans le n° 5 de la revue de l'ESPRIT NOUVEAU sous le titre "Les tracés régulateurs". Mais le 3ième paragraphe de la citation a été rajouté pour le livre.

(2) D'après la thèse de P. TURNER et le catalogue de la bibliothèque en annexe au texte sur "The Education of LE CORBUSIER, a study of the Development of LE CORBUSIER's thoughts, 1900-1920" - Harvard University, CAMBRIDGE, Mass. (1971)

Pendant l'occupation, dans le cadre des travaux du groupe ASCORAL, LE CORBUSIER avait réfléchi à la normalisation des composants du bâtiment. Une des sections de l'ASCORAL : normalisation et construction, était plus spécialement chargée de ces questions. En 1943, l'un de ses "jeunes", HANNINGS, lui propose un premier tracé. Dans l'immédiate après-guerre, en 1945, avec l'aide de ses collaborateurs de l'atelier de la rue de SEVRES, il reprend le travail de la définition d'une grille de mesures harmoniques conçue en rapport avec la mensuration de l'homme. En 1948, il publie une première version de son MODULOR (1), ayant défini avec l'aide du mathématicien R. TATON et de E. MAILLARD (auteur d'un livre sur le nombre d'or (2)), une grille de rapport partant de la hauteur d'un homme de 1 mètre 75. A la fin de 1951, il publie Le MODULOR 2 (3) dont les deux séries de mesures (utilisant le principe de développement des séries de FIBONACCI) reposent sur les dimensions d'un homme de 1 mètre 83 et de 2 mètres 26 le bras levé...

Dans les deux ouvrages, qui présentent le détail de la genèse du MODULOR et de sa mise au point, LE CORBUSIER donne des indications sur les attendus théoriques et doctrinaux qui sous-tendent sa démarche. Le courant d'intérêt pour les spéculations sur le nombre d'or et les tracés, toujours dans l'air du temps, recoupe les problèmes plus actuels de normalisation et de standardisation. Dans sa préface du MODULOR 2, LE CORBUSIER rappelle qu'il a participé à la triennale de MILAN de 1951 et dans ce cadre, à la Rencontre Internationale du 26 au 29 septembre sur le thème "De Divina Proportione". La présentation du MODULOR vaut à son promoteur d'être nommé président d'un comité d'étude permanent sur la question.

En dépit des professions de foi de LE CORBUSIER inscrivant son travail dans la matérialité du chantier et dans la définition opératoire d'outils pour le constructeur, il succombe parfois aux évocations de sortilèges mathématiques. Dans le chapitre III intitulé précisément "Mathématique", le ton est donné dès les premières lignes :

"Les mathématiques sont l'édifice magistral imaginé par l'homme pour sa compréhension de l'univers. On y rencontre l'absolu et l'infini, le pré-hensible et l'insaisissable. Des murs s'y dressent devant lesquels on peut passer et repasser sans fruit ; une porte s'y trouve parfois ; on l'ouvre, on entre, on est dans d'autres lieux, là où se trouvent les dieux, là où sont les clefs des grands systèmes. Ces portes sont celles du miracle. Passé l'une de ces portes, ce n'est plus l'homme qui opère : c'est l'univers que celui-ci touche ici en un point quelconque. Et devant lui se déroulent et rayonnent les tapis prodigieux des combinaisons sans limites. Il est au pays des nombres" (4)

Même si l'on fait la part du lyrisme propre aux écrits de LE CORBUSIER, la citation a une teinte mystique et pythagoricienne assez affirmée. Il est vrai que les termes d'absolu, d'infini, les nombres imaginaires, ont fréquemment occasionné chez les non-spécialistes des interprétations éloignées des acceptations scientifiques.

LE CORBUSIER exprime ensuite son désaccord avec l'approche des "grands théoriciens de la Renaissance". Il dénonce les dangers des spéculations abstraites sur le nombre et sur les tracés :

- (1) LE CORBUSIER - LE MODULOR - Editions de l'Architecture d'Aujourd'hui, PARIS (1948)
- (2) MAILLARD Elisa - "Du nombre d'or" - Ed. André TOURNON et Cie - PARIS (1943)
- (3) LE CORBUSIER - LE MODULOR 2 - Editions de l'Architecture d'Aujourd'hui, PARIS (1955)
- (4) LE CORBUSIER - Op. cit.

Page 50
manquante sur le rapport

Commentaires manuscrits de LE CORBUSIER :

KOELLIKER Theo - "Symbolisme et nombre d'or ; le rectangle de la genèse et la pyramide de Kheops"
Editions des Champs Elysées - PARIS (1957)

Schéma du projet de l'O.N.U. à NEW-YORK avec ce commentaire :

- Projet de l'ONU - 1947 - ignorance totale du "carré long argenté"

- Naissance de la "grille de proportion"

- Surface 1942

- 2 carrés de 110 + troisième
à \emptyset

- (amené à 108
= 216
Juillet 57

CONCLUSIONS

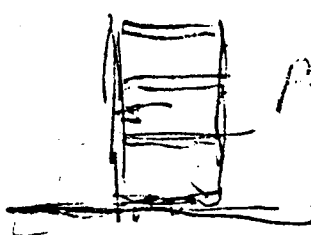
Cet ouvrage, est-il besoin de le dire, n'est pas achevé. Le Voile du Mystère à peine soulevé n'a laissé passer qu'un regard, et, encore une fois, rien dans ce livre n'est donné comme définitif ou indiscutable. C'est une simple étude, entreprise — du moins je l'espère — avec assez de rigueur pour que la fantaisie n'ait pu s'y glisser. Néanmoins, cela reste une ébauche.

Ce que l'on est peut-être en droit d'affirmer, c'est que le Carré long argenté, que les Alchimistes ont appelé le Rectangle de la Genèse, semble aussi pouvoir se nommer celui de la Connaissance. On voit, en effet, qu'avec des raisonnements très simples et des calculs élémentaires, en appliquant toujours la même dialectique et les méthodes du sens commun, il peut être donné à qui veut réfléchir — fût-ce quelqu'un de l'Antiquité — de découvrir dans la figure symbolique du Double carré nombre de renseignements sur bien des choses, qui autrement demanderaient des moyens d'investigation plus compliqués.

Mais là encore, il faut se souvenir qu'on se trouve dans le domaine du Symbolisme, celui où l'expérience est intérieure et, partant, *incommunicable*. Il n'y a donc aucune possibilité de transmettre la certitude de la Vérité à autrui. On sait d'ailleurs qu'en matière d'ésotérisme, chacun ne peut recevoir que ce qui lui est strictement destiné. Cet

ouvrage n'est évidemment pas un livre ésotérique, puisqu'il a été construit pour la vulgarisation. Il s'agissait, dans le cas particulier, de mettre le Pythagorisme à la portée des non-mathématiciens. Mais cela ne le rendra pas pour autant, accessible à tout le monde. Ainsi, un matérialiste, un athée, liront peut-être ce livre, mais ne le comprendront pas. Cela n'a pas d'importance. Il n'a pas été écrit pour défendre une doctrine, mais pour répondre à ceux qui désiraient savoir.

Théo KOELLIKER
juin 1955.



Projet de l'ONU
en 1947
(ignorance totale
de l'arithmétique
à partir de

naissance
de la géométrie & proportions
1942
= surface
2 carrés de 110 + trois



(carrés de 110)
= 216

indiqué

FOURNIER DES CORATS - "La proportion égyptienne et les rapports de la divine harmonie"

- pas savantes du tout mais découvertes individuelles (pif !) et enfoncer les portes ouvertes. A vrai dire un outil de travail
- L.C. a introduit la stature humaine, dicit Andreas SPEISER
- L.C. nuance ces choses modulator pour dimensionner les éléments d'usage
- La géométrie et la mathématique pour proportionner les éléments de sensation
- ... considérations de notions controlables et appréciables : le secteur 800 x 1200...
- Hum !
- C'est la ... mystère et silence ! des sectes secrètes !!

82

LA PROPORTION ÉGYPTIENNE

Et peut-être apporterai-je aussi, par l'antériorité du résultat-obtenu à l'aide de mes théories, le complément indispensable qu'est l'emploi des « Rapports de Divine Harmonie » aux savantes études de mon confrère LE CORBUSIER sur le « Modulator ». La différence entre les résultats obtenus par l'application des mesures modulées de LE CORBUSIER et ceux obtenus par moi-même par l'utilisation des « rapports » dont j'ai décelé la présence sur les œuvres égyptiennes, réside dans l'application de la méthode de composition. Alors que LE CORBUSIER agit par les mesures directes de son « Modulator » (unité, mètre, pied, pouce), les Egyptiens et probablement tous les peuples de la haute antiquité agissaient par l'application directe des « Rapports de Divine Harmonie », fonction d'une mesure (M, numérateur commun de ces mêmes « rapports ») qui en modulait les dimensions secondaires.

Ces « rapports » ayant gouverné l'art antique peuvent aussi bien gouverner l'art contemporain. Les « rapports » s'étendraient alors des grandes compositions urbaines des urbanistes modernes aux infimes détails de l'aménagement intérieur des habitations humaines, en revenant aux traditions oubliées.

la géométrie et la mathématique pour proportionner les éléments de sensation
 III. - CONCLUSION

NOUS voici arrivés au terme de la première partie de la tâche que je me suis assignée et que constitue cet ouvrage. J'espère avoir suffisamment développé mes théories et donné assez d'exemples pour avoir fait partager des convictions qui, passant du domaine de l'hypothèse à celui de la réalité, sont devenues petit à petit, des certitudes. Je ne prétends pas me poser ici en archéologue : je suis architecte ; je donne seulement un aperçu, un résumé de mes études et réflexions, lesquelles m'ont conduit à me familiariser avec un sujet d'une telle fécondité.

Les succès du début m'incitèrent à poursuivre avec passion mes recherches. Elles m'apportèrent, chaque jour, des surprises nouvelles ; chaque jour aussi, devant moi, l'horizon s'élargissait, embrassant soudain l'histoire de l'Art égyptien en son entier. Art régi par le savant mécanisme des « proportions », lesquelles me permirent de remonter à la source de la « Divine Proportion » donnée elle-même par l'application des « Rapports de Divine Harmonie », ayant ainsi retrouvé le fameux canon dénommé « ordre égyptien ».

Ce « canon de proportions » et les œuvres d'art découlant de son application ne représentent qu'un aperçu des possibilités des « Rapports de Divine Harmonie ». Cet aspect, le plus tangible, est celui par l'étude duquel il était indispensable de débiter pour découvrir les autres. Ceux-ci ont trait à des matières se développant dans des domaines très différents, dont la révélation complète laissera entrevoir l'extrême richesse des « huit rapports ».

pas savantes du tout | mais découvertes individuelles (pif!) et enfoncer les portes ouvertes

L-C a introduit la stature humaine dicit Andreas Speiser

un outil de travail

considérations de notions controlables et appréciables : le secteur 800 x 1200

?

REMARQUES

83

Ainsi que j'ai été amené à le faire observer, les décompositions employées pour décèler la proportion dans les créations artistiques égyptiennes pourront servir à contrôler l'influence culturelle de l'Égypte antique sur ses voisins et réciproquement, ainsi qu'à mesurer l'importance des échanges artistiques qui en résultèrent.

A l'aide des « Rapports de Divine Harmonie », la reconstitution des monuments du passé devient chose aisée ; on aurait, par l'application de cette méthode, l'avantage d'utiliser dans la restauration des édifices en ruines, les mêmes proportions que celles qui ont présidé à leur édification. On pourrait alors apporter de nouvelles additions qui complèteraient les constructions anciennes et renoueraient, ainsi, avec des traditions séculaires oubliées depuis plus de vingt siècles.


Depuis longtemps j'avais observé que l'apparition des « Rapports de Divine Harmonie », n'était pas seulement le résultat d'un travail mathématique et géométrique isolé, mais qu'ils devaient provenir de sources naturelles profondes, homogènes et indépendantes de la volonté humaine. J'avais acquis cette certitude à la lumière des preuves accumulées par PETRUS Talemarius et par celles qui continuaient à m'apparaître à la suite de mes propres recherches. Je savais que ces « Rapports » avaient été conservés traditionnellement et qu'ils étaient restés secrets à travers les siècles, précisément à cause de leur caractère naturel sacré. J'ai certes, de temps à autre, au cours de ce premier ouvrage, effleuré le sujet sans l'approfondir, lorsque j'ai cherché l'origine des « huit Rapports » dans la position prise par les astres, selon certaines connaissances astronomiques antiques, ou encore dans certaines Lois de la Nature. Mais j'ai préféré, à cause de l'importance et de l'ampleur du domaine à explorer, en réserver l'étude pour un autre ouvrage.

Les « Rapports de Divine Harmonie », utilisés si abondamment dans la création des œuvres d'art qui, suivant le langage égyptien courant, étaient « amenées à la vie » (précisément à cause de l'emploi de ces « Rapports »), formeront, dès lors, le point de départ de mes nouvelles investigations. Par ces recherches je tenterai de mettre en lumière et de faire ainsi revivre l'Archétype, le Sceau, le Chiffre secret, élément par lequel s'exerce la manifestation de la puissance créatrice et motrice du Divin. Hum!

Ce chiffre qui personnifiait le mécanisme des nombres dont les mutations successives et l'enchaînement illimité, à l'instar des « Rapports de Divine Harmonie », firent entrevoir par Pythagore l'Univers, le Tout, comme étant régi par le Nombre promoteur de mouvement.

Tanger, 1956.

Com
... mystère
et divine
le secret
de la vie



"On composait l'architecture sur le papier, au compas et en étoiles ; les humanistes géomètres avaient abouti à l'icosaèdre et au dodécaèdre étoilés, forçant l'esprit à une interprétation philosophante s'éloignant, en ce qui concerne l'art de bâtir, des données mêmes du problème : la vision de l'oeil." (1)

L'architecture est affaire de perception. Il faut donc introduire des "mesures vraies" dans l'oeuvre bâtie. Les séries du MODULOR sont censées apporter cette authenticité qui inscrit l'outil de LE CORBUSIER dans la "corporalité". En effet, pour lui, les outils traditionnels de dimensionnement des chantiers : la coudée, le pouce, le pied, ont pour référentiel le corps humain. Elles se distinguent, à ce titre, du chiffrage métrique abstrait et artificiel. Les chiffres du MODULOR sont des mesures. Ils ont l'ambition d'être pour les choses visuelles l'équivalent de la gamme tempérée de J.S. BACH.

Un examen des documents de la bibliothèque personnelle de LE CORBUSIER révèle qu'à l'époque de la rédaction du MODULOR et après celle-ci, il s'intéresse à des ouvrages traités d'ésotérisme et de mystique pythagoricienne. Ces livres, souvent annotés en marge, donnent une place importante aux spéculations sur la géométrie et la météorologie des pyramides égyptiennes. Ils sont parfois entièrement consacrés à ce sujet, comme c'est le cas pour ceux de SCHWALLER DE LUBICZ (2), de FOURNIER DES CORATS (3), ou de KOELIKER (4). Les copies des quelques pages reproduites ci-après, montrent que LE CORBUSIER, dans ses commentaires, fait preuve d'un esprit fort critique vis à vis de certaines spéculations.

Ce domaine de la science traditionnelle marqué de kabbalisme l'intéresse pourtant. Dans le texte d'une conférence de l'italien Guido FIORINI, prononcée à l'Accademia SAN LUCA le 28 mai 1958 et que LE CORBUSIER lit et annoté dans l'avion PARIS-NEW-DEHLI, on trouve, en face de la référence à la prophétie d'EZECHIEL et à l'APOCALYPSE, la mention manuscrite "A lire".

A côté de la trace de ces incursions dans les eaux un peu troubles des sciences "traditionnelles", la bibliothèque recelle des ouvrages plus orthodoxes, généralement dédiés à l'auteur du MODULOR : ceux d'E. MAILLARD (5), de VAN LIER (6), de WITTKOWER (7), de SCHOLFIELD (8). La première édition de 1927 du livre de M. GHYKA "Esthétique des proportions dans la nature et dans les arts" fait l'objet d'une lecture attentive par LE CORBUSIER. Certaines figures sont coloriées, certains calculs sont refaits, nul doute qu'il a joué le rôle d'un manuel. Nous constatons à ce propos l'importance de cette littérature intermédiaire. Les architectes n'accèderaient-ils aux mathématiques qu'à travers ce type d'ouvrage ?

- (1) LE CORBUSIER - *Op. cit.* - Notons que l'on retrouve l'allégeance aux théories de BORRISAVLIEVITCH auxquelles LE CORBUSIER adhérerait déjà dans ses premières publications sur les tracés régulateurs et les proportions.
- (2) SCHWALLER DE LUBICZ - "Le temple dans l'homme" - LE CAIRE, imp. SHINDLER (1949)
- (3) FOURNIER DES CORATS - "La proportion égyptienne et les rapports de la divine harmonie" - Ed. VEGA, PARIS (1957)
- (4) KOELIKER Théo - "Symbolisme et nombre d'or ; le rectangle de la genèse et la Pyramide de Khéops" - Editions des Champs Elysées, PARIS (1957)
- (5) MAILLARD E. - "Du nombre d'or" - Ed. André TOURNON et Cie, PARIS (1943)
- (6) VAN LIER Henri - "Les arts de l'espace : peinture, sculpture, architecture, arts décoratifs" - TOURNAI, CASTERMAN (1959)
- (7) WITTKOWER R. - "Systems of proportions" - Architect's Yearbook, LONDRES (1953)
- (8) SCHOLFIELD P.H. - "The Theory of proportion in architecture" - Cambridge University Press (1958)

Un mathématicien de l'Université CARLTON d'OTTAWA : R. FISCHLER, s'est intéressé à ce qu'il appelle les premières fréquentations du nombre d'or par LE CORBUSIER (1). Au prix d'un dépouillement méticuleux des premières publications avec Amédée OZENFANT dans "Après le cubisme" ou dans les articles de L'ESPRIT NOUVEAU, il met en évidence des premières allusions au triangle égyptien ou à la section d'or. Les vagues citations de 1918 dans "Après le cubisme" à propos d'une discussion sur les canons esthétiques, sont suivies par une mention effective du nombre d'or dans l'article "Sur la plastique" du premier numéro de L'ESPRIT NOUVEAU (2). FISCHLER cite le passage à propos de l'utilisation de l'angle droit par MICHEL ANGE :

"Même chose chez CEZANNE, autre homme à tempérament.

Lieu de l'angle droit, triangle équilatéral, triangle égyptien, section d'or, etc..., autant de modules régulateurs".

Il indique également un développement explicite dans un article de la même revue intitulé "Le Purisme" (3)

"... le terme fameux de section d'or qui hante les ateliers comme la hantise de la pierre philosophale. La section d'or n'est pas une section de surface. La section d'or est une section mathématique de lignes permettant de diviser une droite de telle sorte qu'un rapport harmonieux règne entre les deux segments.

On a construit sur cette section d'or le triangle dit de la section d'or et ce triangle qu'on débite en carton dans les ateliers y est employé comme unificateur d'angle".

En fait, dans la suite de son étude, FISCHLER montre que ces citations ne signifient pas que LE CORBUSIER utilise effectivement le nombre d'or dans ses propres oeuvres peintes de l'époque. Il pense même qu'elles correspondent à une position hostile.

Il met en avant un certain nombre d'arguments qui tendraient à prouver que la démonstration de cette utilisation - notamment à propos des tracés des peintures donnés dans le MODULOR - n'est pas très convaincante et relève de la justification a posteriori.

- (1) FISCHLER R. - "The early relationship of LE CORBUSIER to the "golden number"-
In Environment and Planning - 1979, vol. 6, pp. 95-103
- (2) OZENFANT A. et JEANNERET C.E. - "Sur la plastique" - L'ESPRIT NOUVEAU n° 1 -
pp. 38-48 (1920)
- (3) OZENFANT A. et JEANNERET C.E. - "Le Purisme" in L'ESPRIT NOUVEAU n° 4,
JANVIER 1921 - pp. 369-386

- LE CORBUSIER et P. JEANNERET - "Tracés régulateurs" - Oeuvre complète,
Série 2.
Editions A. MORANCE
Printemps-Eté 1929

Dans cet article sur les tracés régulateurs, LE CORBUSIER s'inquiète de la complexité et des relents de mystère et mysticisme qui entourent certains travaux historiographiques. Lecteur vraisemblable du "Handbuch der Architektur" et de l'article de THIERSCH sur les proportions, il retient le tracé de la diagonale comme élément caractéristique des proportions d'une façade ou d'un plan.

LE CORBUSIER recherche le parallélisme des diagonales diverses qui correspondent aux percements ou aux éléments caractéristiques d'une façade comme celle de la Villa STEIN à GARCHES ou celle des maisons du WEISSENHOF de STUTTGART qu'iillustre l'article sur les tracés régulateurs.

A côté de ce procédé géométrique, LE CORBUSIER aborde aussi la question du rythme. Les bandes horizontales de la villa de GARCHES dans la progression 1. 2 et 4 sont présentées comme exemple de "tracé numérique". Par une extension de l'acception du terme dont il est coutumier, il qualifie "de traca automatique" la répartition rythmée de la trame de l'ossature 2-1-2-1-2.

Pour compléter les instruments de composition précédent, LE CORBUSIER sacrifie à l'utilisation du nombre d'or dont il présente d'abord l'utilisation pour la villa STEIN :

"Enfin, on notera un tracé extrêmement important qui précise avec rigueur le rythme déterminant de cette façade. Il s'agit du rapport unissant la largeur du jardin suspendu à la largeur de la façade qui lui est contigüe, en vérité les deux éléments essentiels de la composition. Le rapport entre ces deux éléments est le fameux rapport employé à travers tous les âges et dénommé la section d'or..." (1)

Pour le projet du Musée Mondial ou Mundaneum, il adopte également un tracé régulateur et la section dorée :

"Nous avons pensé que l'oeil transmettrait des points suffisamment évidents de la composition pour que l'esprit en puisse reconstituer des espaces précis et ce sont ces espaces que nous avons ordonné par un tracé régulateur. Nous avons choisi le tracé de la "Section d'Or", ce tracé, nous l'avons dit, étant le plus idéalement pur..." (2)

Ce commentaire sur "les points évidents de la composition" est assorti d'une critique des exégètes des "tracés frottés de mystique". LE CORBUSIER procède un peu par amalgame en ne distinguant pas les travaux sur l'esthétique optico-géométrique préconisée notamment par M. BORRISAVLIEVITCH des spéculations pythagoriciennes telles qu'elles sont déjà développées dans le premier ouvrage de M. GHYKA.

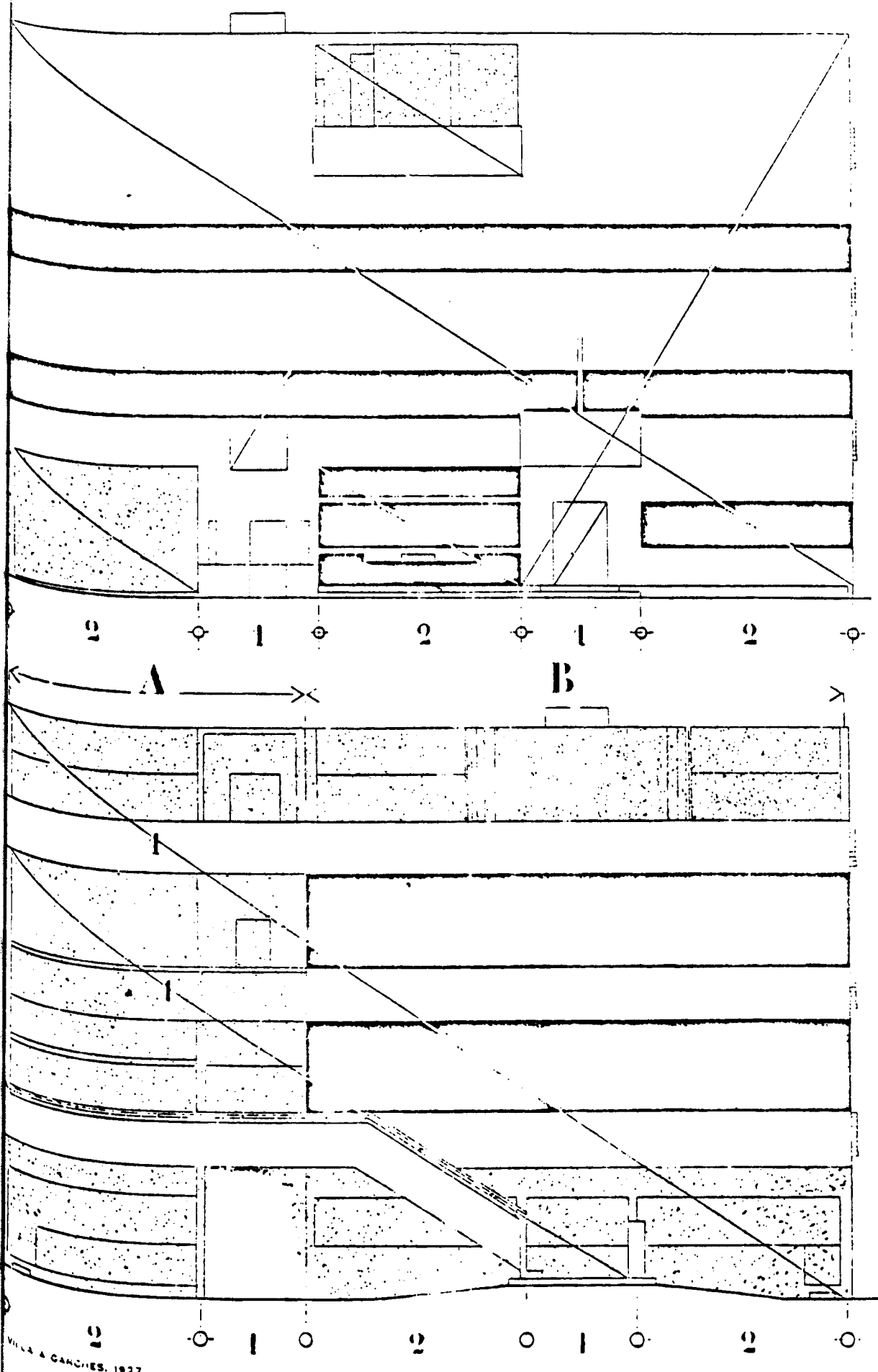
(1) LE CORBUSIER et P. JEANNERET - Op. cit. p. 16

(2) LE CORBUSIER et P. JEANNERET - Op. cit. p. 20

LE CORBUSIER ne croit pas aux rectifications des "pertes perspectives". Il estime avec cependant une formulation assez prudente, que l'oeil transmet à l'esprit "des images presque toujours déformées qui sont reconstituées automatiquement dans leur intégrité".

Dans le même article, LE CORBUSIER esquisse, à propos des maisons du WEISSENHOF, l'argumentation qu'il développera lors de la mise au point du MODULOR. Les dimensions humaines et fonctions humaines présentées comme constantes à travers les âges et les pays permettent de déterminer des hauteurs standards.

Tracé automatique et mesures standard à l'échelle humaine ont déjà été employés pour la maison COOK à BOULOGNE et pour la cité de PESSAC.



A-B-B(A-B)

- HAMBIDGE J. - "Dynamic Symmetry : The Greek vase"
YALE UNIVERSITY PRESS (1924)

Cet ouvrage publié l'année de la mort de Jay HAMBIDGE par les Presses de l'Université de YALE avait été précédé par d'autres publications sur le même sujet. Il faut également retenir dans sa bibliographie "The Parthenon and other greek temples : their dynamic symmetry", ainsi que les éditions (dans la revue "The Diagonal" que la même Université de YALE lui consacrait) de ses cours et conférences. Ceux-ci sont réunis pour donner deux livres. L'un comprend les textes qu'HAMBIDGE envoyait à ses étudiants pendant l'année universitaire 1919-1920 alors qu'il travaillait dans les musées européens ; ils ont été réunis dans un ouvrage publié par sa veuve en 1926 sous le titre "The elements of dynamic symmetry". Le second reprend des cours donnés à son retour pendant l'année 1920-1921. Il est édité en 1932, toujours par les Presses de l'Université de YALE. Il s'agit de "Practical applications of Dynamic Symmetry". Enfin, sur un dernier ouvrage intitulé "Dynamic Symmetry in Composition" nous n'avons pu obtenir plus de renseignements bibliographiques.

Plutôt qu'une analyse du texte de "Dynamic Symmetry : The Greek Vase", nous préférons donner les lignes dominantes de l'ensemble des propositions de J. HAMBIDGE. Celles-ci vont en effet avoir une influence notoire sur les travaux de ses successeurs, tant en ce qui concerne les études d'esthétiques et d'histoire de l'art en général, que les questions de proportion architecturale.

J. HAMBIDGE dit s'être attaché à ses travaux sur la "Symétrie dynamique" parce qu'il ne pouvait admettre les tendances modernes qui considèrent la création artistique comme une activité instinctive. Pour lui, le sens du progrès va, pour l'individu comme pour la société, de la sensation à l'intelligence et de l'instinct à la raison. C'est donc à la recherche de ces rapports rationnels présents dans l'oeuvre d'art qu'il consacre tous ses efforts.

Il met en évidence deux types distincts de dispositifs systématiques de mise en proportion : l'un, qu'il qualifie de statique, et qu'il attribue aux chinois, japonais, mahométans, sarrazins, perses, hindous, assyriens, coptes, byzantins et gothiques - l'autre, qu'il appelle dynamique, qui est le fait des Grecs et des Egyptiens. Le terme générique de "symétrie" étant pris dans l'acception grecque "d'analogie" correspondant aux relations entre les composants de l'objet envisagé.

J. HAMBIDGE estime que l'évolution de la civilisation peut être appréciée par l'absence ou les progrès de cette notion de symétrie. Le dessin du primitif sur la paroi de la caverne est dévié de "symétrie". Progressivement elle apparaît et, sous sa forme statique, correspond à l'usage de formes bi-dimensionnelles régulières comme le carré et le triangle et de multiples éléments commensurables. La forme dynamique est pour sa part liée aux phénomènes de croissance et de mouvement. C'est la symétrie du corps humain et des plantes, celle aussi des 5 corps solides réguliers.

Dans un passage du "Théétète", PLATON évoque les X nombres ou longueurs "commensurables en puissance". J. HAMBIDGE va retenir ces nombres pour caractériser les formes enveloppes de base que constituent les rectangles et les carrés. Un nombre est suffisant pour caractériser les proportions des deux côtés d'un rectangle, il distingue selon ses catégories fondamentales tous les rectangles dont le nombre caractéristique est un nombre entier -

il les qualifie de "statique" - et tous ceux pour lesquels ce rapport est un nombre incommensurable, qu'il appelle "rectangles dynamiques".

Son travail intensif de mesure intéressant aussi bien des plantes que des monuments, des statues, des vases, des miroirs, le conduit à montrer que tout l'art grec du VIⁱème au IIIⁱème siècle utilise ces rapports des rectangles dynamiques. Ainsi, la coupe ci-dessous dont la forme s'inscrit dans une composition de rectangles $\sqrt{5}$ et de carrés.

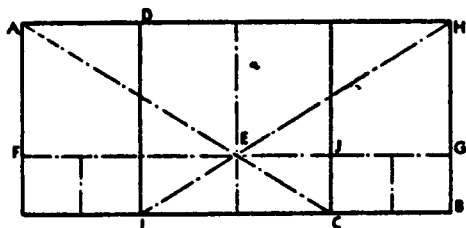


Fig. 18

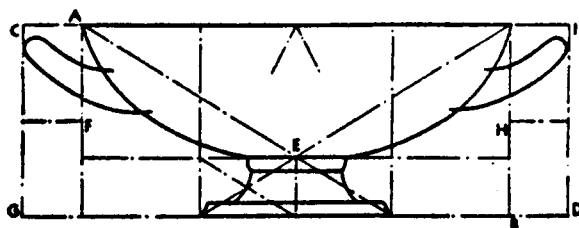


Fig. 19

Les rectangles qu'il rencontre le plus souvent sont celui de module 5 et celui correspondant au module ϕ . Il appelle ce dernier rectangle des carrés tournants.

J. HAMBIDGE développe une investigation sur des séries croissantes de rectangles et des décompositions. Ainsi, il montre que les diagonales caractéristiques de la décomposition d'un rectangle de module ϕ , complément du gnomon carré, se coupent en un point. Ce point est le pôle d'une spirale logarithmique passant par tous les sommets des autres rectangles de module ϕ croissants ou décroissants. L'argument de la justification naturelle de la symétrie dynamique s'appuie sur la mise en évidence de telles spirales dans les formes végétales.

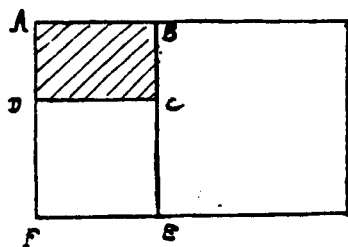


Fig. 72.

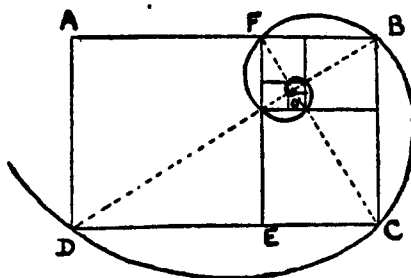


Fig. 73.

Ernst MOESSEL - "Die Proportion in Antike und Mittelalter"
Ed. C.H. BECK, MUNICH (1926)

Elève de Th. FISCHER à MUNICH, Ernest MOESSEL soutient en 1915 une thèse intitulée "Géométrie du cercle, la loi de la proportion dans l'Antiquité et au Moyen-Age". C'est une version condensée de ce travail qui comportait une importante bibliographie qu'il publie en 1926. MOESSEL, architecte-enseignant à la Künste Akademie, propose d'entrée un système de tracé reposant sur la division du cercle ou "Kreisteilung". Il rattache ses travaux aux thèses de THIERSCH et cite les précurseurs qui ont abordé la question des tracés des édifices du Moyen-Age : BOISSEREE, DEHIO, VORACH, VIOLLET-LE-DUC, DE VOGUE. Ils ont étudié le problème des tracés triangulaires, alors que des compléments étaient apportés par WITZEL, WOLF, HAASE et ZEISING. MOESSEL regrette que l'on n'ait pas suffisamment prêté attention aux thèses de ce dernier. Il cite également les travaux de PFEIFFER et de SEMPER qui s'est beaucoup intéressé à la géométrie des polygones.

La division du cercle et la géométrie des polygones forment le fondement formel du système de tracé proposé par MOESSEL. Ce système est une généralisation des autres méthodes qu'il estime englober toutes peu ou prou. Dans la présentation de sa démarche, il dit avoir - sans a priori ni préjugé - effectué un travail de mesure de nombreux bâtiments dans une période allant de l'Egypte ancienne à la fin du Moyen-Age. Il a pu constater à partir de là des répétitions et la présence de "types de rapport". Ce résultat est la conclusion des mesures et non la vérification d'un a priori.

MOESSEL essaie ensuite de situer sa théorie en regard des méthodes scientifiques des autres disciplines. Il pense avoir fait pour l'architecture l'équivalent de ce qui a été entrepris pour l'anatomie comparée ou la biologie végétale. Mais il rattache surtout son travail à la géométrie qu'il estime fondamentale en matière de plastique architecturale face aux outils arithmétiques. L'utilisation de ceux-ci pour les mises en proportion n'apparaît que comme sous-produit d'une méthode géométrique. "Le recours au nombre est le fait de l'artisan. La pensée est géométrique" (p. 5). Le maquillage des méthodes de mise en proportion en règles arithmétiques a, selon MOESSEL, entraîné la disparition des principes géométriques originels.

Dans sa quête pour la reconstitution de ceux-ci, il constate que la division en dix du cercle est le système le plus employé par les anciens. Il ne trouve pas d'explication satisfaisante pour justifier cette prépondérance des divisions du pentagone ou du décagone régulier. Il rappelle que l'origine de la géométrie du cercle renvoie autant à des phénomènes de croyance et de culture qu'à des procédés techniques de chantier ou à des connaissances astronomiques. Les anciens ne séparaient pas la mesure de l'espace et du temps. Les divisions du temps liées à l'observation astronomique, font que les édifices anciens ont tous une orientation et se trouvent rattachés ainsi à une géométrie du cercle élémentaire. Cette géométrie renvoie à la division en quatre points cardinaux, d'où l'on passe aux divisions en huit et seize. Il a bien conscience que cet argument contredit le constat de la prépondérance de la division en 10.

Ayant mis au point un code où le cercle de 360° est exprimé par C, les polygones par des fonctions C/5, C/6... C/10... C/12... les côtés des différents polygones par Si5, Si6, Si10... il présente la gamme des tracés et des rapports correspondants.

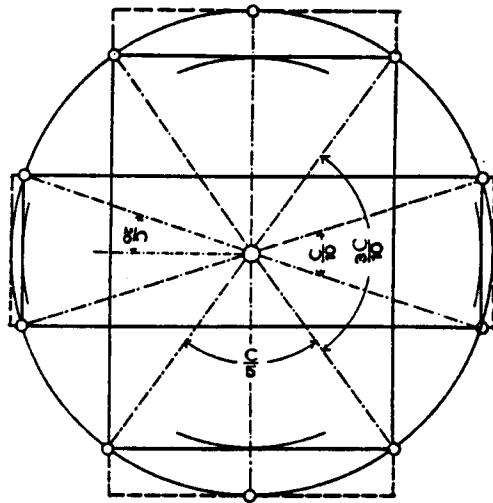


Abb. 1. Die Rechtecke der Kreissteilung

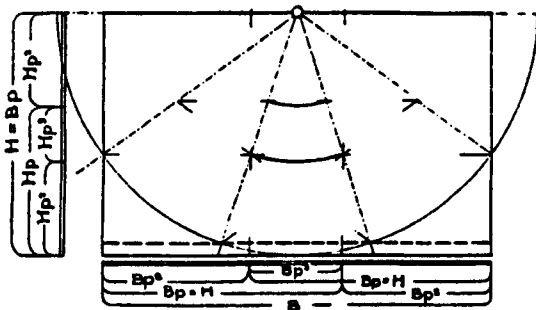


Abb. 2. Das liegende $\frac{M}{m}$ Rechteck

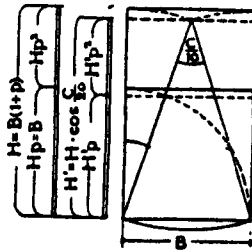


Abb. 3. Das stehende $\frac{M}{m}$ Rechteck

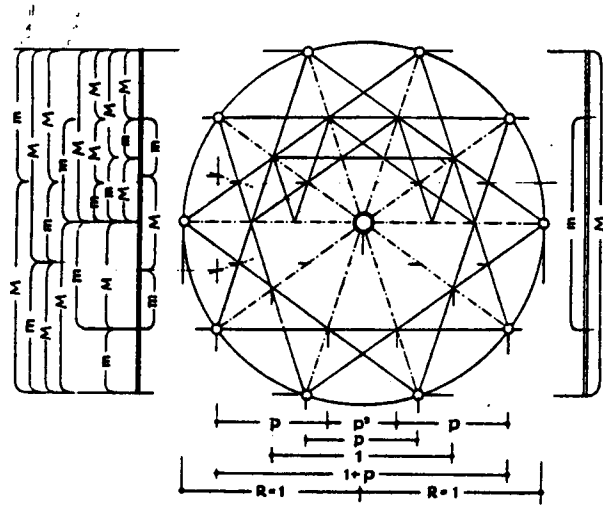


Abb. 4. Das Sternzweck 2. Ordnung

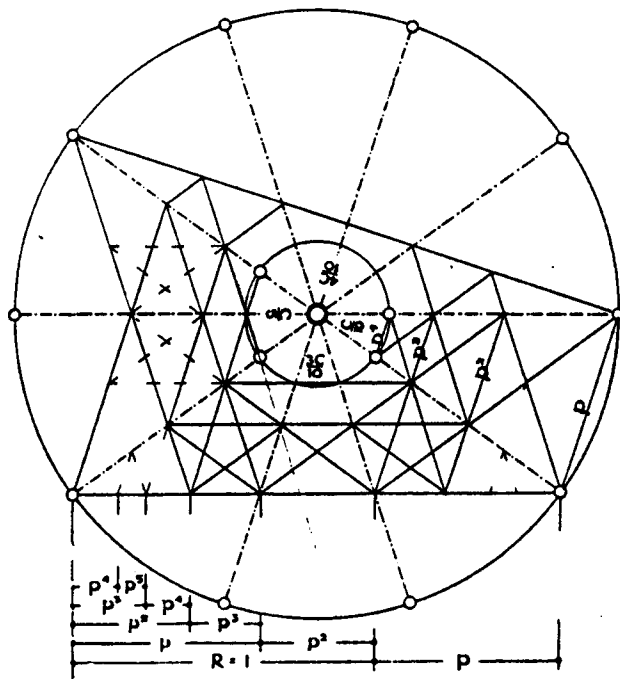


Abb. 5. Proportionale Unterteilung des $\frac{6}{10}$, $\frac{C}{5}$, $\frac{3C}{10}$ und $\frac{4C}{10}$ Dreiecks

Il signale ensuite que pour toutes les divisions du cercle, et quelque soit les polygones résultants, ce sont les rectangles qui représentent les figures les plus importantes et qui forment avec les triangles qui leur correspondent le système définissant les proportions. Il détermine ainsi des "types de proportions".

