Pour une approche de la conception architecturale au XIIe siècle : analyse métrologique et mécanique de l'église de Brion (Maine-et Loire)

Hervé Leblond

▶ **To cite this version:**

Hervé Leblond. Pour une approche de la conception architecturale au XIIe siècle : analyse métrologique et mécanique de l'église de Brion (Maine-et Loire). Art et histoire de l'art. Université Panthéon-Sorbonne - Paris I, 2017. Français. NNT : 2017PA01H110 . tel-02050653

HAL Id: tel-02050653
https://theses.hal.science/tel-02050653

Submitted on 27 Feb 2019

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.

UNIVERSITÉ PARIS 1
PANTHÉON SORBONNE

ÉCOLE DOCTORALE 441

(EA 4100 HICSA)

DOCTORAT D'UNIVERSITÉ

HISTOIRE DE L'ART

HERVÉ LEBLOND

Pour une approche de la conception architecturale au XII^{e} siècle : analyse métrologique et mécanique de l'église de Brion (Maine-et-Loire)

thèse dirigée par :
Florence Journot

soutenue le 19 octobre 2017

Jury :
Robert Carvais, directeur de recherches au CNRS (UMR 7074) - rapporteur
Florence Journot, maître de conférences HDR, Université Paris 1 - directrice
Bruno Phalip, professeur, Université de Clermont-Ferrand - rapporteur
Philippe Plagnieux, professeur, Université Paris 1 - président
Daniel Prigent, conservateur en chef honoraire du Patrimoine
Enrique Rabasa Díaz, professeur, Universidad Politécnica de Madrid

Résumé

La 1e partie de la thèse comprend trois volets. Le 1r rappelle les connaissances générales sur la construction médiévale, en particulier le problème des plans. Ont été considérés plus en détail les plans du St-Sépulcre d'Arculf et la reconstitution du temple futur de Richard de St-Victor. Le 2nd volet fait le point sur les connaissances médiévales en mathématiques et en physique. Le 3e résume les théories sur la stabilité des voûtes développées du XVIIe au XXe siècle, par des mathématiciens et des ingénieurs, puis par des restaurateurs et historiens de l'architecture.

La 2e partie est consacrée à l'étude de l'église de Brion (Maine-et-Loire), qui est remarquable par la qualité et la diversité de ses voûtes : en berceau sur le chœur, voûtes d'ogives primitives sur le transept, coupole nervée sur la croisée, voûtes à croisée d'ogives de type angevin sur la nef, et une voûte nervée complexe, apparentée à celles du chœur de St-Serge d'Angers, au haut du clocher.

La principale originalité de la thèse réside dans l'étude géométrique et mécanique de ces voûtes. L'analyse de modèles numériques réalisés par un procédé photogrammétrique a permis d'identifier la forme des voûtains. On a constaté notamment que ceux des voûtes d'ogives sont cylindriques, et que la direction des assises ne dicte pas leur géométrie.

L'analyse mécanique utilise la théorie de l'élasticité. Elle a permis de montrer l'importance de plusieurs points : fonction des doubleaux qui soulagent la voûte en berceau, rôle de la colonnette centrale d'un fenêtre géminée, contraintes importantes qui apparaissent autour du trou de passage des cloches, fonctionnement des voûtes angevines comme des coupoles.

Mots-clés :

Construction médiévale - XIIe siècle- XIIIe siècle - Anjou - mécanique des voûtes - métrologie.

For an approach to Architectural design in the 12th century: Metrological and mechanical analysis of the church of Brion (Maine-et-Loire)

Abstract

The 1st part of the thesis consists of three sections. Section 1 recalls the general knowledge about medieval construction, especially the problem of plans. Arculf's plans of the Holy Sepulchre and the reconstruction of the future temple by Richard of St. Victor were considered in more detail. Section 2 is a review of medieval knowledge in mathematics and physics. Section 3 summarizes the theories on the stability of vaults developed from the 17th to the 20th century, by mathematicians and engineers, then by restorers and architectural historians.

The 2nd part is devoted to the study of the church of Brion (Maine-et-Loire), which is remarkable for the quality and diversity of its vaults: barrel vault on the choir, primitive rib vault on the transept, ribbed dome on the crossing, Angevin type rib vauts on the nave, and a complex ribbed vault, similar to those of the choir of St-Serge in Angers, at the top of the bell tower. The main originality of the thesis lies in the geometrical and mechanical study of these vaults. The analysis of numerical models carried out by a photogrammetric method made it possible to identify the shape of the severies. It has been found, in particular, that those of rib vaults are cylindrical, and that the direction of the courses does not determine their geometry. Mechanical analysis uses the elasticity theory. It has shown the importance of several points: the function of the tranverse arches which support the barrel vault, the role of the mullion of a double window, the important constraints that appear around the bell hole, the Angevin vaults working as cupolas.

Keywords:

Medieval construction - XIIth century - XIIIth century - Anjou - vault mechanics - metrology.

Table des matières

Première partie. La construction....11
1. À propos de la construction au Moyen Âge....11
1. Plans et dessins d'architecture....11
1.A. Vue d'ensemble des documents conservés....11
1.B. Les plans des Lieux Saints d'Arculfe....12
1.C. La reconstitution du Temple d'Ézéchiel par Richard de Saint-Victor....14
1.D. Des monument pris comme modèle....22
1.E. Forma in mente....23
1.F. Dessins à échelle réduite ?....31
2. Ad quadratum....34
2.A. Les traités de la fin du Moyen Âge....34
2.A.1. Ad quadratum chez Villard de Honnecourt....35
2.A.2. Les constructions "retrouvées" et leurs erreurs....38
2.B. Fantasmes sur le nombre d'or....45
2.C. Une étude métrologique exemplaire....46
3. Techniciens et instruments....48
3.A. Le titre d'architecte, et la participation des religieux....48
3.B. Les mesures et instruments de mesure selon les textes et l'iconographie....50
2. Mathématiques, numérologie et sciences exactes....53
1. Le quadrivium et l'arithmétique....53
2. Mesurer l'espace....55
2.A. Agrimensores....55
2.B. Comment l'arpentage antique est-il perçu au Moyen Âge ?....57
3. Symbolique des nombres....59
3.A. Il a tout disposé par nombre, mesure et poids....59
3.B. La numérologie chez les théologiens....61
4. Esthétique....65
4.A. Harmonie musicale....65
4.A.1. Analogie entre les proportions architecturales et celles du corps humain.67
4.A.2. Harmonie musicale et consonance....70
4.B. De la beauté idéale au travail bien fait....73
4.B.1. Y a-t-il accord ou opposition entre esthétique et utilité ?....74
5. En matière d'architecture, que pouvons-nous affirmer ?....77
6. Histoire des sciences : physique, mesures, science des poids....81
6.A. Quelques considérations sur la statique au Moyen Âge....81
6.B. Jordanus de Nemore....83
6.C. La physique médiévale à un niveau plus commun....86
6.D. Scientia de ponderibus et notion de nombre....87
3. La théorie des voûtes....91
1. Les théories des mathématiciens des XVIIe et XVIIIe siècles....91
1.A. Premiers résultats théoriques....91

1.B. Ces résultats exposés aux praticiens....94
1.C. Deuxième vague de théories au XVIIIe siècle....97
2. L'Art de bâtir de Rondelet....101
3. Les ingénieurs du début du XIXe siècle....112
4. Viollet-le-Duc....118
4.A. Modernisme et classicisme....118
4.B. Une doctrine constituée....125
4.C. Viollet-le-Duc et les sciences....131
4.D. D'autres architectes....142
5. La science contemporaine appliquée à l'analyse des monuments....147
5.A. Robert Mark et la photoélasticimétrie....147
5.B. Robert Mark et le "modèle gothique"....149
5.C. Quelques mots sur les tendances actuelles....153
Deuxième partie. Monographie de l'église de Brion....156
1. Présentation générale....156
1. Apports des sources textuelles....157
1.A. Partie historique....157
1.A.1. Occupation primitive et fondation du prieuré....157
1.A.2. La formation du temporel du prieuré....159
1.A.2.1. Les donations seigneuriales....159
1.A.2.2. Les abbés de Saint-Aubin....160
1.A.2.3. Prieurs de Brion....160
1.A.3. Le tertre : moulins à vent, chapelle Saint-Michel et cimetière....161
1.A.4. Temporel et moulins à eau....164
1.A.5. Sobs....167
1.A.6. Conclusion : Prieuré cure ou prieuré simple ?....169
1.B. Sources du XIXe siècle, et études....170
1.B.1. À propos de l'architecte Duvêtre....173
1.B.2. La réception des travaux du XIXe siècle par les contemporains....175
1.B.3. Le début du XXe siècle....175
1.C. Historiographie l'édifice....176
1.C.1. Édifices antérieurs et apport des sources....176
1.C.2. Restaurations et chronologie....177
1.C.3. Sculpture....179
2. Description analytique....180
2.A. Situation....180
2.B. Bâtiments prioraux....184
2.C. Les matériaux et l'approvisionnement....186
2. Analyse détaillée....188
1. Le chœur et l'abside....188
1.A. Généralités-Introduction....188
1.B. Toitures....189
1.C. Le surélèvement du chœur et de l'abside....191
1.D. Sculptures et décor....193
1.D.1. Les chapiteaux....193