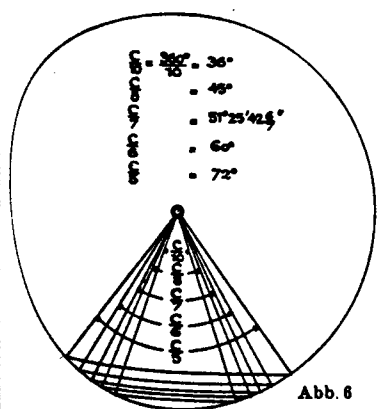


Abb. 6

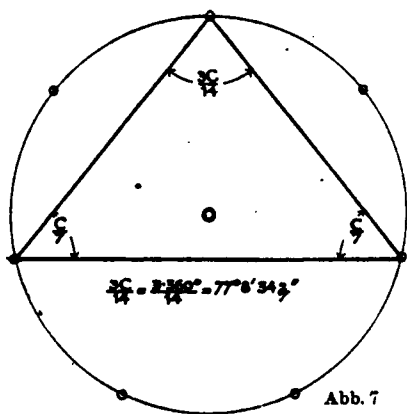


Abb. 7

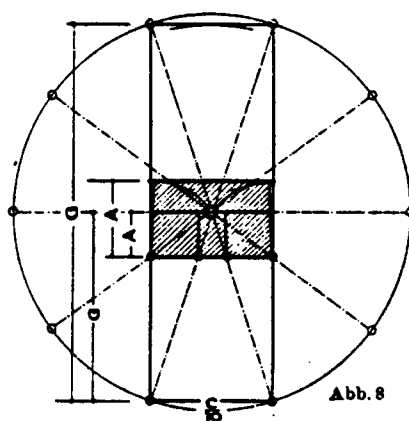


Abb. 8

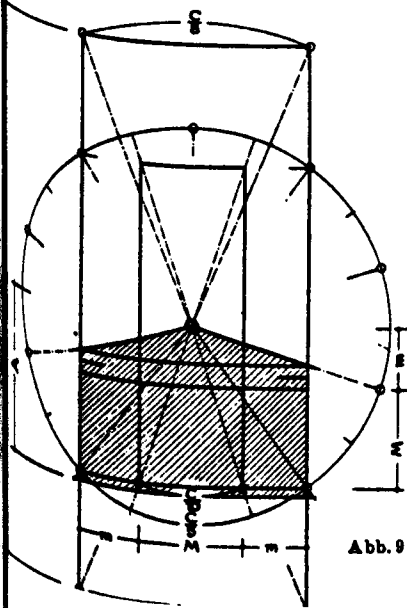


Abb. 9

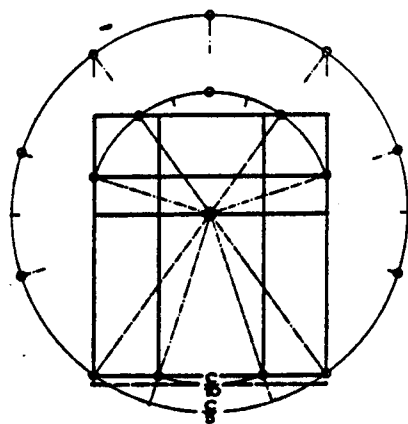


Abb. 10

von Thiersch

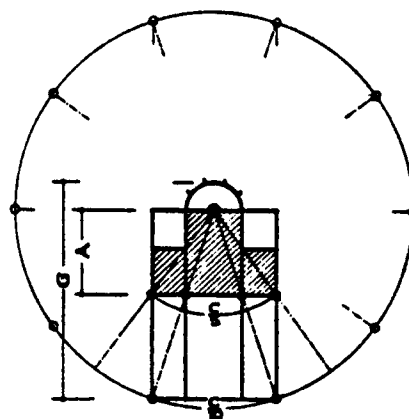


Abb. 11

Proportionstypen

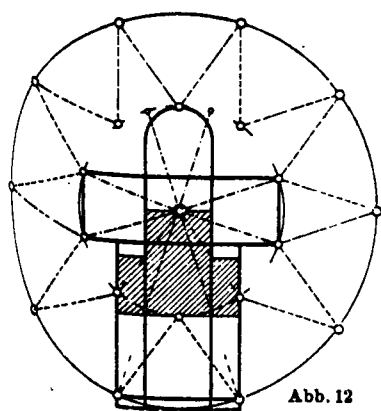


Abb. 12

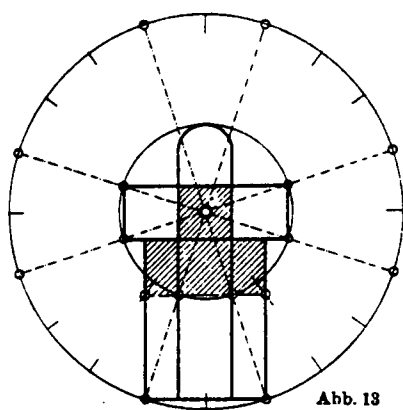


Abb. 13

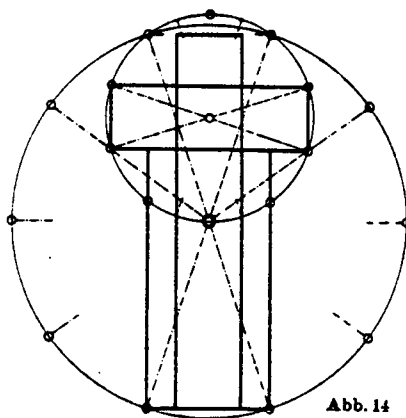


Abb. 14

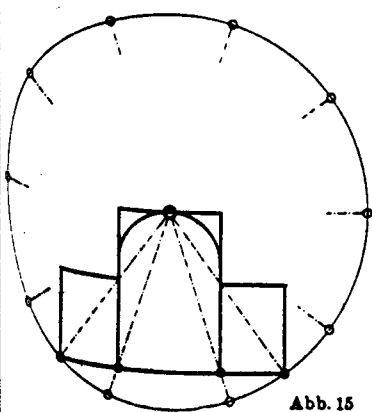


Abb. 15

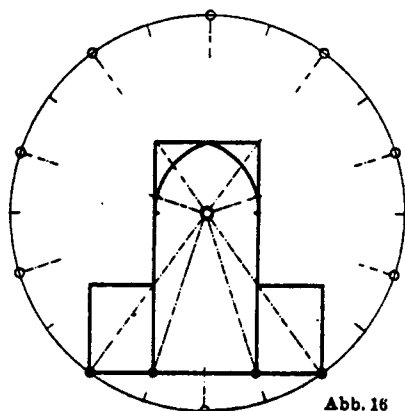


Abb. 16

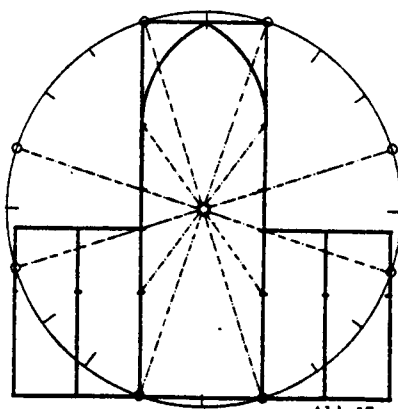


Abb. 17

Proportionstypen

MOESSEL consacre le reste de l'ouvrage à la mise en évidence de cette typologie des proportions à base géométrique pour divers monuments. Il étudie tour à tour :

EDIFICES ET OEUVRES D'ART EGYPTIENS

- Tombeau près d'ABYDOS (OM EL GA'AB)
- Tombeau près de MEMPHIS
- Tombeaux de la nécropole de GISEH (86-87-105)
- Tombe n° 1 de la nécropole de SANIET EL MEITIN
- Temple de NAGA
- Temple de HATHOR à DER EL MEDINET
- Temple de CHUNTSU à KARNAK
- Temple Ouest de PHILAE
- Grand temple d'ESNE

EDIFICES ET OEUVRES D'ART DU PROCHE-ORIENT

- Palais de KHORSABAD

EDIFICES ET OEUVRES D'ART HELLENIQUES

- HERAION d'OLYMPIE
- Temple de la Concorde à AGRIGENTE
- Propylées d'ATHENES

EDIFICES ET OEUVRES D'ART DE LA FIN DE L'ANTIQUITE

- Tombeau à MIRA

EDIFICES ET OEUVRES D'ART DU DEBUT DU CHRISTIANISME, DU MOYEN-AGE ET DE LA RENAISSANCE

- Ancienne basilique SAINT-PIERRE à ROME
- ALHAMBRA de GRENADE
- Eglise ST-MICHEL à ALTENSTADT (en BAVIERE)
- Eglise conventuelle Maria LAACH
- Cathédrale d'ALBI
- Cathédrale de LIMBURG sur le LAHN
- Cathédrale de FRIBOURG en BELGIQUE
- Cathédrale d'ULM
- Cathédrale de REGENSBURG
- Cathédrale de COLOGNE
- Cathédrale de PARIS
- Cathédrale de LAON
- Eglise ST-LAURENT de NUREMBERG
- Maisons paysannes de la Basse-Allemagne
- La cour d'OSTENFELD à LYNGBY près de COPENHAGUE
- La cour de Peter Heldts à OSTENFELD (SCHLESWIG)
- Cours jumelles de la région de HUSUM
- Coupe transversale d'une ferme à OSTENFELD

- GHYKA M.C. - "Esthétique des proportions dans la nature et dans les arts"
Ed. GALLIMARD - PARIS (1927)

"Le Nombre d'Or"
Ed. GALLIMARD - PARIS (1931)

"Essai sur le rythme"
Ed. GALLIMARD - PARIS (1938)

Matila C. GHYKA, officier de marine et diplomate roumain, est surtout connu par son livre "Le nombre d'or". La préface de Paul VALERY, l'édition chez GALLIMARD, donnent un relief particulier à cette publication de 1931 (1). Elle a été précédée chez le même éditeur par un autre livre dont le contenu intéresse ce même thème de l'actualité de la métrologie traditionnelle : héritage de l'antiquité grecque. Il s'agit de l'"Esthétique des proportions dans la nature et dans les arts".

Dans ce livre, M. GHYKA recueille et commente les éléments mis au jour par ses prédécesseurs : MOESSEL, LUND, HAMBIDGE. Il peut, cependant, en raison de sa vaste culture mathématique et scientifique, rattacher les considérations sur le nombre d'or, les incommensurables et les séries aux connaissances plus contemporaines sur la morphologie, la biologie, la physique et les théories mathématiques de PEANO ou de RUSSEL.

Ce premier ouvrage traite autant des formes naturelles que des constructions architecturales et plastiques. M. GHYKA s'appuie sur les travaux de D'ARCY THOMSON (2) pour la présentation de la morphologie naturelle de S. COLMAN (3) et de Sir Th. COOK (4), ces derniers se sont attachés à la description mathématique des formes naturelles et de leurs croissances et, en particulier, pour COOK, travaillant sur la présence des spirales en botanique et dans d'autres structures vivantes. Dans ces explorations, on retrouve avec une régularité notable la section d'or dont la redécouverte est due à l'allemand ZEYSING vers 1850 (5).

La seconde publication de M. GHYKA, "Le nombre d'or" sous titré : "Rites et rythmes pythagoriciens dans le développement de la civilisation occidentale" comprend deux tomes. Le premier intitulé "Les Rythmes" reprend en le simplifiant le contenu de "l'Esthétique des proportions dans la nature et dans les Arts". Le second "Les Rites" est un plaidoyer pour la reconnaissance d'une esthétique "occidentale" dont les lois se perpétueraient depuis PYTHAGORE et PLATON.

Si la première partie est consacrée à la définition d'une théorie mathématique de la forme et à l'historique de l'évolution et de la permanence des idées sur les proportions et les canons géométriques, la seconde, plus philosophique développe la thèse de la transmission continue des arcanes de la doctrine pythagoricienne. M. GHYKA voit dans cette perpétuation la trame de toute "l'Aventure" intellectuelle de la "Race Blanche". L'exposé du premier tome tient compte des apports nouveaux de MOESSEL dont M. GHYKA n'avait pas connaissance dans son travail précédent.

(1) L'ouvrage a été réédité chez le même éditeur en 1959

(2) D'ARCY THOMSON - "On Growth and Form" - 1e édition (1917)

(3) COLMAN S. - "Proportional form"

(4) COOK Th. Sir - "The Curves of life"

(5) GHYKA M. - Op. cit. p. 46

Dans "L'esthétique des proportions dans la nature et dans les arts", M. GHYKA rend hommage au rôle précurseur de Monsieur LE CORBUSIER-SAUNIER (1). Il renouvelle cette mention en publiant dans "Le Nombre d'Or" (2) les façades de la villa STEIN de GARCHES et du plan du MUNDANEUM. En note de la deuxième édition de 1959, il évoque également le Modulor. Les idées puristes défendues par la revue et par le groupe de "l'Esprit Nouveau" sont applaudies par M. GHYKA qui pense qu'elles ont redonné à l'architecte le goût de la simplicité et l'esprit géométrique : celui des corps purs, des proportions harmonieuses... En une extension significative, l'auteur célèbre cette "géométrie de la vie" comme principe ordonnateur non plus des formes figées mais du monde vivant et de ses croissances :

"... Il n'est plus seulement question de mesures empiriques d'esthéticiens cherchant à reconstituer au moyen de la section dorée les "canons" de POLYCLETE, de PHIDIAS ou de LEONARD ; ce sont des hommes de science, naturalistes, botanistes, biologistes, non prévenus et tout à fait étrangers au néo-pythagoricisme esthétique qui ont en morphologie biologique explicité et expliqué scientifiquement la présence de la section dorée, de la série de FIBONACI et des symétries pentadiques apparentées, et qui, en prouvant mathématiquement (1) (*Citation de l'Esthétique des Proportions, chap. II, tome 1*) que ces formes et ces proportions peuvent, par contre, paraître dans des configurations cristallines proprement dites, dépourvues de vie (celles ou les symétries hexagonales et carrée, la première surtout régnant sans partage), ont justifié l'extraordinaire intuition des Pythagoriciens et de PLATON au sujet des rôles distribués aux différents nombres dans le monde des formes" (3)

Nous l'avons dit, le discours sur la morphologie et l'esthétique cède la place aux considérations philosophiques et idéologiques.

L'auteur tente d'appuyer ses convictions sur la filiation pythagoricienne aux connaissances scientifiques de son temps. Cette caution et le recours éclectique à celles-ci viennent étayer un propos ou le traditionalisme évolue par moment vers des arguments strictement racistes.

Le troisième ouvrage de M. GHYKA, "L'essai sur le rythme" de 1938 (4) propose une extension des principes "d'esthétique spatiale" de ses deux précédentes publications, à ce qu'il appelle les "arts de la durée" : musique et prosodie.

Il présente, dans les premiers chapitres, l'état des connaissances sur la question des tracés régulateurs en faisant référence aux travaux de HAMBIDGE et de MOESSEL. A partir du chapitre V, il aborde les thèmes du rythme et de la musique.

La démonstration de la similitude des règles de proportions spatiales et musicales vient étayer la thèse d'une harmonie universelle régissant aussi bien la physique, la mathématique, l'esthétique que la musique. M. GHYKA suit ainsi un schéma qui, partant de la composition géométrique et de la composition musicale, aborde le problème philosophique et métaphysique de la conception pythagoricienne du cosmos à la fois mathématique et harmonique.

(4) GHYKA M. - *Op. cit.* p. 207 - *Citation de "Vers une architecture"*

(5) GHYKA M. - *Op. cit.* - PL. XI et XII

(1) GHYKA M. - *Op. cit.* - p. 158 - Tome 2.

(2) GHYKA M. - *Essai sur le Rythme* - Ed. GALLIMARD, PARIS (1938)

TEXIER M.A. - "GEOMETRIE DE L'ARCHITECTURE.
Essai de géométrie relationnelle"
Ed. VINCENT, FREAL et Cie, PARIS (1934)

Marcel-André TEXIER est architecte en chef des Monuments Historiques. Il doit peut-être à son domaine d'activité une position pessimiste sur l'architecture de son temps. Le désordre qui la caractérise et la décadence qu'il perçoit depuis le 16ième siècle, sont, selon lui, dus à l'insuffisance des règles académiques. A propos d'un travail de restauration de la tour ST-MAURICE-D'EPINAL et du choix de ses proportions, il a été amené à reprendre les études de VIOLLET-LE-DUC de LUND et à lire les écrits (qu'il juge souvent contradictoires) de LE CORBUSIER, de M. GHYKA, d'UMBDENSTOCK et de FORMIGE. C'est à la suite de cette investigation qu'il écrit son livre avec pour objectif de retrouver les principes à la fois arithmétique et géométrique de la tradition.

Dans un premier chapitre consacré à cette tradition, il rend hommage à CHOISY, qui, selon lui, a le premier montré l'existence conjointe d'une approche arithmétique et géométrique des problèmes de mise en proportion et de tracé. Il cite également VITRUVÉ qui donne des proportions modulaires pour les ordres mais signale l'importance de la géométrie, et, dans les explications sur le tracé des théâtres ou sur l'atrium, fait appel à des tracés géométriques. M.A. TEXIER signale comme preuve supplémentaire la trouvaille dans les fouilles romaines, d'un compas de réduction, dont les branches sont dans les proportions de moyenne et extrême raison (signalé par le Manuel d'Archéologie Romaine de CAGNARD et CHAPOT). D'autres exemples d'alliance des méthodes numériques et géométriques sont mises en avant, qu'il s'agisse d'architecture gothique ou de bâtiments de la Renaissance.

Le rappel des hypothèses de ses prédécesseurs, VIOLLET LE DUC, PERROT et CHIPIEZ (auteurs d'une histoire de l'Art dans l'antiquité publiée en 1899), DIEULAFOY, MOESSEL et HAMBIDGE, est suivi de l'exposé de son propre système. Celui-ci s'appuie sur trois notions :

- le nombre-poids considérait le nombre comme un "poids mental" dans l'organisation des formes ;
- les mesures de symétrie, mesures reliées au nombre par le cercle au moyen des divisions de celui-ci qu'il appelle les thèmes. M.A. TEXIER privilégie M 10, M 11 et M 12, correspondant aux divisions par 10, 11 et 12 ;
- les mesures divisibles de la nature qui sont mises en avant par les travaux de M. GHYKA, d'UMBDENSTOCK ou de MONOD-HERZEN.

De cet ensemble, c'est sans conteste les "thèmes" qui constituent l'instrument privilégié de la méthode de M.A. TEXIER. Il en donne plusieurs exemples d'application, comme celui de la cathédrale de LAON, à partir d'un thème en M7, qui est reproduit ci-après.

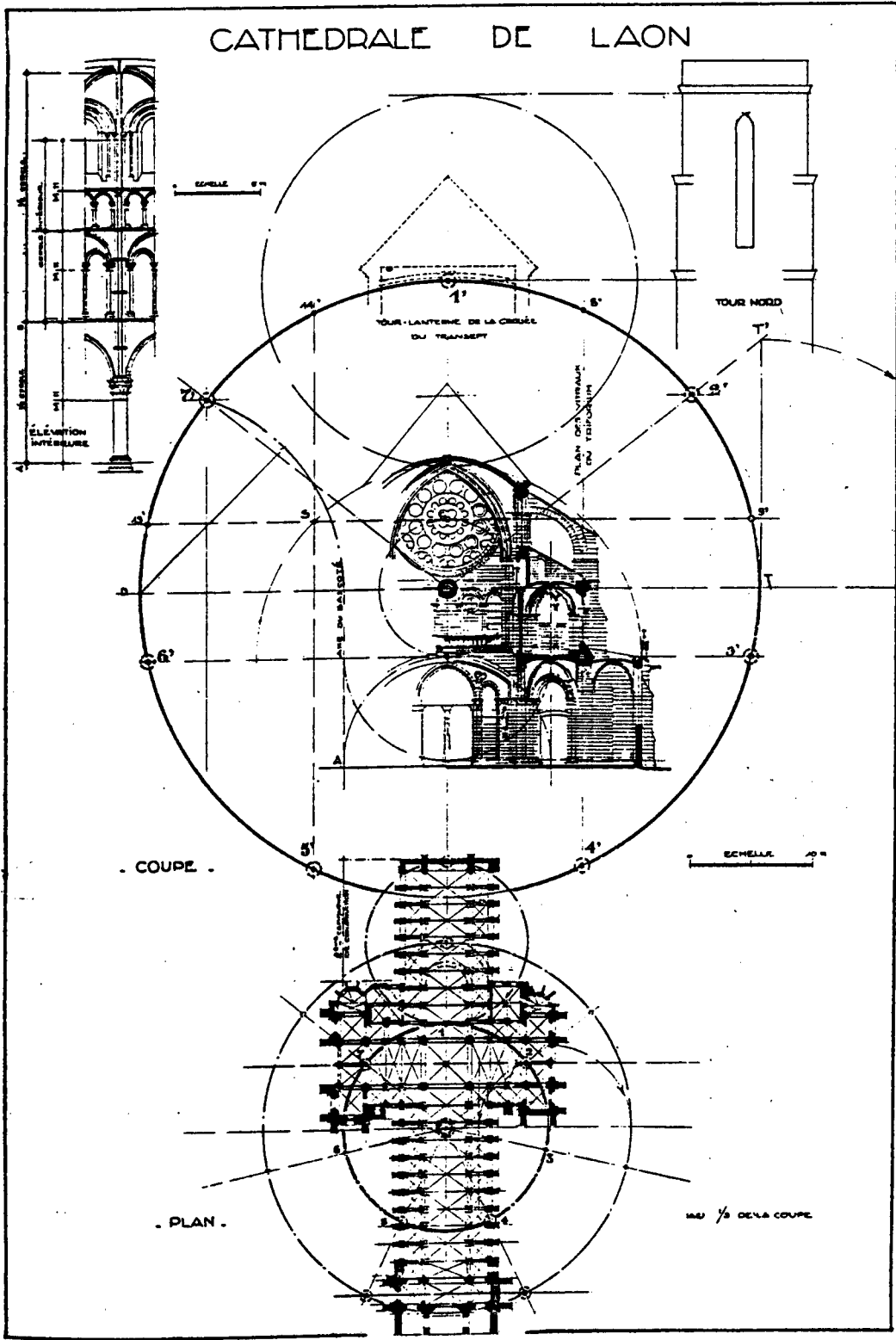


FIG. 37

Les autres chapitres du livre suivent un plan un peu cahotique. M.A. TEXIER consacre le chapitre IV à la géométrie dans l'art grec. Il souhaite évaluer les connaissances scientifiques des grecs par rapport à "la géométrie en tant qu'art". Il rappelle la théorie grecque des nombres et celle des médiètes avant de se livrer à des analyses de l'ERECHEION et du PARTHENON, qui, selon lui, démontrent l'impossibilité d'appliquer à l'architecture grecque la théorie modulaire.

Ce constat l'amène à préciser cet argument dans le chapitre suivant consacré aux "modules arithmétiques" :

"Le module ne correspond à rien dans le sentiment de l'artiste. L'arithmétique et son prolongement, l'analytique, donnent la formule de la courbe mais ce qui intéresse, c'est sa vision, son tracé" (Op. cit. p. 82)

Pour M.A. TEXIER, le recours à une unité modulaire est une notation empirique extérieure à l'art, elle relève des pratiques de chantier :

"Le concept est géométrie. L'exécution tend vers l'arithmétique, la division qui est dans les corps s'applique aux unités de mesure pratiqués par les ouvriers (Op. cit. p. 89)

Des exemples illustrent ce propos. Dans le dernier chapitre consacré à "la méthode d'ALBERTI", M.A. TEXIER trouve dans "De re aedificatoria" des arguments qui confondent son propos. Il utilise la traduction française de 1553 de Jean MARTIN et cite largement les passages du Ier livre où ALBERTI vante les mérites du cercle et des formes polygonales.

"L'aire la plus capable de toute est la ronde, la meilleure après est celle qui a plusieurs angles ayant leurs saillies en dehors".

ALBERTI cite les polygones à 6, 8, 10 puis 12, 16 (qui font chose belle et nullement impertinente) et même 24 côtés (mais cela se peut compter entre les choses rares). M.A. TEXIER regrette que cette énumération ne fasse pas place aux polygones à nombre impair de côtés : 7, 11 et 9. Il donne dans une annexe des éléments nombreux de tracé à la règle et au compas comportant notamment les méthodes approchées de tracé des thèmes M7, M9 et M11.

Une autre annexe traite du problème des corrections perspectives à partir du rappel du texte de VITRUVÉ.

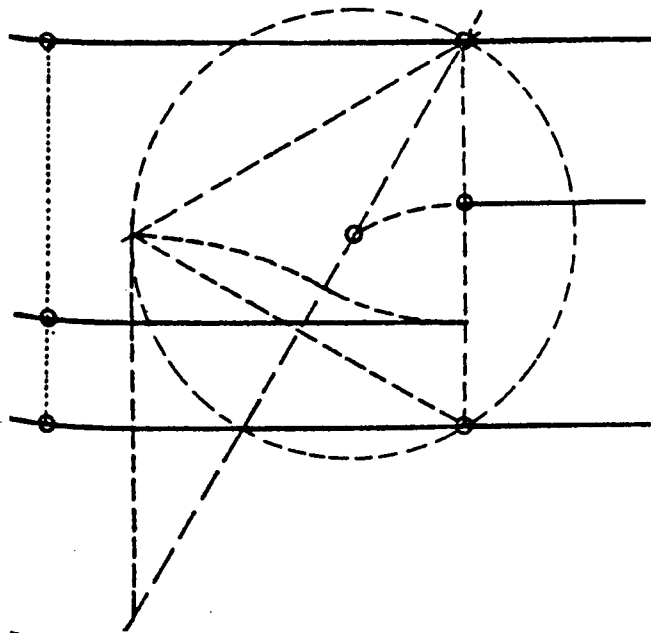


FIG. 73

A gauche : $\sqrt{3}-1 = 0,732$
inverse = 0,267.

A droite : autre tracé de $1/\sqrt{3}$

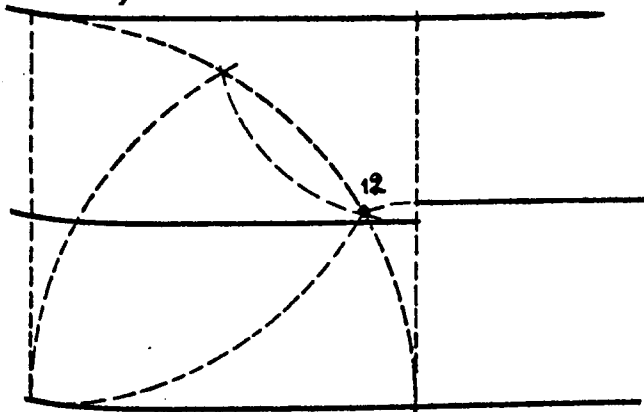


FIG. 74

M. 12, tiré de la division du
cercle en 12 parties (deux tracés
symétriques) = 0,517.

Inverse = 0,492.

2^e GENRE (cité par Vitruve).

Division du cercle en 4, 8, 16, etc., parties.

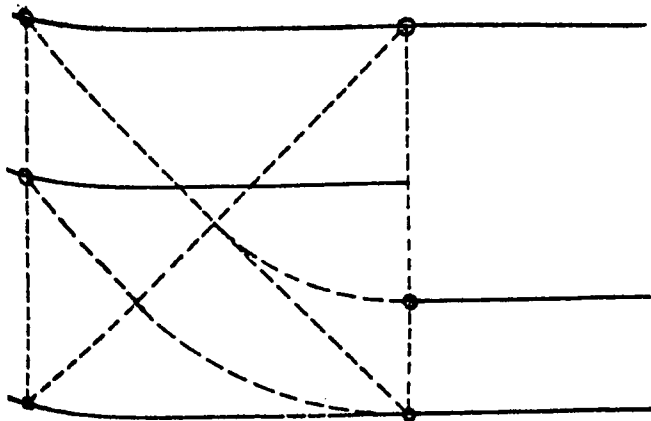


FIG. 75

A gauche : $\sqrt{2}-1 = 0,4142$
inverse = 0,5857.

A droite : $\frac{\sqrt{2}}{2} = \frac{1}{\sqrt{2}} = 0,707$
inverse = 0,292.

N.B. : Il y a 7 pages de ce type dans "GEOMETRIE DE L'ARCHITECTURE".

MAILLARD E. - "DU NOMBRE D'OR,
Diagrammes de chefs d'oeuvre"
Ed. André TOURNON et Cie, PARIS (1943)

Fille d'un professeur de mathématiques de l'Université de POITIERS, elle-même conservateur au Musée de CLUNY, Elisa MAILLARD trouve dans la vogue des études de tracés, l'occasion de conjuguer ses activités d'historienne d'art et l'influence familiale. A côté de publications spécifiques d'histoire de l'art, elle a écrit deux articles sur le thème du nombre d'or - l'un dans le bulletin de l'Institut archéologique bulgare (Tome XI - 1937 - p. 243-248) - l'autre dans les actes du Colloque International d'Esthétique et de Sciences de l'Art (Tome 2, p. 262-265, PARIS, 1937)

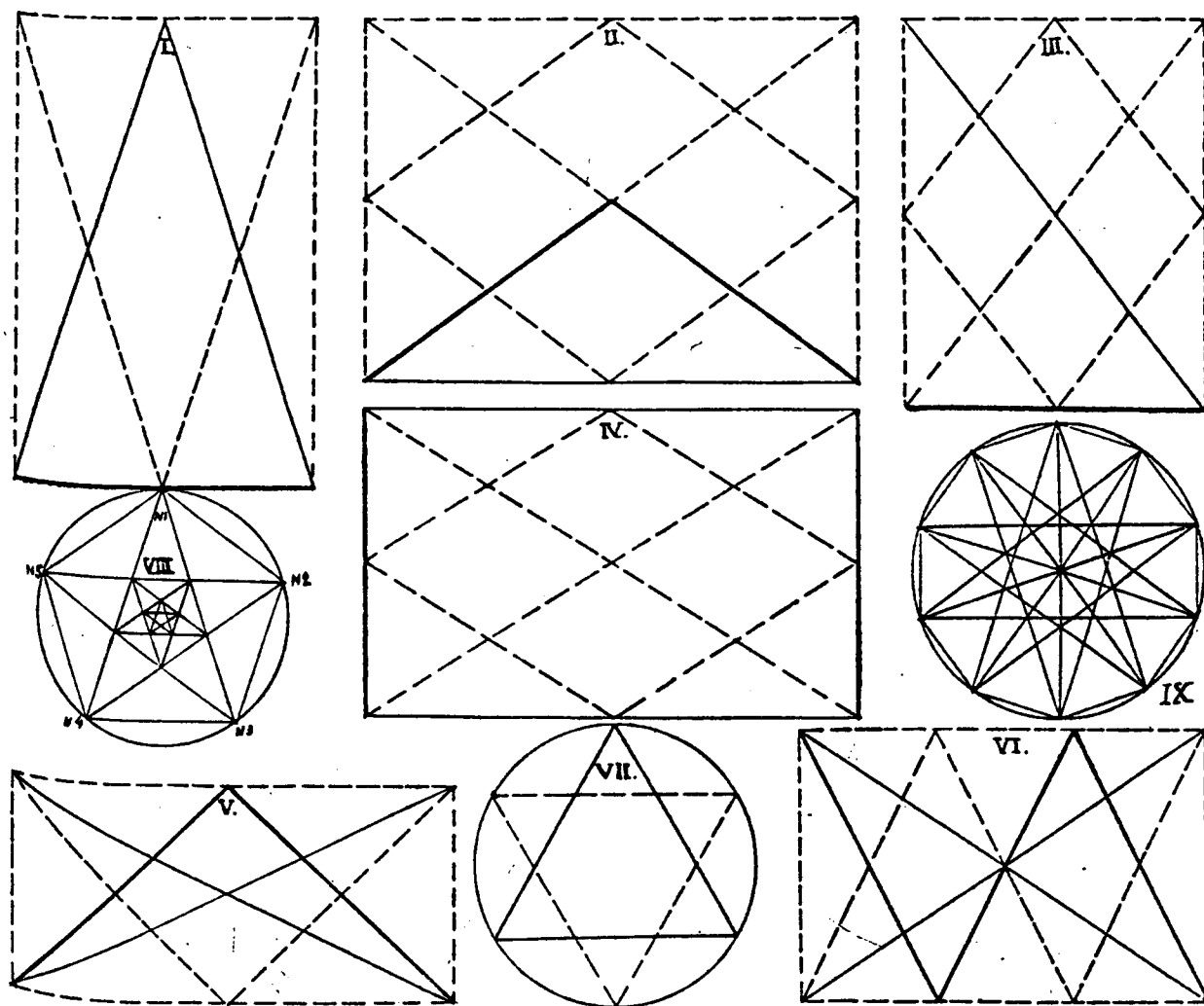
Son livre, assez succinct, reprend certains résultats et certaines analyses figurant dans ces publications. Il commence par un hommage appuyé aux travaux de M. GHYKA et par une apologie du nombre d'or.

"Grâce aux diagrammes qui constituent leur structure voilée, les chefs d'oeuvre que nous publions correspondent à la définition des symmetria de l'Antiquité. Ces diagrammes (qu'ils soient basés sur un thème pentagonal ou que, plus simplement, ils assemblent des rectangles, des losanges ou des triangles) sont mis en proportion avec un seul rapport : Le Nombre d'Or, source d'harmonie qui entraîne dans son cours, de l'ensemble de l'oeuvre jusqu'à ses moindres subdivisions, le reflet aux dimensions croissantes de l'image initiale." (Op. cit. p.8)

E. MAILLARD utilise une méthode d'analyse graphique qu'elle estime objective et dénuée d'idées préconçues. Elle part du cercle qu'elle trace à partir d'un point remarquable :

"Le centre de la circonférence (ou pôle géométrique) d'une composition à structure pentagonale doit, lorsqu'il s'agit d'une aire délimitée par le Nombre d'Or, correspondre à quelque point géométrique remarquable. Section dorée de la hauteur ou de la largeur, intersection de diagonales, etc..."

et recherche les triangles, rectangles, pentagones connexes et étoilés qui constituent la trame explicative de la structure de l'oeuvre analysée et qu'elle appelle les "éléments géométriques de ses diagrammes"



ELEMENTS GEOMETRIQUES DE NOS DIAGRAMMES

Traits forts : extrêmes raisons ; traits faibles : moyennes raisons de la Section dorée.

Lignes de tirets : rectangles d'encadrement ou réseaux engendrés par des diagonales.

I. — Triangle doré isocèle, avec son rectangle d'encadrement et son réseau de mailles losangées.

II. — Triangle doré isocèle, avec son rectangle d'encadrement et son réseau de mailles losangées.

III. — Triangle doré rectangle, avec son rectangle d'encadrement et son réseau de mailles losangées.

IV. — Rectangle doré, avec son réseau de mailles losangées.

V. — Rectangle d'encadrement, avec double réseau de mailles losangées.

VI. — Rectangle d'encadrement, avec double réseau de mailles losangées.

VII. — Triangle équilatéral et division hexagonale de la circonférence par deux triangles équilatéraux (image connue sous l'appellation de Sceau de Salomon).

VIII. — Division de la circonférence par un pentagone étoilé et un pentagone convexe ayant leurs sommets communs.

IX. — Division de la circonférence par un décagone convexe, par dix rayons et par deux pentagones étoilés.

La présence de ceux-ci est recherchée d'abord dans des oeuvres d'art puis dans des édifices religieux. L'échantillonnage des uns et des autres est réduit. Pour les constructions, les diagrammes sont successivement mis en évidence pour :

- Sainte Sophie de CONSTANTINOPLE et son baptistère
- Saint Jean de MESSEMBRIE en BULGARIE
- Saint Théodore et la Petite Métropole à ATHENES
- Notre-Dame de THORONET
- Saint-Pierre de PARTHENAY

A l'appui de cette démonstration, E. MAILLARD essaie de montrer comment les outils d'un architecte allemand du XVII^{ème} siècle conservés au Musée de CLUNY ont servi à tracer les diagrammes des triangles dorés et des pentagones étoilés. Si la démonstration est acceptable pour l'équerre pliante, elle est beaucoup plus discutable pour le tracé du pentagone au moyen du fil à plomb.

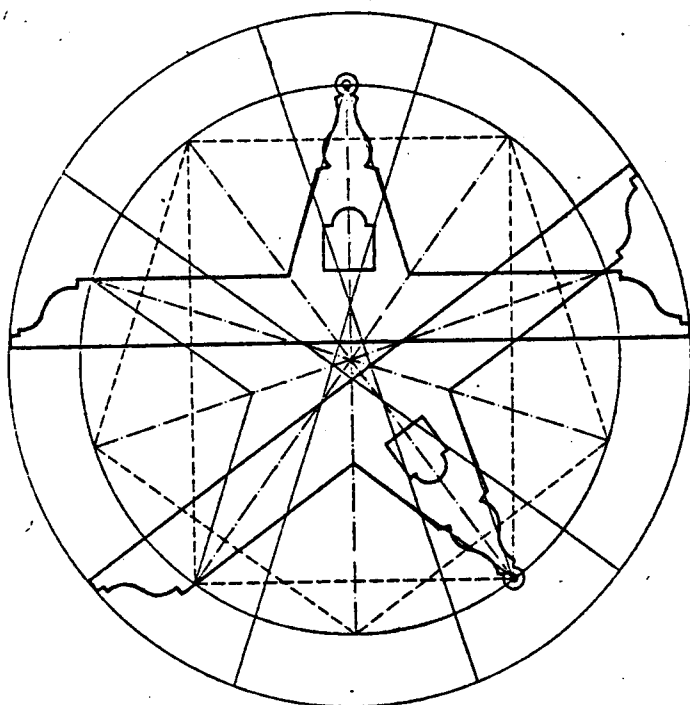
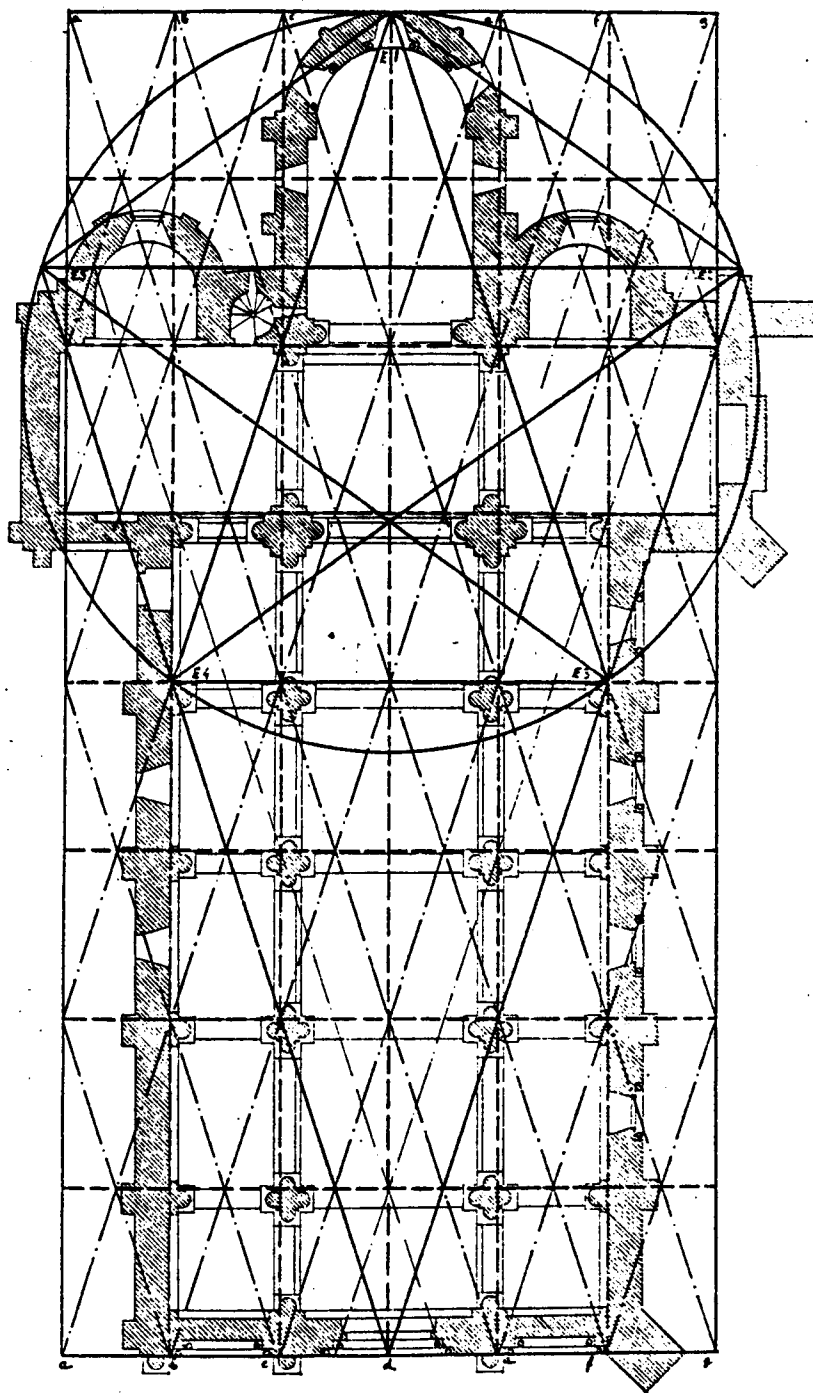


Schéma du pentagone étoilé tracé avec le fil à plomb.

SAINT-PIERRE DE PARTHENAY-LE-VIEUX

xii^e siècle.*(Rectangle et triangle du type I.)*

- JOUVEN G. - "RYTHME ET ARCHITECTURE.
Les tracés harmoniques"
Ed. VINCENT FREAL et Cie, PARIS (1951)

Dans l'introduction de ce premier ouvrage, G. JOUVEN reconnaît sa dette vis à vis des théories de M. GHYKA, tout en faisant part de ses doutes sur celles de LUND et de MOESSEL. Il développe une position sur les tracés qui s'appuie sur les acquis de la tradition. Il rappelle les débats sur le tracé de la cathédrale de MILAN et le contenu du 5ième livre du cours de F. BLONDEL qu'il considère comme l'initiateur des analyses graphiques. Dans les chapitres suivants, il oppose le tracé modulaire, celui du "report à l'unité" (ou "symétrie" dans l'acception vitruvienne), au tracé géométrique. G. JOUVEN associe les nombres rationnels à la symétrie et les nombres irrationnels à la géométrie. Selon lui, seuls les initiés connaissent l'utilisation de ces derniers.