1.D.2. La frise....195
1.D.3. Extérieur....196
1.D.4. Structure mécanique des éléments sculptés....197
1.E. Baies....199
1.F. Murs et voûte....202
1.F.1. Les bases des colonnes....202
1.F.2. Restauration du chœur....203
1.F.3. Existence d'un chœur antérieur....203
1.G. Analyse des dimensions....205
1.H. Analyse mécanique....209
2. Croisillon Sud....215
2.A. Généralités - Introduction....215
2.B. Toitures....216
2.C. La corniche à modillons....218
2.D. Baies....220
2.D.1. La porte....220
2.D.2. Fenêtre de la façade ouest du transept....222
2.D.3. Fenêtre du pignon sud....223
2.E. Géométrie des voûtes....225
2.F. Analyse des dimensions....229
2.G. Analyse mécanique....233
3. Croisillon nord....237
3.A. Généralités - Introduction....237
3.B. Toitures....238
3.C. Sculptures et décor....239
3.D. Baies....240
3.D.1. La porte....240
3.D.2. Fenêtre occidentale....240
3.D.3. Fenêtre du pignon nord....241
3.E. Murs et voûte....243
3.F. Analyse des dimensions....244
4. Croisée....245
4.A. Généralités - Introduction....245
4.B. Sculptures et décor....245
4.C. Voûte....247
4.D. Analyse des dimensions....248
4.E. Analyse mécanique....252
5. Nef....259
5.A. Généralités - Introduction....259
5.B. Toitures....260
5.C. Sculptures et décor....263
5.D. Baies....265
5.D.1. Les fenêtres latérales de la nef....265
5.D.2. Travée orientale....266
5.D.3. Travée occidentale....267

5.E. Essai de restitution de la façade ouest....269
5.E.1. Porte....270
5.E.2. Fenêtre....271
5.E.3. Mouluration extérieure....271
5.E.4. Le pignon....272
5.F. Murs et voûte....272
5.F.1. Les murs de la nef....272
5.F.2. Les voûtes de la nef....274
5.G. Analyse des dimensions....275
5.G.1. Géométrie des voûtes....275
5.G.2. Analyse métrologique....278
5.H. Analyse mécanique....279
5.H.1. Le doubleau de la nef....279
5.H.2. Les fissures dans les voûtains et les autres tractions....284
5.H.3. Le surhaussement de la voûte à l'ouest....287
6. Clocher....289
6.A. Généralités - Introduction....289
6.B. Toiture....290
6.C. Sculptures et décor....291
6.D. Baies....293
6.E. Le beffroi....296
6.F. Murs et voûte....298
6.G. Analyse des dimensions....300
6.H. Analyse mécanique....306
3. Conclusion....311
1. L'église de Brion....311
1.A. Une restauration de grande qualité, mais dont l'optique a évolué....311
1.B. Édifices successifs....312
2. La construction des voûtes....314
2.A. Les question oubliées....314
2.B. Efforts mécaniques et appareil....316
2.C. Les nervures....318
3. Quelques indications sur la composition architecturale....318
3.A. Schémas modulaires....319
3.B. La géométrie et le cintrage des voûtes....320
3.C. La sculpture après la pose....322
4. Perspectives....322
4. Bibliographie....325
1. Documents d'Archives....325
2. Sources publiées (tous supports)....326
3. Publications antérieures à 1900....328
4. Études....330
Troisième partie. Documents et annexes....337
1. Dossier de restauration de l'église de Brion....337
1. Documents graphiques....337