Le reste du livre est consacré aux tracés proprement dits. La théorie d'HAMBIDGE de définition des "rectangles dynamiques" à partir du carré, constitue le point de départ de G. JOUVEN. Les principaux thèmes (2, 3, 5 et \emptyset) et leurs propriétés font l'objet d'une description générale suivie d'une présentation mathématique. Pour celle-ci, G. JOUVEN a fait appel à deux mathématiciens qui proposent :

- une étude et une justification analytique du principe de la récurrence des formes,
- un travail sur la représentation algébrique des thèmes, montrant l'identité de cette notion de thème avec le concept de corps algébrique.

La méthode d'analyse graphique pour la recherche des tracés, les exemples d'application de tracés, l'histoire des tracés constituent la part importante de l'ouvrage. Dans le chapitre sur l'histoire des tracés, G. JOUVEN s'efforce de dater l'apparition des thèmes et de donner quelques jalons historiques de leur emploi (apparition du thème " 2" à ROME, dans les plans de l'ancienne basilique ST-PIERRE, utilisation du thème 5 à ST-LAURENT et à SAINTE-CROIX de FLORENCE... etc).

La disparition des corporations et de l'Académie d'Architecture, les procédures désséchantes et systématiques de J.N.L. DURAND, l'influence des idées de J. GUADET dans l'aménagement des Beaux-Arts, l'emploi généralisé du papier calque, qui permet la mise au point rapide de plusieurs esquisses entre lesquelles on peut choisir de "façon sentimentale", sont autant de raisons qui, selon G. JOUVEN, expliquent la désuétude dans laquelle sont tombés les tracés.

L'ouvrage comporte, in fine, un chapitre sur le secret qui entourait la connaissance des tracés ainsi qu'un autre sur l'application de ceux-ci aux autres arts.

Les édifices ou parties d'édifices suivants sont analysés :

- Sainte-Sophie de CONSTANTINOPLE
- Porte de Brisach à BELFORT
- Hotel de Ville de LYON
- Péristyle du Grand Trianon
- Ermitage de Madame de Pompadour à FONTAINEBLEAU
- Pavillon du BUTARD
- Porte d'entrée de la Cour du Cheval Blanc à FONTAINEBLEAU
- Hôtel de Mademoiselle Guimard
- Pavillons de la Direction des Salines de CHAUX
- Salle des Bosses de la Ville de CHAUX
- Porte et place de Bourgogne à BORDEAUX
- Façade de l'Hôtel de MONTMORENCY
- St-Pierre de ROME et Ste Praxède (plan)
- San Lorenzo et Santa Croce à FLORENCE (plan)
- Château d'AUCY-LE-FRANC (plan)
- Les Tuileries (plan)
- Les Invalides (plan)
- VERSAILLES (plan)
- Basilique de TIGGIRT
- Cathédrale de PARENZO
- Chapelle des Jésuites de BLOIS
- Basilique de VALPOLICELLA
- Eglise de St BENOIT-SUR-LOIRE.

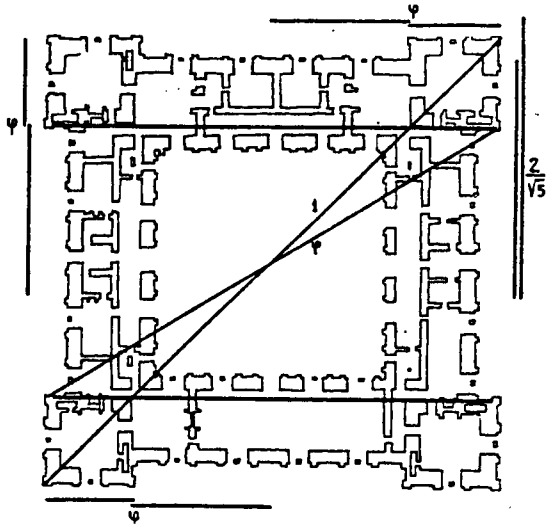


FIG. 58. — Tracé du plan du château d'ANCY-LE-FRANC.

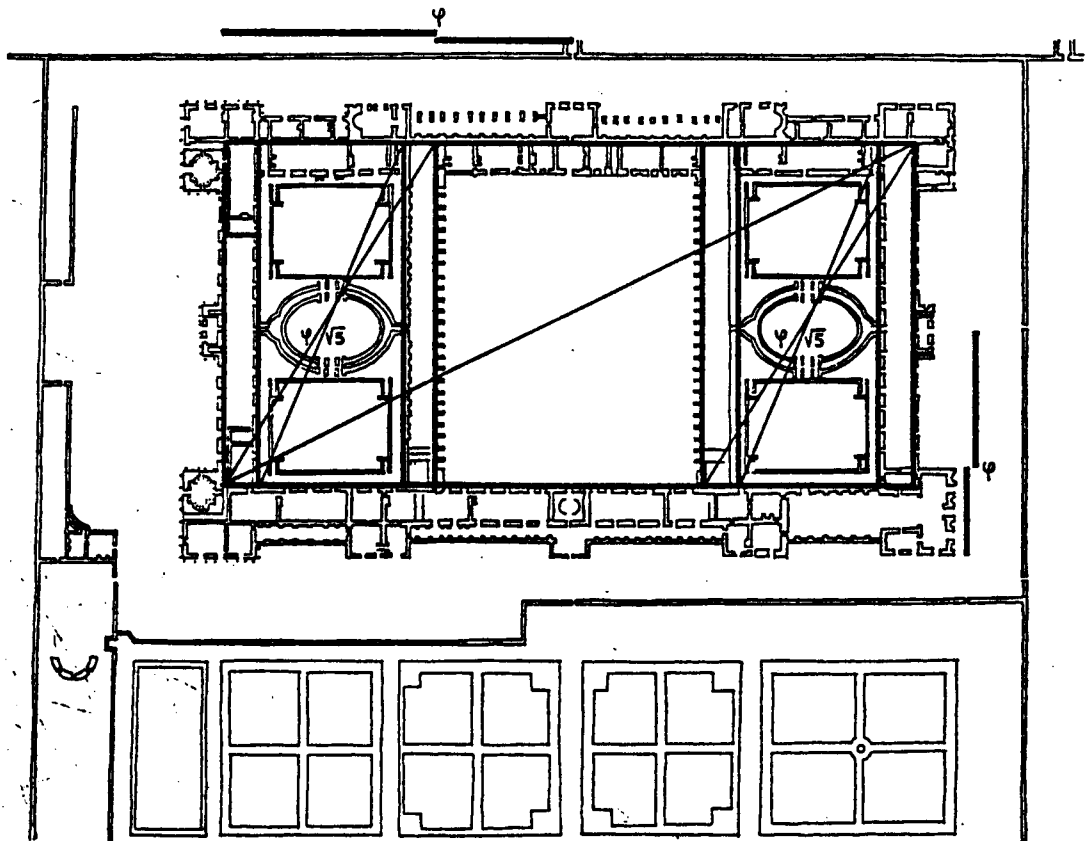


FIG. 59. — Tracé du plan des Tuileries (1564).

- JOUVEN G. - "Les nombres cachés,
Esotérisme arithmologique"
DERVY-LIVRES, PARIS (1978)

A l'issue de recherches sur les tracés harmoniques architecturaux, qui constituaient son objet d'étude initial, G. JOUVEN estime que cette discipline n'est qu'un des aspects du domaine beaucoup plus étendu de l'ésotérisme des nombres. Selon lui, cette importance du nombre est évoquée de la manière la plus frappante dans la Bible et plus précisément dans le verset du Livre de la Sagesse concernant le grand architecte.

Il définit l'ésotérisme arithmologique comme l'expression de la correspondance chiffrée entre deux espèces d'invariants cosmogoniques. Ceux-ci concernent respectivement : le "microcosme" des invariants conceptuels (aussi bien humains que divins ajoute-t-il) constitués par les nombres et le "macrocosme" correspondant aux invariants de la création que sont les planètes et de manière plus générale les éléments du cosmos. Face à l'ésotérisme spéculatif de la cabale, des traditions des loges et du symbolisme spéculatif sacré de R. GUENON, il définit un "ésotérisme opératif" qui devrait l'amener à étudier les manifestations de l'arithmologie dans des activités courantes. Son propos évolue plutôt vers des considérations mystiques : le Dieu unique est identifié au nombre un, les nombres triangulaires sont considérés comme semi-divins, l'arithmologie renseigne sur la manière dont Dieu calcule le monde. L'ouvrage s'inscrit ainsi dans la tradition de la pensée pythagoricienne ou plus précisément des spéculations néo-pythagoriciennes sur le sujet.

- JOUVEN G. - "L'ARCHITECTURE CACHEE
Tracés harmoniques"
Ed. DERVY-LIVRES, PARIS (1979)

Dans ce livre récent, G. JOUVEN reprend et réordonne une partie du contenu de "Rythme et Architecture".

Le propos est introduit par l'évocation de la querelle des Anciens et des Modernes et des débuts de l'Académie d'Architecture. G. JOUVEN avance l'hypothèse que la facette architecturale de cette grande polémique dans les Arts et les Lettres à la fin du XVIII^e et au début du XVIII^e siècle, oppose les tenants de l'ésotérisme spiritualiste initiés dans la tradition des tracés, aux Modernes s'appuyant sur une matérialité dégagée de toute tradition métaphysique. Il rappelle les liens existant entre les notions de tracé et la théorie architecturale, en distinguant les tracés modulaires arithmétiques (ceux du report à l'unité) et les tracés géométriques ou dynamiques marqués par ce qu'il appelle la récurrence des formes.

Cette présentation (dont la teneur est, comme nous l'avons signalé, très proche de celle de "Rythme et Architecture"), est suivie d'exemples d'application de la méthode d'analyse graphique préconisée. Là encore nous retrouvons pour l'essentiel le corpus des édifices étudiés dans l'ouvrage de 1951. Des exemples égyptiens, grecs et romains complètent l'ensemble initial. Ainsi, G. JOUVEN, utilisant des relevés archéologiques récents, donne des tracés pour les édifices suivants :

- Les Pyramides de GUIZEH
- Le complexe funéraire de l'Horus Sekhem Khet
- Le Parthénon

- Les Propylées
- L'Erectheion
- Le temple de Poseidon à PAESTUM
- le grand autel d'Hieron II à SYRACUSE
- Le temple de Bel à PALMYRE.

Il faut ajouter à ces édifices antiques l'exemple contemporain de tracé harmonique de la Villa de GARCHES de LE CORBUSIER.

Les conclusions de l'ouvrage reprennent l'argumentation qu'il avait déjà développée en 1951.

Pour lui, le déclin des oeuvres architecturales sensible à partir de la fin du XVIIIe siècle est dû à la disparition des procédés de tracé et de l'esprit initiatique qui le faisait vivre.

"Les Initiés, guidés par des règles précises, composaient et traçaient dans l'exaltation des grandes certitudes, se livrant obligatoirement à un énorme travail de simplification et de systématisation... Et, s'il est un point sur lequel tout le monde peut être d'accord, Initiés et non Initiés, Anciens comme Modernes, c'est que l'Architecte doit posséder l'esprit de géométrie, base immuable et nécessaire de toute composition ; et bien que les tracés ne soient pas matériellement perçus ni faits pour être perçus, certaines architectures clament qu'elles ont été tracées..." (1)

JOUVEN conclut sur une position spiritualiste. A l'appui de ce qu'il présente comme évidences positivistes : les lois de la pesanteur, celles de la résistance des matériaux, il est nécessaire d'ajouter des lois spirituelles structurelles. Ces lois spirituelles ont pour exercice la pratique des règles du nombre et des tracés. Elles permettent de mettre en correspondance le domaine de l'invisible avec les éléments matériels de l'architecture.

La méthode donnée en annexe pour pratiquer dans des conditions satisfaisantes l'analyse graphique est assortie d'appréciations peu amènes sur les "pyramidistes" de toute nationalité, auteurs "d'in vraisemblables analyses graphiques assaisonnées d'in vraisemblables théories".

(1) JOUVEN G. - "L'architecture cachée" - p. 252

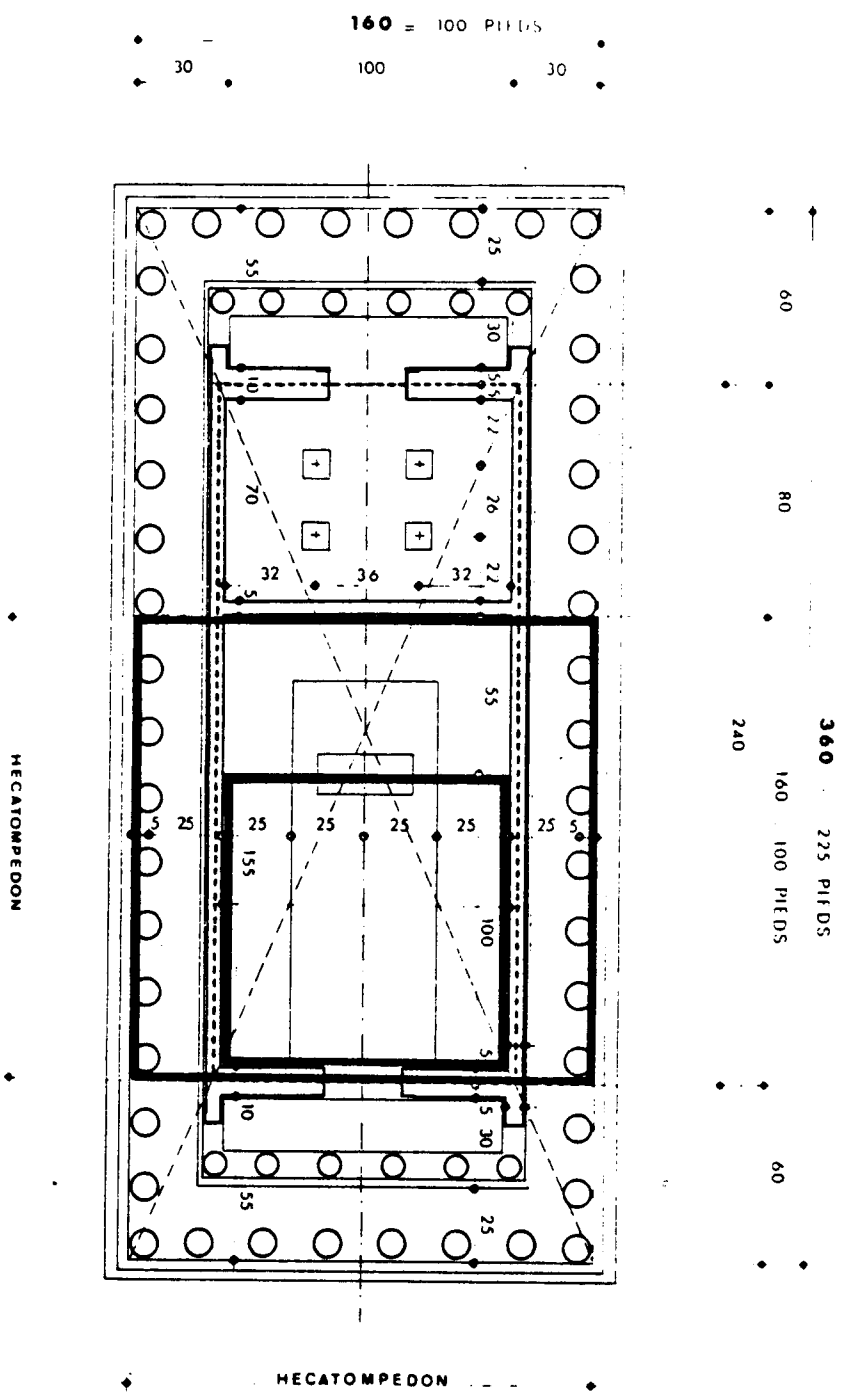


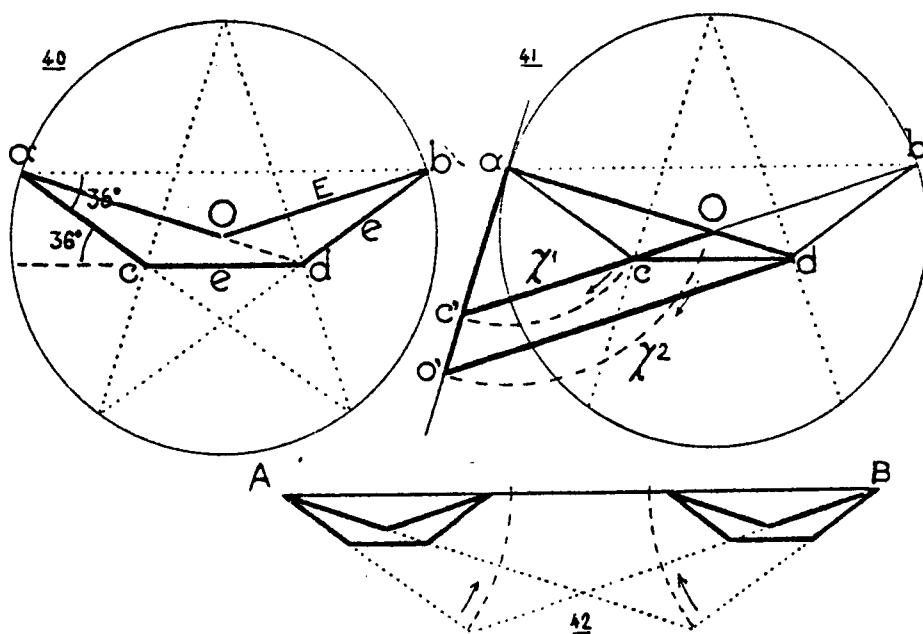
Fig. 28

Tracé modulaire du plan du Parthénon
Expression des nombres premiers : 2. 3. 5

FUNCK-HELLET Ch. - "DE LA PROPORTION
L'équerre des Maîtres d'Oeuvre"
Ed. VINCENT, FREAL et Cie, PARIS (1951)

Médecin, s'étant pris de passion pour l'étude des tracés, le Docteur Ch. FUNCK-HELLET publie trois ouvrages consacrés au "Très noble et très droit réseau fondamental". Le second : "De la proportion" sous-titré "L'Equerre des maîtres d'oeuvre", concerne directement l'architecture.

Dès l'avant-propos, l'auteur annonce le choix de l'équerre comme instrument privilégié de son investigation sur la mise en proportion. Il va, en conséquence, rechercher des triangles caractéristiques dans les plans et dans les coupes des édifices. Le développement des rappels habituels sur l'historique de la question et sur les éléments mathématiques nécessaires, est suivi d'une présentation des différents triangles rectangles qui vont être utilisés pour rechercher les tracés. FUNCK-HELLET distingue ceux qui ne sont pas apparentés au nombre d'or : triangle de PYTHAGORE, triangle rectangle isocèle, et ceux qui lui sont apparentés. Il distingue pour ceux-ci le demi-rectangle \emptyset et deux autres triangles qu'il qualifie de "triangles ésotériques du nombre d'or" ou de triangles à la fonction \emptyset cachée. L'un est le triangle des coordonnées décagonales χ^1 l'autre le triangle χ^2 a ses côtés dans le rapport $\sqrt{5}/\emptyset$. Leurs tracés à partir d'un "mystérieux pentagone inversé" sont reproduits ci-après :



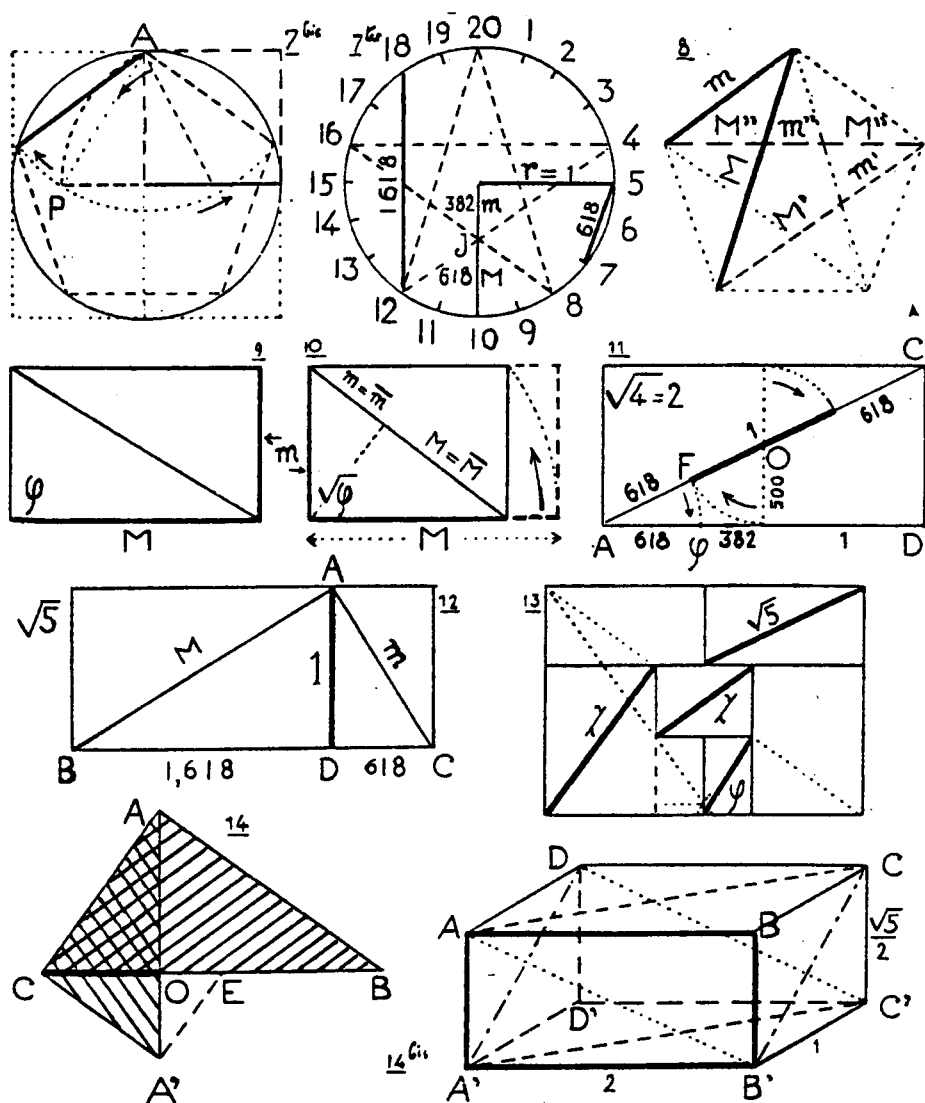


FIG. 7 b. - Construction du pentagone suivant figure 6. — FIG. 7 ter et 8. - Les rapports φ dans les pentagone et décagone. — FIG. 9 et 10. - Rectangles φ et $\sqrt{\varphi}$. Ici, les extrêmes majeur et mineur sont comme majeur et mineur du rapport φ . — FIG. 11. - Le double carré et les valeurs $\varphi, \frac{1}{\varphi}, \chi^2$ ou $1,382$. — FIG. 12. - Rectangle $\sqrt{5}$. $BAC = \text{rect. } \varphi$. La proportion $\varphi : BD = 1,618$; $AD = 1$; $DC = 0,618$. — FIG. 13. - Rectangle χ : Décomposition par diagonale et perpendiculaire sur elle (pointillé). Trois rapports différents; or, proportion est égalité de rapports. — FIG. 14 - Triangles proportionnels enchainés: « Symmetria ». — FIG. 14 b. - La Chambre du Roi de la Grande Pyramide.

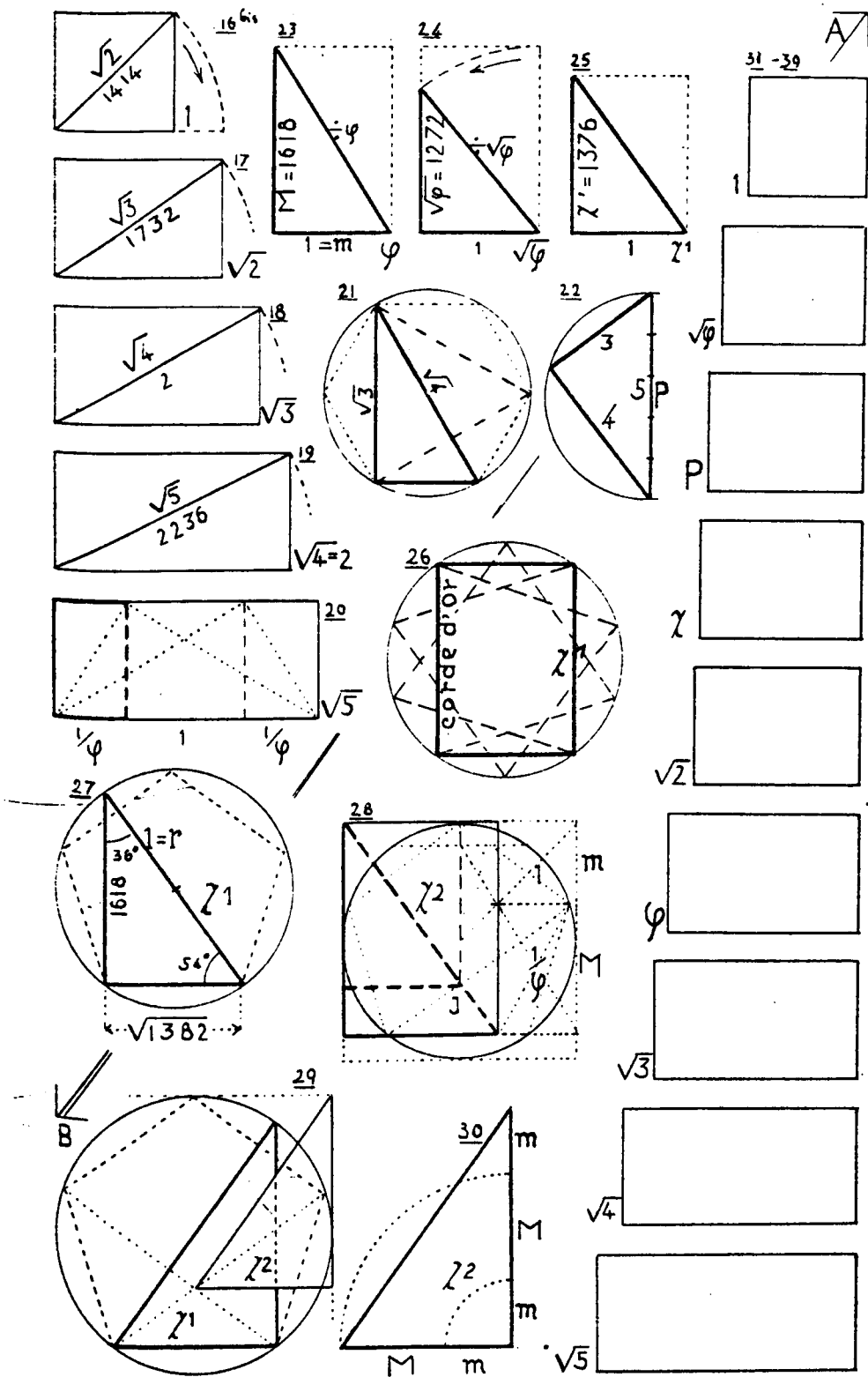


FIG. 16 b à 20. - Série de rectangles par abattements successifs des diagonales. — FIG. 21. - Rapport $\sqrt{3}$ et hexagone. — FIG. 22. - Triangle rectangle de Pythagore. FIG. 23 à 25. - Triangles rectangles φ , $\sqrt{\varphi}$ et χ_1 . — FIG. 26 et 27. - Le rapport χ_1 , décagone et pentagone. — FIG. 28. - Rapport χ_2 et pentagone. — FIG. 29. - Comparaison des 2 rapports χ_1 et χ_2 . De A vers B, divergence des diagonales χ_1 et χ_2 . — FIG. 30. - Rapport χ_2 . Valeurs φ sur les cathètes du triangle. — FIG. 31 à 39. - Grandeur relative de rectangles divers.

En citant un commentaire de VITRUVÉ dû à Walter RIVIVS en 1548, FUNCK-HELLET a sans doute une bonne vision du rôle instrumental des règles du cordeau pour la mise en oeuvre sur le chantier. Il y trouve en outre le titre générique de ses trois ouvrages : "Dans les grands bâtiments, pour établir le plan de terre, on se sert de pieux, de cordes et de cordeaux tirés d'après le fil à plomb. Ce tracé directeur est établi d'après le très noble et très haut réseau fondamental du triangle et divisé en trame quadrangulaire."

Mais si l'emploi de l'équerre 3, 4, 5 est à peu près certain, l'utilisation des équerres ésotériques est plus hypothétique. FUNCK-HELLET s'efforce pourtant d'en donner des preuves. Après le rappel des quelques démonstrations d'utilisation dans la peinture, il procède dans la deuxième partie à des "analyses et restitutions proportionnelles".

Il appelle tout de même l'attention sur les difficultés qui ressortissent à l'inexactitude des documents de relevé utilisés ou à la petite échelle de ceux-ci. Ces réserves ne l'empêchent pas d'appliquer résolument ses "équerres" aux plans et coupes d'édifices religieux, d'édifices civils, et de monuments de l'antiquité.

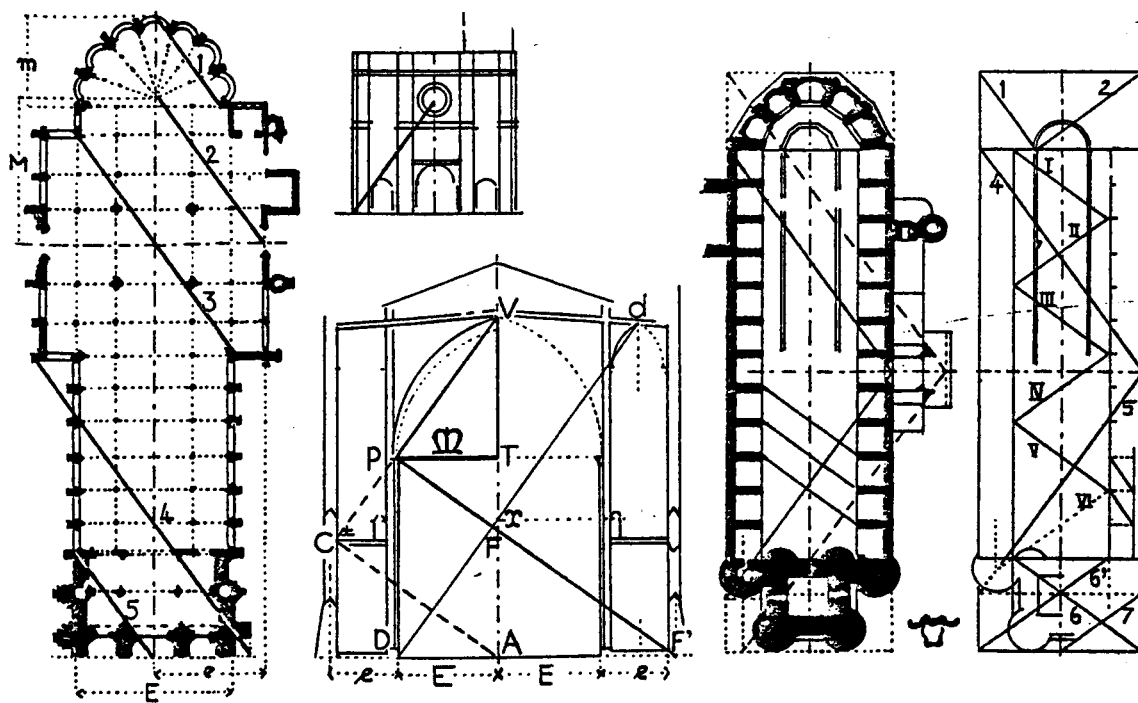
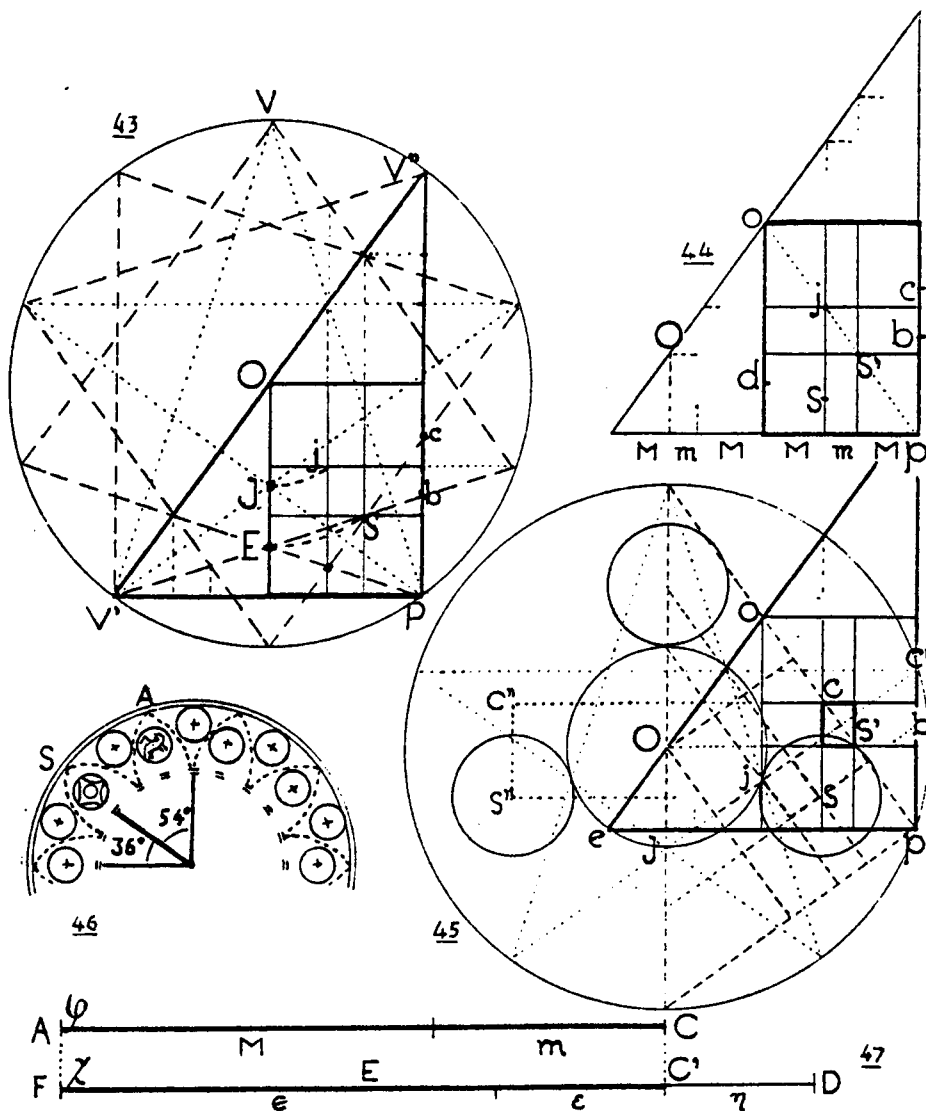


FIG. 87 et 88. - CATHÉDRALE DE SAINT-DENIS. Plan et façade. Cinq rapports successifs définissent le plan. — FIG. 89 à 91. - CATHÉDRALE D'ALBI. Deux rapports parallèles en « ricochet » situent le plan. Coupe : l'inégale largeur des collatéraux est soulignée.

Après une troisième partie consacrée à quelques "problèmes particuliers" - la question des proportions du temple antique, celle des corrections optiques, la présence des unités métriques dans les édifices égyptiens ou romains - FUNCK-HELLET conclut sur sa certitude d'avoir apporté la preuve du rôle central joué par le nombre d'or dans les édifices anciens :

"La proportion arithmétique dans son expression par des nombres ϕ a montré d'étranges résonances dans les plus célèbres constructions des temps passés... Le Nombre d'Or est aussi présent à l'esprit et domine l'oeuvre"

"La proportion géométrique a réhabilité le pouvoir de l'équerre. Les perpendiculaires que la technique habituelle lui fait tracer sont complétées par des diagonales qui soulignent le rapport propre à chaque équerre. Ces diagonales s'étayent sur le module, non pas le module classique (rayon des colonnes) qui peut être absent dans une construction, mais le module pris sur la pièce principale initiale et nécessaire à toute habitation : le linteau. Module ou somme de modules serviront à des ensembles aux rapports proportionnés logiquement enchevêtrés : la "symmetria" des anciens."



— Fig. 43 et 44. - Equerre $\chi 1$ et décagone, les demi côtés divisés en M, m, M . — FIG. 45. - Equerre $\chi 1$ et thème de l'Ecole d'Athènes. — FIG. 46. - Le signe lapidaire S de la rosace du Dôme de Carrare ($36^\circ-54^\circ$). — FIG. 47. - Rapports ϕ et χ : comparaison.

- WITTKOVER R. - "Systems of proportion"
in Architecture Yearbook
PP 9 à 18

Dans cet article, R. WITTKOVER donne un éclairage sur la question plus large que celui intéressant la seule période humaniste qu'il avait traitée dans son ouvrage de référence sur ce thème (1). Son propos reprend, bien sûr, les considérations néo-platoniciennes sur la parenté entre harmonie musicale et humaine spatiale, ainsi que la thèse d'une mise en oeuvre des dispositifs répétitifs utilisant les grandeurs commensurables ; mais il part du constat plus général que l'homme aspire en raison de ses caractéristiques psychologiques et physiologiques à l'ordre et l'harmonie. Cet ordre et cette harmonie s'expriment en termes mathématiques. Notre interprétation de la nature et du monde ambiant est, en effet, essentiellement formalisée par les notions de nombres et de systèmes de nombres...

Rapportant cet énoncé général au cas particulier de l'architecture, R. WITTKOVER constate que tant que l'art et l'architecture étaient voués à un rituel religieux ou magique, ou, en d'autres termes, qu'ils avaient un contenu métaphysique, ils devaient exprimer cette harmonie. Cette situation a prévalu longtemps, mais l'artiste du 19ième ou du 20ième siècle est dégagé de cette expérience et la question des proportions (ou du principe d'ordre) n'est plus qu'un problème de choix individuel de sa part. Selon WITTKOVER, ce choix est un choix conceptuel. Les artistes, depuis 150 ou 200 ans, ont cru qu'ils suivaient leur intuition mais ils étaient fréquemment dépendants du passé et utilisaient des formes de systèmes anciens de proportion comme "la section d'or".

Abordant ensuite la question de savoir s'il existe un système unique de proportions ou plusieurs, il relève que beaucoup de théoriciens du 19ième ont cherché à promouvoir un système unique mais il constate que, dans l'histoire, il y eut beaucoup de tels systèmes différents et il décrit de manière détaillée le système qu'il qualifie de "Pythagoricien platonique" faisant reposer le système harmonique sur les divisions de la gamme musicale et sur les médiétés (géométriques, authentiques, harmoniques). C'est, sur la géométrie des corps réguliers, selon WITTKOVER, ce système qui inspire les artistes du Moyen-Age et de la Renaissance, étant entendu que le Moyen-Age a préféré le dispositif de la géométrie, tandis que la Renaissance et la période classique adoptaient le système numérique, correspondant au modèle arithmétique de cette tradition philosophique de la pensée mathématique et grecque.

Dans ce contexte, la "section d'or" jouait un rôle important dans la géométrie mais WITTKOVER affirme qu'il n'a jamais vu la moindre allusion à son emploi dans les centaines de traités de la Renaissance qu'il a lus sur la question des proportions.

Dès le 18ième siècle et à l'avènement de la modernité, le système Platonico-pythagoricien s'est trouvé ruiné. La beauté et la proportion sont devenues subjectives dans un univers de nécessités techniques et mécaniques sans autres lois d'ordre supérieur.

WITTKOVER estime cependant que l'ère opposée aux systèmes de proportions touche à sa fin. Il en veut pour preuve les nouvelles notions relativistes et la nouvelle dynamique spatio-temporelle qui remplace les mesures absolues de l'espace. Il voit dans le MODULOR de LE CORBUSIER la réponse conciliant le nouvel ordre non-euclidien avec la tradition. La combinaison du double carré et des séries divergentes déduites de la section d'or symbolise cette fusion.

(1) WITTKOVER R. - "Architecture principles in the age of humanism"
The Warburg Institute University of LONDON - LONDRES (1949)

- LURCAT A. - "Formes, compositions et lois d'harmonie"
 (Eléments d'une science de l'esthétique architecturale) - 5 tomes
 Ed. VINCENT, FREAL et Cie, PARIS (1er volume 1953 - 5e volume 1957)

Quand il entreprend, en 1937, son volumineux travail sur "Formes, compositions et lois d'harmonie" qu'il achèvera en 1944, A. LURCAT se propose d'inventorier et de commenter la somme des connaissances indispensables à l'architecte en matière d'esthétique. Mais l'idée centrale qui le guide dans cette tâche d'importance, c'est la nécessité d'introduire les méthodes rationnelles dans le domaine de la création architecturale. A. LURCAT pense que "seule une science des moyens de l'architecture peut permettre aux architectes, une fois définies les multiples données économiques, techniques, sociales, esthétiques et idéologiques que comporte chaque problème de construction, d'apporter à celui-ci des solutions efficaces, et de trouver les formes capables d'exprimer l'ensemble des contenus de l'objet à créer" (1).

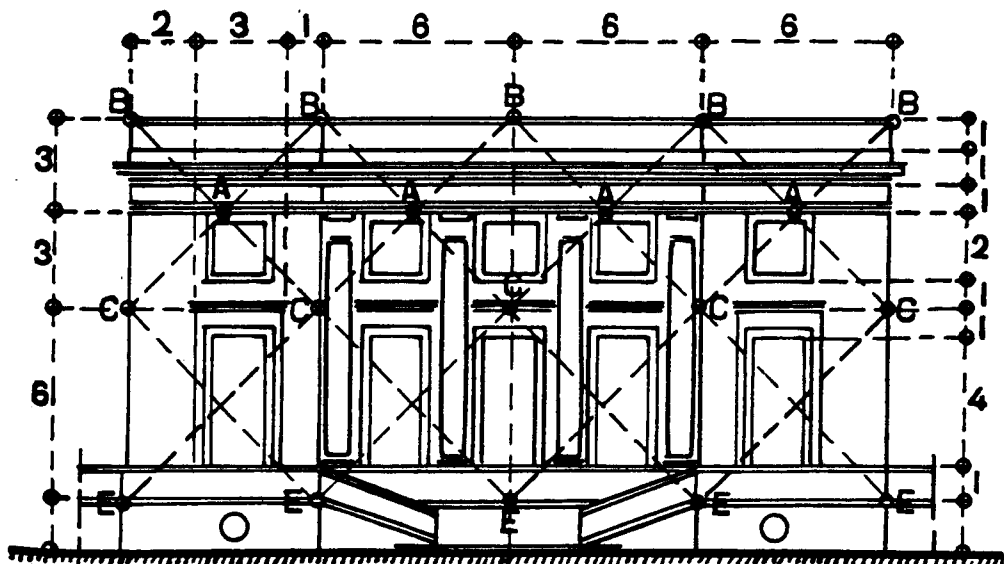
Pour atteindre cet objectif, LURCAT propose une méthode d'analyse de toutes les traditions architecturales, une investigation patrimoniale du "corpus" pour reprendre les termes de la critique architecturale la plus actuelle. L'architecture moderne des années 20 et 30 dont LURCAT fut pourtant un zélateur (2), présente à ses yeux le défaut majeur d'avoir conduit à une uniformisation générale des solutions plastiques. La disparition des caractères propres à chaque architecture conduit à un appauvrissement. Il faut analyser scientifiquement toutes les traditions et c'est à cette tâche que LURCAT va consacrer ses efforts.

Il va sans dire que, dans ce projet, les lois d'harmonie et les tracés vont tenir leur place. C'est sur ce thème que LURCAT termine sa somme architecturale. Il a auparavant présenté et illustré d'exemples choisis de manière très éclectique, les questions des moyens techniques et des moyens proprement architecturaux et les lois qui régissent l'emploi de ces derniers. Pour ce qui concerne les lois d'harmonie, qui nous intéressent plus directement ici, LURCAT témoigne d'une bonne connaissance des auteurs qui l'ont précédé dans ce domaine (qui sont au demeurant ceux répertoriés dans notre analyse).

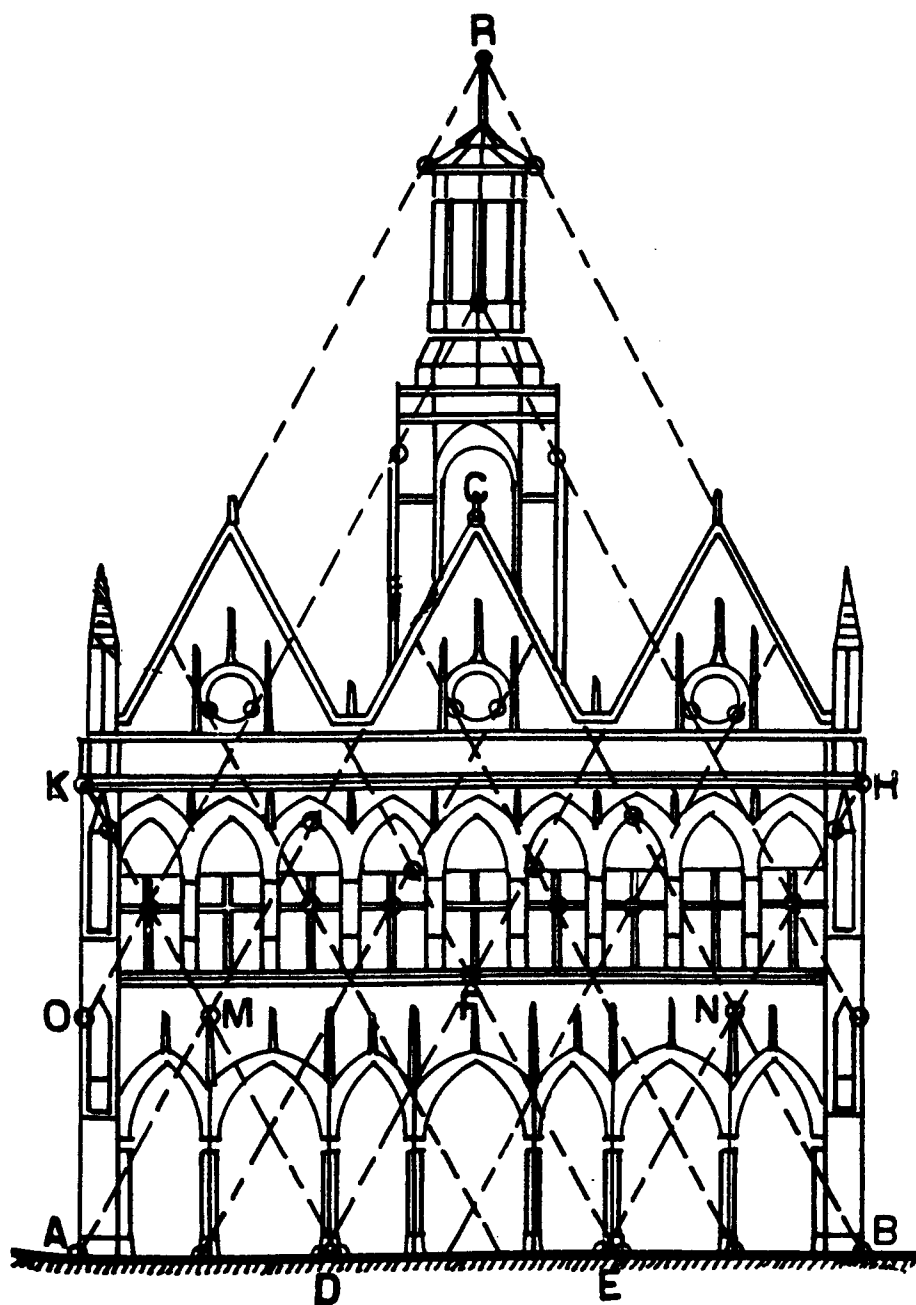
Le rappel qu'il fait des principes de tracé, des définitions, des rapports et des règles de mise en proportion, cède vite la place à des tentatives autonomes pour plaquer quelques cercles, et quelques grilles sur une gamme de monuments allant du temple grec au palais de la Renaissance italienne.

(1) LURCAT A. - "Formes, compositions et lois d'harmonie"
 Vol. I - p. 9
 Ed. VINCENT, FREAL et Cie, PARIS (1953)

(2) Dans "Architecture" publié dans la collection "Au sans pareil", à PARIS en 1929, LURCAT appelle l'attention d'un public large sur la déclaration du Congrès de LA SARRAZ, sur les réalisations de la cité du WEISSENHOF, et sur d'autres manifestations de la nouvelle architecture internationale. La teneur du livre est assez proche de celle des écrits de LE CORBUSIER de la même époque.

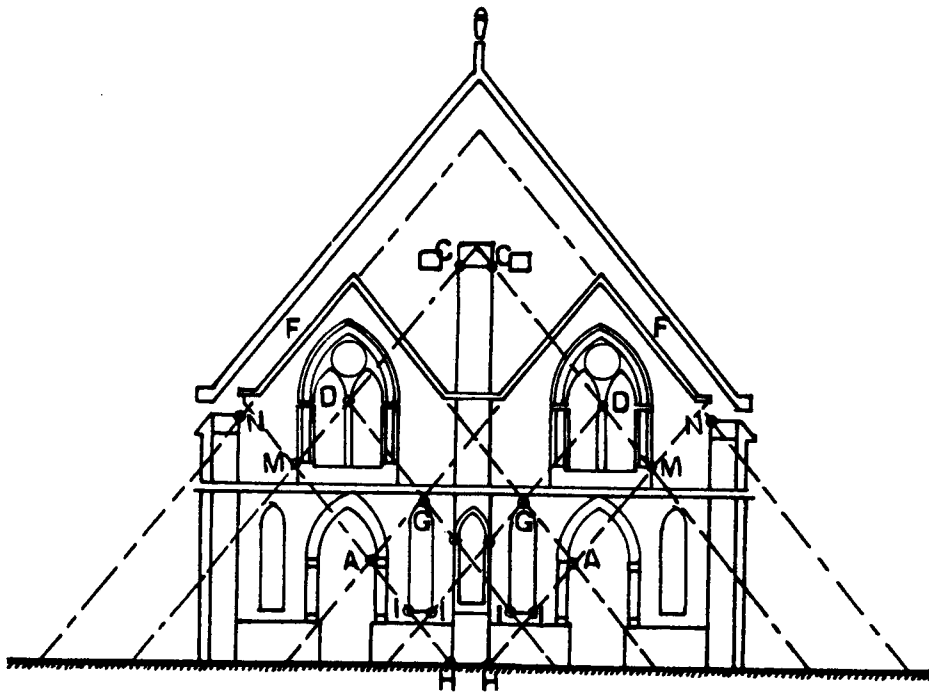


VERSAILLES
Petit Trianon

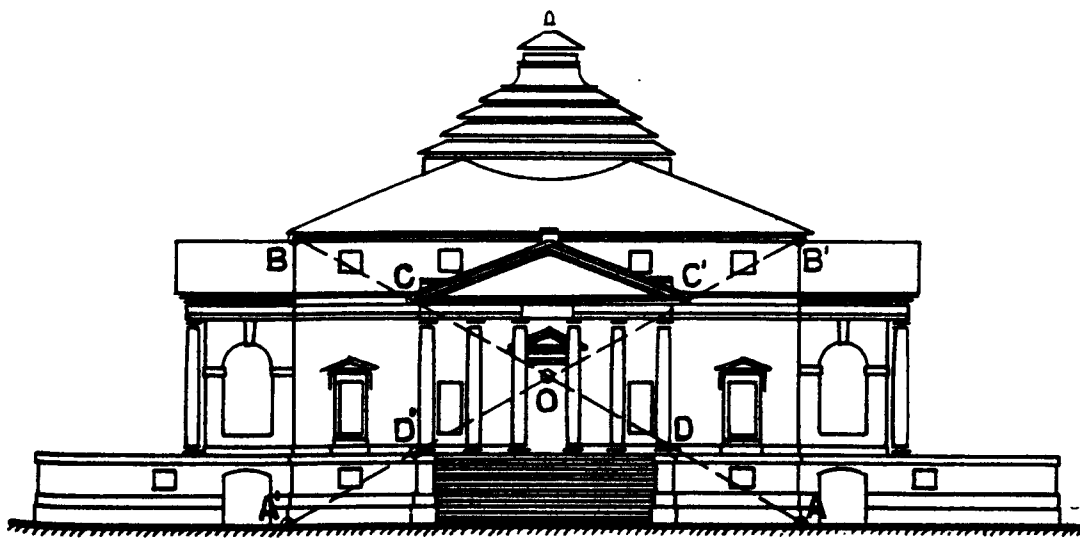


Hôtel de Ville
de ST-QUENTIN

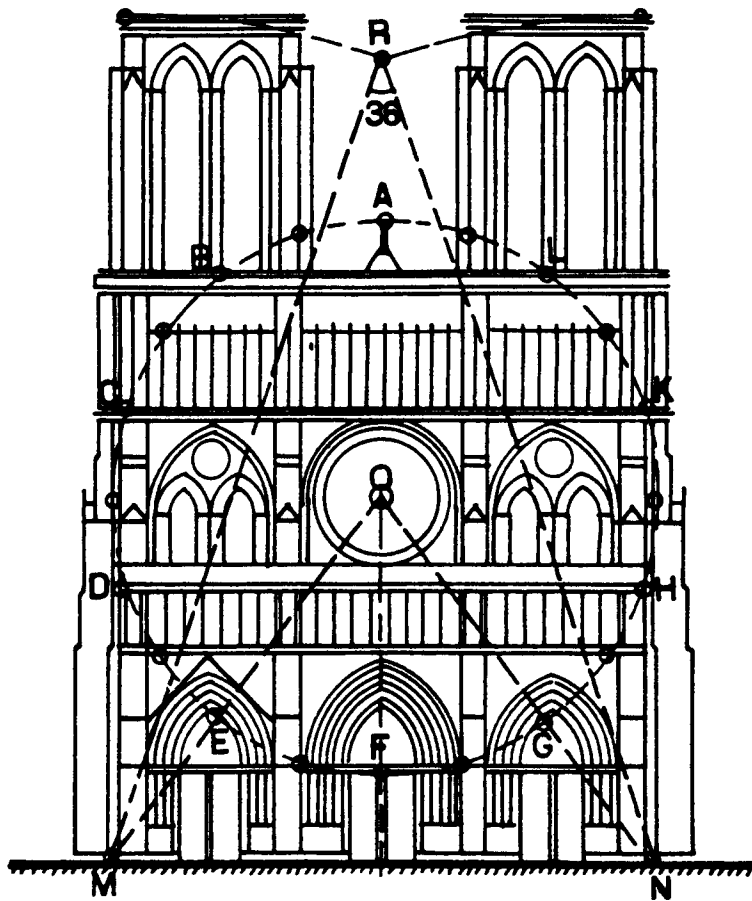
Exemples de tracés d'autres auteurs repris par LURCAT :



Ancien hôpital de COMPIEGNE - Tracé harmonique d'après VIOLLET-LE-DUC



Villa Rotonda de VICENCE
Tracé harmonique d'après THIERSCH



Cathédrale Notre-Dame de PARIS
Tracé harmonique d'après MOESSEL

De toute manière, LURCAT se démarque des extrapolations métaphysiques sur la valeur référentielle de certains nombres et de certains tracés.

"L'idée qu'il a pu exister des systèmes tout puissants, mais depuis oubliés, permettant d'harmoniser ces formes entre elles, ne peut être retenue. S'il a existé des systèmes, ils ne peuvent être nés d'une conception abstraite, d'une volonté esthétique exclusive, ils n'ont pu être en réalité que le résultat d'ailleurs déformé depuis dans son esprit, de l'exploitation raisonnée des nécessités concrètes telles que celles dérivant, par exemple lors du chantier, de transmission facile des plans, de commodité d'exécution, de mise en ordre des formes pour les rendre constructibles puis sur ces bases pratiques d'un établissement de liens de parenté et de rapport sensible entre les formes d'où émanèrent une harmonie... origine d'une satisfaction de l'esprit enregistrant sans difficulté les effets d'un problème bien résolu." (1)

Il est clair que pour LURCAT la cause du maçon face au philosophe mathématicien est entendue.

De façon plus concise, il revient dans le même volume sur ce point de départ matériel et concret de la satisfaction esthétique et de des correspondances formalisées par le nombre, les proportions et les lois d'harmonie :

"Ainsi se trouve rattachée par ces raisons explicables et partant justifiables, cette corrélation entre deux faits en apparence si différents : l'expression de sentiments esthétiques, et l'application du résultat d'opérations soit arithmétiques, soit géométriques. Dans les mathématiques, l'homme trouve un correspondant logique de l'ordre qu'il a découvert dans la nature, qu'il a réussi à dégager et à transposer en lois ; il s'en sert alors pour recréer, en un autre domaine, cet ordre."(2)

LURCAT insiste bien sur le fait, qu'à ses yeux, le nombre, la mesure, les rapports de grandeur ne sont que des moyens. Ils ne sont, en aucun cas, des principes harmoniques universels et doivent être adaptés au caractère propre de chaque situation et de chaque localisation.

Dans la controverse lancée par BORRISAVLIEVITCH à propos du caractère artificiel des études de tracé harmonique et de la nécessité de développer une approche psycho-physiologique des phénomènes de perception, LURCAT critique la théorie optico-physiologique. Il pense que les réactions esthétiques relèvent d'une multitude de facteurs et que limiter leur analyse au seul domaine de la perception, constitue une dangereuse réduction.

Une fois achevées la présentation et l'analyse critique des travaux sur les proportions, tracés et lois d'harmonie, LURCAT propose sa propre méthode harmonique. Celle-ci part des conditions concrètes de mise en oeuvre et des problèmes rencontrés sur le chantier et sur la planche à dessin. Elle s'appuie sur la géométrie du cordeau et sur la géométrie du compas. LURCAT cite expressément le traité de ce nom rédigé à la fin du XVIII^e siècle par le géomètre italien MASCHERONI. Il évoque aussi, en une citation de seconde main, un traité arabe "très ancien" dont il ne donne pas l'auteur. Ce traité ramène l'ensemble des problèmes que l'on peut résoudre avec une règle et un compas à 7 problèmes fondamentaux qui constituent précisément la base du système préconisé par LURCAT.

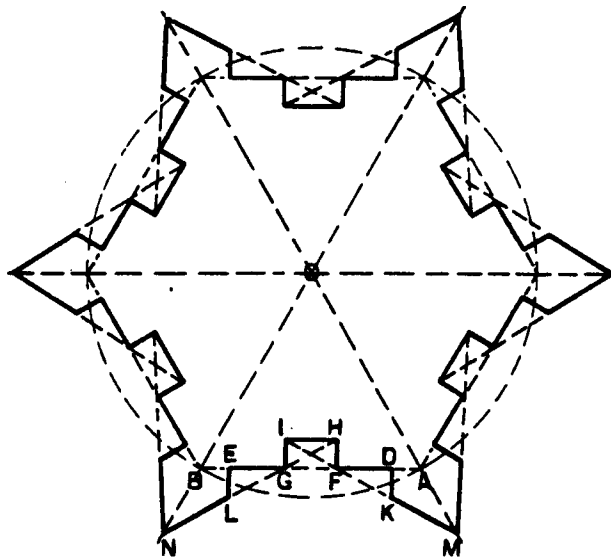
(1) LURCAT A. - *Op. cit.* - Vol. V, p. 12

(2) LURCAT A. - *Op. cit.* - Vol. V, p. 95

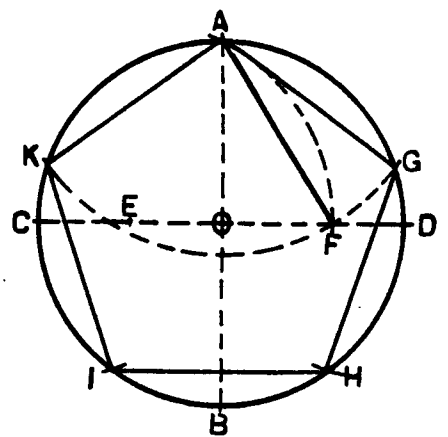
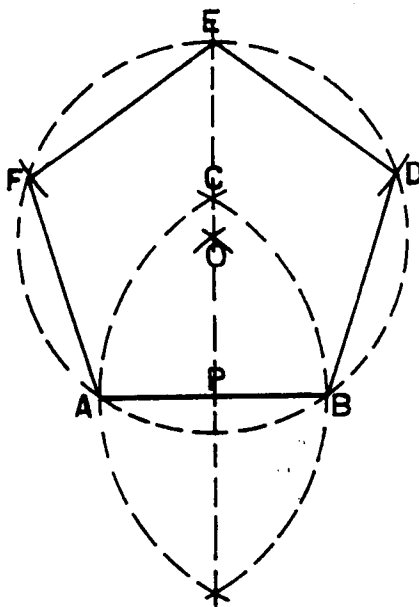
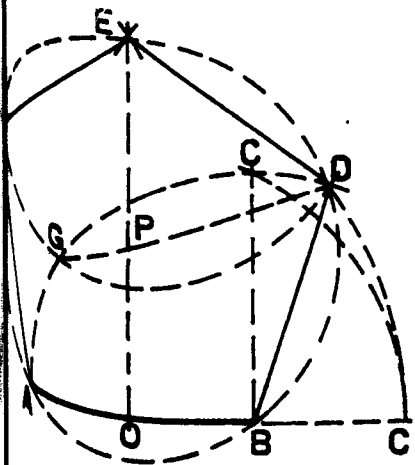
Dans l'application qu'il fait de son système à quelques bâtiments significatifs, LURCAT est cependant prudent :

"Dans cet exposé rapide d'une méthode et des exemples présentés pouvait se dégager une fausse impression. Comme tous les systèmes précédemment analysés, celui-ci ne paraît positif que parce qu'il a logiquement conduit à certaines constatations. Or, ces constatations qui paraissent à l'étude assez convaincantes, n'en restent pas moins au stade de simples hypothèses" (1)

- Justification de la méthode proposée par LURCAT au tracé des villes fortifiées :



- Exemple de tracés à la règle et au compas, ou au cordeau, proposés par LURCAT :



- SCHOLFIELD P.H. - "The theory of proportion in architecture"
CAMBRIDGE University Press (1958)

Le travail de SCHOLFIELD est consacré de manière générale à la théorie des proportions qu'il considère comme une partie importante de la théorie de l'architecture. Il distingue d'entrée les méthodes géométriques et les méthodes qu'il appelle analytiques. Elles correspondent respectivement aux systèmes de proportions utilisant les dimensions commensurables ou incommensurables. Après avoir montré les limites et les ambiguïtés de la théorie de la proportion chez VITRUVÉ, SCHOLFIELD consacre deux chapitres à la Renaissance. Il conteste la thèse de WITTKOVER, en estimant que l'idée néo-platonicienne d'une analogie des proportions musicales et architecturales n'est pas adoptée de manière aussi large que le suppose l'auteur de "Architectural principles in the age of humanism". La période est selon lui marquée par la permanence des traditions à dominante géométrique des constructeurs médiévaux et par la contestation de ce système par les tenants des proportions modulaires commensurables héritées de l'antiquité. A ces controverses font écho les positions "empiristes" de MICHEL-ANGE, de DURER, de LEONARDO, essayant de définir des systèmes de proportions à partir des dimensions du corps humain.

Pour illustrer ses doutes sur l'analogie musicale, SCHOLFIELD montre comment les séries harmoniques d'ALBERTI qui, selon WITTKOVER, servent à mettre en proportion les 3 dimensions proportionnelles d'une pièce, sont en réalité complétées par des groupes de quatre chiffres dont l'application à un espace tri-dimensionnel est, évidemment, assez problématique. La critique de la théorie de la Renaissance se prolonge au 17^{ième} et au 18^{ième}. La faiblesse de la théorie des valeurs commensurables aboutit à la conviction que les proportions sont du domaine du subjectif et sont régies par le goût.

La deuxième partie du livre de SCHOLFIELD est consacrée à ce qu'il appelle le "retour des incommensurables". Même si on peut lui faire le reproche de privilégier les publications anglaises, elle contient un historique intéressant de l'évolution de la question des proportions au 19^{ième} siècle.

Face à la permanence et au développement des positions privilégiant l'intuition personnelle et l'individualisme romantique (elles trouvent avec RUSKIN un de leurs principaux porte-paroles), le courant antagoniste s'appuie sur les tendances scientistes du 19^e siècle et sur la volonté de combler le fossé qui va s'accroissant entre l'art et la science.

Même s'ils n'intéressent qu'une minorité de théoriciens, les travaux sur les proportions sont stimulés par les recherches sur l'archéologie grecque et gothique. SCHOLFIELD estime qu'ils n'éclairent pas beaucoup sur la manière de concevoir l'architecture dans l'antiquité et le Moyen-âge, mais qu'ils servent de transition entre la théorie du 18^{ième} siècle et celle de la modernité. Il établit donc un historique détaillé des travaux principalement anglais sur le sujet.

L'apport de KERRICH préconisant la recherche à dominante géométrique sur les rectangles et séries de rectangles, les propositions de CHANTRELL, de GRIFFITH, de HENSLMANN (Communication au RIBA en 1852), l'analyse de la théorie grecque des proportions par WILKINS, HAY, LEGH, PENROSE, LOCKERELL, LLOYD, PENNETHORNE, tournent autour de cette question de la commensurabilité ou de la non-commensurabilité. De cet ensemble, il distingue les travaux différents de GWILT se rattachant au principe des grilles de composition de DURAND et de CRESY insistant, comme GWILT, sur l'importance des données relatives à la statique.

En Angleterre, la bataille entre la minorité des théoriciens "proportionnalistes" et des "subjectivistes" se poursuit dans la seconde moitié du 19ième. La période est marquée par quelques progrès dans la théorie des proportions. Ils sont dus surtout à la répétition des rapports préconisés par LLOYD et la mise en évidence du rôle de la diagonale du rectangle par KERRICH et HAY.

La théorie moderne des proportions est due, selon SCHOLFIELD, à la redécouverte du nombre d'or. L'initiateur de ce "revival" est ZEISING et le "Neue Lehre von der Proportionen..." de 1854. Ces démarches sont renforcées par les recherches d'esthétique expérimentale de FECHNER, dont les anglais prennent connaissance par le livre de BOSANQUET, "History of Aesthetic" publié en 1892.

Le regain d'intérêt pour les séries de FIBONACCI et leur lien avec le nombre d'or est également signalé. Il est le fait des mathématiciens français, BINET (en 1843), puis LUCAS (en 1876) qui définit les propriétés de deux séries reliées. LUCAS publie un article dans "L'American Journal of Mathematics" en 1878 intitulé "Théorie des fonctions numériques simplement périodiques". Cet article décrit trois types de séries dont la série de FIBONACCI reliée au nombre ϕ qui, selon SCHOLFIELD distingue :

- Les méthodes géométriques, en particulier celles de LUND et MOESSEL, auxquelles il rattache l'apport très pragmatique de L. ROBERTS,
- Les systèmes qu'il appelle analytiques, où les manipulations sur les formes géométriques sont remplacées par des opérations sur des dimensions linéaires (travaux de W. SCHODLING et de Sir Th. COOKS),
- La symétrie dynamique de J. HAMBIDGE,
- Le "MODULOR" de LE CORBUSIER, présenté comme l'aboutissement des approches précédentes et comme le meilleur exemple d'une méthode entièrement analytique de mise en proportion.

Dans sa conclusion, SCHOLFIELD reprend les termes de la distinction opérée entre les systèmes analytiques commensurables et géométriques incommensurables. La fusion des deux approches, par l'introduction du nombre ϕ dans les méthodes analytiques, est l'innovation qui donne toute sa valeur au MODULOR.

A partir de séries utilisant les valeurs de $\sqrt{2}$, E. LUTYENS a défini un système de proportions comparable dans son principe.

ECRITS COMPLEMENTAIRES

En regard des ouvrages dont les analyses précèdent, nous avons exploité d'autres publications. Elles sont : soit plus sommaires que les études signalées - soit plus marquées par les spéculations ésotériques et mystiques - ou moins exclusivement consacrées à la question des tracés et des proportions. Nous en donnons ci-après de courtes analyses ou le seul signalement, étant entendu que nous ne prétendons pas avoir fait le tour de la littérature correspondante.

- HAUTECOEUR L. - "Les proportions mathématiques et l'architecture"
in La Gazette des Beaux-Arts, Décembre 1937, pp. 263-274

Dans cet article, L. HAUTECOEUR fait d'abord un rappel historique des jalons habituels de la question. Il évoque les contributions de PLATON, de VITRUVÉ, d'ALBERTI, le livre de PACCIOLI, les applications de Ph. de l'ORME ou de F. BLONDEL. Dans un deuxième temps, il traite du regain d'intérêt pour les tracés et les règles de proportion qui se font jour au XIXe. Rappelant les apports d'AURES, de VIOLETT-LE-DUC, de CHOISY et de DIEULAFOY, il rend compte des travaux de HAMBIDGE, de MOESSEL, de TEXIER et de manière plus détaillée de la teneur des ouvrages de M. GHYKA. La suite de l'article est consacrée à une tentative de classement des différentes formules et méthodes préconisées par les auteurs qu'il a retenus. L. HAUTECOEUR distingue des catégories de complexité croissante. D'abord les lois modulaires, puis les proportions mathématiques, pour lesquelles il distingue les proportions arithmétiques, géométriques ou harmoniques. Il développe des exemples correspondant à chacune de ces méthodes. Il conclut en rappelant l'opposition qui existe entre ces approches, cherchant à atteindre de manière rationnelle la qualité esthétique, et les expériences comme celles des baroques visant à séduire la sensibilité du spectateur. Selon L. HAUTECOEUR, ce dilemme renvoie au problème de l'existence d'une beauté formelle définie de façon absolue, à laquelle beaucoup d'architectes croyaient.

+ +
+

L. HAUTECOEUR a publié un autre article abordant la question dans le numéro de mars-avril-mai, 1951 du Bulletin d'Information du Centre National pour l'Amélioration de l'Habitation, sous le titre "Economie et Esthétique". Il existe également un texte inédit d'une conférence donnée à la Maison des Beaux-Arts le 16 mai 1951, dans le cadre des activités d'un groupe de travail constitué pour traiter les questions du nombre d'or et des proportions. Ce groupe réunissait sous la direction de J. GRIVOT, des architectes, peintres, sculpteurs.

Dans son ouvrage "Mystique et Architecture" (1) L. HAUTECOEUR aborde la question de la signification symbolique du cercle et de la coupole. Il étudie l'évolution historique de cette forme architecturale et l'évolution conjointe des formes symboliques qui lui sont attachées. Les problèmes de tracés et de mise en proportion n'occupent pratiquement aucune place dans son développement. La manière dont ses contemporains abordent le nombre d'or lui suggère

(1) HAUTECOEUR L. - "Mystique et Architecture" - A. et J. PICARD, PARIS (1954)

des propos un peu amers :

"Quelques architectes, quelques peintres sont encore épris du nombre d'or, mais ils ignorent que pour les Pythagoriciens ces propositions étaient des secrets d'initiés, représentaient l'harmonie du cosmos ; ils s'en servent comme d'une recette commode pour trouver à peu de frais ce qu'on leur dit être la beauté : Le vieil esprit symbolique a déserté l'architecture" (1)

(1) HAUTECOEUR L. - *Op. cit.*, p. 285

- BORISSAVLIEVITCH M. - "Prolégomènes à une esthétique scientifique de l'architecture"
Ed. FISCHBACHER, PARIS (1923)
- "La science de l'harmonie architecturale"
Ed. FISCHBACHER, PARIS (1925)
- "Les théories de l'architecture"
PARIS (1926)
Rééditeur PAYOT, PARIS (1951)

Miloutine BORISSAVLIEVITCH, architecte serbe installé à PARIS, aborde dans ces ouvrages la question de l'esthétique architecturale. Il ne traite qu'incidemment des approches formalisées liées aux tracés et aux rapports harmoniques. Dans les grands panoramiques qu'il met en oeuvre à propos de l'esthétique en général et de l'esthétique architecturale en particulier, il décrit toutes les tentatives de formulation de règles géométriques et arithmétiques de ces prédécesseurs pour mieux les critiquer et montrer les limites de leurs thèses.

Pour BORISSAVLIEVITCH, le problème de l'esthétique architecturale ne peut pas se poser en terme de proportion et de caractéristique géométrique du tracé. Il doit être abordé à partir de la connaissance des lois de la perception physiologique des volumes et des formes.

A l'esthétique géométrique et objective d'architectes comme THIERSCH, BORISSAVLIEVITCH oppose les travaux d'esthéticiens psychologues et physiologues. Les spéculations sur l'harmonie, la section d'or et autres relèvent des mathématiques et non de l'esthétique.

Une esthétique scientifique de l'architecture ne peut être fondée que sur la "perspective optico-physiologique" qui est la science de la vision humaine alors que la perspective linéaire est une science géométrique.

Seul WOLFFLIN trouve grâce aux yeux de BORISSAVLIEVITCH dans la mesure où il est le seul esthéticien de l'architecture ayant tenté d'expliquer quelques faits physiologiquement.

Ce dernier n'affirme-t-il pas : "J'ai fait le pas le plus décisif dans la voie qui me conduira à compléter l'esthétique formelle par des propositions plus vivantes" (1), s'opposant ainsi à SCHOPENHAUER qui avance que : "la pesanteur et la rigidité sont l'objet unique de l'architecture".

Face à la théorie statique de SCHOPENHAUER, "l'Einfühlung" de WOLFFLIN présente ce caractère physiologique :

"Je répète encore que la caractéristique de la pesanteur est empruntée à nos expériences corporelles sans lesquelles les notions de la pesanteur ne seront pas possibles, de même que ce qui est contraire à la pesanteur est conçu en vertu de l'analogie avec l'homme, analogie organique".(2)

(1) BORISSAVLIEVITCH in "Les théories de l'architecture" - Editions PAYOT (1951)
p. 285

(2) cité par BORISSAVLIEVITCH - Op. cit. p. 286

- BORISSAVLIEVITCH M. - "Le nombre d'or et l'esthétique scientifique de l'architecture"
Librairie scientifique et technique A. BLANCHARD
PARIS, 2ième édition (1963)

BORISSAVLIEVITCH renouvelle dans cet ouvrage sa critique de l'utilisation des méthodes mathématiques dans la recherche sur les phénomènes esthétiques. Pour lui, le monde de l'esthétique et le monde des mathématiques n'ont rien de commun. Le beau est un phénomène subjectif et la recherche d'une esthétique géométrique est un non-sens. Les formes géométriques sont selon lui d'une totale neutralité et ne peuvent être estimées belles ou laides qu'en rapport à un observateur et à son oeil qui les contemple.

Il situe une autre erreur des théoriciens-mathématiciens dans leur tendance à envisager le nombre d'or et les proportions en général du seul point de vue formel, en ne prenant jamais en compte le fond, c'est à dire le contenu de l'oeuvre. Or, selon BORISSAVLIEVITCH, c'est celui-ci qui doit primer. Il demande donc une chaire d'instruction entre les domaines respectifs de la mathématique et de l'esthétique, sans envisager la moindre correspondance de l'un à l'autre.

Recherchant la clef de la satisfaction liée à l'utilisation du nombre d'or dans les lois de la physiologie, il s'appuie sur des expériences de FECHNER pour montrer qu'il existe des explications objectives de ce qu'il appelle la "beauté du nombre d'or". Ces preuves ressortissent à l'étude de la physiologie de la vue.

Il opère ensuite une série de démonstrations montrant le côté relatif de la valeur esthétique du nombre d'or. De la simple division de surface il passe à la composition architecturale pour dégager enfin des lois d'harmonie architecturale. Celles-ci paraissent, au demeurant, bien partielles (lois du semblable, loi du même, loi du tympan...).

La conclusion revient sur le leit-motiv de l'ouvrage : l'esthétique mathématique est une erreur, les mathématiques ont fait tort à l'étude des phénomènes esthétiques et surtout à ceux de l'architecture. BORISSAVLIEVITCH estime que les progrès de la connaissance en physiologie de la vision permettent de définir une esthétique vraiment scientifique de l'architecture susceptible d'être enseignée et appliquée comme telle.

- FORMIGE J. - "Proportions et tracés harmoniques"
 in Architecture Française - Oct. 1943
 PP 4-6 et 18-21

Cet article reprend le texte d'une communication faite à l'Académie des Beaux-Arts le 16 Janvier 1943 par Jules FORMIGE, lui-même membre de l'Institut. Son propos est de savoir si les arts obéissent à des lois ou à des rythmes ayant les mêmes caractéristiques que les lois universelles réglant les phénomènes physiques ou régissant la vie, sachant que celles-ci sont elles-mêmes un reflet des lois fondamentales de l'univers. J. FORMIGE, après avoir évoqué cette question dans sa généralité, l'examine de manière plus détaillée pour l'architecture. Il passe alors en revue les grandes périodes de référence de l'histoire de l'architecture : l'ancienne Egypte, l'ère chaldéenne, l'âge classique grec, l'époque de VITRUVÉ, les périodes de l'architecture byzantine, arabe, médiévale. Pour chacune d'elle, il rapporte les caractéristiques de son système de proportions et nous pouvons lire en filigrane, à cette occasion, le reflet des idées de tel ou tel théoricien l'ayant précédé. Les signalements de l'usage du triangle égyptien pour l'arsenal du PIREE ou pour SAINT FERNIN de TOULOUSE renvoient évidemment à VIOLLET-LE-DUC. L'épisode de la cathédrale de MILAN et le tracé de STORNALOCO sont même l'occasion d'une erreur, J. FORMIGE estimant que la position pour une construction "ad quadratum" s'opposait à une méthode utilisant la circonférence.

Le rappel du rituel du genre se poursuit avec VILLARD DE HONCOURT, LEONARD DE VINCI, SERLIO, CESARIANO, PH. DE L'ORME et BLONDEL. Ce dernier se voit couvert de louanges pour le "magnifique" chapitre sur la proportion du "Cours d'Architecture".

FORMIGE donne l'essentiel de la teneur de celui-ci. Il estime que les lois de proportions sont essentiellement des lois modulaires et qu'elles étaient jalousement conservées par les corporations des métiers (la reproduction de l'illustration de la porte de PH. DE L'ORME contredit quelque peu cette assertion). La suppression des corporations et la fin de l'ancien régime marquent le déclin de l'art. J. FORMIGE regrette la perte des méthodes traditionnelles qui permettaient, en contrôlant les évolutions et en intégrant progressivement les apports extérieurs, de se préserver de "l'internationalisme et de l'anarchie". Il rapporte, avant de conclure, sa propre expérience de mise en oeuvre de grilles modulaires et de tracés triangulaires pour quelques édifices anciens. Pour la période romaine, il s'agit de l'arc d'ORANGE, du PONT DU GARD et du trophée des Alpes à LA TURBIE. Pour l'architecture gothique il met en évidence une trame de six triangles équilatéraux sur l'élévation de la cathédrale SAINT-MAURICE DE VIENNE dans l'ISERE.

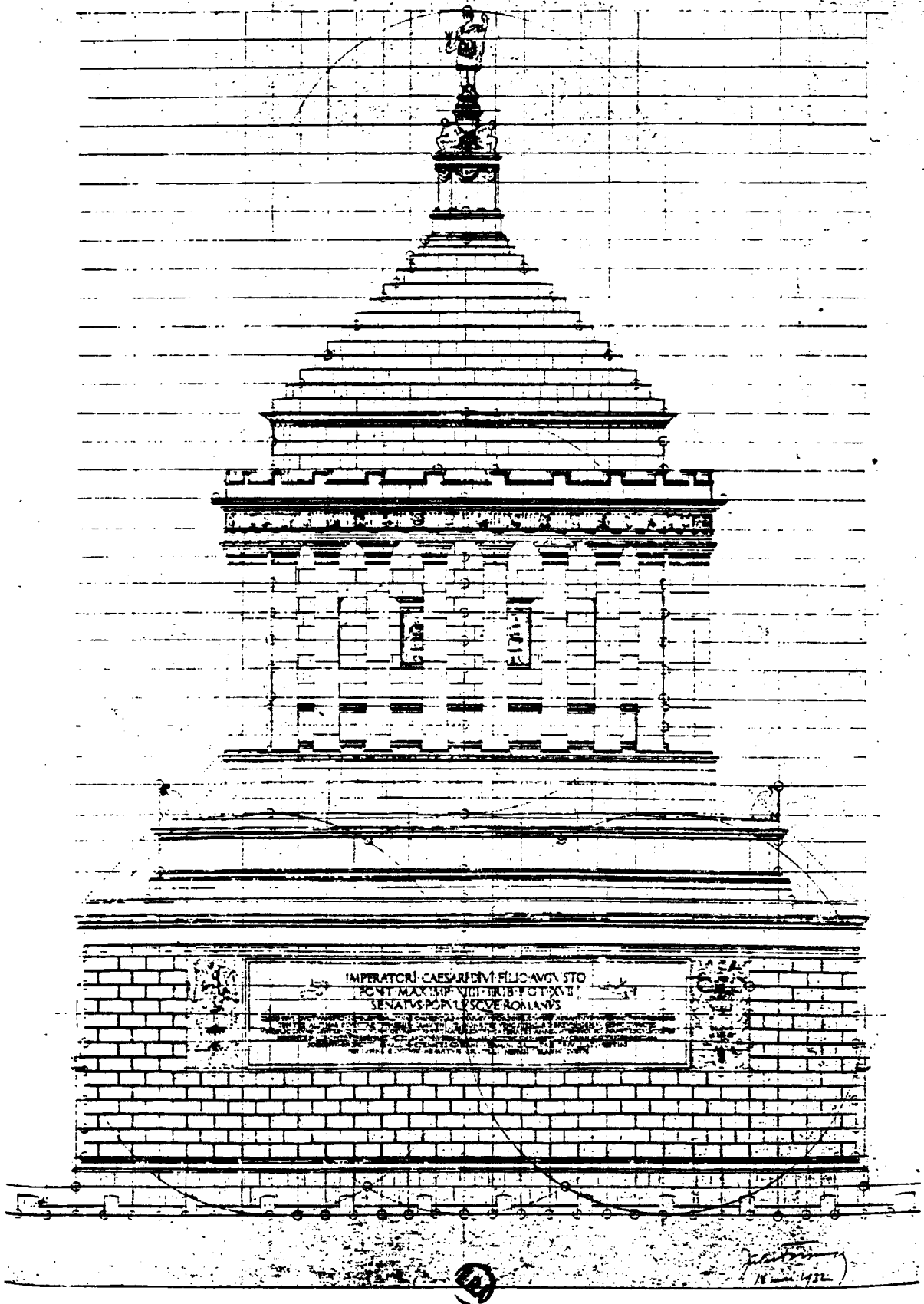
Sa méthode est en définitive un compromis entre les dispositifs modulaires et les tracés géométriques mis en oeuvre de manière à être compris de l'ouvrier sur le chantier :

"Si... on part de la circonférence que lui donne son compas, du carré aux quatre côtés égaux sur angles droits, du triangle équilatéral aux trois côtés égaux qu'on trace au compas ; si l'on parle de multiples de sous-multiples exacts, tout lui est clair et facile".