1.A. Dessins de Duvêtre....337
1.B. Dessins de Galembert....341
1.C. Photographies anciennes conservées par la médiathèque de l'Architecture et du Patrimoine (Base Mérimée)....344
1.D. Tableau conservé au musée de Beaufort-en-Vallée....348
2. Devis et comptes de réception....349
2.A. Devis pour le clocher, 1832....349
2.B. Devis supplémentaire, 1852....350
2.C. Réception du clocher, 1853....352
2.D. Devis pour le chœur, 1855....354
2.E. Réception du chœur, 1857....358
2.F. Devis pour le transept sud, 1861....361
2.G. Réception du transept sud, 1863....370
2.H. Devis pour le transept nord, 1862....377
2.I. Réception du transept nord, 1863....384
2.J. Devis intérieur de la nef, 1868....389
2.K. Devis extérieur de la nef, 1868....391
2.L. Réception de la nef, 1871....397
3. Comptes et délibérations de la fabrique....402
3.A. Budget de l'église de Brion pour l'année 1870....402
3.B. Registre des Délibérations du conseil de fabrique....403
3.B.1. - 1862, la restauration du transept....403
3.B.2. - 1867, continuation des travaux....404
3.B.3. - 1871, compte de 1870 et détail des travaux....404
3.B.4. - 1872, compte de 1871 mentionnant encore quelques travaux....405
3.B.5. - 1878, achat du presbytère....405
4. Archives de Brion....407
5. Documents divers....433
5.A. Rapport de Godard Faultrier à La Commission, 1855....433
5.B. Lettre de Duvêtre à l'évêque d'Angers, 1855....434
5.C. Lettre de l'évêque au préfet, 1855....435
2. Dossier photographique....437
1. Sculpture de l'intérieur....437
2. Sculptures extérieures....447
3. Modillons du clocher....456
4. Intérieur du clocher....459
4.A. Élévation intérieure de l'étage....459
4.B. Cloches....461
3. Annexes....463
1. Les unités de mesure de longueur....463
1.A. Le Maine-et-Loire....463
1.B. Départements environnants....466
1.B.1. Indre et Loire....466
1.B.2. Sarthe....466
1.B.3. Mayenne....466

1.C. Le pied anglais.....466
2. Modélisation des maçonneries.....470
2.A. Méthode et logiciels utilisés.....470
2.B. Propriétés mécaniques du tuffeau.....471
2.B.1. Résistance à la compression.....471
2.B.2. Module d'élasticité.....472
2.B.3. Résistance à la traction.....473
3. Mesure des axes et rayons des voûtains cylindriques.....474
3.A. Modèle numérique.....474
3.B. Identifier l'axe du cylindre.....475
3.C. Centre et rayon du voûtain cylindrique.....475
3.D. Fixer l'échelle.....476
4. Construction numérique de l'épure de Méry.....476
.....482

Je remercie mon épouse, Mme Journot, Mr Prigent, Mme Poulard et la mairie de Brion, les archives du Maine-et-Loire, les archives diocésaines d'Angers, le musée Joseph-Denais de Beaufort-en-Vallée, ainsi que toutes les personnes et institutions qui mettent gracieusement des documents et logiciels à la disposition du public.

Toutes les figures et photographies sont de l'auteur, sauf mention contraire.

Première partie. La construction

1. À propos de la construction au Moyen Âge.

1. Plans et dessins d'architecture

1.A. Vue d'ensemble des documents conservés

En 1968, F Bucher a publié un article[1] qui attirait l'attention sur une masse de documents graphiques (plans et autres dessins d'architecture) médiévaux, et affirmait la nécessité de prendre ces documents en considération. Il passe en revue l'ensemble de ceux-ci, en les classant par type, traitant l'architecture gothique comme une unité jusqu'à ses manifestations les plus tardives.

Une approche plus chronologique peut être trouvée dans d'autres études[2]. R. Recht note d'abord que, comme nous venons de le voir, pour le premier art gothique comme à l'époque romane, "le maître d'œuvre [...] avait en tête le plan du bâtiment". Les plans les plus anciens sont, outre le plan de Saint-Gall, ceux d'Arculfe et de Richard de Saint-Victor, sur lesquels nous reviendrons bientôt. G. Binding fait une distinction essentielle entre les dessins servant à l'exécution (Werkzeichnungen) et ceux qui servent à présenter le projet au maître d'ouvrage[3]. La chronologie des dessins conservés doit tenir compte de leur fonction. Pour les dessins destinés à la présentation, le terme de "visierung" est utilisé dans le documents allemands du XV^{e} siècle[4].