Dans un autre article plus ancien, reprenant une communication au Congrès des Monuments Historiques à ATHENES en 1932 (1), J. FORMIGE avait donné une

(1) FORMIGE J. - "Les lois modulaires en architecture" - In L'Architecture, Vol. XLV n° 12 - 1932 - PP 453 à 460

version plus condensée du texte précédent en insistant davantage sur sa reconstitution du TROPHEE des ALPES de LA TURBIE et sur les travaux de restauration qu'il y avait menés...



LA TURBIE, TROPHÉE DES ALPES. RESTITUTION

Chaque petit carré = 1 module = 4 pieds ; rayon des cercles = 7 modules
 Proportions générales = 3 de hauteur pour 2 de largeur ; corniches et pyramide à la pente de 45°

- ALEXANDER Ch. - "Perception and Modular co-ordination"
R.I.B.A. Journal - Oct. 1959 - pp. 425-428

Dans un texte antérieur à la publication de son célèbre ouvrage sur la synthèse de la forme, C. ALEXANDER essaie d'associer les problèmes de perception et de coordination modulaire. Il veut définir une loi générale de dimensionnement, conciliant des exigences de qualité esthétique et de mise en oeuvre rationalisée. Son exposé l'amène à instruire un procès sévère des zélateurs des tracés géométriques et du nombre d'or.

C. ALEXANDER part du principe qu'en matière d'architecture comme dans d'autres domaines l'ordre visuel est souhaitable, et est un garant de la qualité esthétique que l'on peut attribuer à une construction. Des moyens géométriques et arithmétiques ont été, et sont encore, mis en avant pour assurer cet ordre. C. ALEXANDER critique les relents de mysticisme de ou de scientisme qui entourent fréquemment leur usage. Il avance que des auteurs récents, aussi célèbres soient-ils, avaient, dans ce domaine, des intentions de mystification. Ainsi, LE CORBUSIER, reproduisait dans le MODULOR des calculs mathématiques qu'auraient pu faire un écolier, et, utilisait la reproduction de ces calculs manuscrits pour faire plus savant. M. GHYKA invoquait le principe du rasoir d'OCKHAM dans un domaine où celui-ci n'est pas applicable. Ou J. HAMBIDGE accréditait l'idée que les dimensions irrationnelles ont une valeur plus dynamique que les valeurs rationnelles.

Des considérations abstraites sur les caractéristiques de tels ou tels rapports ou de tels ou tels nombres se heurtent à une réalité objective qui correspond au seuil de perception des différences dans le monde physique. L'acuité visuelle moyenne ne permet pas de distinguer deux rectangles dont les proportions sont éloignées de 6 %. C'est à dire qu'un rectangle \emptyset ou un rectangle de 1 par 1.5 sont visuellement équivalents.

La critique des procédures de tracés est non moins radicale. Selon C. ALEXANDER, les lignes utilisées sont parfois si épaisses et les figures géométriques si nombreuses que l'on arrive toujours à faire apparaître un tracé remarquable.

En alternative à ce qui lui apparaît comme des errements, C. ALEXANDER propose une généralisation de la notion d'ordre à partir de la définition d'un principe de génération dimensionnelle. Celui-ci est défini comme suit :

"S est un ensemble de nombres tel que si x et y appartiennent tous les deux à S, alors x + y appartient aussi à S".

Un tel ensemble est défini par ses deux premiers éléments, les autres étant des combinaisons linéaires de a et de b de la forme $na + mb$ ou m et n sont des nombres entiers supérieurs ou égaux à 0. L'ensemble étant spécifié par a et b il est également spécifié par a et r le rapport de a et de P... suivant les valeurs données à n C. ALEXANDER retrouve pour $2 = \emptyset$ (en en déplaçant certains éléments de l'ensemble suivant des combinaisons linéaires), les doubles séries de FIBONACCI du MODULOR. Pour d'autres valeurs de n : n = ou n = 1, il recompose les principes d'organisation d'une trame modulaire de M. VAN DER ROHE, ou l'ensemble des multiples d'un seul module. Finalement, le choix d'un plus grand commun diviseur entre a et b appelé K permet une autre généralisation. En choisissant K = 4 pouces (à peu près 10 cm) on réussit, selon C. ALEXANDER, à concilier l'approche économique et technologique avec l'impératif esthétique de régularité et de modularité qu'il avait retenu comme essentiel après un rapide examen des théories récentes de la perception.

- PAQUET J.P. - "Les tracés directeurs des plans de quelques édifices du domaine royal au Moyen-Age"
Article in "Les Monuments Historiques de la France" - Avril-Juin 1963, pp 59-84

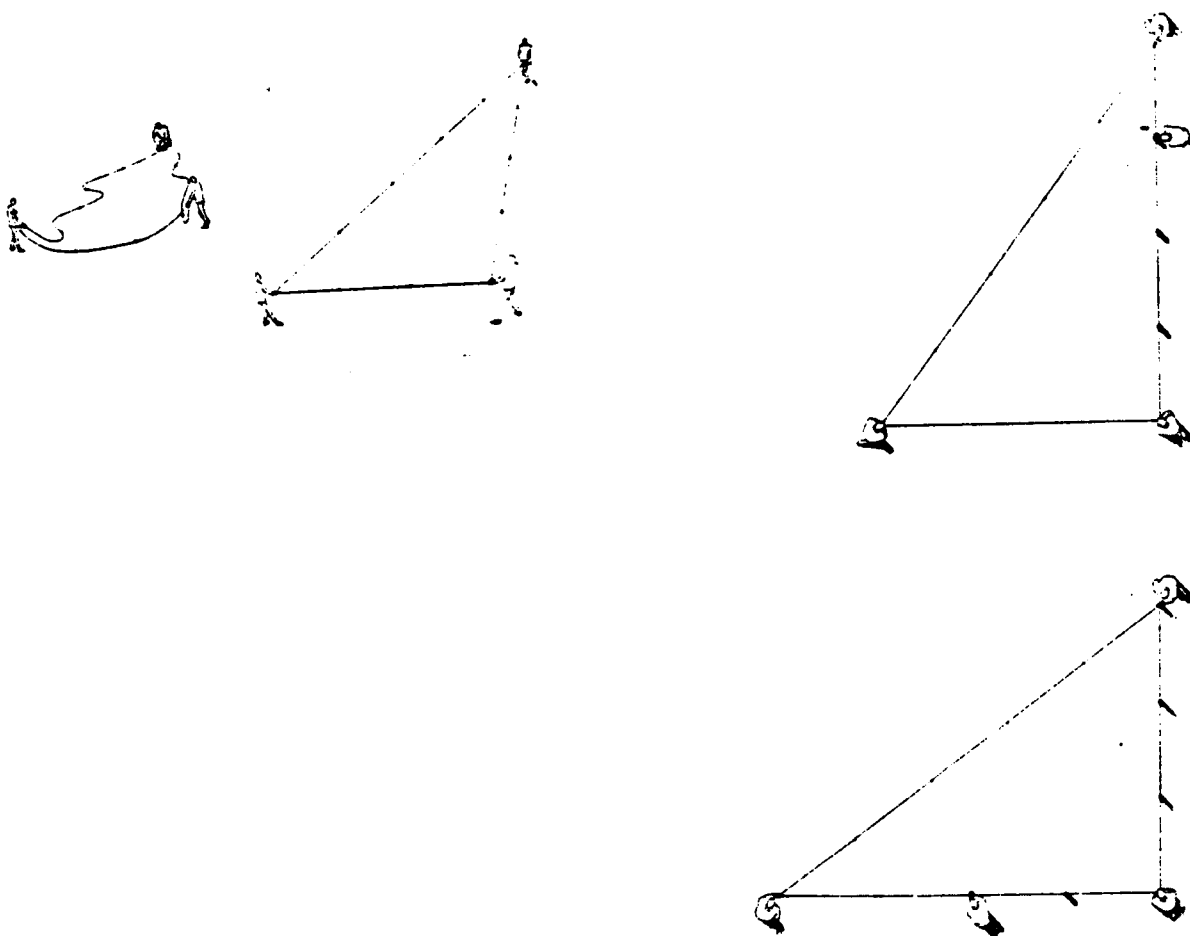
Parmi les contributions ponctuelles à l'élucidation de ce problème du rôle exact des tracés dans la conception des oeuvres architecturales, l'article de J.P. PAQUET, Architecte des Monuments Historiques, abonde dans le sens de l'interprétation technique du rôle et de la signification des tracés directeurs.

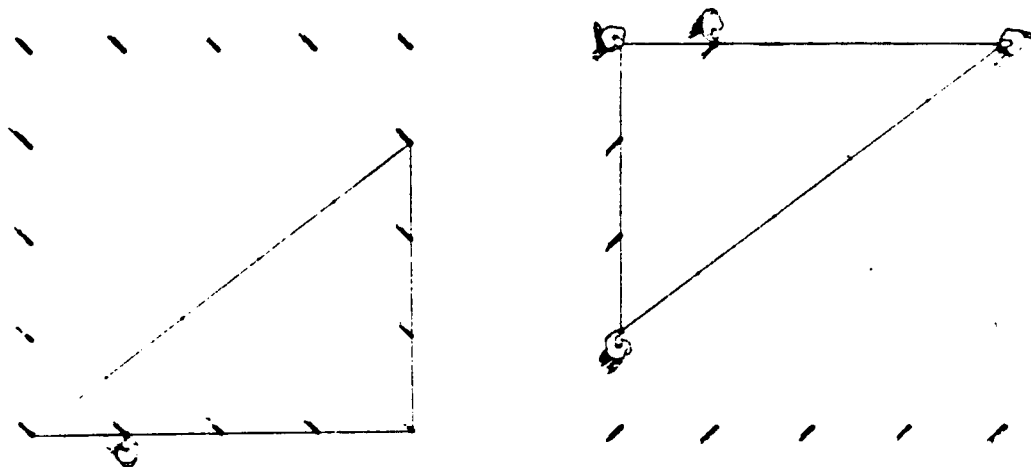
Sa démonstration s'appuie sur les travaux de restauration et conduit respectivement :

- à RHUIS (petite église du XII^{ème} au bord de l'OISE),
- à VOISINLIEU (l'église du XIII^{ème} de l'ancienne maladrerie SAINT-LAZARE),
- à ST-ETIENNE DE BEAUVAIS (fin du XII^{ème}).

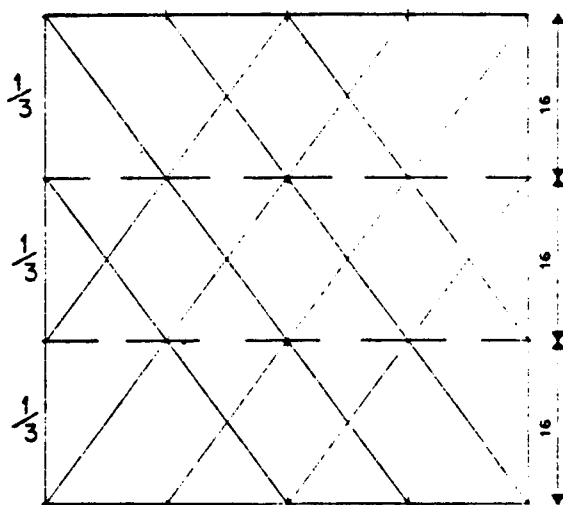
et sur l'examen des églises de ST-JACQUES DE COMPIEGNE, de ST-JEAN-DU-BOIS, de ST-GERMER-DE-FLY, de NOTRE-DAME DU HAVRE ainsi que sur les cathédrales de CHARTRES, de REIMS, de PARIS et de BOURGES.

L'intérêt de la thèse de J.P. PAQUET est de partir d'un problème de topographie et d'implantation du bâtiment sur le terrain. Il propose un canevas du tracé de l'église de RHUIS où le damier des entre-axes principaux est mis en place au moyen d'un cordeau divisé en 12 parties égales, de manière à constituer l'équerre du triangle de PYTHAGORE aux côtés 3.4.5.



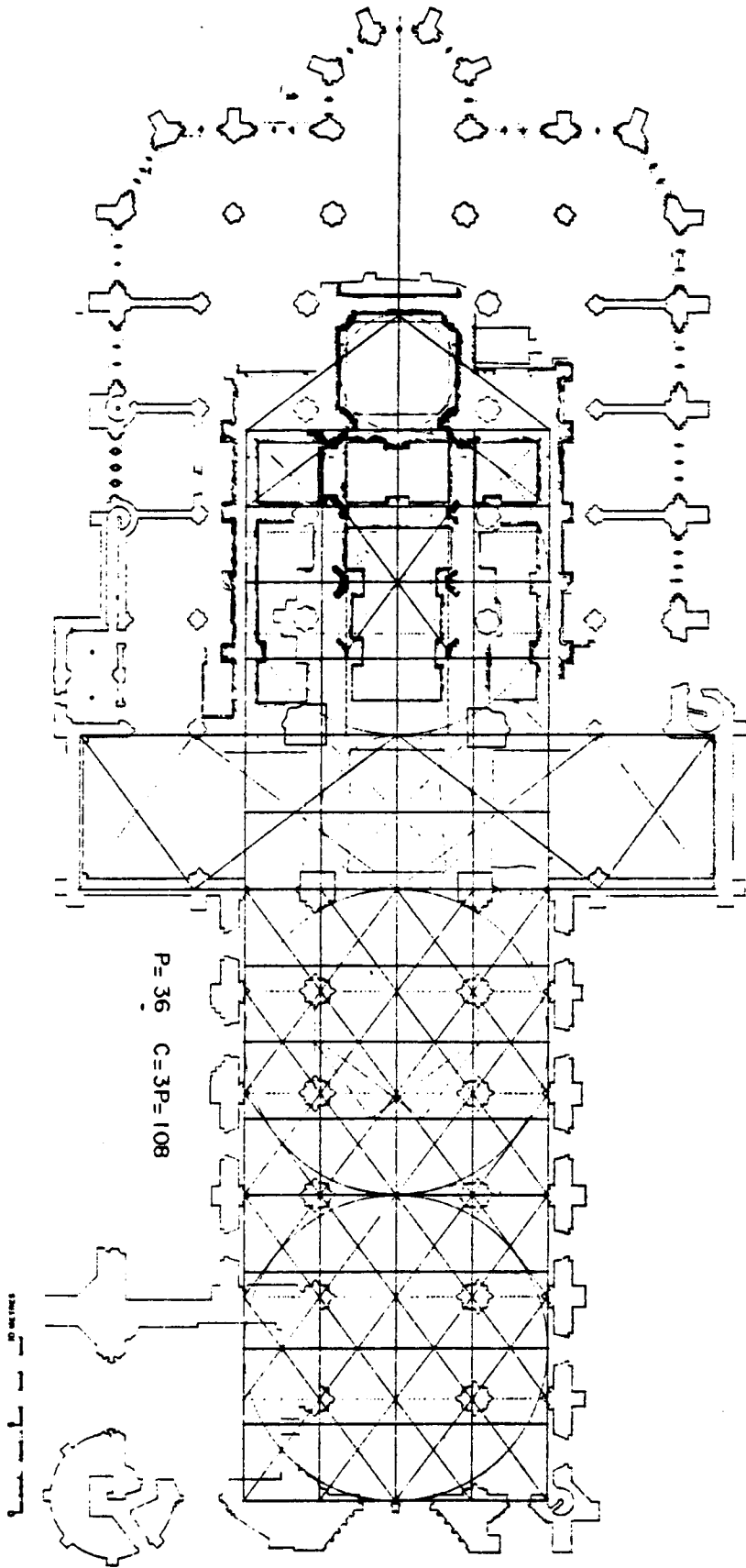


Muni de ce dispositif, le chef de chantier de l'époque médiévale peut non seulement tracer ce quadrillage de référence mais également les hypoténuses des triangles de PYTHAGORE dont les intersections avec le quadrillage principal se trouvent sur des divisions en douzième des mailles de ce dernier. On obtient ainsi, à partir d'une trame quaternaire un découpage ternaire - découpage utilisé à RHUIS pour le positionnement des fenêtres d'origine.



Le douzième de la maille carrée est considéré par J.P. PAQUET comme étant le "pied de l'oeuvre", chaque édifice ayant, selon lui, son échelle propre et son système de dimensionnement.

Le principe du tracé en damier conjugué avec les diagonales du rectangle 3.4.5 est mis en évidence sur les plans de réalisations postérieures et plus importantes. Après avoir présenté l'étude de celles-ci qu'il a personnellement réalisées, J.P. PAQUET regrette que sa thèse s'appuie sur un nombre trop restreint d'exemples. Il insiste sur la nécessité d'avoir, sur le chantier, des unités, des moyens de tracé, des méthodes géométriques et arithmétiques extrêmement simples.



J.-P. Paquet del.

— BEAUVAIS. ÉGLISE SAINT-ÉTIENNE

- GROMORT G. - "Essai sur la théorie de l'architecture"
Ed. VINCENT, FREAL et Cie - PARIS (1966)

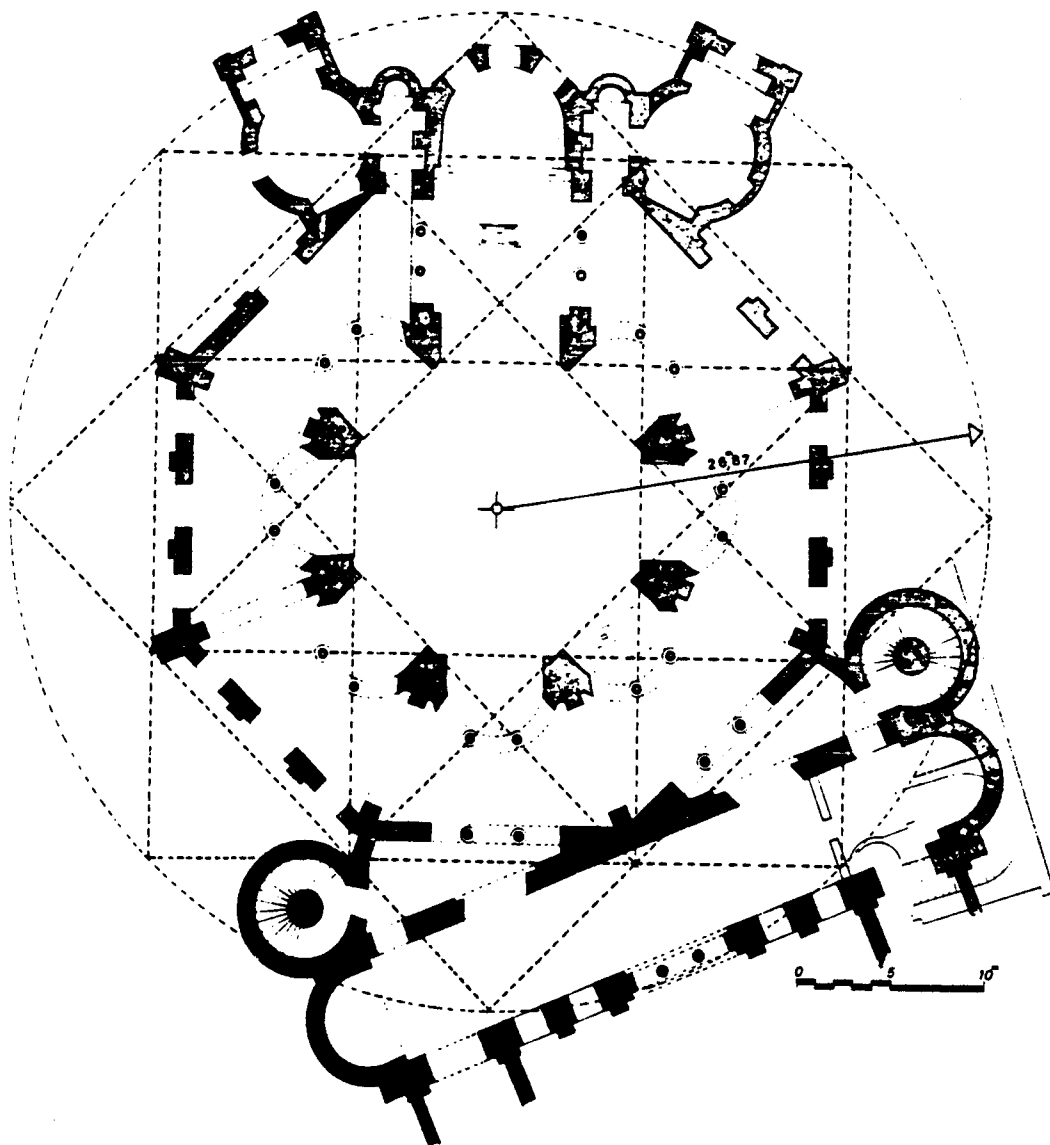
Dans cet ouvrage, qui reprend le contenu du cours de théorie de l'architecture professé par G. GROMORT à l'Ecole Nationale Supérieure des Beaux-Arts de 1937 à 1940, l'un des chapitres (le cinquième) est consacré aux "Proportions". Si une partie importante de l'exposé intéresse les proportions des colonnades, telles qu'elles sont répertoriées par VITRUVÉ ou VIGNOLE, G. GROMORT reprend certains éléments de CHOISY et fait une place importante à un résumé des principaux résultats du "Nombre d'Or" de M. GHYKA :

Nous voyons là, diffusés à l'usage des étudiants de l'Ecole des Beaux-Arts, des éléments sur les proportions en moyenne et extrême raison, sur le nombre d'or, sur les rectangles dynamiques d'HAMBIDGE, sur le rectangle des carrés tournants, etc... Dans un souci didactique, l'auteur donne un exemple d'application d'un schéma de dimension harmonique du carré à la composition du plan d'un petit bâtiment. Le chapitre est complété par des rappels de tracés régulateurs : celui de BLONDEL pour la Porte Saint-Denis, celui du palais BARTOLONI à FLORENCE. Il s'achève sur une longue citation de la préface de P. VALÉRY au livre de M. GHYKA. G. GROMORT partage certaines craintes sur l'application mécaniste des règles d'harmonie et de mise en proportion. "Ce qu'il faut, c'est éduquer le goût" dit-il en conclusion.

ECOCHARD Michel - "FILIIATION DE MONUMENTS GRECS, BYZANTINS ET ISLAMIQUES"
 Une question de géométrie
 Editions GEUTHNER - PARIS (1977)

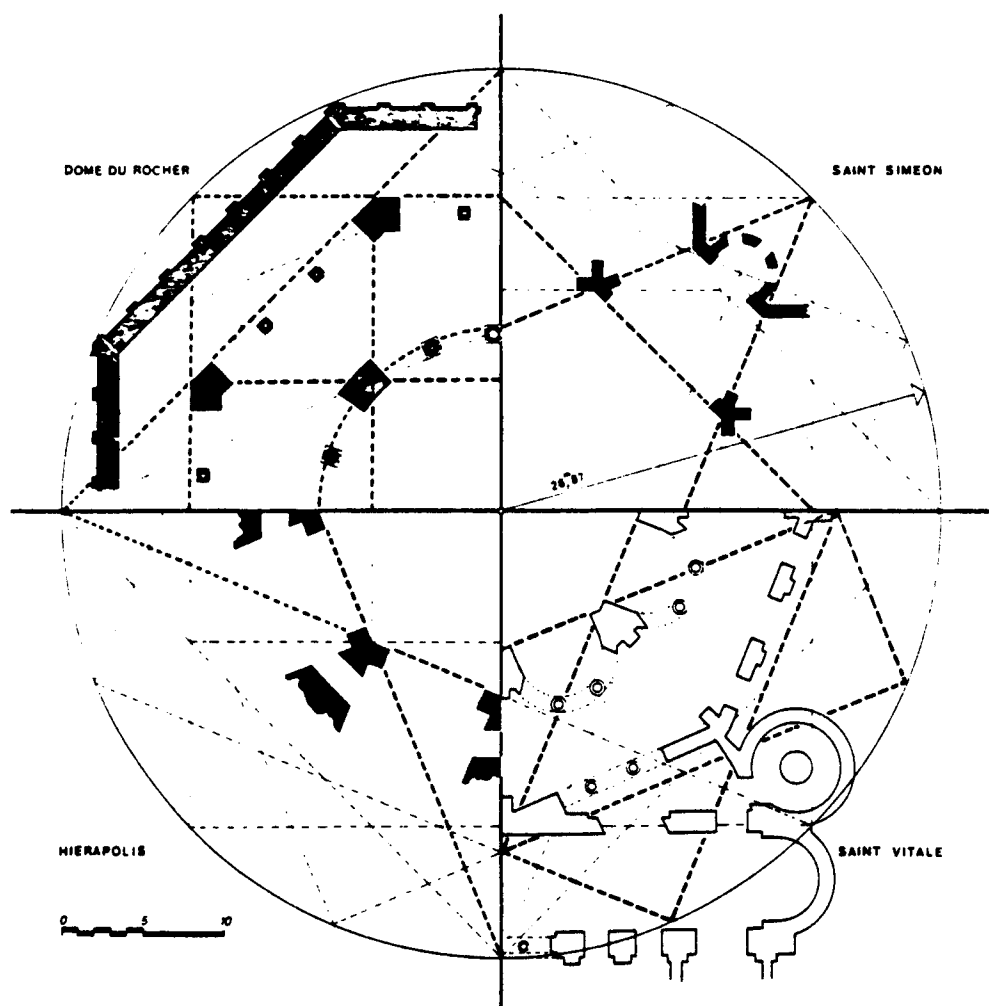
Michel ECOCHARD se présente en une note liminaire comme un homme de son temps. Il s'excuse presque de rapporter son expérience des constructions du passé, expérience acquise, à la fois, lorsqu'il travaillait dans sa jeunesse à la restauration de constructions au Proche-Orient, et pendant sa carrière dans le monde méditerranéen, où il a pu réunir des documents et étudier personnellement les monuments anciens.

Sa méthode a consisté à accumuler des relevés précis, souvent établis par ses soins, en vue de comparer la géométrie mise en oeuvre. Après avoir redessiné les plans à la même échelle du 1/100e, Michel ECOCHARD analyse les régularités et les similitudes des dispositions. Il s'attache à l'étude des édifices à plans centrés. Partant du tracé d'églises paléo-chrétiennes de SYRIE, il établit une filiation avec les églises d'influence byzantine et les mosquées musulmanes. Il constate pour les unes et les autres l'emploi du même schéma à base de divisions du cercle par des carrés imbriqués dont les sommets définissent des polygones.



Superposition du tracé géométrique de la Qubbat al-Sakhra sur le plan de Saint Vital à Ravenne

Il résume ces recherches par la présentation simultanée sur la même trame et à la même échelle des plans de la QUBBAI AL SAKHRA de JERUSALEM, de QAL'AT SIM'AN (ST SIMEON) de SAINT VITALE de RAVENNE et de HIERAPOLIS



La parenté du dispositif technique et formel est renforcée par l'utilisation des mêmes mesures (Le carré de 38 mètres de côté inscrit dans un cercle de 26,87 mètres de rayon est en effet la base commune aux divers plans). Ce constat permet d'attester l'existence des courants d'échanges importants, notamment entre RAVENNE, BYZANCE et la SYRIE.

A la recherche de la source antique de ces règles géométriques, M. ECOCHARD croit trouver dans les tracés des théâtres grecs et romains de VITRUVÉ l'origine commune de ces plans. Il poursuit sa démonstration avec l'analyse de six églises d'ARMENIE dont la géométrie obéit à des principes de tracé semblables et dont les mesures présentent également des équivalences significatives. Ces églises

datent du 7ième et du 10ième siècle.

Dans une seconde partie de son ouvrage, il montre comment cette géométrie des polygones convexes ou étoilés inscrits dans le cercle est à la base de certaines constructions islamiques. Il traite d'abord des GUNBAD : tombeaux monumentaux des princes musulmans au Sud de la Caspienne et dans le KHORASAM. Ce sont, selon M. ECOCHARD les dernières traces de l'usage de tracés d'origine antique dans ces régions orientales.

Il trouve en revanche une permanence des mêmes schémas dans les constructions des OMEYADES d'ESPAGNE à TOLEDE et à CORDOUE. A une échelle plus réduite, la même géométrie de polygones étoilés composés de carrés décalés est à la base du tracé des décors sculptés en alvéoles appelés stalactites ou "muqarnas" en arabe. Le dernier chapitre est consacré à l'étude et à la présentation d'exemples significatifs de ces éléments que ce soit à BOUKHARA, à ISPAHAN, PALERME, ALEP ou DAMAS.

LE RECOURS A L'ANTIQUÉ

Le recours aux mathématiques grecques et quelquefois, au delà, aux mathématiques pré-helléniques, qui est fait dans les traités d'architecture ou d'esthétique que nous avons examinés, accuse souvent l'état de connaissances sur la question qui méritent examen. En effet, à la lumière de travaux récents, il y a fréquemment lieu de remettre en cause les filiations et les chronologies reçues de l'évolution des mathématiques de l'antiquité.

C'est le philologue et historien des mathématiques hongrois Arpad SZABO qui a permis de réajuster l'évolution de la mathématique grecque et de préciser une chronologie mettant en évidence l'apport réel de ceux qui se sont souvent contentés de transcrire l'état des connaissances de leur temps. Dans un ouvrage récemment traduit (1) A. SZABO se garde bien de prétendre dresser un tableau systématique des développements des mathématiques grecques. Il met en oeuvre une méthode d'élucidation basée sur "l'étude personnelle des sources dans le texte grec d'origine". A. SZABO montre (exemples à l'appui) qu'une traduction même exacte d'un texte mathématique peut donner des résultats tout à fait erronés (2). Il préconise l'analyse de l'histoire des expressions scientifiques grecques. C'est à partir de cette approche philologique qu'il donne des éclairages nouveaux sur l'origine et le développement des concepts et des techniques des mathématiques grecques.

Sa méthode le conduit, en particulier, à montrer que la création des mathématiques systématICO-déductives, et, l'invention conjointe d'axiomes et de définitions servant de fondement à cette science, doivent être mises au compte des Eléates.

Le fait de soumettre la langue des mathématiciens de la période euclidienne à cet examen historique permet à A. SZABO de prouver que la terminologie transmet des traces d'un développement mathématique bien antérieur à la constitution des textes en question. En utilisant cette analyse linguistique, il montre que

(1) - SZABO (A.) - *"Les débuts des mathématiques grecques"*
Ed. VRIN, PARIS (1977)

(2) - A. SZABO évoque en particulier le passage du THEETETE de PLATON (147 C. 148 B), et les interprétations erronées qui sont faites du terme "dynamis" dans la plupart des traductions. Rendre ce terme par "puissance" permet de donner le sens du passage mais constitue une erreur en regard de l'interprétation véritable du mot qui, à l'époque de PLATON a sens de "carré".

les expressions techniques employées par les Grecs dans la Théorie des proportions géométriques ont une origine musicale :

"Je montre même que les notions de "rapport" (diastera ou logos) de "proportion" (analogia = égalité de logos à logos) ainsi que les expressions techniques utilisées dans les opérations qui mettent en jeu des rapports, ont été forgées à partir d'expériences musicales ou de considération sur la théorie de la musique. J'en conclus que le développement de la théorie des proportions musicales doit avoir précédé, en tout cas jusqu'à un certain point, celui de la théorie des proportions géométriques... Ainsi, dans ce cas, l'analyse linguistique permet d'éclairer les relations qu'entretiennent d'un point de vue historique ces deux disciplines - théorie musicale et géométrie - relations qui ne sont pas formellement attestées par les sources littérales. Car si les sources littéraires nous apprennent bien que les Pythagoriciens s'adonnaient également à la musique et à la géométrie, seule l'histoire de la terminologie nous révèle que la théorie musicale a dû précéder le développement de la géométrie, au moins dans la création des concepts fondamentaux" (1)

La chronologie des débuts des mathématiques grecques proposée par A. SZABO se décompose comme suit :

- Le stade de la composition musicale, au cours duquel ont été inventées les expressions techniques employées dans la théorie générale des proportions. Il est extrêmement difficile de le dater, les textes les plus anciens sur ce sujet remontant à l'époque de PLATON ;
- Le stade de l'application de la théorie des proportions musicales des nombres entiers au développement de l'arithmétique (par une tradition constante en musique, les nombres y sont symbolisés par des droites et à l'origine par des segments de corde) ;
- Le troisième stade est celui de l'application de la théorie des proportions employées déjà en arithmétique à la géométrie. C'est à ce moment que l'on donne une définition exacte de la similitude des figures rectilignes et que l'on construit la moyenne proportionnelle par une méthode géométrique. Cette construction conduit à la découverte de l'incommensurabilité et à l'extension du concept de rapport à des grandeurs quelconques ;
- Le quatrième stade à l'appui de la découverte de l'incommensurabilité correspond à la constitution d'une "science systématique-déductive". La démonstration de l'incommensurabilité nécessite une nouvelle technique de démonstration et des bases théoriques. A. SZABO pense que ces innovations sont dues à l'influence des Eléates.

(1) - SZABO A. - *Op. cit.* p. 17 et 18

Nous reviendrons sur les conséquences de cette chronologie et sur les réajustements qu'elle impose aux références de beaucoup d'auteurs ayant abordé les questions des proportions, des tracés harmoniques, des règles canoniques dans le domaine de l'art et de l'architecture. Il faut maintenant préciser que les découvertes récentes de l'archéologie et de l'histoire des sciences conduisent à poser le problème des sources pré-helléniques des mathématiques.

Les informations sur les mathématiques babyloniennes et égyptiennes remettent en cause le rôle de "fondateur" des premiers mathématiciens grecs. Le problème de cet héritage pré-hellénique, de sa teneur même et de la manière dont les Grecs l'ont utilisée, relève des questions scientifiques en suspens. L'opinion prévaut cependant que les Grecs ont reçu de leurs prédécesseurs et, en particulier, des Babyloniens, un ensemble de notions et de matériaux sur lesquels ils ont construit leurs propres mathématiques (1).

A. SZABO situe la différence entre les mathématiques grecques et celles de l'Orient ancien dans le fait que ces dernières forment un système de connaissances articulées de manière déductive, tandis que les textes mathématiques orientaux ne favorisent la plupart du temps que des recettes ou des exemples permettant de redoudre des problèmes qui se posent dans les activités courantes. La démonstration joue un rôle fondamental dans la construction des mathématiques grecques. Elle atteint une forme parfaite chez EUCLIDE qui rejette l'évidence sensible et concrète du "montrer" pour se situer dans le domaine abstrait du raisonnement logique. La démonstration intervient par enchaînement d'idées et non par constat empirique et intuitif d'une situation matérialisée. Ainsi, les nombres et les figures géométriques deviennent progressivement des entités abstraites et idéales manipulées par EUCLIDE.

Dans un chapitre de son livre intitulé "La fin de l'empirisme", A. SZABO apporte des éléments justifiant sa thèse sur le rôle déterminant de cette évolution de la philosophie des Eléates et, en particulier, des idées de ZENON et de PARMENIDE. Le refus de l'empirisme est rendu possible par les mécanismes logiques de la démonstration indirecte et par la méthode dialectique qui, au milieu du VIème siècle, permet aux mathématiciens grecs de se dégager totalement de l'empirisme.

(1) - D'après B.L. von der WAERDEN - "Erwachende Wissenschaft" - p. 204 - cité par A. SZABO.

Dans cet effort de construction logique et de systématisation, l'arithmétique et encore plus la géométrie s'éloigne cependant de la doctrine éléate. Les Eléates n'acceptent que l'existence d'un être unique ou la pluralité même des nombres est le fondement de l'arithmétique. En géométrie, l'écart est encore plus grand. Les géomètres pré-euclidiens ont dû s'opposer aux positions éléates sur l'impossibilité du mouvement et sur l'égalité des ensembles infinis. De toute manière, ZENON D'ELEE nie l'existence de l'espace comme les éléates nient l'existence du mouvement. Ce refus est d'ordre théorique, le mouvement et l'espace sont bien ressentis par l'expérience physique et sensorielle mais ils ne peuvent être appréhendés par la pensée logique et non contradictoire.

Il était plus facile, dans la filiation de la pensée éléate, de fonder théoriquement l'arithmétique que la géométrie. Ainsi, la géométrie occupe la seconde place derrière l'arithmétique.

Les nombres sont plus abstraits que les propriétés des figures géométriques et la géométrie est davantage un savoir pratique et expérimental : un savoir "hybride", selon la classification de PLATON, entre le domaine du sensible et celui de l'intelligible.

En dépit de cette hiérarchie, A. SZABO estime que ce sont les problèmes qui se posaient en géométrie qui ont donné naissance au système théorique des mathématiques. "La mathématique d'EUCLIDE est essentiellement géométrique" (1).

Sur la question du rapport qu'entretiennent la philosophie platonicienne et les mathématiques systématique-déductives, A. SZABO est formel, il n'y a pas eu de révolution platonicienne. PLATON n'a fait aucune découverte mathématique. Il explique comment cette croyance en un rôle essentiel de PLATON s'est constituée et a perduré. A. SZABO cite PROCLUS qui parle du zèle de PLATON :

"PLATON fit prendre aux mathématiques en général et à la géométrie en particulier, un essor immense, grâce au zèle qu'il déploya pour elle, et dont témoignent assez ses écrits tout remplis de discussions mathématiques et qui, à tout instant, éveillent l'ardeur pour ces sciences chez ceux qui s'adonnent à la philosophie" (2)

(1) - SZABO - *Op. cit.* p. 350

(2) - SZABO - *Op. cit.* p. 360, traduction du texte de PROCLUS par TANNERY

Ce zèle et la connaissance entretenue par les contacts répétés de PLATON avec les mathématiciens de son temps ne sont assortis de la moindre découverte et rendent tout à fait abusive l'idée d'une "révolution platonicienne" qui a longtemps été avancée par les historiens des sciences. A. SZABO montre que l'on a même été jusqu'à construire une prétendue mathématique sophistique antérieure, cette construction venant étayer la construction corrélatrice de la réforme platonicienne du maître de l'Académie. Il conclut pourtant son ouvrage en rappelant l'imbrication initiale des démarches philosophiques et mathématiques :

"Ces recherches que j'ai présentées montrent qu'en tant que science systématique-déductive, ces mathématiques n'étaient originellement qu'une branche de la philosophie et plus précisément une branche de la dialectique éléate. C'est la fondation théorique et systématique de la géométrie qui a permis aux mathématiques grecques de prendre du champ vis à vis de la philosophie et de conquérir peu à peu leur indépendance" (1)

En regard du vide complet qui caractérise notre héritage écrit de la science architecturale grecque, il est bien difficile de reconstituer les écheveaux des liens qui unirent mathématiques et architecture dans la période ionienne, dans celle de l'âge classique ou dans la phase hellénistique. Notre seule source écrite demeure le texte des Dix Livres de VITRUVÉ et la seule alternative à cette lacune est la mise en correspondance de certains éléments vitruviens avec la chronologie de Z. SZABO. Le côté insatisfaisant de l'opération n'a pour contrepartie que l'assertion généralement admise d'une transcription fidèle, par le retraité des armées de CESAR-AUGUSTE, des connaissances grecques sur la théorie des ordres et sur celle des proportions.

(1) - SZABO, *Op. cit.* - p. 364

Pour la période de l'histoire de l'architecture récente que nous avons considérée, les sources sont à la fois nombreuses et détaillées. Les ouvrages que nous avons analysés, depuis le milieu du 19ième siècle jusqu'à la période contemporaine, témoignent de la persistance du courant d'intérêt pour les définitions de tracés géométriques et de règles de mise en proportion. Si le travail de A. SZABO nous a conduit à réviser les rattachements platoniciens qui jalonnaient fréquemment les discours des auteurs que nous avons retenus, son ouvrage n'a pas l'ambition de dresser un panorama complet de l'évolution des mathématiques de l'antiquité grecque. Nous nous sommes largement appuyés sur sa thèse pour introduire ce chapitre, dans la mesure où elle intéressait précisément les débuts des mathématiques grecques et qu'elle remettait en cause certaines idées admises sur le rôle de PLATON notamment. Nous devons maintenant poursuivre notre démarche de mise en correspondance des éléments du discours architectural de la théorie mathématique. Ceci nous amène à aborder tout de suite la question du décalage chronologique que l'on peut enregistrer entre cette approche des mathématiques de l'antiquité et la période historique de référence que nous avons jalonnée au moyen des écrits contemporains.

Dans la totalité des contributions depuis celles de ZEYSING (1) et HENSZLMANN (2) jusqu'à celle de JOUVEN, le projet théorique demeure celui de la constitution d'une esthétique scientifique en général et plus précisément d'une esthétique architecturale scientifique. Le mécanisme de valorisation scientifique qui est mis en oeuvre correspond à la modélisation des propositions esthétiques par des procédures qui relèvent tantôt de la géométrie, tantôt de l'arithmétique, ou parfois des deux disciplines. L'utilisation de modèles codifiés que ce soit sous forme de calculs ou de tracés fonde aux yeux des auteurs le statut scientifique de leurs propositions.

Mais la question qui vient d'emblée à l'esprit est celle du synchronisme entre la production des modèles en question et leur utilisation. Question que l'on peut formuler de manière plus directe en s'interrogeant sur la nature des connaissances mathématiques mises en oeuvre par exemple par ZEYSING et HENSZLMANN qui sont les premiers auteurs que nous avons retenus. Est-ce qu'ils vont faire appel aux travaux mathématiques de leurs contemporains, PONCELET? GAUSS ou CAUCHY ?

(1) - ZEYSING - *"Aestetische Forschungen"* (1855)

(2) - HENSZLMANN - *"Théorie des proportions appliquées dans l'architecture depuis la XIIIième dynastie des rois égyptiens jusqu'au XVIième siècle"* - *Op.cit.*

En anticipant sur les résultats de l'analyse, nous pouvons répondre d'emblée par la négative. Pas plus que leurs successeurs attachés à des études de même ordre, ils n'ont besoin d'un outillage mathématique élaboré, tel que celui mis au jour par leurs contemporains mathématiciens. Il apparaît, plutôt, que les modélisations nécessaires à l'étalement de leurs propositions architecturales renvoient directement à l'aube de la théorisation et au début de la pensée mathématique.