Le document qui fait couler le plus d'encre est le Carnet de Villard de Honnecourt du milieu du XIIIe siècle[5]. Que conservons nous comme représentations antérieures, qui puisse éventuellement

---

1 F. Bucher, "Design in gothic architecture", *Journal of the Society of Architectural Historians*, vol. 27, pp. 49-71 (1968).

2 Roland Recht, *Le dessin d'architecture* (Paris, Adam Biro, 1995) ; Wolfgang Schöller, "Le dessin d'architecture à l'époque gothique", dans Roland Recht, éd. *Les bâtisseurs de cathédrales gothiques*, (Strasbourg, 1989), pp. 227-236 ; G. Binding consacre une importante section à ce sujet dans son ouvrage cité n. 3, p. 192 *sq.*

3 Günther Binding, *Baubetrieb im Mittelalter*, Wissenschaftliche Buchgesellschaft Darmstadt,1993. section B.1., p. 171 *sq.*

4 Par exemple, les statuts de Ratisbonne de 1459 (vysierung) ; *cf.* Binding, *op. cit.* n. 3, section B.1., p. 171 *sq.*

5 BNF, Manuscrit, Fonds français, 19093. Citons quelques ouvrages : *Jean-Baptiste-Antoine Lassus, Album de Villard de Honnecourt architecte du XIIIe siècle* (Paris, Impr. impériale, 1858) ; Hans R. Hahnloser, *Villard de Honnecourt : kritische Gesamtausgabe des Bauhüttenbuches ms. fr. 19093 der Pariser Nationalbibliothek* (Vienne, A. Schroll, 1935) ; Alain Erlande Brandenburg *et al.*, *Carnet de Villard de Honnecourt: d'après le manuscrit conservé à la Bibliothèque nationale de Paris (no 19093) présenté et commenté* (Paris, Stock, 1986) ; Roland Bechmann, *Villard de Honnecourt: la pensée technique au XIIIe siècle et sa communication* (Paris, Picard, 1991) ; Carl F. Barnes, *The portfolio of Villard de Honnecourt, Paris, Bibliothèque nationale de France, MS Fr 19093: a new critical edition and color facsimile*, AVISTA Studies in the history of medieval technology, science and art; Special publication (Farnham, Burlington, Ashgate, 2009). On trouvera une bibliographie exhaustive due à C. F. Barnes sur le site : http://www.avista.org/villard/archived-villardman-net-bibliography/ et une édition en ligne du carnet à l'adresse : http://fr.wikisource.org/wiki/Carnet_%28Villard_de_Honnecourt%29

être qualifiées de dessins d'architecture ? Pour l'Antiquité, quelques plans sont conservés, plans de Rome, centuriations, figures du *corpus agrimensorum* ; il s'agit cependant là d'arpentage, bien distinct d'un plan d'architecture. Les plans d'urbanisme eux-mêmes n'étaient pas de ressort des agrimenseurs[6] On conserve aussi de l'Antiquité tardive des représentations d'architecture n'ayant aucune prétention à être des dessins d'architecte. Dans le haut Moyen Âge, on connaît le plan de Saint-Gall, cependant il s'agit plutôt qu'un plan relatif à l'organisation d'un site que le plan architectural d'un ou plusieurs bâtiments. En effet, le plan porte des mesures, qui présentent des incohérences à la fois entre elles et avec les mesures prises sur le plan[7]. L'épaisseur des murs n'est pas indiquée. Par ailleurs, rien ne permet d'affirmer que ce plan corresponde à un ensemble d'édifices réalisé. En dehors de cela, les représentations architecturales, du haut Moyen Âge à la fin du XII^{e} siècle, ne sont que des images ne cherchant pas à rendre compte de façon précise d'une architecture, à deux exceptions notables près : la description des monuments de Jérusalem d'Arculfe, et la reconstitution du temple futur d'Ézéchiel par Richard de Saint-Victor.

Il faut aussi noter le plan du monastère de Cantorbéry qui se trouve dans le Psautier d'Eadwin[8], mais si ce dernier peut être considéré comme un plan technique au sujet de l'adduction d'eau, en ce qui concerne l'architecture, il utilise les modes de représentation traditionnels de la miniature. On peut cependant observer que le rabattement des quatre arcatures du cloître dans le plan de celui-ci, que l'on voit sur le dessin du psautier d'Eadwin, est aussi présent sur le plan de Saint-Gall. On peut se demander si d'autres modes de représentation, qui correspondraient à un dessin technique, existaient à cette époque. En dehors de l'idée *a priori* que de tels modes de représentation sont indispensables en pratique, on a peu ou pas d'arguments en faveur de leur existence.

1.B. Les plans des Lieux Saints d'Arculfe

C. Heitz[9] a attribué à ce document une grande importance dans la perception des Lieux Saints par l'occident. Il explique qu'Arculfe, "évêque de Gaule du VIIe siècle, échoua au retour d'un voyage en Terre Sainte sur la petite île d'Iona, en face de la côte écossaise", et "fit un récit détaillé de ses pérégrinations". L'abbé Adamnanus (679-704) a "consigné ce récit dans un opuscule intitulé *de Locis Sanctis*, qu'il dédia au roi de Northumbrie, Alfred". Arculfe aurait effectué son voyage de 679 à 682, et Adamnanus rédigé son livre vers 683-686[10].

Arculfe avait accompagné sont récit de plusieurs plans, qu'il avait gravés sur des tablettes de cire, et qui ont ensuite été reproduits par Adamnanus puis par les copistes. C. Heitz signale quatre

---

6 *Cf.* Oswald A.W. Dilke, *Les arpenteurs de la Rome antique* (APDCA, Sophia Antipolis, 1995), p. 157 : "il est clair que les plans d'urbanisme n'étaient pas du ressort de l'arpenteur. Les mesures y étaient prises en pieds, et non pas en actus ; il n'y avait pas de centuriation".

7 G. Binding, *op. cit.* n. 3, p. 178, renvoie à Günther Binding, "Köln-Aachen-Reichenau, Bemerkungen zum St. Galler Klosterplan von 817-819", *Zeitschrift für Archäologie des Mittelalters,* vol. 9, pp. 12-144 (1981).

8 Vers 1160, Trinity-College in Cambridge, MS R. 17.1, fol. 284v-285r ; une image est disponible à l'adresse http://trin-sites-pub.trin.cam.ac.uk/james/viewpage.php?index=1229.

9 *Cf.* Carol Heitz, *Recherche sur les rapports entre architecture et liturgie à l'époque carolingienne* (Bibliothèque de l'École Pratique des Hautes Études, Paris, 1963), 2^{e} partie, VI, p. 113 *sq.*

10 C. Heitz, *op. cit.* n. 9, renvoie à D. Meehan, *Adamnan's "de Locis Sanctis*", Dublin, 1958.

copies carolingiennes de l'ouvrage, conservés respectivement à Vienne[11], Paris[12], Zürich[13], et Bruxelles[14,15]. Le manuscrit de Bruxelles ne contient pas les illustrations.

Les plans sont au nombre de quatre : dans le livre I, le complexe du Saint-Sépulcre, la basilique du mont Sion, et l'église de l'Ascension, et dans le livre II, le puits de Jacob à Sichem. Le plan de la rotonde de l'Anastasis est dessiné en détail, par quatre cercles concentriques, qui représentent, en partant du centre :

- l'édicule contenant le tombeau (*tegurium rotundum),*
- la colonnade intérieure de 12 colonnes qui porte la coupole,
- le mur extérieur, sur lequel s'ouvrent 3 absides, à l'ouest au sud et au nord, qui sont en fer à cheval sur le manuscrit de Vienne, et quadrangulaires sur celui de Paris,
- l'*ambulacrum*, une "sorte de déambulatoire" extérieur.

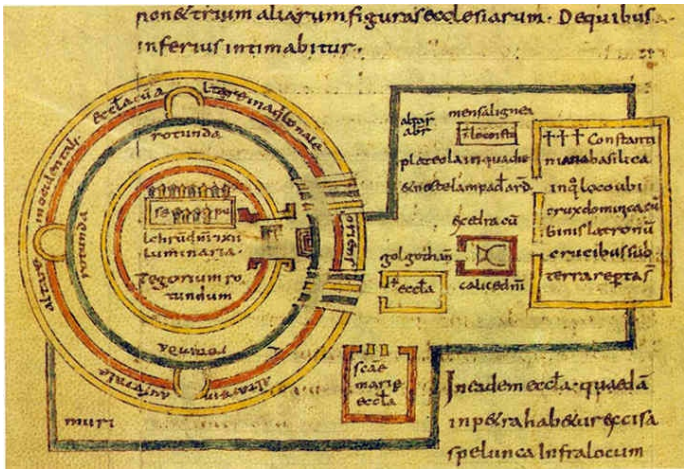


Figure 1. Le Saint-Sépulcre, Adamnanus, de Locis Sanctis, (manuscrit de Vienne)[16].