Les éléments mathématiques repérés dans la totalité des textes étudiés se rattachent aux trois domaines suivants :

- la théorie des proportions et la théorie des nombres ;
- la géométrie du cercle et des polygones ;
- les développements en séries et plus spécialement celui proposé par FIBONACCI vers 1200.

Essayons d'abord de situer les conditions de développement de ces branches des mathématiques et de repérer l'époque de leur constitution.

La première théorie grecque des proportions a été formulée à l'époque des Pythagoriciens (1) dans la deuxième moitié du VI^{ème} siècle. Rappelons que les mathématiques pythagoriciennes sont régies par le présupposé philosophique que tout est nombre et que les nombres sont le "modèle des choses". Dans le cadre de cette croyance, l'arithmétique des nombres entiers est le sujet de recherche de prédilection des pythagoriciens même après qu'ils aient découvert les nombres incommensurables.

Leur théorie numérique des proportions ne s'applique qu'aux quantités commensurables. La définition que donne EUCLIDE dans le livre VII des "Eléments" (définition 20) correspond vraisemblablement à celle des Pythagoriciens : "Des nombres sont proportionnels lorsque le premier est le même multiple, ou la même partie, ou les mêmes parties du second que le troisième du quatrième".(2) Comme il n'existe pas de textes authentiques de la période de PYTHAGORE, les historiens des mathématiques sont amenés à supposer l'antériorité des éléments et leur origine pythagoricienne dans des textes postérieurs.

(1) Dans l'ouvrage collectif sur "L'histoire générale des Sciences" (Op. cit.), il est rappelé qu'ARISTOTE ne parle jamais de PYTHAGORE mais des Pythagoriciens. L'auteur du chapitre sur la "Science hellène" suit cet exemple sans préjuger de l'existence du mathématicien de SAMOS que certains tiennent pour légendaire.

(2) Définition rappelée par J.P. COLLETTE in "Histoire des mathématiques" - Editions du Renouveau Pédagogique sur QUEBEC (1973) - p. 52

Les écrits des écoles néo-pythagoriciennes, d'auteurs comme NICOMAUQUE de GERASA (III^e siècle de notre ère), mais plus encore le contenu du texte de synthèse que représentent les "Eléments" d'EUCLIDE, permettent de donner une version plausible des connaissances pythagoriciennes.

La nomenclature des rapports fait partie de ces hypothèses vraisemblables. Elle est rappelée par EUCLIDE dans le traité d'acoustique de la "Division du Canon" et par NICOMAUQUE. Elle correspond à l'énoncé d'une classification très lourde :

A étant le premier terme, B le second, on trouve :

- Le rapport multiple : la grandeur A est multiple de la grandeur B, où B mesure A : rapport double, triple, etc...
- Le rapport sous-multiple : la grandeur A mesure B : demi, tiers, quart, etc...
- Le rapport épimore : A contient B et un sous-multiple de B, émiode 1 et 1/2, épitrîte 1 et 1/3
- Le rapport épimère : A contient B et plusieurs parties : 1 et 1/2, 1 et 1/3 ou, plus tard, 1 et 5/6
- Le rapport multiple épimore, multiple épitrîte, etc... (1)

La technique des proportions, telle qu'elle est formulée dans le livre VII d'EUCLIDE, sera remplacée par celle d'EUDOXE (elle-même rapportée dans le livre V) pour éviter les difficultés dues aux irrationnels. Les propositions du Livre VII remontent vraisemblablement à la période pythagoricienne. En voici quelques exemples rapportés dans l'ouvrage de J.P. COLLETTE (2)

(1) cité par R. TATON - *Op. cit.*, p. 229 (T.1)

(2) COLLETTE J.P. - *Op. cit.*, p. 52

- 1) si $\frac{a}{b} = \frac{c}{d}$ alors $\frac{a}{c} = \frac{b}{d}$
- 2) si $\frac{a}{b} = \frac{d}{e}$ et $\frac{b}{c} = \frac{e}{f}$ alors $\frac{a}{c} = \frac{d}{f}$
- 3) si $\frac{a}{b} = \frac{c}{d}$ alors $\frac{b}{a} = \frac{d}{c}$
- 4) si $\frac{a}{b} = \frac{c}{d}$ alors $\frac{a+b}{b} = \frac{c+d}{d}$
- 5) si $\frac{a}{b} = \frac{c}{d}$ alors $\frac{a-b}{b} = \frac{c-d}{d}$

Enfin, signalons toujours à propos des proportions que les livres VI (définition 3) et XIII (proportions 1 à 6) des Eléments d'EUCLIDE, traitent de la section d'or en terme de division en rapports de moyenne et extrême raison. Sur une droite AB de longueur a, un point c tel que AC = b divise la droite en rapports d'extrême et moyen si $\frac{a}{B} = \frac{b}{a-B}$

Une autre thèse arithmétique que l'on fait remonter aux Pythagoriciens est celle des médiétés ou des moyennes. Les Pythagoriciens en distinguent trois, les plus importantes :

- la moyenne arithmétique qui se définit par la formule $\frac{a-b}{b-c} = \frac{a}{a}$ et dont la propriété essentielle est l'égalité de ses termes successifs $a - b = b - c$
- la moyenne géométrique pour laquelle le premier terme est au second comme le second est au troisième $\frac{a}{b} = \frac{b}{c}$ d'où $\frac{a-b}{b-c} = \frac{a}{b}$
- la moyenne musicale ou harmonique qui répond à la formule : $\frac{a-b}{b-c} = \frac{a}{c}$

EUDOXE aurait ajouté trois nouvelles médiétés aux précédentes, les néo-pythagoriciens ayant défini les 5 autres, portant à 11 le nombre des médiétés possibles (1)

La découverte des grandeurs incommensurables est également attribuée aux Pythagoriciens. Cette découverte est sans doute liée à l'incommensurabilité de la diagonale du carré avec son côté. Il faut noter que les Babyloniens avaient fait cette constatation et avaient donné une approximation de la valeur de la

(1) Cette démonstration est rappelée dans l'ouvrage dirigé par R. TATON (p. 232 - Tome 1)

diagonale, mais les Pythagoriciens dépassent nettement ce niveau empirique en établissant la preuve de la non commensurabilité. Celle-ci est menée à partir d'une démonstration utilisant la technique du pair et de l'impair. Si l'on admettait que la diagonale est commensurable à côté du carré, un nombre pair serait égal à un nombre impair (1)

La théorie des nombres relève de ce que les anciens grecs appelaient l'arithmétique. Les techniques de calcul qui sont désignées par l'acception actuelle de notre "arithmétique" portaient le nom de "logistique".

Les Pythagoriciens ont défini les nombres pairs, impairs et les ont classés suivant des propriétés objectives correspondant à des nombres amicaux, parfaits, abondants, déficients. (2) Rappelons qu'il y a eu, dès l'origine, transfert de ces définitions vers le domaine philosophique et vers des considérations mystiques mais que nous ne traitons ici que de la connaissance rationnelle intéressant les débuts de la science mathématique.

Les nombres figurés représentent un autre volet des travaux de classification des premiers mathématiciens grecs. Ils montrent les liens qui pouvaient exister entre les notions de nombre et celle de forme, entre géométrie et arithmétique. Ainsi, les Pythagoriciens représentent les nombres par des points disposés en figures. Selon la forme de ces figures, ils constituent les nomenclatures de différents types de nombres triangulaires, carrés, pentagonaux, hexagonaux. Ils distinguent les nombres que l'on peut disposer en plans (en rectangles, et ceux pour lesquels cela est impossible (7 par exemples. Ces derniers sont appelés nombres linéaires ou nombres premiers.

(1)

(2) - *"Deux nombres sont amicaux si chacun est la somme des diviseurs propres de l'autre. Par exemple, 284 et 220 sont des nombres amicaux car la somme des divisions propres de 284 (1, 2, 4, 71, 142) égale 220 alors que celle de 220 (1, 2, 4, 5, 10, 11, 20, 22, 44, 55, 110) donne 284. Ces paires de nombres amicaux furent appelées à jouer un rôle important dans la magie, la sorcellerie, l'astrologie et le calcul des horoscopes.*

Un nombre est parfait s'il est la somme de ses diviseurs propres, déficient s'il excède cette somme, abondant si cette somme excède le nombre"

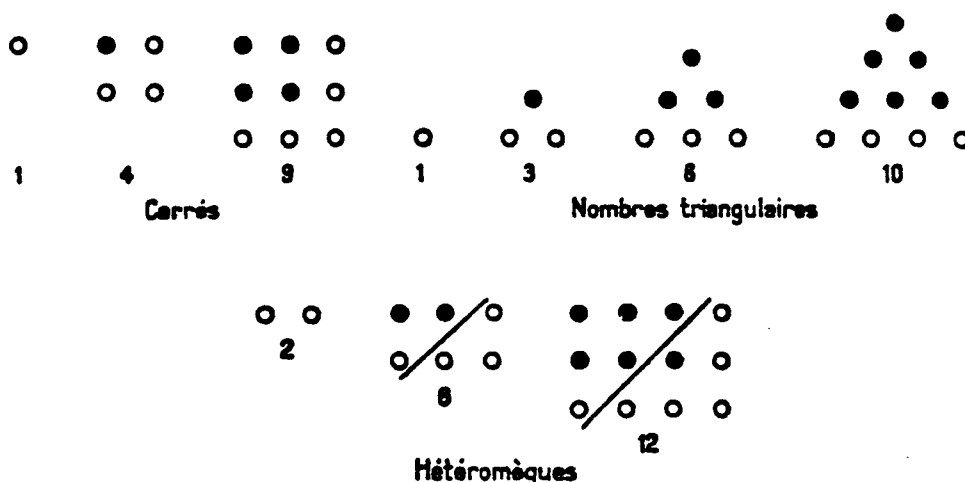
J.P. COLLETTE - Op. cit. (p. 51 - T.1)

De la même manière, les nombres solides peuvent se disposer en parallélépipèdes mais aussi en cubes, en pyramides ou polyèdres.

A partir de ces figurés, on peut démontrer des propriétés des nombres. Les nombres triangulaires sont obtenus par sommation des nombres entiers consécutifs ($1 + 2 + 3 + 4 + 5\dots$), les nombres carrés résultent de la somme des impairs consécutifs ($1 + 3 + 5\dots$)., les hétéromèques par sommation des nombres pairs ($2 + 4 + 6\dots$).

On démontre avec les diagrammes de points que tout nombre carré est la somme de deux nombres triangulaires successifs ($1, 1 + 3, 3 + 6 \dots$)

Le gnomon est la figure qu'il faut ajouter pour passer d'un nombre figuré au suivant de même nature. Dans l'illustration ci-après, empruntée à l'ouvrage dirigé par A. TATON (1), les gnomons sont représentés par les points blancs.



Géométrie et arithmétique ne sont donc pas totalement distinguées dans les travaux de la période pythagoricienne. Si au début l'une est caractérisée par la perception sensible de certaines évidences, l'autre apporte la certitude

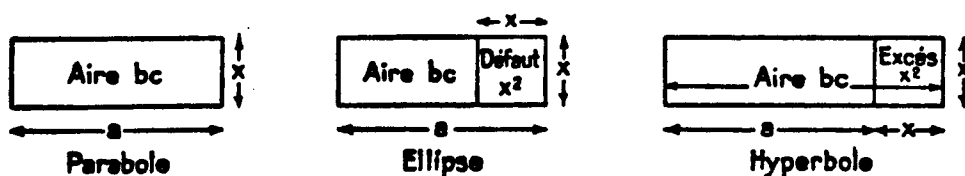
(1) TATON R. - *Op. cit.*, p. 228

du calcul mais progressivement, la géométrie va définir un ensemble de définitions précises et des procédures de démonstration rigoureuses.

Le fameux théorème attribué à PYTHAGORE : "Dans les triangles rectangles, le carré du côté qui soutient l'angle droit est égal aux carrés des côtés comprenant l'angle droit" est également lié à la formule pythagoricienne pour définir deux nombres carrés dont la somme est un carré.

La construction de "figures cosmiques" ou solides réguliers (tétraèdre, cercle, octaèdre, dodécaèdre et icosaèdre) est attribuée par les trois premiers aux Pythagoriciens, pour les deux derniers à THEETETE, contemporain de PLATON.

Les pythagoriciens sont également les initiateurs de méthodes de représentation des nombres au moyen de formes et de quantités géométriques. Aussi, avec des tracés, arrivent-ils à établir géométriquement les identités $(a + b)^2 = a^2 + 2ab + b^2$, $(a - b)^2 = a^2 + b^2 - 2ab$ ou $(a + b)(a - b) = a^2 - b^2$



Les équations quadratiques sont résolues par une méthode d'application des aires. Dans les "Eléments", EUCLIDE ne fait intervenir que les problèmes susceptibles d'être résolus par la règle et le compas ou qui ne nécessitent que les techniques d'application des aires. Des questions faisant appel à des équations dépassant le premier et le second degré sont pourtant posées et résolues. Il en est ainsi de la quadrature du cercle, de la duplication du cube, de la trisection de l'angle.

Ces livres III et IV des "Eléments" traitent de la géométrie du cercle et de la géométrie des polygones inscrits. Les constructions des polygones réguliers à 3, 4, 5, 6 et 15 côtés sont données ainsi que la méthode pour doubler

ces nombres de côtés (1). Le contenu de ces deux livres est généralement attribué à HIPPOCRATE de CHIO qui s'installe à ATHENES vers 470 avant J.C. alors que le traité d'EUCLIDE est rédigé à ALEXANDRIE vers 300 avant J.C.

Il est généralement admis que les treize livres des "Eléments" correspondent à une compilation et à une mise en ordre des travaux antérieurs en géométrie, en théorie des nombres, en algèbre traitée géométriquement qui sont présentés en une suite logique de 465 propositions accompagnées d'axiomes, de postulats et de définitions (2). L'ouvrage d'EUCLIDE est sans conteste le plus célèbre et le plus remarquable traité de mathématiques légué par l'antiquité.

Sur EUCLIDE lui-même, on ne possède que peu d'informations. Il fut le fondateur de l'école de mathématiques d'ALEXANDRIE et a probablement été formé à ATHENES. L'influence des Elements couvre toute la période du début du 3ième siècle avant J.C. à nos jours. Ils ont marqué l'enseignement de la géométrie et la pensée scientifique pendant plus de 20 siècles.

A l'issue de cet examen rapide des acquis des mathématiques grecques jusqu'à EUCLIDE, nous constatons que les éléments mathématiques présents dans les traités d'esthétique et d'architecture que nous avons répertoriés sont entièrement constitués dans la période qui correspond à la fondation des mathématiques grecques jalonnée par les propositions des pythagoriciens et la synthèse d'EUCLIDE.

(1) - J. Cl. CARREGA dans "Théorie du corps, la règle et le compas" - Ed. HERMAN, PARIS (1984) signale que personne n'a pu en obtenir d'autres jusqu'en 1796 où K.F. GAUSS démontra que le polygone régulier à 17 côtés était constructible à la règle et au compas.

(2) - COLLETTE J.P. - Op. cit. (p. 68 - Tome 1)

Deux exceptions peuvent pourtant être opposées à cette affirmation. Elles concernent, l'une les développements en série tels qu'ils apparaissent dans le "Liber abaci" de LEONARD de PISE plus connu sous le nom de FIBONACCI (1180-1250)(1) L'autre la méthode de décomposition harmonique des rectangles ou à l'inverse leur construction récurrente préconisée par HAMBIDGE (2) et reprise par d'autres auteurs.

De manière synoptique, nous pouvons mettre en regard les principaux éléments mathématiques examinés dans la période de référence de l'antiquité grecque et leurs correspondances dans les traités d'architecture et d'esthétique que nous avons retenus depuis 1850 jusqu'à la période contemporaine. Nous obtenons la classification indiquée page suivante.

(1) - La suite de FIBONNACI a été formulée à l'occasion du problème, suivant :

"Combien de couples de lapins obtiendrons-nous à la fin d'une année si, commençant avec un couple, chacun des couples produit chaque mois un nouveau couple, lequel devient productif au second mois de son existence ?"

Ce problème donne lieu à la suite : 1, 1, 2, 3, 5, 8, 13... U_n ou

$U_n = U_{n-1} + U_{n-2}$. Cette suite comporte des particularités remarquables :

Ainsi : U_n et U_{n+1} sont premiers entre eux

$$U_n/U_{n+1} = \frac{5-1}{2} = \emptyset$$

(2) - HAMBIDGE J. - "Dynamic symetry" - Yale University Press. (1924)

- Première théorie numérique des proportions (valeurs commensurables)
M. GHYKA, LE CORBUSIER, A. LURCAT, G. JOUVEN

- Théorie des proportions élargies aux incommensurables
A. THIERSCH, F.M. LUND, M. GHYKA, G. JOUVEN

- Théorie des moyennes ou médiétés
M. GHYKA, A. LURCAT, G. JOUVEN

- Géométrie du cercle et des polygones inscrits
M. MOESSEL, F.M. LUND, M. TEXIER, M. GHYKA, A. LURCAT

- Méthode d'application des aires
M. GHYKA

- Série de FIBONNACCI
M. GHYKA, A. LURCAT, LE CORBUSIER, G. JOUVEN

- Construction récurrente des rectangles à partir de la diagonale du carré
J. HAMBIDGE, M. GHYKA, A. LURCAT, G. JOUVEN

Le constat que nous venons de faire sanctionne un certain archaïsme du recours, que les théoriciens d'architecture préoccupés par les tracés et les proportions, font aux mathématiques. Ne s'agirait-il pas d'une science mathématique inscrite dans une tradition lointaine, où l'on démêlerait difficilement ce qui relève de la constitution de la science proprement dite, de ce qui intéresse la mystique des nombres et des figures ?

Certains auteurs sont conscients du problème et essaient de répondre par avance à ce type d'objection. Deux attitudes peuvent alors être relevées : ceux qui vont se démarquer du fatras, qu'ils qualifient d'obscurantiste, des croyances dans les propriétés magiques des nombres et des figures - ceux qui tentent de rattacher les éléments mathématiques qu'ils utilisent et que nous avons répertoriés, à la théorie mathématique contemporaine.

Les premiers se font l'écho du courant rationaliste antinomique des spéculations sur le nombre et l'harmonie. Ce courant trouve chez des auteurs comme Marcel BOLL (1) des zéloteurs convaincants qui ne nuancent pas leur propos :

(1) - BOLL M. - "Le Mystère des nombres et des formes" - LAROUSSE, PARIS (1941)

"Toute cette numérologie, toute cette arithmologie a longtemps retardé les progrès de la pensée : la fascination spéciale, que les nombres pris individuellement ont exercée sur l'esprit humain depuis un temps immémorial, a été l'obstacle principal à l'édification d'une théorie collective des nombres, autrement dit de l'arithmétique, comme l'intérêt concret, qui s'est attaché aux étoiles particulières, a entravé la naissance de l'astronomie" (1).

A cette critique, extérieure au monde de l'esthétique et de l'architecture, fait écho une dénonciation, propre au milieu, des divagations et superstitions dont les nombres et les figures servent de support. Cette critique est formulée par G. JOUVEN :

"C'est pourquoi (sans citer de noms) nous considérons avec le plus grand intérêt les réseaux graphiques, cercles segmentés, carrés, rectangles, triangles, diagonales, pentagones, pentagrammes qui fleurissent en surimpression sur des dessins de monuments et que leurs auteurs pensent être des tracés harmoniques de ces monuments ; nous nous bornerons personnellement à considérer comme des concepts graphiques esthétiques subjectifs valables à ce seul titre. L'erreur de ces auteurs (car nous sommes bien obligés de dire qu'il y a erreur) est de n'avoir pas traité le problème rationnellement avec les seuls recours d'apports archéologiques certains, mais d'avoir ajouté et mêlé des apports esthétiques subjectifs, les leurs.

Les références authentiques de ces auteurs sont inexistantes et la plupart du temps, lorsqu'ils accompagnent de justification les graphismes présentés, ces justifications sont si surprenantes qu'elles incitent à penser que nos anciens confrères étaient dotés de très modestes quotients intellectuels" (2) ;

Plus perfide est la remarque du même G. JOUVEN citant le théorème de Charles HERMITE, mathématicien ami d'AURES et de CHOISY :

"Deux longueurs prises au hasard peuvent toujours être reliées par un grand nombre de constructions géométriques de caractère simple" (3)

(1) - BOLL M. - "Histoire des mathématiques" - P.U.F., 11^{ème} édition, PARIS (1968) - p. 14

(2) - JOUVEN G. - Op. cit. (p. 262)

(3) - JOUVEN G. - Op. cit. (p. 265)

Pour illustrer la portée de cet engouement, en particulier dans les années 30 et 40, nous pouvons donner un exemple de "percée" de la problématique des proportions et du nombre d'or hors des sentiers de l'esthétique, dans les domaines de la technique et de la physique.

Dans le numéro de JANVIER 1942 de la revue "L'Architecture Française", on trouve un article d'un ingénieur se proposant de montrer qu'un immeuble dont les proportions seraient réglées par le nombre d'or verrait ses pertes calorifiques diminuer (1)

Peut-on avancer qu'il y a là une possibilité inattendue de réactualisation de la section dorée, en regard de nos préoccupations très actuelles en matière d'économie d'énergie ?

Plus récente est l'opinion formulée sur la question par D.G. EMMERICH. Dans son cours de Géométrie constructive à propos des "Nombres et des mesures", il introduit le Nombre d'or par la notion de série et en particulier par la série de FIBONACCI. Sa présentation s'efforce de banaliser et de conjurer les interprétations magiques de la section d'or :

"La formule algébrique de la section d'or ne comporte que deux termes ; c'est une simple règle à trois où la somme des deux premiers termes forme le troisième :

$$a : b = a + b : a$$

et la série correspondante où :

$$U_n = U_{n-1} + U_{n-2} \text{ sera :}$$

1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, 34, 55, 89... Ceci à condition de commencer par 1 car, en fait, on peut commencer par n'importe quel autre nombre, ce qui donne autant de séries de chiffres.

Le rapport entre deux termes voisins s'approche d'une valeur limite appelée le nombre d'or qui est 1,618... ou $\frac{1 + \sqrt{5}}{2}$ si on divise le plus grand terme par le plus petit et d'une valeur $\frac{1 - \sqrt{5}}{2}$ de 0,618 ou $\frac{1}{\sqrt{5}}$ si inversement on divise le plus petit par le plus grand terme de la suite.

Cette curiosité a incité certains à accrédi- ter des vertus magiques au nombre d'or et en élaborer des gammes modulaires qui résoudraient les problèmes de la construction, de l'industrialisation, de l'esthétique... où tout cela à la fois. En fait, ces séries ne sont rien d'autre que des exemples des configurations proportionnelles composées de simplex similaires" (2)

L'allusion au MODULOR de LE CORBUSIER paraît transparente. En illustration, l'homme au bras levé de 2,26 m figure en compagnie de quelques uns

(1) FISTIE G. - "Influence des proportions d'un immeuble sur ses pertes calorifiques" in L'ARCHITECTURE FRANCAISE n° 15 - JANV. 1942, pp. 35/39

de ses illustres prédécesseurs occupant en des postures diverses et à l'initiative de DI GIORGIO, CATANEO, DURER ou autres, les mailles de divers réseaux géométriques.

Nous choisissons enfin, pour clore cette série d'appréciations critiques sur l'usage des règles de mise en proportion et des tracés géométriques, la position de E. KAUFMAN.

Même si l'historien d'architecture formule son avis à propos de F. BLONDEL, il prend soin d'étendre de manière non équivoque son propos à tous ceux qui sont tentés par la "quantification de la beauté". Après avoir rappelé la découverte par J.F. BLONDEL de la différence entre les proportions de la porte ST-DENIS telle qu'elle est construite, et les préceptes avancés par son auteur dans le "Cours d'architecture", il donne une opinion sans équivoque :

"Seuls ceux qui, aujourd'hui comme jadis, qu'ils soient italiens ou français, n'apprécient pas les qualités artistiques d'un édifice et ne comprennent pas la nature du processus historique tiennent de longs discours sur les proportions. Ils pensent faire croire à leur érudition par l'emploi de colonnes de chiffres ou, pour citer la critique que fait Jacques-François BLONDEL de François BLONDEL et de Charles-Etienne BRISEUX, en affectant un "air de savant..." ou en faisant "parade de théorie" (1)

(1) KAUFMANN E. - Op. cit. p. 142

A. LURCAT dénonce de manière plus vive certains errements :

"Le problème de la mise en proportion d'une surface ou d'un volume fut, de tout temps, fort étudié et discuté. Il fut à l'origine de nombreux écrits où les auteurs montrant l'excellence de certains rapports de proportion, essayèrent de dégager parmi la variété infinie de rapports arithmétiques ou géométriques possibles, ceux, qui selon eux, se présentent dotés de vertus harmoniques incontestables. Là encore grande est la confusion ; en effet, la plupart de ces auteurs firent reposer, à tort, leurs considérations sur des raisons métaphysiques, sur des spéculations mathématiques, ou encore sur des correspondances illusoire d'ailleurs avec les autres arts (1) ;

Cette opinion est partagée par R. HUYGHE qui signale le retentissement de l'ouvrage de M. GHYKA, tout en émettant des réserves sur certains aspects qu'il juge néfastes de son influence :

"L'éminent biologiste, D'ARCY Wentworth Thompson, a donné à l'étude de ces formes la base scientifique indispensable quand, en 1917, il publia son ouvrage désormais classique "On Growth and form" ("De la croissance et de la forme") (1). Il y a rassemblé tout ce qu'on peut savoir d'important sur cette question. Il se trouve qu'en 1927, sur son aspect artistique, Matila C. GHYKA a rédigé, par ailleurs, un livre qui eut un grand retentissement (2). L'auteur a été entraîné dans un plaidoyer quelque peu forcé en faveur de la section d'or, dont on sait qu'elle a beaucoup agité et continue d'agiter les esprits. Sans doute même a-t-il contribué à lui donner l'importance excessive qu'elle a prise pour certains, que travaillait, comme il n'arrive que trop de nos jours, le désir de concilier le goût du merveilleux de l'aspect savant. Du moins a-t-il eu le mérite de ramasser de façon frappante les lois scientifiques qui expliquent le mieux la différence séparant les formes organiques des formes inorganiques - l'équilibre cristallin, naturel à la matière, de la pensée, propre à la croissance de la vie." (2)

1) Cet ouvrage a déjà été cité à plusieurs reprises. John Tyler Donner en a établi en 1961 une version plus concentrée, mais qui a le mérite d'être révisée à la lumière du progrès accompli depuis par la science ; il les a suivis jusqu'à sa nouvelle édition de 1966 (Cambridge University Press)

2) Matila C. GHYKA - "Esthétique des proportions dans la nature et dans les arts, N.R.F., PARIS, 1927

1) LURCAT A. - *Op. cit.* (vol. V, p. 22)

2) HUYGHER - "Formes et fonction" - Ed. FLAMMARION, PARIS (1971) - p. 264

En regard de ces opinions négatives, certains auteurs sont conscients du caractère "traditionnel" et parfois archaïsant des éléments mathématiques qu'ils invoquent. Ils vont tenter, soit de réactualiser les connaissances correspondantes en les présentant ou en les faisant présenter dans le discours plus général de la théorie mathématique contemporaine - soit de mettre en avant certaines permanences, légitimant l'idée d'une connaissance mathématique révélée une bonne fois pour toute au VII^{ème} siècle avant J.C. sur les rives de la Méditerranée.

Pour illustrer la première catégorie, nous pouvons à nouveau citer G. JOUVEN demandant à deux mathématiciens (MM. MALDANT et PEREZ), de présenter la justification du principe de récurrence des formes, et la représentation algébrique des thèmes (à l'intérieur du même corps), où LE CORBUSIER faisait appel également à ses spécialistes pour la définition de son MODULOR. Pour donner un exemple des efforts de ce type mis en oeuvre pour actualiser les mathématiques de la période pythagoricienne, nous aurons encore recours à des arguments proposés par M. GHYKA. Dans "Le Nombre d'Or", il invoque la théorie des Ensembles de CANTOR et RUSSEL et la distinction entre nombres ordinaux et cardinaux pour rappeler la distinction antique entre arithmologie (mystique du nombre) arithmétique et logistique. Cette argumentation débouche néanmoins sur une profession de foi, de mystique pythagoricienne (1). Dans "L'esthétique des proportions dans la nature et dans les arts", il met en oeuvre un appareillage de modèles physiques et mathématiques plus important et plus récent que celui que nous avons inventorié. La géométrie des spirales, celle des partitions de l'espace, les lois physiques des équilibres cristallins sortent de notre domaine dans la mesure où elles intéressent les questions de la morphologie des formes végétales et animales ainsi que les domaines de la cristallographie. M. GHYKA est toujours à la recherche d'un point de vue unificateur, faisant remonter toute

(1) "Il nous a fallu attendre l'établissement de la théorie des ensembles de Cantor-Russel pour redécouvrir que le chiffre 2, le nombre deux, la dyade ou couple et l'Idée de Dualité étaient des choses bien différentes. Essayons donc d'oublier les chiffres et de repenser des Nombres Purs ; il nous paraîtra alors aussi raisonnable qu'à nos deux guides antiques d'admettre que le Cosmos étant ordonné et rythmé, le Nombre est, suivant l'expression de Nicomaque, l'essence éternelle de la réalité". - GHYKA N., Op. cit. (p. 21, tome 1)

science à la période hellénique, il établit ainsi des filiations entre les théories des solides géométriques et les travaux de KLEIN au XIXième siècle (1)

Cette opinion sur l'actualité du fond des mathématiques grecques défendue, selon des registres divers, par les architectes ou esthéticiens que nous venons de citer, est relayée parfois par les mathématiciens contemporains.

Une contribution récente plaide à ce titre pour une conception unitaire de la pensée mathématique. Elle a le mérite supplémentaire de développer une stratégie pédagogique progressive s'appuyant, à la fois, sur la connaissance historique de la construction des mathématiques et sur le principe d'expérimentation préalable aux conceptualisations.

Il s'agit de l'ouvrage récent du mathématicien lyonnais J. Cl. CARREGA qui se propose de partir de problèmes de la géométrie grecque pour aborder les questions fondamentales d'algèbre et de la théorie des corps (2). Son intention dans ce travail est de montrer qu'il est difficile d'opposer algèbre et géométrie et mathématiques modernes et anciennes.

Les tracés géométriques utilisent la règle et le compas, le compas seul, la règle seule, les pliages, la règle accompagnée d'une équerre. Mais certains problèmes célèbres que s'étaient posés les grecs résistent à l'usage de la règle et du compas. J.C. CARREGA reprend les solutions approchées proposées par résolution graphique ou résolution mécanique. Tour à tour, il expose le tracé de la conchoïde de NICOMEDE (2ième siècle avant J.C.), permettant de donner une résolution mécanique de la trisection de l'angle, de la cissoïde de DIOCLES (2ième siècle avant J.C.) qui permet de résoudre la duplication du cube ; ou de la quadratrice de DINOSTRATE (4ième siècle avant J.C.) que celui-ci utilisa pour résoudre la quadrature du cercle.

(1) - *"Le XIXième siècle a repris l'étude mathématique et la classification des solides géométriques qui, en servant de point de départ à la théorie des partitions homogènes de l'espace, permirent d'établir les bases de la cristallographie. Notons que, par un curieux effet de boomerang, c'est la considération des diverses superpositions possibles de l'icosaèdre régulier qui permit à KLEIN d'appliquer la théorie des groupes à la solution de l'équation générale du 5ième degré"* - GHYKA M., *Op. cit.* (p. 134)

(2) - CARREGA J.Cl. - *"Théorie des corps, la règle et le compas"* - Ed. HERMANN, PARIS (1981)

Après l'éclipse des sciences mathématiques, il faut attendre la fin du 16ième et les travaux de F. VIETE puis de DESCARTES pour relever un intérêt pour la question des tracés à la règle et au compas. En 1837, P.L. WANTZEL donne une démonstration de l'impossibilité de la duplication du cube et de la trisection de l'angle. Il situe de manière plus correcte le problème de la quadrature du cercle lié selon lui à la nature du nombre (la transcendance de sera démontrée par LINDEMANN en 1882).

La démonstration que les points construits à la règle et au compas peuvent en réalité être construits uniquement avec le compas a été donnée à des époques différentes par le danois MOHR (1640-1697) et par l'italien MASCHERONI (1750-1800) dans son ouvrage "La géométrie del compasso" de 1797.

Un autre résultat énoncé par PONCELET (1788-1867) : "Les points que l'on peut construire à la règle et au compas peuvent être construits uniquement à la règle à condition de se donner un cercle dans le plan du dessin" a été démontré par STEINER (1796-1863).

Dans son historique, J. Cl. CARREGA cite également les travaux sur l'usage de la règle seule de LAMBERT, de BRIANCHON, de VON STAUDT en faisant remarquer que tous ces mathématiciens sont les successeurs de DESARGUES, créateur de la géométrie projective.

LA TOPOLOGIE CHEZ L'ARCHITECTE

Comme le dit fort bien G. LOPEZ en introduction d'un cours destiné aux élèves architectes : "La topologie peut être considérée comme la théorie mathématique qui formalise les notions intuitives de voisinage, limite, continuité, frontière, morcellement, etc...". Les mathématiciens l'ont d'abord utilisée pour la théorie des fonctions, plus récemment elle a servi aux travaux de logique mathématique de R. FRAISSE ou en méthodologie des sciences de l'observation, avec son utilisation par R. THOM pour définir la "stabilité structurelle".

Les architectes, eux, continuent, pour beaucoup, à y voir une "géométrie de caoutchouc". A partir du couple d'opposition simple entre le "dur" euclidien et le "mou" topologique, ils construisent ainsi une acception qui leur est propre. Elle correspond, pour l'essentiel, au détournement de quelques concepts et de quelques fragments, souvent les plus anciens, de l'édifice topologique, qui sont associés à des procédures de conception du projet en des modalités qu'il convient d'élucider.

Nous allons justifier cette allégation en examinant des domaines de l'architecture qui font plus ou moins largement appel à l'argumentaire topologique. Il s'agit respectivement :

- de l'étude des structures et de la géométrie constructive,
- de l'emploi de la topologie comme "géométrie de l'esquisse",
- de la définition des caractéristiques des trames,
- de la formalisation de la constitution du projet.

Mais, d'entrée, nous pouvons noter une propension du secteur de l'architecture à envisager la topologie comme une forme de la géométrie. Pour lever cette ambiguïté et avant de passer en revue les trois thèmes que nous venons d'énumérer, il nous a paru intéressant de retracer brièvement l'historique montrant la manière dont les deux disciplines avaient évolué dans le temps. Nous nous appuyons pour dresser ce tableau sur l'ouvrage de J.P. COLLETTE (1) et sur le travail collectif sur l'histoire des Sciences dirigée par R. TATON (2)

Après avoir été une discipline scientifique importante à l'époque d'EUCLIDE, la géométrie cède le pas à partir de la chute de l'Empire Romain à l'algèbre et à la trigonométrie. Il faut attendre la fin du Moyen-Age et la Renaissance

(1) COLLETTE J.P. - "Histoire des mathématiques" - Op. cit.

(2) TATON R. - "Histoire générale des Sciences" - Op. cit.

pour voir les préoccupations des peintres et les problèmes de figuration de l'espace sur un plan provoquer un renouveau d'intérêt pour une discipline en léthargie. Le XVIII^e siècle ouvre une période de renouveau avec les travaux de DESCARTES et de FERMAT (1601-1665) sur la géométrie analytique. A partir de l'étude de la perspective, DESARGUES et PASCAL (1623-1662) jettent les bases, toujours au XVIII^e siècle, de la géométrie projective. Cette tentative ne connaîtra pas de suite et il faut attendre MONGE (1768-1818) et ses élèves, CHASLES (1793-1880), BRIANCHON (1785-1864), DUPIN (1784-1873), PONCELET (1788-1867) pour assister à un renouvellement de la géométrie pure (travaux sur la géométrie descriptive et la géométrie projective). En dehors de France, J. STEINER (1796-1863), mathématicien suisse enseignant à BERLIN et son successeur, K.G. VON STAUDT (1798-1867) fondent la géométrie projective comme sujet indépendant du concept de distance ouvrant la voie aux compléments de F. KLEIN. La géométrie synthétique ne connaît plus de développement spectaculaire pendant la deuxième moitié du XIX^e siècle. En revanche, la géométrie analytique utilisant les progrès de l'algèbre linéaire progresse de manière sensible. Certains mathématiciens s'efforcent de maintenir une collaboration entre les deux méthodes analytiques et synthétiques, d'autres, au contraire, polémiquent et tentent de démontrer la supériorité des unes ou des autres.

La première moitié du XIX^e siècle est la période d'invention et d'étude des géométries non-euclidiennes, les noms de GAUSS (1777-1855), de BOLYAI (1802-1861), de LOBATCHEVSKY (1793-1856) sont attachés à cette découverte. En 1851, V. RIEMAN publie également un ouvrage sur une géométrie non-euclidienne. Autour de 1810 la question que se posent les mathématiciens est celle de la légitimité de ces géométries nouvelles. La discussion s'apaise avec le programme d'ERLANGEN que F. KLEIN (1849-1925) formule et fait publier en 1872, à l'occasion de sa dissertation inaugurale à l'Université. Il propose une classification des géométries partant de la géométrie projective. Les différentes géométries sont caractérisées par les groupes de transformation qui leur correspondent. Chaque géométrie étant la théorie des invariants d'un groupe particulier de transformation. Ainsi, la géométrie euclidienne est l'étude des invariants du groupe métrique, la géométrie projective celle des invariants du groupe linéaire (groupe des colinéations), la topologie celle des invariants du groupe des transformations ponctuelles continues.

Nous voyons dans ce panorama rapide apparaître la topologie. C'est LEIBNIZ qui, dans la seconde moitié du 17^e siècle, sous le nom d'"Analysis situs" ou de "géométrie de situation" en pressent le rôle et l'importance.

Divers problèmes célèbres lui sont attachés : celui des ports de ST-PETERSBOURG (EULER), celui des noeuds (GAUSS, LISTING, TAIT, KIRKMAN), celui du coloriage d'une carte de géographie (MOBIUS, DE MORGAN, TAIT, KEMPE).

Si l'idée d'une discipline mathématique autonome rendant compte de ces problèmes de position apparaît très tôt chez EULER (1707-1783), GAUSS (1777-1855), ou chez LISTING (1808-1882), c'est à RIEMAN (1826-1866) que l'on doit sa fondation véritable.

RIEMAN considère la topologie comme l'étude des propriétés invariantes sous l'effet des transformations bi-univoques continues. Il introduit ainsi des considérations topologiques dans la théorie des fonctions des variables complexes puis dans toute l'analyse. RIEMAN définit la notion de connectivité, les ordres de connexion, la classification des surfaces d'après leurs transformations. Il met en évidence l'importance d'invariants comme le nombre de dimensions d'une figure. Ses successeurs, l'italien BETTI (1823-1892), MOBIUS (1790-1868), JORDAN (1838-1922) ou le suisse SCHLAFI (1814-1895) développent ses théories et aboutissent notamment à la formation d'une théorie des surfaces.

Au XXIème siècle, la topologie peut être divisée en deux branches distinctes : la "topologie combinatoire" (intéressant la géométrie de situation et la "topologie des ensembles de points", cette dernière concernant l'arithmétisation de l'analyse. C'est J.H. POINCARÉ (1854-1912) qui fera faire un pas décisif à la géométrie de situation en entreprenant une étude systématique de la théorie combinatoire des figures géométriques. Cette topologie combinatoire appelée encore "Analysis situs" est l'étude des aspects qualitatifs des configurations spatiales qui demeurent invariants lorsqu'ils sont soumis à des transformations bi-univoques. Les proportions peuvent être énormément modifiées mais les positions relatives des diverses parties ne sont pas modifiées. Ces transformations déforment mais ne produisent ni coupures, ni déchirures, ni, à l'inverse l'adhérence entre les parties séparées.

A partir de ses études publiées dans la mémoire "Analysis situ" de 1895, POINCARÉ généralise cette approche du problème de la géométrie de situation des configurations spatiales à n dimensions. Il met, entre autres, en évidence les concepts de simplexe et de complexe, le concept d'invariants topologiques, les nombres de torsions et d'intersections, la notion de groupe fondamental de lacets, ouvrant ainsi un champ de recherche qui sera largement exploré dès le début du XXIème siècle.

Les évolutions de la topologie sont influencées par la création de la théorie des ensembles, par les progrès de la théorie des nombres réels et par l'étude des fonctions de variables réelles. En dehors des travaux de POINCARÉ, on peut citer en FRANCE ceux de HADAMARD et de JORDAN en Italie, avec ceux de BETTI, ceux d'ASCOLI et en ALLEMAGNE les apports de HILBERT à la suite de ceux de CANTOR et de KLEIN.

A l'issue du bref rappel de ces quelques jalons historiques, essayons, à travers les trois rubriques que nous avons retenues, de voir si les architectes et, de manière plus large, le domaine de l'architecture, ont été marqués ou non par cette évolution.

LES APPROCHES MORPHO-STRUCTURALES ET LA GEOMETRIE CONSTRUCTIVE

Pour examiner ce qui relève de la transaction entre mathématiques et théorie architecturale dans un domaine que nous repérons par cette rubrique "approches morpho-structurales et géométrie constructive", il est nécessaire d'opérer un double réajustement.

Le discours morpho-structural est en effet tenu dans un registre hybride où les appareillages physiques, mathématiques, technologiques, mais aussi socio-économiques et esthétiques sont tour à tour convoqués. Actuellement, il est formulé par des spécialistes qui ont généralement une formation technologique ou scientifique. Même si certains ont complété cette formation par des études ou des activités d'architecte, le support méthodologique de leurs réflexions apparaît comme étant celui des approches modélisées et des démarches expérimentales. Cette dominante recoupe une position doctrinale qui correspond en gros à une idéologie de la modernité, de la rupture avec les conventions, les habitudes de pensée, de construire et d'utiliser l'espace.

Mais, pas plus qu'elle ne relève de façon stricte du discours théorique d'architecture, l'approche morpho-structurale ne peut être à l'évidence considérée comme une branche des mathématiques appliquées, de la statique ou de la technologie. Elle s'appuie sur certains éléments théoriques, elle utilise des procédures de tracés ou de calculs, mais elle ne possède pas d'existence autonome en tant que telle.

Nous nous trouvons donc confrontés à un domaine complexe où, pour mettre en avant les corrélations entre éléments théoriques d'architecture et éléments mathématiques, il faut d'abord isoler les uns et les autres intimement liés à un discours aux rattachements multiples. Le principe de cette sélection arrêté, un autre problème de méthode se pose immédiatement : comment faire la part de ce qui relève du discours morpho-structural de ce qui intéresse l'approche purement constructive ? Avec comme question corollaire, celle de la période historique sur laquelle porterait l'examen de la correspondance - étant entendu que dès les premières formulations de la théorie architecturale les arguments constructifs sont présents. Ainsi, par glissement, notre travail

pourrait évoluer vers une analyse des correspondances entre les progrès technologiques de la construction et les avancées théoriques des mathématiques saisies les unes et les autres dans le corpus des traités théoriques d'architecture.

Devant ces difficultés, nous allons tenter d'isoler, néanmoins, ce qui nous semble ressortir aux domaines de la "théorie-doctrine" architecturale et de l'argumentaire mathématique dans ce secteur que l'on voit aussi parfois repéré en architecture par l'expression de "recherche structurale".

On pourrait, au prix d'une historiographie méticuleuse, mettre en avant les rôles de VIOLLET-LE-DUC, de HOREAU, de BAUDOT, voire ceux de B. TAUT ou de G. HABLIK, mais, dans l'histoire spontanée des courants de l'architecture moderne, c'est à R. LE RICOLAIS que l'on attribue, sans conteste, la paternité de la recherche sur les structures spatiales.

De la présentation du catalogue de l'exposition de son oeuvre en 1965 au Palais de la Découverte, on peut extraire les affirmations suivantes :

"En 1962, M. André MALRAUX, Ministre d'Etat chargé des Affaires Culturelles lui décerne le Grand Prix d'Architecture disant que LE RICOLAIS est le "Père des structures spatiales" et que "les idées ont influencé les plus grands architectes".

Léon PREBANDIER dit de lui qu'il fut "le premier à introduire la topologie comme un instrument mathématique pour le calcul des structures". Michel RAGON note qu'il est "le précurseur de l'Urbanisme spatial".

Plus dernièrement, ses recherches principales ont porté sur la Répartition de l'Espace Urbain et sur les systèmes de transport rapide des masses, domaine dans lequel il a pris le brevet du sky-rail" (1)

Ces éloges plus ou moins officiels confirmant le rôle de LE RICOLAIS et marquant la reconnaissance de l'importance de son oeuvre, ne faisaient pas oublier

(1) LE RICOLAIS - "Espace, mouvement et structure" - Catalogue de l'exposition au Palais de la Découverte, PARIS (1965)

qu'il n'avait sans doute dû cette audience qu'au prix de son exil aux Etats-Unis en 1951. R. LE RICOLAIS y trouve un poste d'assistant technique, puis devient professeur aux universités d'ILLINOIS puis de PENNSYLVANNIE où il enseignera jusqu'à la fin de sa vie un cours sur les structures.

C'est grâce à un article de LE RICOLAIS (1) et vraisemblablement la première fois qu'un architecte, lecteur de la presse professionnelle, pouvait être informé de la possibilité d'appliquer à sa sphère d'activité d'autres considérations mathématiques que celles du calcul infinitésimal appliqué aux structures, celles de la géométrie descriptive, ou celles de la géométrie et de l'arithmétique élémentaire que nous avons répertoriées. (2)

Dans ce texte et dans d'autres publications, le support mathématique n'était pourtant pas déterminant dans la démarche présentée. Il s'agissait plutôt d'introduire une réflexion sur les principes d'organisation qui régissent la forme, ce que LE RICOLAIS appelle l'indispensable "appréhension générale de la forme" (3) ne présuppose donc pas l'existence de modèles géométriques ou mathématiques de référence préétablis. Plus qu'un corpus de formes codifiées, les formes naturelles constituent le point de départ de la réflexion mais, également, dans la perspective des théories naturalistes de la fin du 19^{ème} siècle, le modèle en tout point adapté et optimisé dont la transposition est souhaitée.

Les travaux de d'ARCY-THOMPSON (4) et de MONOD-HERZEN (5) constituent les fondements sur lesquels vont s'appuyer les recherches sur la genèse des formes, sur la distribution de la matière, sur les répartitions des forces. La description analytique et la classification des phénomènes correspondants peuvent illustrer des exemples intéressants de collaboration entre les mathématiques et la biologie mais elles ne font pas avancer la compréhension des structures. LE RICOLAIS ne sacrifie pas à la vogue des spéculations sur les spirales logarithmiques ou autres hélices régissant les phénomènes de croissance. Il abandonne la voie des études sur les structures polyédriques. Il s'intéresse aux

(1) - LE RICOLAIS R.

(2) - *Pour être très précis, on objectera que si cet architecte avait été un lecteur attentif de M. GHYKA, il aurait pu, dès 1927, découvrir dans "L'esthétique des proportions dans la nature et dans les arts" au Chapitre II sur les Polyèdres (p.23) la formule attribuée généralement à EULER (qui a en réalité été découverte par DESCARTES) applicable aux polyèdres convexes.*

(3) LE RICOLAIS R. - "Structures et formes" in *L'Architecture d'Aujourd'hui*

(4) d'ARCY THOMPSON A.W. - "On growth and form" - *Op. cit.*

(5) MONOD-HERZEN E. - "Principe de morphologie générale"

analogies, aux principes, il envisage les transpositions, que ce soit à partir des structures organiques réticulées des radiolaires ou des structures, des réseaux cristallins, il dépasse la description naturaliste et la simple mise en oeuvre du mimétisme des bio-techniques pour faire oeuvre autonome de conception. Or, dans ce processus, à un moment donné, il est nécessaire d'avoir recours, à fin de vérification ou de description, à des théories mathématiques. Quel est, dans ce domaine, le dispositif théorique auquel fait appel LE RICOLAIS ? Le dispositif en question est léger. LE RICOLAIS ne croit pas aux vertus heuristiques du calcul. Il utilise certes des éléments polyédriques (formule de DESCARTES EULER, travaux de CREMONA, de B. MAYOR). Mais l'essentiel de sa méthode est caractérisé par l'alternance entre la "réflexion" morphologique et l'expérimentation sur les maquettes et modèles. Un ouvrage récent sur son oeuvre le prouve abondamment (1)

Le peintre et le poète, ami de René-Guy CADOU explore un "imaginaire de la forme". Il matérialise ses intuitions et ses visions potentielles au moyen de maquettes qui sont ensuite rigoureusement construites et testées. La modélisation mathématique et le calcul ne sont pas de toute évidence ses outils de création. Ils lui ont permis, un temps, de décrire les structures tri-dimensionnelles qui constituaient un de ses premiers domaines d'exploration : domaine qu'il estime lui-même peu fécond et qu'il abandonne pour d'autres structures utilisant des produits de plus grande longueur (2)

Le monde de l'architecture, celui des lecteurs de revue d'architecture, qui compose en grande partie celui des architectes, va rester sous le choc des premières révélations. Il lui faudra du temps pour comprendre, assimiler, commencer à appliquer les propositions des premières démarches de R. LE RICOLAIS, celles-ci étant simplifiées et légitimées par les réalisations spectaculaires de B. FULLER ou d'architectes israéliens et anglais commençant à mettre en oeuvre les grilles, nappes, sphères ou autres dispositifs polyédriques dont la géométrie exerçait depuis longtemps un fascinant pouvoir (3)

(1) MIMRAM M. - "Structures et formes" - Etude appliquée à l'oeuvre de Robert Le Ricolais - Ed. DUNOD, PARIS (1983)

(2) "Pourquoi couper en petites barres des profilés qui sont réalisés en grande longueur pour les rassembler ensuite" - R. LE RICOLAIS, in "La nature des choses" - Article dans l'Architecture d'Aujourd'hui n° 141, déc. 1968, janvier 1969, cité par M. MIMRAM.

(3) Il y a longtemps que les poètes, peintres, architectes de la chaîne du verre, "die Gasernkette" ont rêvé et représenté un monde cristallin dans l'Allemagne de 1910. Plus tôt, le jeune F.L. WRIGHT a manipulé les jeux de cubes aux formes et aux couleurs tranchées, que sa mère, adepte de la pédagogie de FROEBEL, lui offrait en suivant les schémas progressifs mis au point par le précurseur suisse, créateur des jardins d'enfants.

Mais à côté de l'influence de cette morphologie novatrice, l'impact méthodologique que représente l'amorce conjointe des outils mathématiques nécessaire à sa mise en oeuvre ne doit pas non plus être négligé.

Les jeunes lecteurs attentifs de l'Architecture d'Aujourd'hui refont, le crayon à la main, les calculs de la règle d'EULER, recomptent les faces, les sommets, et les arêtes des polyèdres, dessinent les images duales.

Dans la série d'articles publiés à partir de 1953 (1) et tout spécialement dans celui du numéro de juin-juillet 1963 intitulé "Trente ans de recherche sur les structures", LE RICOLAIS va pouvoir initier, ou à tout le moins, informer un nombre important d'architectes de l'existence de cette branche nouvelle et pleine de richesse des mathématiques qui porte le nom de topologie.

La nouveauté du support mathématique est redoublée par l'originalité du propos sur les structures (l'ensemble étant encore valorisé par la qualité plastique de la présentation de certaines maquettes et de certains dessins). Pour de jeunes architectes ou jeunes étudiants à l'Ecole des Beaux-Arts, il y a là tous les ingrédients de la novation, toutes les conditions sont remplies pour provoquer l'intérêt. Cette branche des mathématiques nouvelle pour eux est indispensable à la maîtrise des nouveaux systèmes fascinants qui sont présentés. Sa nécessité même devient un élément de contestation de plus des archaïsmes des enseignements de l'Ecole des Beaux-Arts, celui des mathématiques s'ajoutant au passif général du système.

Avant la tourmente de 1968, certaines réformes vont constituer un secteur expérimental du futur enseignement des Unités Pédagogiques. Ainsi, quelques étudiants à l'atelier ZAVARONI ou dans certains ateliers du groupe C au Grand-Palais vont pouvoir bénéficier d'enseignements sur les structures relayant certaines idées de R. LE RICOLAIS. Parmi ces contributions d'enseignants, la plus significative est sûrement celle de D.G. EMMERICH.

Avec beaucoup d'obstination, D.G. EMMERICH va, dans le milieu de l'enseignement réformé d'après 68 et dans la presse architecturale, se faire le porte-parole et le défenseur d'une partie des positions de R. LE RICOLAIS. Son zèle et la teneur de son message sont un peu en décalage avec la critique et la réorientation des travaux de ce dernier, mais il en est des structures comme d'autres domaines, la foi des prophètes n'est pas toujours en phase avec celle des disciples.

(1) LE RICOLAIS - Cf. références en bibliographie .

Les idées de D.G. EMMERICH nous sont communiquées par divers articles et surtout par le cours de "Géométrie constructive" (1) professé dès 1967 et après la réforme à l'U.P.6 de PARIS.

Nous allons pouvoir, en nous appuyant sur ce cours, mettre au jour de façon relativement commode ce qui relève de la théorie architecturale et de la science mathématique. Il y a à celà deux raisons :

- Le cours s'avère, en effet, beaucoup plus un texte théorique d'architecture qu'un document sur un enseignement à dominante technique.
- Par ailleurs, la partie référentielle mathématique est abondante et jalonne la quasi-totalité de l'exposé.

Développons quelque peu l'argumentation qui nous fait lire dans le texte de D.G. EMMERICH un texte théorique d'architecture. Nous y trouvons d'abord un corpus de référence. Parallèlement à l'énoncé du texte et en un contrepoint qui n'est pas dû au hasard, nous trouvons une collection d'images de bâtiments ou d'objets. A côté de schémas, de dessins et de fragments destinés à illustrer directement le discours sur la forme qui est tenu (moule à brioche, mosaïque chignon, chapeau de cardinal, fragments osseux...), la collection de bâtiments qui est rassemblée a pour fonction d'inscrire les propositions dans une légitimité architecturale. La généralité du propos, recouvrant la totalité du temps et de l'espace (autres caractéristiques du discours théorico-doctrinal de l'architecte), implique un choix éclectique des bâtiments du corpus. Ceux-ci (représentés tantôt en plan ou en coupe, tantôt par des photos) appartiennent aussi bien à l'époque minoenne qu'à l'antiquité, au moyen-âge, ou au baroque et font une place assez importante aux constructions récentes ou contemporaines.

La signification et le rôle de ces images sont souvent ambigus. Ces ambiguïtés et les interrogations qu'elles suscitent, représentent un deuxième registre correspondant aux considérations morales qui légitiment ou stigmatisent une partie du corpus et qui constituent la thèse doctrinale défendue par l'auteur du traité théorique.

Dans le cas présent, et en raison de cette juxtaposition souvent paradoxale et sans commentaire des illustrations et du texte, les clés de l'évaluation sont implicites. Mais ce qui est instruit, c'est un procès de l'organisation stéréotypée de l'espace de la ville et du fonctionnalisme de l'architecture moderne régis par les contraintes du repère orthonormé, qualifié quelquefois

(1) EMMERICH D.G. - "Cours de Géométrie constructive, morphologie" - Ed. Unité Pédagogique n° 6 - PARIS (1981)

abusivement de cartésien (1).

"Mais curieusement, tandis que la science s'est endettée de plus en plus envers la géométrie, l'architecture, qui, dans le passé, se confondait pratiquement avec elle, suit le chemin inverse. Pendant des siècles, elle y puisait la richesse de son langage, tout son contenu figuratif ; aujourd'hui, l'image de l'architecture se réduit quasi exclusivement aux seules coordonnées cartésiennes vidées de contenu, aux trièdres trirectangles d'où toute figure a disparu même les figures élémentaires de la géométrie euclidienne (2)

Cette contestation du système de référence tri-rectangle a pour corollaire la recherche d'un dispositif plus général permettant de rendre compte de manière facilitée d'évènements morphologiques et spatiaux différents : les tissages, les maillages, les nodosités, les réseaux.

Si l'on revient à l'outillage mathématique, il est alors logique de présenter l'armature géométrique de l'ordre ancien comme frappé d'obsolétude et de promouvoir l'usage d'un nouvel instrument. Face à un état conceptuel jugé primitif, la topologie devient la version moderne et comme "progressiste" de la géométrie. Elle s'oppose à l'appareillage inadapté de la géométrie usuelle, en une polarisation qui caractérise bien les affirmations sans nuance de la théorie architecturale, domaine où le "bien" a fréquemment besoin de s'affirmer par négation d'un "mal" définitif.

Le cours de D.G. EMMERICH va donc faire appel à la topologie qu'il considère comme une "géométrie plus générale". On retrouve même le fameux argument d'une géométrie des objets de caoutchouc (3) ou d'une géométrie élastique (4). Au fil du développement, les concepts mathématiques correspondant à des éléments de topologie vont être tour à tour utilisés.

Après un rappel de la classification des géométries de KLEIN (5) une première notion de topologie est mise en avant celle d'homéomorphie. Déjà, par rapport à la définition du terme par les mathématiciens, on perçoit un décalage.

(1) EMMERICH D.G. - *Op. cit.* p. 23

(2) EMMERICH D.G. - *Op. cit.* p. 11

(3) EMMERICH D.G. - *Op. cit.* p. 40

(4) EMMERICH D.G. - *Op. cit.* p. 137

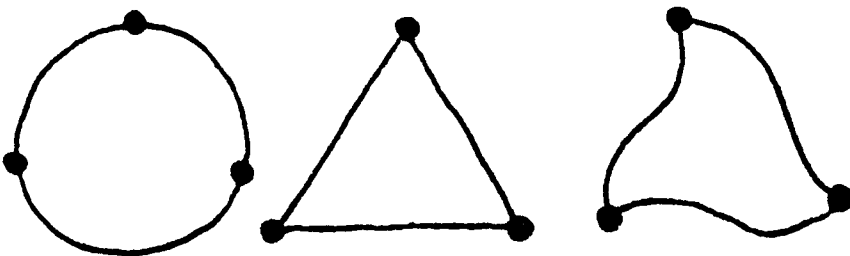
(5) EMMERICH D.G. - *Op. cit.* p. 27

G. LOPEZ (1) définit l'homéomorphisme d'un espace topologique (E,T.) sur un espace topologique (E',T') comme une bijection de E en E' qui transforme T en T'. Il note l'abus de langage qui consiste à parler "d'objets homéomorphes" laissant entendre que la structure est inhérente à l'objet. L'objet est amorphe, c'est nous qui posons la structure sur l'objet.

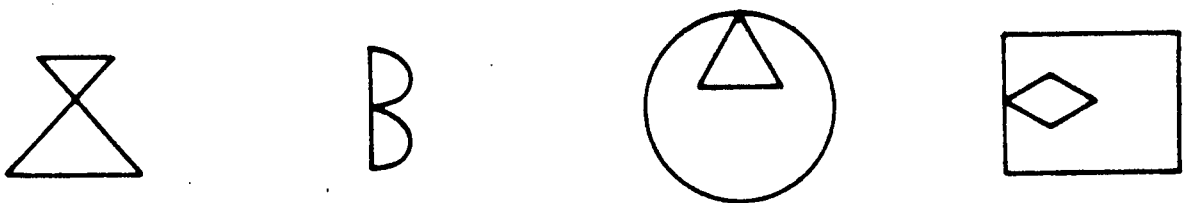
La définition donnée par D.G. EMMERICH était la suivante :

"Deux compositions sont topologiquement identiques, si les situations de toutes leurs articulations se correspondent, on dit alors qu'elles sont homéomorphes".

Définition illustrée par les figures ci-après.



Tandis que G. LOPEZ illustre sa définition par trois schémas dont l'un est reproduit ici.



Il s'agit là de topologie générale mais on pourrait multiplier les exemples de tels écarts à propos de la topologie combinatoire. Les définitions données de la connexité ou des propriétés d'une surface sont chez D.G. EMMERICH toujours plus proches de l'expérience sensible, de la lecture directe des phénomènes, que les définitions axiomatiques rigoureuses de la topologie.

(1) LOPEZ G. - Op. cit. p:7.

Alors que le mathématicien procèdera de proche en proche à la construction d'un édifice logique cohérent, le cours de géométrie constructive et de morphologie est organisé comme un recueil de propriétés et de caractéristiques des surfaces et des réseaux, spécifiés par des éléments du discours scientifique de la topologie. L'utilisation de ceux-ci ne semble pas s'imposer en regard du caractère descriptif et souvent philosophique du recueil.

Le recours à la topologie devient donc une nécessité méthodologique. Considérée comme une géométrie du progrès (1), elle légitime l'alternative architecturale du recours à un vocabulaire formel et à une organisation morpho-structurale différente de celle jusque-là mise en oeuvre par l'architecture moderne.

Précisons bien que ces remarques n'obèrent en rien la qualité pédagogique et l'intérêt même du travail de D.G. EMMERICH dans le domaine qui est le sien. Elles sont formulées dans un cadre d'analyse précis totalement étranger à toute polémique sur les questions constructives et morphologiques.

(1) - *"Une géométrie plus générale", si l'on retient la formulation de M. MIMRAM in "Structures et formes" - Op. cit. p. 9*

LA TOPOLOGIE COMME GEOMETRIE DE L'ESQUISSE

Parmi les recours approximatifs aux éléments de la topologie, il faut faire une bonne place aux discours sur les outils de la conception architecturale. Nous avons retenu pour illustrer ce phénomène deux propositions qui paraissent bien refléter un certain nombre de convictions partagées par la majorité des architectes (ou peut être, pour être plus précis, de la minorité attachée aux travaux théoriques). Il s'agit de deux contributions de Ph. BOUDON et de B. HUET qui, l'un et l'autre, ont joué et jouent un rôle important dans l'évolution des idées et des doctrines dans le contexte français.

Ces deux apports ont une caractéristique chronologique commune : ils datent l'un et l'autre de 1971. Ils diffèrent cependant par leur forme et par leur nature. Il s'agit, en effet, pour Ph. BOUDON, d'un essai développant une thèse d'une manière relativement détaillée. En revanche, B. HUET s'exprime à l'occasion d'une courte communication prononcée lors d'un colloque international.

Il nous a semblé, qu'en dépit de ce décalage, les deux positions exprimées caractérisaient bien l'utilisation par l'architecte de certains éléments du discours des mathématiques.

L'ouvrage de Ph. BOUDON "Sur l'espace architectural" (1) présente à la fois l'intérêt d'essayer de situer l'architecture en regard des mathématiques, et, de tenter de formuler une théorie architecturale scientifique à partir des exigences de l'épistémologie (et en particulier des conditions formulées par BACHELARD dans la "formation de l'esprit scientifique").

Pour lever l'obstacle substantialiste, l'architecture est présentée comme pensée de l'espace et non comme espace en tant que tel, (l'espace en tant que tel, l'espace vrai de FOCILLON). L'espace architectural, celui de la pensée de l'espace est, selon Ph. BOUDON, fondamentalement distinct de l'espace géométrique. Il reconnaît que "l'espace géométrique" est aussi "pensée de l'espace" mais la différence qu'il établit entre les deux lui permet de retenir une modalité de passage de l'un à l'autre qu'il définit comme "l'échelle". Il va essayer de la doter du statut de concept, c'est-à-dire d'élément d'un discours scientifique d'architecture.

(1) - BOUDON Ph. - "Sur l'espace architectural" - Collection "Aspects de l'urbanisme", Ed. DUNOD, PARIS (1971)

L'hypothèse de la différence "fondamentale" entre espace géométrique et espace architectural donne lieu à des variations sur les citations d'auteurs comme BACHELARD, MERLEAU-PONTY, NICOD, KAUFMAN. Celles-ci mettent en oeuvre un faisceau d'éclaircissements et de positions parfois contradictoires sur le sujet, mais elles ne constituent pas pour autant une vérification.

Plutôt qu'un rapport de seconde main de ses citations où tour à tour l'épistémologie matérialiste, la phénoménologie, la théorie psychanalytique sur l'espace sont appelées à l'aide, pour dénouer en substance ce qui ressortit à l'espace abstrait et à l'espace concret ; nous retiendrons l'exemple présenté par Ph. BOUDON du tétraèdre. Ce qui distingue la géométrie de l'architecture, c'est la différence que l'on peut établir entre la forme géométrique abstraite du solide platonicien et le tétraèdre inventé par BELL pour construire des structures légères. BELL n'a pu penser d'avance son élément tétraédrique qu'en imaginant simultanément sa taille. (Ph. BOUDON note qu'il n'emploie pas sciemment le terme de dimensions pour se démarquer de la terminologie mathématique). Le schème de représentation qui permet de se représenter cette taille c'est "l'échelle". Elle renvoie à la nature des matériaux, à leur mise en oeuvre, à l'usage que l'on veut en faire ; alors que la proportion, la symétrie, comme les dimensions sont des attributs purement mathématiques.

Pour un raccourci logique saisissant, Ph. BOUDON ayant mis au jour une notion opératoire spécifiquement architecturale, fait de cette spécificité un gage d'autonomie (et en particulier, vis à vis des mathématiques). Comme il cherche à définir une science architecturale autonome, tout élément lui-même autonome devient un élément de cette science et se trouve en conséquence promu au rang du concept.

La tentative pour donner le même statut à la notion de "parti" architectural ne semble pas mieux fondée. Là encore le poids des a priori semble grand. Que l'on souhaite prouver que l'espace de la géométrie et celui de l'architecture sont fondamentalement différents est une chose, que l'on en déduise que des notions opératoires qui ne sont pas communes aux deux domaines sont elles-mêmes fondamentales, relève presque du syllogisme.

Car Ph. BOUDON ne peut pas bien longtemps ne pas parler de ce qu'il appelle "les recouvrements" entre géométrie et architecture. Toujours dans le souci de rupture et d'élaboration d'une méta-architecture située dans la tête de l'architecte concepteur du projet, il suit l'hypothèse d'un ordre géométrique de la démarche architecturale.

Cette partie de son travail est l'occasion de faire référence, et ce pour la première fois dans un traité d'architecture, à des éléments mathématiques qui ne seraient pas ceux de l'arithmétique des proportions ou de la géométrie euclidienne. Après avoir rappelé la désuétude dans laquelle sont tombées en mathématique la géométrie ("les géométries ont fait le tour de l'espace" (1)., Ph. BOUDON à partir de l'ouvrage de J. NICOD (2) rappelle les définitions de KLEIN et les classifications des géométries selon les invariants et les transformations qu'elles admettent. Pour la première fois aussi, il signale en se référant à ces travaux, la correspondance entre géométrie perspective et géométrie projective et entre géométrie descriptive et géométrie affine.

Ainsi, pour conjurer le risque de voir l'architecture confinée dans des domaines de la géométrie qu'il croit scientifiquement dépassé, il s'emploie à mettre en correspondance les phases de la conception architecturale avec des branches correctement répertoriées et classées des mathématiques :

"Au premier niveau, avant même la topologie, le seul invariant est le nombre ; invariant fondamental de départ sous forme du programme, première étape de la conception architecturale : nombre de mètres carrés, nombre de pièces, etc... Au deuxième niveau, l'esquisse : au "crayon gras" de l'architecte correspond cette géométrie des figures en caoutchouc qu'est la topologie, croquis de l'architecte qui traduit le besoin de ne définir que la structure de l'espace, connexions et continuités, sans préjuger d'une définition plus précise de l'espace. Au troisième niveau, l'architecte commence à se représenter l'espace perçu sous forme de perspectives, d'angles de vue engendrés par la structure précédente. Puis au niveau suivant, le "projet" relève de la géométrie projective et utilise comme outil la géométrie descriptive qui lui correspond. Enfin, la maquette permet d'avoir en réduction un objet "semblable au sens euclidien, à l'objet architectural projeté" (3).

Ph. BOUDON estime tout de même un peu simpliste cette correspondance, après l'avoir exposée, il la tempère par des assertions visant à lui donner un statut "architecturologique".

"Il importe d'observer que la cohérence de cet ordre de la démarche architecturale peut être dans la pratique soumise à un va-et-vient de la pensée de l'architecte d'un niveau à un autre. Mais cet ordre chronologique réel est moins intéressant que l'ordre architecturologique que nous proposons.

Ce qui est mis en relation ici n'est plus la géométrie avec l'architecture mais l'ordre des géométries avec l'ordre de la démarche architecturale ; ordre de l'architecture si l'on conserve la définition donnée plus haut d'une architecture comme pensée de l'espace.

(1) - BOUDON Ph. - Op. cit. - p. 49

(2) - NICOD J. - "Géométrie du monde sensible" - PARIS (1962) - Editeur

(3) - BOUDON Ph. - Op. cit. - p. 49

Cette affirmation peut être rapprochée des thèses de H. WALLON.

Ici s'éclaire le rôle de la géométrie dans une architecturologie. Comme outil abstrait mathématique, elle peut nous permettre de représenter géométriquement des phénomènes, de les ordonner. Mais le problème cesse d'être géométrique et devient architecturologique lorsqu'on se demande quel phénomène représenter, et même, avant, qu'est-ce qui est phénomène en architecture. La géométrie peut s'appliquer à l'espace sensible de façons très variées. Suivant les cas, par exemple, je pourrai considérer un rail de chemin de fer comme une "ligne" ou comme un volume suivant que je m'intéresse à l'aménagement du territoire ou à la résistance des matériaux. Ma formalisation géométrique dépendra de l'échelle à laquelle j'observe et traite l'espace. La géométrie ne me servira qu'une fois que j'aurais décidé de considérer l'espace sensible d'une manière ou d'une autre, mais elle ne me permettra pas de décider quel espace je dois formaliser, à quel espace je dois me référer. Cet espace de référence est l'échelle de l'architecture et se trouve en amont de l'utilisation de la géométrie en architecture. Il faut maintenant éclairer cette notion d'échelle et, à partir des notions architecturales, tenter la construction d'un concept architecturologique englobant" (1).

Bien que le chapitre qui suit et qui termine l'essai porte le titre : "l'échelle, concept fondamental d'une architecturologie" la citation qui précède exprime plus modestement le véritable statut de "notion" de l'échelle pour l'architecte.

Si la notion est bien l'élément d'un discours idéologique ou opératoire, et le concept l'élément du discours scientifique, sur deux pages en regard Ph. BOUDON a inscrit la distance qui sépare la teneur de son propos : un exposé sur la philosophie de la conception architecturale - du contenu de son projet : construire une science autonome de l'architecture.

Nous retiendrons dans la démonstration de ce dernier chapitre la confirmation par Ph. BOUDON lui-même de l'appréciation que nous portons sur l'aspect philosophique de son travail. C'est la phrase du philosophe ALAIN "la loi fondamentale de l'architecte qui serait de rendre la grandeur sensible" qu'il retient comme définition de l'échelle. Cette visée s'inscrit dans la problématique de l'esthétique hégélienne de passage du qualitatif au quantitatif. L'échelle semble donc qualifier la perception par l'observateur d'un objet architectural. Inversement les appréciations de cette perception virtuelle doivent être un des éléments du travail de conception du projet. Elle constitue un des outils empiriques de celui-ci.

(1) - BOUDON Ph. - Op. cit. - p. 50

Après avoir dénoncé l'obstacle d'une pensée abstraite de l'espace, pensée qui ne prendrait en compte que l'aspect purement mathématique des rapports entre les éléments ; il a tout de même in fine recours à la modélisation de ce qu'il appelle "le mètre élastique". Ph. BOUDON fait référence à ce propos au travail de B. MATALON qui, dans "l'analyse hiérarchique" (1), définit six catégories de mesure (ou échelles) correspondant à diverses situations d'analyse dans le domaine des sciences humaines, (dans lequel on ne dispose pas d'une unité de mesure même arbitraire, pour reprendre les termes de B. MATALON).

Ce qui a été possible dans les Sciences Humaines doit l'être pour l'architecture. Ph. BOUDON propose de formaliser l'échelle architecturale en étudiant "des propriétés des grandeurs qui restent invariantes lorsqu'on leur fait subir certains allongements" (2).

Dans l'acception architecturale qu'il donne au terme échelle, Ph. BOUDON pourrait tenter de tester les invariances dans l'une des catégories d'échelle (qualitative $\bar{+}$ nominale, archivée, hyper-optimale, d'intervalle, de rapport, de dénombrement). Au lieu de celà, il affirme péremptoirement que la notion d'échelle est promise au statut de concept et qu'elle va pouvoir à ce titre être formalisée mathématiquement et faire l'objet de traitement comme n'importe quel concept de la physique.

Pour sortir de ce qu'il a bien perçu comme une contradiction vis à vis de ses affirmations d'autonomie en regard des mathématiques, Ph. BOUDON énonce des conditions restrictives à cette formalisation : il faut selon lui définir "architecturologiquement" la géométrie. Celle-ci, même qualifiée d'architecturale, reste-t-elle une branche des mathématiques ? Si elle n'en fait pas partie le problème est alors ramené à la définition architecturologique d'une procédure opératoire architecturale. Ce qui risque d'induire une alternative entre une aberration épistémologique et une impasse méthodologique.

Nous décelons ainsi des marques de faiblesse de la thèse de Ph. BOUDON. Elle a cependant le mérite de poser sans le résoudre le problème de la théorie architecturale, en donnant une place importante au problème incident, qui est nôtre, des relations entre mathématiques et architecture.

(1) - MATALON B. - "L'analyse hiérarchique"
Ed. MOUTON - GAUTHIER - VILLARS - PARIS (1965)

(2) - MATALON B. - Donne la définition suivante pour ces échelles : "On peut définir une échelle par les transformations qui laissent invariantes ses propriétés caractéristiques" (p. 14).

Comme exemple complémentaire des difficultés d'articulation entre les deux domaines, nous pouvons reprendre certaines affirmations de B. HUET tenues à la conférence de l'IRIA. Celles-ci, formulées également en 1971, corroborent pour partie les propos de Ph. BOUDON (1)

D'une part, elles font l'état de la prise en compte dans le domaine de l'architecture des modifications des connaissances mathématiques et en particulier des aspects que l'on pourrait qualifier "d'utilitaires" de la topologie.

D'autre part, elles manifestent bien la crainte de la constitution mécaniste du projet et elles en dénoncent les effets nocifs même si ceux-ci n'ont guère eu la possibilité d'être réellement évalués :

"Nous fûmes inconsciemment gênés par une utilisation analogique de certains outils et de certaines méthodes dérivées d'autres champs d'application, non seulement de l'informatique mais d'autres champs d'application scientifique et, à un moment donné, il nous devint presque évident que quelque chose demeurait très insatisfaisant dans toutes les solutions que l'on nous proposait et que parfois même, on arrivait à des solutions parfaitement vicieuses dans un processus de pseudo-scientifisation de la démarche architecturale de la production des espaces à travers des méthodes et des outils qui étaient indifférents, c'est à dire qui n'étaient pas, eux-mêmes, déterminés par l'objet de cette production.

Ce que l'on pouvait constater aussi, c'est que les méthodes dites rationnelles ou scientifiées, actuellement utilisées en ce qui concerne l'introduction d'espaces dans l'architecture, procèdent par une réduction qui, à notre avis, est excessive, des données et des critères et conduisent à la négation ou à l'oubli pur et simple de certains types d'informations, politiques, sociologiques qui existent actuellement, ou même simplement des problèmes de signification qui ne sont pas intégrables dans la démarche, au point où l'on en est.

A ce stade, nous avons été obligés de stopper, non pas uniquement parce que nous avons des doutes, mais aussi parce que nous n'avons pas les moyens de poursuivre dans cette voie" (2).

Dans la perspective rationaliste qui est la sienne, B. HUET, ayant postulé la primauté de l'espace architectural, assigne à l'architecte la charge de produire, avec une certaine logique, les catégories qu'il fixe pour cette production. Elles font le sujet de sa communication et sont au nombre de trois :

- les propriétés et relations d'ordre topologique ;
- les propriétés et relations géométriques ;
- la sémiologie architecturale.

(1) HUET B. - "Les catégories de l'espace architectural", Actes des Journées "Informatique et conception en architecture", IRIA, PARIS, 1971 (Op. cit.)

(2) HUET B. - "Les catégories de l'espace architectural", Op. cit.

B. HUET, pour chacun de ces domaines, pose bien le problème de la manipulation approximative et allusive de la terminologie des mathématiques. Il est à ce titre plus prudent que Ph. BOUDON :

"Et là, je précise qu'en ce qui concerne les termes que j'utiliserai, bien que ces termes aient des connotations soit scientifiques, soit mathématiques, aucun d'eux n'est utilisé dans ce sens là ; ce sont simplement des termes que nous utilisons par analogie, mais il s'agit toujours, dans un champ bien précis qui est celui de l'espace architectural, de topologie architecturale, de géométrie architecturale ou de sémiologie architecturale. Il ne faut pas me reprocher d'appeler cela ainsi et je vous dirai que l'on peut appeler cela tout à fait autrement, c'est simplement ce qui est dessous qui nous intéresse.

Donc, ces propriétés et relations topologiques sont les premières constituées par l'architecte. Ce sont elles qui, à notre avis, indiquent clairement la stratégie adoptée par l'architecte par rapport à ses intentions et à travers la constitution de ce que l'on peut appeler des lieux.

Ces lieux sont spatialement ou doivent être spatialement qualifiés, mais la forme géométrique définie ne nous intéresse pas pour l'instant, car la description topologique d'un lieu, à notre avis, devrait correspondre à une multiplicité de solutions géométriques possibles, ces solutions géométriques venant atténuer ou renforcer les premières qualités définies, les premières qualités topologiques de ces lieux" (1)

Il rejoint pourtant l'argument architecturologique du caractère "transcendental" de l'espace architectural qui dépasse toujours la géométrie.

"Là aussi, quand j'é parle de géométrie, je distingue nettement ce que l'on appelle géométrie euclidienne et, actuellement - pour longtemps d'ailleurs - bien que des géométries architecturales soient liées ou soient incluses dans l'espace euclidien et en utilisent les propriétés, ce sont des géométries qui relèvent plus de l'ordre du design que de la géométrie euclidienne proprement dite. J'irai même jusqu'à dire qu'il n'y a jamais géométrie euclidienne dans l'espace architectural, que l'on a toujours affaire à quelque chose qui la dépasse de loin, c'est-à-dire que l'on n'a jamais affaire ni à une droite, ni à une ligne, ni à un cercle ni à un cube, on a affaire à quelque chose qui, analogiquement, peut être une droite, peut être un cercle, peut être un cube.

C'est à partir de la constitution de ce système géométrique que l'architecte commence à produire effectivement un espace architectural et c'est là qu'il précise une volumétrie des relations de groupements et de partition des volumes.

(1) - HUET B. - "Les catégories de l'espace architectural", Actes des Journées "Informatique et conception en architecture", PARIS (1971), Op. cit.

A ce moment là, les lieux sont constitués en espaces. Il y a une mutation du lieu qualitativement et quantitativement et surtout, la mutation se produit du qualitatif au quantitatif, la géométrie prenant ainsi le relais des propriétés topologiques en termes de surfaces, de masses, de creux, etc... (1)

L'objet théorique est aussi pour B. HUET la production de l'espace architectural, c'est-à-dire le discours sur l'espace et non le produit final, c'est-à-dire l'espace réel du bâtiment. Les "qualités les plus essentielles de cet espace" qu'il invoque ne sont pas attribuées à la mise en oeuvre de notions spécifiques, comme le "parti" ou "l'échelle" de Ph. BOUDON. C'est leur contraire prosaïque et dérisoire qui est décrit, leur négatif précisément mis en oeuvre dans les tentatives d'automatisation.

"C'est d'ailleurs ce que nous constatons, dans les plus mauvais cas, à chaque nouvelle tentative dans ce sens : on nous présente des assemblages ou des combinaisons qui sont, soit évidentes - c'est-à-dire que n'importe qui peut le faire sans l'outil ou sans l'usage de méthodes éloignées de la démarche qu'utilise l'homme architecte lorsqu'il projette dans l'espace. Je parle de combinaisons évidentes, de surfaces en m², liées par des classes de relations élémentaires telles que la distance sous certains types de compatibilité, mais qui excluent, presque toujours l'espace architectural dans ses propriétés les plus essentielles" (2).

Outre cet aspect, ce qu'il faut retenir, c'est l'apparition dans les préoccupations courantes de l'architecte de ce qui transparait de l'avancement des théories mathématiques dans le public (ou plus précisément, dans la conscience collective d'un public cultivé non spécialiste). Les géométries non euclidiennes, la topologie, l'informatique, deviennent des thèmes de vulgarisation.

(1) HUET B. - "Les catégories de l'espace architectural", Actes des Journées "Informatique et conception en architecture", IRIA, PARIS, 1971 (Op. cit.)

(2) Idem

LA DEFINITION DES CARACTERISTIQUES DES TRAMES

Nous nous appuyerons pour cette rubrique sur l'ouvrage récent qui possède la meilleure armature théorique et qui est, sans conteste, le travail de J. ZEITOUN sur les trames planes (1).

Le propos de l'auteur n'est pas de traiter des intérêts comparés de tel ou tel système morphologique et d'instruire le procès du cadre référentiel de la projection orthonormée. Son projet est plus vaste et concerne la question générale des espaces de représentation de l'architecture.

Le problème de la représentation architecturale est, en effet, central dans la procédure d'élaboration du projet et toute réflexion sur la question doit s'appuyer sur une connaissance des attendus théoriques et pratiques correspondants. Pour aborder cette problématique, J. ZEITOUN choisit la trame plane. Il la définit comme un "complexe architectonique" mettant en liaison les systèmes graphiques, cartographiques, topologiques et figuratifs. Chacun de ces systèmes renvoie à des domaines complexes qui, de plus, interagissent. Ils sont, à leur tour, successivement définis comme suit :

- le système graphique est celui de la production du graphique avec le trait et le point comme élément de base ;
- le système cartographique est celui de la localisation et de la situation dans le plan ;
- le système topologique correspond à la décomposition du graphisme selon des codes topologiques qui en permettent l'exploration ;
- le système figuratif est présenté comme une "instance purement culturelle", la figure renvoyant à d'autres représentations permettant de produire un sens.

La trame est donc un dispositif multi-fonctionnel qui va servir à structurer le plan de composition du projet. J. ZEITOUN présente deux modalités de cette structuration conciliant l'élément et la totalité du plan : la "discrétisation" du plan aboutissant à la notion de réticulation et la "potentialisation" du plan définie comme assignation d'une valeur grammaticale graphique dans ce plan. Cette dernière formulation bien abstraite s'éclaire un peu lorsque des

(1) - ZEITOUN J. - "Trames planes" - Ed. DUNOD, PARIS (1977)

exemples de cette opération sont donnés et que l'on apprend qu'elle correspond à la définition de principes de composition tels que la mise en oeuvre d'axes de composition ou d'axes de symétrie. La potentialisation introduit un effet contradictoire du caractère uniforme de la réticulation (1). L'ensemble de cette problématique est formulé dans le cadre général de la définition du "plan de composition libre". Celui-ci fonctionne, mais de manière difficile à saisir, dans la formulation qui est donnée, en opposition à un "plan contraint".

Après un examen de quelques caractéristiques des utilisations des trames planes intéressant leur rôle dans le domaine constructif, dans le domaine de la conception et dans celui de la production liée à l'usage architectural, une topologie de l'usage des trames est donnée. Elle distingue :

- la "trame de composition", intervenant comme écriture ou support d'écriture pour la composition morphologique du bâtiment ;
- la "trame forteresse" ou constructive qui assure la répartition des charges et la tenue de l'édifice ;
- la "trame d'aménagement" ou trame fonctionnelle qui supporte l'organisation et l'utilisation de l'espace.