Le manuscrit de Vienne[16] ajoute un cinquième cercle autour du *tegurium*, qui représente les

11 *Vindobonensis* 458, fol. 1r-26v, milieu du IX^e^ siècle. Il se trouvait à la cathédrale de Salzbourg dès le IX^e^ siècle.

12 *Parisinus*, BN lat. 13048, fol. 1-28. Ce manuscrit du IX^e^ siècle provient de Corbie.

13 Zürich, Zentralbibliothek, Rheinau 73, http://www.stgallplan.org/stgallmss/viewItem.do?ark=p21198-zz0028rnww&pageArk=p21198-zz0028s9sz.

14 Bibliothèque Royale de Belgique, 3921-2, fol. 1-52v, http://lucia.kbr.be/multi/KBR_2921-22Viewer/imageViewer.html. Il date du IX^e^ siècle et est originaire de Stavelot.

15 Signalons quelques éditions modernes et traductions disponibles en ligne : le texte seul dans la *Patrologie Latine* (vol. 88, col. 0779 - 0814D, http://la.wikisource.org/wiki/De_locis_sanctis), une traduction anglaise (*Pilgrimage of Arculfus in the holy land about the year a.d. 670*, translated and annotated by the rev. James Rose MacPherson, B.D., (Londres, 1895) : http://faculty.colostate-pueblo.edu/beatrice.spade/seminar97/arculf/arculfus.htm), et une traduction française, http://remacle.org/bloodwolf/historiens/adamnan/lieuxsaints.htm, essentiellement tirée de Édouard Charton, *Voyageurs anciens et modernes* (Paris, 1854). Les deux derniers ouvrages présentent des gravures reproduisant les illustrations orginales.

16 Österreichisches national Bibliothek, codex 458, fol. 4v. http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/dd/Rotunda%2C_Adomanan_de_locis_santis.jpg

colonnettes entourant celui-ci[17]. Les deux portes à quatre baies sont indiquées, par des traits qui joignent le cercle de l'*ambulacrum* à celui de la colonnade. Par contre, la basilique de Constantin (*martyrium*), ainsi que les autres églises de l'enceinte, celle du Calvaire, celle de la Vraie Croix (cette dernière avait été remplacée par un calice réputé être celui de la Cène), et celle de la Vierge, sont schématisées par de simples rectangles, munis d'une ou deux ouvertures figurant la ou les portes, et de croix indiquant les autels.

La basilique du mont Sion est de même figurée par un simple rectangle, muni d'une ouverture et de deux appendices rectangulaires. L'église de l'Ascension, décrite par Arculfe comme une rotonde, "*rotunda*" dans le texte, et circulaire sur le plan[18], est représentée par quatre cercles concentriques qui représentent, de l'intérieur vers l'extérieur, le cercle d'airain qui entoure l'empreinte du pied du Christ, puis trois cercles figurant les colonnades ou murs limitant le "triple portique" (on le dirait plutôt double, d'après le plan, selon notre façon de parler du moins). Huit marques en forme de larmes sur le plus intérieur de ces trois cercles figurent sans doute les fenêtres mentionnées dans le texte. Le puits de Jacob est entourée d'une église en forme de croix, dont le plan donne un simple contour, avec des ouvertures pour les portes, de façon analogue aux édifices rectangulaires déjà vus.