L'opération d'analyse méthodologique de J. ZEITOUN se poursuit avec l'étude de la question de la régularité de la trame. Ce problème le conduit à considérer simultanément les notions importantes de codicité et de modules. Il montre en quoi ces notions : trames, codes, modules, sont autonomes, et, développe de manière plus détaillée la distinction entre trames et modules (2).

Le module peut être une entité constructive en figurative qui peut guider la composition et la mise en proportion du bâtiment. Pour J. ZEITOUN, les tracés régulateurs jouent parfois ce rôle mais la distinction entre tracé régulateur et modularité est abordée de manière trop subtile ou trop allusive pour que la nature exacte de cette parenté soit clairement saisie. La manière dont la notion de trame peut être reliée aux mécanismes de composition et d'harmonisation aurait mérité d'être développée.

(1) Dans un alinéa suivant, J. ZEITOUN revient un peu sur cette opposition en faisant remarquer (p. 49) qu'il ne semble pas que la trame puisse satisfaire à la potentialisation du plan sans dispositif supplémentaire : superposition de fragments, puzzles, de trames ou autres...

(2) Le module est défini comme unité signifiante, élément d'un alphabet architectural grâce auquel il est possible de décomposer ou de composer un édifice.

Après avoir abordé les questions du rapport entre la trame plane et l'organisation tri-dimensionnelle du projet et celles du rôle de la trame dans le processus d'industrialisation du bâtiment, J. ZEITOUN conclut la partie méthodologique de son essai, en retenant le rôle unificateur de la trame, "lien entre toutes les parties" et en lui attribuant une caractérisation prioritairement morphologique, et en y voyant une "structure signifiante", c'est à dire un lieu adapté à la synthèse architecturale.

Le deuxième volet de l'ouvrage concerne l'étude formelle des trames planes. Nous avons là un des rares exemples de construction mathématique rigoureuse des assertions d'un discours sur la conception architecturale. Cette appréciation générale portée, il faut, cependant, convenir qu'en regard de notre analyse des usages de la topologie chez l'architecte, le travail de J. ZEITOUN portant sur la formalisation de la notion de trame plane ne fait qu'une faible part à cette branche. Les questions de définition de la trame (1), de relations et d'opérations sur les trames, enfin, d'études analytiques permettant les calculs et les figurations graphiques des trames, prennent le pas sur l'étude topologique proprement dite. Celle-ci développe cependant une présentation sans faille d'une chaîne de définitions intéressant :

- l'isomorphisme des trames et le cas général des morphismes des trames,
- la base d'une topologie sur une trame,
- l'équivalence topologique de trames et les homéomorphismes.

Les liens que l'on peut établir, à propos des trames, entre l'étude topologique et la théorie des graphes sont l'occasion pour J. ZEITOUN d'évoquer in fine certains problèmes liés à l'aspect topologique des graphes comme celui des colorations.

Précisons enfin que s'adressant à un public d'architectes, J. ZEITOUN a jugé bon d'émailler la partie générale de son exposé sur les trames d'une collection "en forme de corpus" de dessins de projets de bâtiment plus ou moins tramés (2)

- (1) *La trame plane est définie comme un pavage du plan admettant deux automorphismes de translation non colinéaires autres que l'identité.*
J. ZEITOUN, *Op. cit.* p. 88
- (2) *Notons que contrairement aux textes doctrinaux d'architecture, les illustrations sont redessinées. La dimension graphique et les facteurs d'identification liés à la facture du dessin d'origine se trouvent ainsi neutralisés.*

Son propos, nous l'avons dit, ne relève pas de la théorie architecturale. Pas plus que le choix de ses illustrations ne vise à constituer un ensemble d'exemples ou de contre-exemples comme il est d'usage dans les traités de théorie architecturale. Son objectif qui apparaît, en filigrane, est, en tout état de cause, plus instrumental

En dernière analyse, la connaissance des caractéristiques morphologiques des trames, de leurs propriétés analytiques et topologiques, incidemment, de quelques facettes des modalités plus strictement architecturales de leur emploi, débouche sur la mise en oeuvre de procédures automatisées de constitution de plans : celles qui sont généralement repérées sous le vocable "d'allocation spatiale".

C'est dans la perspective de cette extension et de ce développement que le travail méticuleux de J. ZEITOUN sur la formalisation des caractéristiques des trames trouve sa finalité opératoire. Il s'agit, de toute évidence, davantage de la prise en charge par le mathématicien d'une entité architecturale complexe, que du recours instrumental ou valorisant que peut faire l'architecte d'éléments de la connaissance mathématique.

UNE FORMALISATION DE LA CONSTITUTION DU PROJET

Pour illustrer un courant récent, où des mathématiciens essaient de donner un modèle mathématique pour la description et la constitution de plans architecturaux, nous avons choisi le texte de M. LENART, chercheur de l'Institut de la Construction de KARLSRUHE, intitulé "Un examen typologique de l'ordre spatial" (1). Les architectes avaient déjà remarqué que l'image duale du graphe des relations entre éléments d'un schéma de plan pourrait, à quelques approximations près, donner une figuration des positions des éléments de ce plan. Une des premières communications en FRANCE sur ce sujet était celle de l'architecte canadien J. COUSIN. Elle avait été diffusée par un article des Cahiers du C.S.T.B. (2)

On trouverait dans l'ouvrage de STEADMAN et MARCH, des développements plus précis (3) ou dans celui de G. BROADBENT (4) des exemples de propositions similaires regroupant, outre le travail de COUSIN, celui de P.H. LEVIN en Angleterre.

(3) MARCH L., STEADMAN P. - "The geometry of Environment" - Ed. RIBA, LONDRES

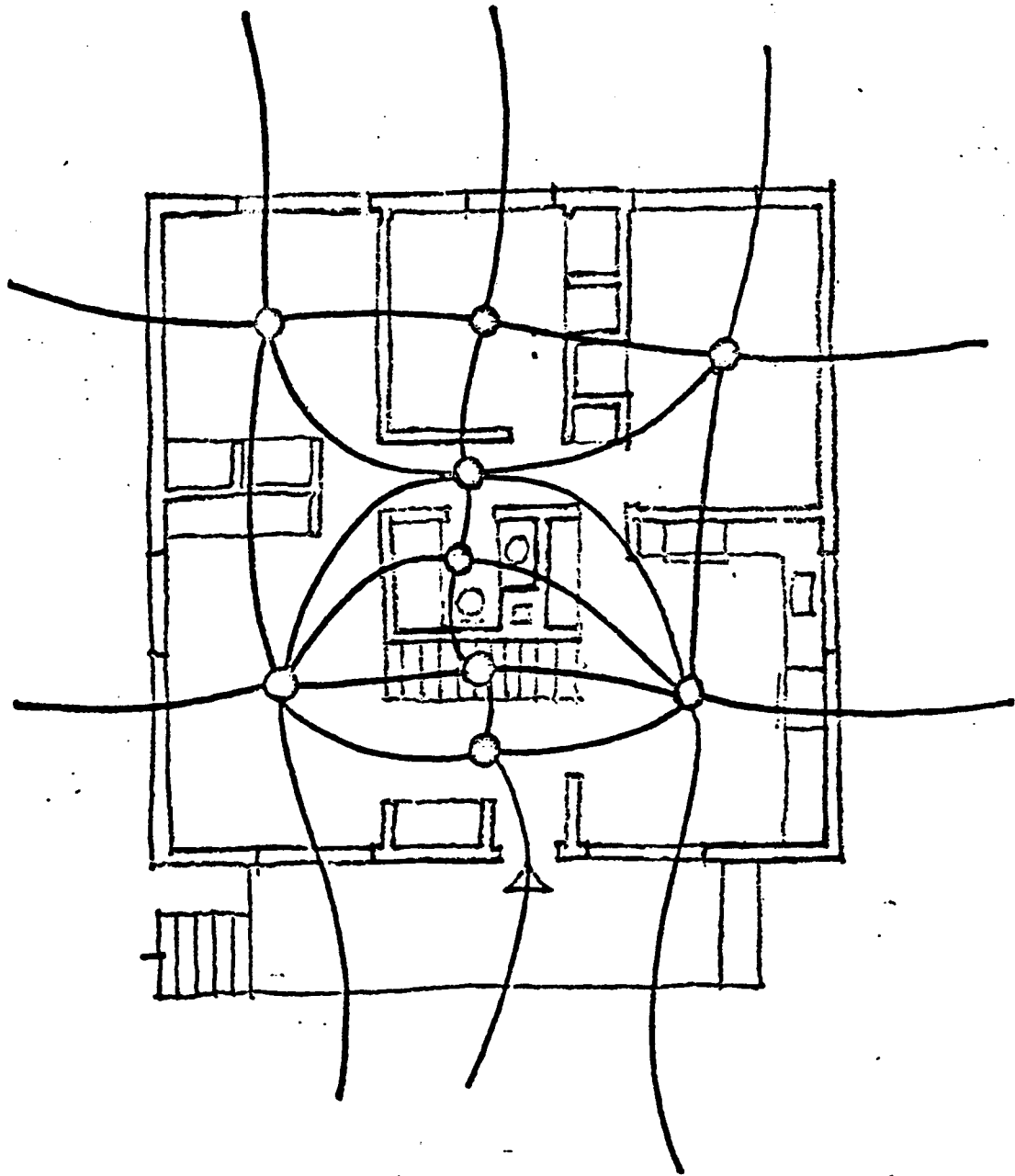
(4) BROADBENT G. - "Design in Architecture" - John WILLEY and Sons - LONDRES (1973)

(1) Ce texte a été publié sous le titre "A TOPOLOGICAL EXAMINATION OF SPATIAL ORDER" in Design Methods and Theories - Vol. 16, n° 4, 1982

(2) COUSIN J. "Architecture et topologie" in Habitat n° 2, 1969 - pp. 13-18 traduit dans "Architectural Design" - Oct. 1970, pp. 491-493 publié dans les Cahiers du C.S.T.B. en novembre 1969 sous le même titre.

Architecture et Topologie

Jean Cousin
architecte et professeur agrégé
au département d'Architecture
de la faculté de l'Aménagement
de l'Université de Montréal



Extrait de la Revue « Habitat ».
Volume XII numéro 2, 1969.
Ottawa (Canada).

Mais, ce qui, dans le propos de J. COUSIN et de ses émules, n'était qu'un mécanisme "empirique" de constitution de schémas de plan, devient avec M. LENART une construction rigoureuse s'appuyant sur des propositions mathématiques, et de manière plus précise, topologiques dûment construites et démontrées.

Devant le relatif sommeil dans lequel semble plonger ce type d'approche - qui, rappelons-le, se fixait ouvertement pour but la formalisation de la constitution du projet - on peut se demander si la mise en oeuvre d'un appareillage mathématique plus développé et plus soigneux, constitue la condition d'un regain d'intérêt et d'efficacité.

Examinons l'essentiel de la proposition de M. LENART. Celui-ci part de la situation qu'il juge habituelle où un architecte esquisse un plan et subdivise des secteurs, définissant ainsi le contenu du bâtiment et les éléments qui le composent. Cette géométrie correspond à des règles usuelles de la géométrie euclidienne du plan mais elle inclut également d'autres règles, qui sont relatives à la nature de la tâche de conception et qui sont d'un type différent de celles de la géométrie euclidienne. Les règles (ou axiomes) correspondants, dont le nombre est important, sont généralement pris en compte dans le processus empirique comme des variables. Cette attitude donne au processus de conception sa flexibilité et permet une large gamme de choix à l'architecte. Mais cet avantage a, pour contrepartie, l'inconvénient de ne pas permettre de connaître exactement les possibilités d'une configuration, en particulier, si l'on souhaite une description exhaustive de ces possibilités. Le propos de M. LENART est de donner une méthode permettant d'allier la connaissance des limites théoriques d'une disposition et les moyens traditionnels de constitution du projet.

Il part de l'hypothèse que les conditions qui régissent la constitution du plan sont : soit métriques, soit topologiques, et que de nombreux problèmes architecturaux ont une explication topologique sous-jacente. M. LENART estime qu'il est nécessaire à certains moments de dissocier les deux types d'approche.

Pour mettre en oeuvre le traitement des propriétés topologiques, il opère un passage du plan euclidien dans R^2 au plan projectif, en définissant les axiomes correspondants. Il obtient une structure topologique et étudie au moyen de l'exemple d'un triangle la relation que l'on peut établir entre le plan euclidien et le plan projectif.

Définissant une "conception architecturale topologique", M. LENART estime que l'image simplifiée d'un plan architectural dans R^2 consiste en polygones de courbes simples entourant dans chaque cas une surface du plan. Les surfaces représentent les pièces et les limites leurs murs. La cartographie de cette image sur le plan projectif a bien donné une image topologiquement satisfaisante du plan, il reste que le présupposé architectural de la méthode est si partiel, qu'on ne peut accepter sans réserve les résultats des opérations mathématiques proposées, aussi soigneusement articulées qu'elles soient.




La question du niveau d'intérêt de la démarche reste posée :







- est-elle simplement instructive d'un point de vue abstrait ?
- permet-elle effectivement d'améliorer la conception architecturale ?
- débouche-t-elle sur des perspectives d'automatisation de constitution du projet ?









Les premiers tableaux donnés par M. LENART des configurations topologiques pour 1, 2, 3, 4 pièces accompagnées de leurs graphes plaideraient pour une réponse à la première question.













甲






甲 甲 甲






















CONCLUSION EN FORME D'EPILOGUE

"Un mathématicien pur n'acceptera jamais que la mathématique puisse légiférer sur la réalité, ni commander à des phénomènes, à moins qu'il n'y ait derrière un principe justificatif local, comme une loi physique"

*R. THOM - "De quoi faut-il s'étonner ?"
in Morphogénèse et imaginaire. Op. cit.*

Dans la problématique épistémologique des recours aux mathématiques, ceux effectués par l'architecte ne se posent vraisemblablement pas avec beaucoup d'acuité. Nous avons vu qu'avec DESARGUES, le monde de l'architecture avait apporté sa contribution à l'édifice mathématique. Or, depuis le 17^{ième} siècle on est en quête, pour l'instant vaine, d'autres exemples.

Les mathématiciens évoquent parfois le domaine des arts, ou des phénomènes de l'espace, comme a pu le faire Hermann WEYL dans son livre sur la symétrie. S'ils ont longtemps utilisé des métaphores constructives pour repérer les concepts abstraits qu'ils manipulaient, cette tendance est, selon H. DAMISCH, infléchie vers les symboles à connotations plus négatives et destructurantes. Quoi qu'il en soit, il faut bien se persuader que les utilisations partielles approximatives, quelquefois importantes qui sont faites des mathématiques par les architectes n'ont aucune incidence sur ce champ disciplinaire. Souvent ignorant de ces emprunts, il poursuit un travail dont le caractère abstrait est formalisé, satisfait des objectifs qui lui sont propres.

Si l'on examine le problème du point de vue de l'architecture, on pourrait avancer, en première analyse, que les emprunts que les architectes font aux mathématiques, relèvent, si l'on met à part les utilisations particulières de la topologie - de permanences ancrées dans des traditions qui les font ressortir davantage au rituel qu'à l'échange scientifique entre disciplines.

Nous pensons avoir montré, à propos de cette théorie des proportions, que beaucoup ont assimilé à une théorie de l'architecture, l'ancienneté des connaissances géométriques ou arithmétiques mises en oeuvre, et les difficultés pour les sphères de l'architecture de négocier des transactions claires entre leur domaine et les diverses branches des mathématiques.

Le discours théorique de l'architecture a géré, et continue de gérer, dans ce domaine comme dans d'autres, des archaïsmes utiles.

Les gestes et les paroles des architectes sont enracinés dans des siècles de tracés à la règle et au compas, des millénaires d'aplomb et d'alignements dont ils ne peuvent se dégager facilement. A des fins de connaissance et de réflexion, mais également dans des intentions pédagogiques, ne serait-il pas profitable de prendre en compte cet héritage et d'en reconstituer la formation, tout en négociant sa généralisation en des formes mathématiques plus récentes que les écrits d'EUCLIDE ?

Cette question d'une pédagogie des mathématiques, reposant sur l'historique de celles-ci et de manière plus précise, pour ce qui nous concerne, sur l'historique de leurs liaisons avec les disciplines de l'architecture, est abordée dans des travaux comme ceux de J.C. CARREGA. Partir, comme il le fait, des tracés à la règle et au compas pour construire progressivement une compréhension de la théorie des corps en donnant les jalons de l'évolution, pourrait représenter une méthode de formation mathématique pour les futurs architectes qui en vaudrait d'autres.

Dans le foisonnement des tracés, des systèmes géométriques ou modulaires, des placages de géométrie variées et contradictoires sur les mêmes bâtiments, on constate la prédominance du discours a posteriori de l'analyse sur les démarches réellement instrumentales de mise en forme. L'analyse graphique devient un outil de légitimation doctrinale, rattachant tel ou tel bâtiment à telle ou telle "croyance" géométrique ou arithmétique prêtée aux concepteurs et constructeurs des édifices correspondants. Les modalités opératoires de la réalisation du projet sont liées à des techniques graphiques et géométriques généralement moins valorisées. Les avancées de la perspective, de l'art du trait, de la descriptive s'inscrivent dans une logique de progrès scientifique et technique. Elles sont rarement le sujet ou l'argument des controverses et polémiques doctrinales. Les questions de proportions et de tracés nous apparaissent comme rattachées, à l'inverse, à un domaine archaïsant,

où leur légitimité s'appuierait sur un savoir si ancien qu'il ressemble à une lointaine et mythique révélation. Terrain privilégié des affrontements de tendance, elles polarisent les antagonismes, elles opposent les idéologies, elles sont tour à tour, ou simultanément, les attributs du nouveau ou de l'ancien.

Face à ce flottement, nous constatons que leur support scientifique et mathématique est si fragile, si élémentaire et si ancien qu'il ne permet jamais de trancher le dilemme ou de valider telle ou telle proposition. L'antagonisme des convictions et des sensibilités ne peut être arbitré par un argumentaire relevant des mathématiques. Même s'il digitalise ses plans, ou optimise par des procédures itératives l'implantation de ses bâtiments, même s'il instrummente son projet avec des outils incomparablement plus évolués que l'équerre et le compas, l'"imaginaire mathématique" de l'architecte semble conserver des ancrages dans les géométries des proportions et des tracés.

Cet héritage, sans doute rejeté plus ou moins consciemment par ceux qui sont les plus enclins à promouvoir les techniques récentes, est, en revanche affiché ostensiblement par les défenseurs des références classiques. Le débat architectural n'ayant pas encore réussi à réconcilier les tenants d'une machinerie de la conception, des gestionnaires de l'imagerie du projet, le conflit tourne, sans doute, momentanément à l'avantage de ces derniers. Les tracés régulateurs, les schémas de mise en proportion sont à nouveau reconnus comme outils de projection. L'école de la ville nouvelle sera un fragment de ville, mettant en oeuvre les paradigmes morpho-typologiques de l'architecture classique. Concurrément la diagonale du carré sera-t-elle à nouveau et toujours rabattue ?

BIBLIOGRAPHIE

BIBLIOGRAPHIE

- ALEXANDER Ch. "PERCEPTION AND MODULAR CO-ORDINATION"
R.I.B.A. Journal - Oct. 1959 - p. 425-428
- AMODEO "ORIGINE E SVILUPPO DELLA GEOMETRIA PROIETTIVA"
NAPOLI (1939)
- AUDIN M. "LA MAISON DE VILLE DE LYON ET SES TRANSFORMATIONS
NECESSAIRES DEPUIS L'ANNEE 1646"
LYON (1914) in 8° p. 10 et 11
- AUDIN et VIAL "DICTIONNAIRE DES ARTISTES ET OUVRIERS D'ART DU LYONNAIS"
DESARGUES, Tome 1, p. 267 - PARIS (1918-1919) - 2 vol in 4°
- AURES A. "NOUVELLE THEORIE DU MODULE, DEDUITE DU TEXTE MEME DE
VITRUVES ET APPLICATIONS DE CETTE THEORIE A QUELQUES MONU-
MENTS DE L'ANTIQUITE GRECQUE ET ROMAINE"
NIMES (1862)
- BAUCHAL Ch. "NOUVEAU DICTIONNAIRE BIBLIOGRAPHIQUE ET CRITIQUE DES
ARCHITECTES FRANCAIS"
Librairie générale de l'Architecture
PARIS, 1887, p. 177
- BELLIER et AUVRAY "DICTIONNAIRE GENERAL DES ARTISTES DE L'ECOLE FRANCAISE"
Supplément, PARIS (1887) in 4° p. 192
- BELTCHER J. "LES PRINCIPES DE L'ARCHITECTURE FRANCAISE"
Traduction française en 1912
- BENOUVILLE C. "LE CHATEAU DE VIZILLE"
in L'Encyclopédie d'Architecture 4e série, tome IV, p.107
pl. 171 et 172
- BLONDEL F. "COURS D'ARCHITECTURE"

PARIS (1683) - Livre III, chap. XVI
- BOLL Marcel "LE MYSTERE DES NOMBRES ET DES FORMES"
LAROUSSE (1941)
- BORRISAVLIEVITCH M.

"PROLEGOMENES A UNE ESTHETIQUE SCIENTIFIQUE DE L'ARCHI-
TECTURE"
Ed. FISCHBACHER, PARIS (1923)
- BORRISAVLIEVITCH M.

"LA SCIENCE DE L'HARMONIE ARCHITECTURALE"
Ed. FISCHBACHER, PARIS (1925)
- BORRISAVLIEVITCH M.

"LES THEORIES DE L'ARCHITECTURE"
PARIS (1926)
Rééd. PAYOT, PARIS (1951)

BORRISAVLIEVITCH M.

"LE NOMBRE D'OR ET L'ESTHETIQUE SCIENTIFIQUE DE L'ARCHITECTURE"

Librairie Scientifique et Technique A. BLANCHARD
PARIS - 2ième Edition (1963)

BOSSE Abraham

"LA MANIERE UNIVERSELLE DE Mr DESARGUES POUR POSER L'ESSIEU ET PLACER LES HEURES ET AUTRES CHOSES AUX CADRANS DU SOLEIL"
PARIS - Imp. P. DES HAYES (1643)

BOSSE Abraham

"LA PRATIQUE DU TRAIT A PREUVES DE Mr DESARGUES POUR LA COUPE DES PIERRES EN L'ARCHITECTURE"
PARIS, Imp. de P. DES HAYES (1643)

BOSSE Abraham

"MANIERE UNIVERSELLE DE Mr DESARGUES POUR PRATIQUER LA PERSPECTIVE PAR PETIT-PIED, COMME LE GEOMETRAL. ENSEMBLE LES PLACES ET PROPORTIONS DES FORTES ET FAIBLES TOUCHES, TEINTEES EN COULEURS..."
PARIS - Imp. de P. DES HAYES (1653)

BOSSE Abraham

"DES ORDRES DE COLONNES EN L'ARCHITECTURE ET PLUSIEURS AUTRES DEPENDANCES D'ICELLE"
PARIS (1664)

BOSSE Abraham

"TRAITE DE MANIERE DE DESSINER LES ORDRES DE L'ARCHITECTURE ANTIQUE EN TOUTES LEURS PARTIES..."
PARIS (1664)

BOURBAKI N.

"ELEMENTS D'HISTOIRE DES MATHEMATIQUES"
PARIS, rééd. (1974)

BOURGOIN J.

"ETUDES ARCHITECTONIQUES ET GRAPHIQUES"
Ed. SCHMID - PARIS - 2 vol. 1899-1901

BRIANCHON C.J.

"MEMOIRE SUR LES LIGNES DU SECOND ORDRE..."
PARIS (1817)

BRICE G.

"DESCRIPTION NOUVELLE DE CE QU'IL Y A DE REMARQUABLE DANS LA VILLE DE PARIS"
PARIS (1684) 2 tomes in 12 - T1 p. 458
T2 p. 112

BURCKHARDT T.

"PRINCIPES ET METHODES DE L'ART SACRE" (1971)

CHAMPIER V.

"LE PALAIS ROYAL"

ROGER-SANDOZ G.

PARIS (1900)

CHARVET

"LYON ARTISTIQUE"
Ed. BERNOUX et CUMIN
LYON (1899)

CHASLES M.

"APERCU HISTORIQUE SUR L'ORIGINE ET LE DEVELOPPEMENT DES METHODES EN GEOMETRIE"
PARIS (1837)

CHOISY A.

"HISTOIRE DE L'ARCHITECTURE"
Rééd. Vincent FREAL et Cie, PARIS (1964)

- COOLIDGE "A HISTORY OF GEOMETRICAL METHODS"
OXFORD (1940)
- COULTON J.J. "TOWARDS UNDERSTANDING DORIC DESIGN : THE STYLOBATE AND
INTERCOLUMNATIONS"
Ann. of the British School of ATHENS
(1974) p. 61 et suiv.
- CREMONA L. "ELEMENTS DE GEOMETRIE PROJECTIVE"
Fonds de E. DEWULF - 1ère partie, p. VIII
PARIS (1875)
- DERAND J. "L'ARCHITECTURE DES VOUTES"
PARIS (1643)
- DESARGUES "EXEMPLE DE L'UNE DES MANIERES UNIVERSELLES DU S.G.L.D.
TOUCHANT LA PRATIQUE DE LA PERSPECTIVE SANS EMPLOYER AUCUN
TIERS POINT DE DISTANCE N'Y D'AUTRE NATURE, QUI SOIT HORS
DU CHAMP"
PARIS (1636)
- DESARGUES "BROUILLON PROJECT D'EXEMPLE D'UNE MANIERE UNIVERSELLE
DU S.G.D.L. TOUCHANT LA PRATIQUE DU TRAIT A PREUVES POUR
LA COUPE DES PIERRES EN L'ARCHITECTURE ET DE L'ECLAIRCIS-
SEMENT D'UNE MANIERE DE REDUIRE PAR PETIT-PIED EN PERS-
PECTIVE COMME EN GEOMETRAL ET DE TRACER TOUS QUADRANS PLATS
D'HEURES LEGALES AU SOLEIL"
PARIS (1640)
Copie manuscrite faite en 1679 par Ph. DE LA HIRE
- DIEULAFOY M. "L'ART ANTIQUE DE LA PERSE, ACHENEVIDES, PARTHES, SASSANIDES"
DES FOSSEZ, PARIS (1884-1885)
- ECOCHARD M. "FILIAISON DE MONUMENTS GRECS, BYZANTINS ET ISLAMIQUES"
UNE QUESTION DE GEOMETRIE"
Ed. GEUTHNER, PARIS (1977)
- ESPEZEEC P.D. "LE PALAIS ROYAL"
PARIS (1936) in 16
- FERCHIOU N. "ARCHITECTURE ROMAINE DE TUNISIE. L'ORDRE : RYTHMES
ET PROPORTIONS DANS LE TELL"
TUNIS (1975)
- FIGUIER L. "VIE DES HOMMES ILLUSTRES"
PARIS (1879) T.4 p. 486 à 497
- FISCHLER R. "THE EARLY RELATIONSHIP OF LE CORBUSIER TO THE "GOLDEN
NUMBER""
in Environment and Planning (1979)
Vol. 6, p. 95- 103
- FORMIGE J. "LES LOIS MODULAIRES EN ARCHITECTURE"
in L'Architecture (1932) - p. 453 à 460
Vol XLV n°12
- FORMIGE J. "PROPORTIONS ET TRACES HARMONIQUES"
in L'ARCHITECTURE FRANCAISE
Octobre 1943 - p. 4 à 6 et 18 à 21

FOURNIER DES CORATS

- "LA PROPORTION EGYPTIENNE ET LES RAPPORTS DE LA DIVINE HARMONIE"
Ed. VEGA, PARIS (1957)
- FOURREY M.E. "CURIOSITES GEOMETRIQUES"
Ed. VUIBERT, PARIS (1956)
Ch. 3 "La Bible et la Grande Pyramide"
- FUNCK-HELLET Ch. "LE TRES NOBLE ET TRES DROIT RESEAU FONDAMENTAL"
PARIS, Vincent FREAL et Cie (1950)
- FUNCK-HELLET Ch. "DE LA PROPORTION"
L'équerre des Maîtres d'oeuvre"
Ed. Vincent FREAL et Cie, PARIS (1951)
- GHYKA M. "ARTICLE SUR LE MODULOR" rédigé à l'occasion du congrès
du C.I.A.M. sur les tracés.
In ARCHITECTURAL REVIEW - Cahier de 1947
- GHYKA M. "LE NOMBRE D'OR"
GALLIMARD, PARIS (1931) - Rééd. (1959)
- GOUIRAN R. "LA PORTE DES DIEUX OU L'ARCHITECTURE ESOTERIQUE ET LES
STRUCTURES DE L'INVISIBLE"
(1976)
- GROMORT G. "ESSAI SUR LA THEORIE DE L'ARCHITECTURE"
Ed. Vincent FREAL et Cie, PARIS (1966)
- GROS P. "STRUCTURES ET LIMITES DE LA COMPILATION VITRUVIENNE DANS
LES LIVRES III et IV de "DE ARCHITECTURA"
in LATOMUS 34 (1975), p. 986
- GROS P. "NOMBRES IRRATIONNELS ET NOMBRES PARFAITS CHEZ VITRUVÉ"
Mélanges de l'Ecole Française de ROME (1976) - 2 vol.
- HAMBIDGE J. "ELEMENTS OF DYNAMIC SYMMETRY : THE GREEK VASE"
Yale University Press (1924)
- HAMBIDGE J. "THE ELEMENTS OF DYNAMIC SYMMETRY"
Ed. DOVER (1967)
- HAMBIDGE J. "PRATICAL APPLICATION OF DYNAMIC SYMMETRY"
Ed. DEVIN (1965)
- HAUTECOEUR L. "COMPTE-RENDU DU 21ème CONGRES INTERNATIONAL D'ESTHETIQUE"
in Gazette des Beaux-Arts - Déc. 1937
- HAUTECOEUR L. "LES PROPORTIONS MATHÉMATIQUES ET L'ARCHITECTURE"
in La Gazette des Beaux-Arts - Déc. 1937
p. 263-274
- HAUTECOEUR L. "ECONOMIE ET ESTHETIQUE"
in Bulletin d'Information du Centre National pour l'amélioration de l'habitation
(Mars-Avril-Mai 1951)

- HAUTECOEUR L. "MYSTIQUE ET ARCHITECTURE, SYMBOLISME DU CERCLE ET DE LA COUPOLE"
A. et J. PICARD, PARIS (1954)
- HENSZLMANN Emeric "THEORIE DES PROPORTIONS APPLIQUEES DANS L'ARCHITECTURE DEPUIS LA XIII^eme DYNASTIE DES ROIS EGYPTIENS JUSQU'AU XVII^e SIECLE"
Ed. Arthus BERTRAND, PARIS (1860)
- HERMANT André "CROISSANCE ET TOPOLOGIE"
In Technique et Architecture (1947)
- IVINS W.M. "A NOTE ON DESARGUES'THEOREM"
in Scripta Mathematica XIII
(1947) p. 203 à 210
- JOUSSE M. "LE SECRET D'ARCHITECTURE DECOUVRANT FIDELEMENT LES TRAITTS GEOMETRIQUES, COUPES ET DEROBEMENTS NECESSAIRES DANS LES BASTIMENS"
LA FLECHE (1642)
- JOUVEN G. "RYTHME ET ARCHECTURE"
Les tracés harmoniques
Ed. Vincent FREAL et Cie, PARIS (1951)
- JOUVEN G. "LES NOMBRES CACHES - ESOTERISME ARITHMOLOGIQUE"
DERVY-LIVRES, PARIS (1978)
- JOUVEN G. "L'ARCHITECTURE CACHEE - TRACES HARMONIQUES"
Ed. DERVY LIVRES, PARIS (1979)
- KAISER
- KAUFMANN E. "L'ARCHITECTURE AU SIECLE DES LUMIERES"
Traduction française Ed. R. JUILLARD, PARIS (1963)
- KOELIKER Theo "SYMBOLISME ET NOMBRE D'OR ; LE RECTANGLE DE LA GENESE ET LA PYRAMIDE DE KHEOPS"
Editions des Champs Elysées - PARIS (1957)
- LE CORBUSIER "VERS UNE ARCHITECTURE"
Ed. G. CRES et Cie (1923)
- LE CORBUSIER
et P. JEANNERET "LES TRACES REGULATEURS"
Oeuvre complète - Série 2
Editions A. MORANCE - Printemps-Eté 1929
- LE CORBUSIER "LE MODULOR"
Editions de l'Architecture d'Aujourd'hui
PARIS (1948)
- LE CORBUSIER "LE MODULOR"
Editions de l'Architecture d'Aujourd'hui
PARIS (1955)
- LE NAIL E. "LYON - ARCHITECTURE ET DECORATION"
PARIS - S.d.

LE RICOLAIS

- Structures composées en deux ou trois dimensions
T.A. n° 9.10 (1946)
- Une école d'architecture aux Etats-Unis
N° 50/51 (Déc. 1953)
- Les réseaux à trois dimensions
A.A. n° 55 - (Juillet-Août 1954)
- Propos au sujet d'une architecture spatiale
A.A. n° 91/92 (Sept.-Oct. 1960)
- Nouvelle combinaison structurale
A.A. n° 99 (Déc.61 - Janv. 62)
- Trente ans de recherche sur les structures
A.A. n° 108 (Juin-Juillet 1963)
- Le "Sky-Rail System"
A.A. n° 113-114 (Avril-Mai 1964)
- Approche intuitive et approche raisonnée de la forme.
Recherche de structures spatiales (Université de Philadelphie)
A.A. n° 128 (Oct.-Nov. 1966)
- La nature des choses
A.A. n° 141 (Déc. 68 - Juin 1969)
- Structures expérimentales (Université de Pennsylvanie)
A.A. n° 160
- Planchers à grande portée à déformation nulle (Z.D.S.)
A.A. n° 168 (Juillet-Août 1973)

- LORENZEN E. "TECHNOLOGICAL STUDIES IN THE ANCIENT METROLOGY"
COPENHAGUE (1966) - p. 9 à 23
- LORENZEN E. "ALONG THE LINE WHERE COLUMNS ARE SET"
COPENHAGUE (1970)
- LORIA G. "STORIA DELLA GEOMETRIA, DESCRITTIVA..."
MILANO (1921)
- LUCAS "THEORIE DES FONCTIONS NUMERIQUES SIMPLEMENT PERIODIQUES"
in l'American Journal of Mathematics (1878)
- LUND F. Macody "AD QUADRATUM"
Etude des bases géométriques de l'Architecture Religieuse
dans l'Antiquité et au Moyen-âge découvertes dans la cathé-
drale de NIDAROS"
Ed. Albert MORANCE - PARIS (1922)
- MAILLARD Elisa "DU NOMBRE D'OR
Diagrammes de chef d'oeuvre"
André TOURNON et Cie (1943)
- MARCH L.
STEADMAN P. "THE GEOMETRY OF ENVIRONNEMENT"
Ed. RIBA, LONDRES

- MARCHAL Morvan "LES NOMBRES EN ARCHITECTURE OPERATIVE"
Conférence donnée en la respectable loge VOLNEY
à l'Orient de LAVAL - St-Jean d'Eté (1939)
in "LE SYMBOLISME", Août-Septembre 1939, pp. 199-222
- MICHEL P.H. "LA PENSEE D'ALBERTI"
Les Belles Lettres, PARIS (1930)
- MICHEL P.H. "L'ESTHETIQUE ARITHMETIQUE DU QUATRO-CENTO"
P.U.F. (1934)
- MICHEL P.H. "DE PYTHAGORE A EUCLIDE"
PARIS (1950)
- MICHEL P.H. "LES NOMBRES FIGURES DANS L'ARITHMETIQUE PYTHAGORICIENNE"
ALENCON (1958)
- MOESSEL Ernst "DIE PROPORTION IN DER ANTIKE UND MITTLEALTER"
Ed. Ch. BECK - MUNICH (1926)
- NEROMAN D. "LE NOMBRE D'OR A LA PORTEE DE TOUS"
Ed. ARIANE - PARIS (1946)
- NICOD J. "LES GEOMETRIES DU MONDE SENSIBLE"
PARIS (1962)
- OZENFANT A. et
JEANNERET C.E. "SUR LA PLASTIQUE"
in L'Esprit Nouveau n° 1
p. 38 à 48 (1920)
- OZENFANT A.
et JEANNERET C.E. "LE PURISME"
in L'Esprit Nouveau n° 4 - Janvier 1921
p. 369 à 386
- PANOFSKY "LA PERSPECTIVE COMME FORME SYMBOLIQUE"
Ed. de MINUIT (1975)
- PAQUET J.P. "LES TRACES DIRECTEURS DES PLANS DE QUELQUES EDIFICES
DU DOMAINE ROYAL AU MOYEN-AGE"
in Monuments Historiques de la France p. 59 à 84
n° Avril-Mai-Juin 1963
- PERNETTI J. "RECHERCHE POUR SERVIR A L'HISTOIRE DE LYON OU DES LYONNAIS
DIGNES DE MEMOIRE"
LYON (1757) - p. 66 à 68
- PEROUZE DE MONTCLOS J.M.
"LA STEREOTOMIE, PIERRE DE TOUCHE DE LA MANIERE FRANCAISE"
- PONCELET J.V. "TRAITE DES PROPRIETES PROJECTIVES"
PARIS (1822)
- POUDRA "OEUVRE DE DESARGUES REUNIES ET ANALYSEES PAR M. POUDRA"
2 vol. - PARIS (1864)
- POUDRA "L'HISTOIRE DE LA PERSPECTIVE"
PARIS (1864)

- ROCHEX P. "L'HOTEL DE VILLE DE LYON"
LYON (1911)
- SAUVAL H. "HISTOIRE ET RECHERCHE DES ANTIQUITES DE LA VILLE DE PARIS"
p. 42 et 160 - PARIS (1724)
- SCHWALLER DE LUBICZ
- "LE TEMPLE DANS L'HOMME"
LE CAIRE - Imp. SHINDLER (1949)
- SERVOIS F.J. "SOLUTIONS PEU CONNUES DE DIFFERENTS PROBLEMES DE GEOMETRIE
PRATIQUE" - PARIS (AN XII)
- SHOFIELD P.H. "THE THEORY OF PROPORTION IN ARCHITECTURE"
CAMBRIDGE University Press (1958)
- SOUBIRAN J. "VITRUVÉ - DE L'ARCHITECTURE IX"
Collection des Universités de France
Ed. Les Belles Lettres, PARIS (1969)
- SPEISER
- STEYERT A. "NOUVELLE HISTOIRE DE LA VILLE DE LYON"
Ed. BERNOUX et CUMIN (1894-1895)
Tome 2 p. 297
- SZABO A. "LES DEBUTS DES MATHEMATIQUES GRECQUES"
Ed. VRIN - PARIS (1977)
- TANNERY "BIOGRAPHIE DE DESARGUES"
In Grande Encyclopédie - Vol. XIV p. 203-204
- TATON R. "LA PREHISTOIRE DE LA GEOMETRIE MODERNE"
in Revue d'Histoire des Sciences
Tome II (1949) p. 197 à 224
- TATON R. "LA GEOMETRIE PROJECTIVE EN FRANCE DE DESARGUES A PONCELET"
Conférence faite au Palais de La Découverte le 17 Février 1951
- TATON R. "DOCUMENTS NOUVEAUX CONCERNANT DESARGUES"
in Archives Internationales d'Histoire des Sciences, n° 16 -
1951 - p. 620 à 630
- TATON R. "L'OEUVRE MATHEMATIQUE DE G. DESARGUES"
P.U.F. - PARIS (1951)
- TEXIER M.A. "LA GEOMETRIE DE L'ARCHITECTURE"
Ed. Vincent FREAL et Cie - PARIS (1934)
- TIMEROING H.E. "DER GOLDENE SCHNITT"
Ed. TEUBNER - LEIPZIG (5 éditions de 1919 à 1941)
- THOM R. "DE L'ICONE AU SYMBOLE"
in Cahiers Internationaux de Symbolisme
n° 22-23 (1973)
- THIERSCH A. "DIE PROPORTIONEN IN DER ARCHITEKTUR"
in "HANDBUCH DER ARCHITEKTUR"
IV - 1 - Ed. J. Ph. DIEHL - DARMSTADT (1883)

- TOURNIAC J. "LES TRACES DE LUMIERE"
(1976)
- VAILLANT Alcide "THEORIE DE L'ARCHITECTURE"
La Nouvelle Librairie Nationale - PARIS (1919)
- VAN LIER H. "LES ARTS DE L'ESPACE : PEINTURE, SCULPTURE, ARCHITECTURE,
ARTS DECORATIFS"
TOURNAI - CASTERMAN (1959)
- VICARI J. "ACTUALITE DE L'ARCHITECTURE GRECO-ROMAINE"
in Mélanges Collart - LAUSANNE (1976)
- VIOLLET-LE-DUC "DICTIONNAIRE RAISONNE DE L'ARCHITECTURE FRANCAISE"
PARIS (1863)
- WEYL Hermann "SYMETRIE ET MATHEMATIQUE MODERNE"
Nouvelle bibliothèque scientifique
Ed. française Flammarion (1964)
- WITTKOVER R. "ARCHITECTURE PRINCIPLES IN THE AGE OF HUMANISM"
The Institute University of LONDON-WARBURG
LONDRES (1949)
- WITTKOVER R. "SYSTEMS OF PROPORTIONS"
Architect's Yearbook - LONDRES (1953)
- ZEISING Adolf "DER GOLDNE SCHNITT"
HALLE (1884)
- ZEISING Adolf "AESTETISCHE FORSCHUNGEN"
(1855)
- ZEISING Adolf "NEUE LEHRE VON DER PROPORTIONEN"
LEIPZIG (1854)