Arculfe n'est évidemment pas un architecte, et quelles qu'aient pu être les usages du dessin d'architecture au VII^{e} siècle, on peut s'attendre à ce qu'il les ignore. Je reste convaincu que, malgré cela, le mode de représentation qu'il emploie est significatif de la façon dont il appréhende l'espace architectural. Une première remarque est que pour lui, les murs ont toujours une épaisseur ; ils sont en effet toujours figurés par deux traits. Une deuxième remarque est qu'une colonnade est représentée comme un mur. On sait que les fondations d'une file de colonnes sont souvent un mur continu, et que les plans issus de fouilles de fondations sont souvent amenés à représenter une colonnade par deux traits parallèles, puisqu'ils montrent en fait la fondation de celle-ci. En comparant ce deux types de fondations, on est amené à penser que c'est l'emprise totale du mur, telle qu'elle est définie par son massif de fondation, que le plan d'Arculfe veut représenter, plutôt que la maçonnerie présente à une hauteur donnée au-dessus du sol, comme le fait le mode de représentation actuel. Enfin, on remarquera qu'une porte et une fenêtre sont représentées de façons totalement différentes, ce qui ne coïncide pas non plus avec l'usage moderne.

1.C. La reconstitution du Temple d'Ézéchiel par Richard de Saint-Victor

Un certain nombre de textes scripturaires font référence à des bâtiments, avec plus ou moins de détails, et peuvent donc naturellement avoir des conséquences sur l'histoire de l'architecture. Les brefs passages de l'Écriture consacrés à l'Arche de Noé[19] et à la tour de Babel[20] reviennent fréquemment dans l'iconographie, mais les textes les plus importants restent les diverses formes du

17 C. Heitz, *op. cit.* n. 9, p. 116.

18 Quoique des archéologues y voient plutôt un édifice octogonal, *cf.* C. Heitz, *op. cit.* n. 9, p. 117, qui renvoie à H. Vincent et F.M. Abel, *Jérusalem, Recherches de topographie, d'archéologie et d'histoire*, t. II: *Jérusalem nouvelle* (Paris, 1914), pp. 371-373.

19 Genèse 6, 14-16. L'Arche de Noé s'assimile à un bâtiment en charpente.

20 Genèse 11, 1-9.

sanctuaire de Dieu. Il a eu la Tente[21], le Temple de Salomon[22], le Second Temple d'Esdras[23], puis les visions eschatologiques : le Temple futur d'Ézéchiel[24] et la Jérusalem Céleste de l'Apocalypse[25]. Ces textes ont très inégalement inspiré les commentateurs et illustrateurs anciens et modernes ; le Second Temple en particulier, a peu intéressé les chrétiens, il semble en être de même pour la description pourtant détaillée de la Tente. Le Temple de Salomon et la Jérusalem Céleste de l'Apocalypse ont eu beaucoup plus de succès, cette dernière par son appartenance au Nouveau Testament.

Les représentations médiévales du temple ressemblent assez peu à la description qu'en donnent les écritures[26]. Le temple est "idéal" ; en tant que lieu de très haute sainteté, c'est sa valeur symbolique qui compte avant tout, même à une époque tardive où tout n'est plus symbole. Cette attitude est cohérente avec l'aspect hautement symbolique de la représentation juive, qui désigne le temple par les objets sacrés qu'il contient.

Les premières images qui ressemblent tant soit peu aux édifices existants remontent au XV^{e} siècle, certaines d'entre elles en particulier pourraient avoir été faites à la demande de René d'Anjou. Avant 1500, C. Krinsky n'a trouvé que deux ouvrages qui fassent exception en essayant d'illustrer la description de l'écriture[27]. On peut rapprocher cette absence d'intérêt pour une représentation "concrète" du Temple de l'attitude de saint Thomas d'Aquin qui restreint l'allégorisme aux Écritures, le reste de la création devant être considéré essentiellement pour ce qu'il est[28]. Le Temple n'est pas l'Écriture, mais est un objet sacré à un titre voisin. Sa représentation relève donc de l'allégorisme de ce point de vue. La notion d'image d'une église à construire dans l'esprit de l'architecte n'est pas l'équivalent d'une idée platonicienne[29], mais un exemple d'une telle idée est justement le Temple (voire même le Temple de la vision d'Ezéchiel lui-même). Cet exemple précise le statut de l'image mentale, et les représentations correspondantes.

Les visions d'Ezéchiel tirent une grande partie de l'intérêt qu'ils ont suscité chez les commentateurs chrétiens de leur proximité avec l'Apocalypse. Les commentaires de la vision du Temple Futur sont assez nombreux, mais en général ils traitent l'édifice non pas comme le projet d'une construction réelle, mais comme un édifice purement symbolique. En particulier, ils considèrent que les différentes mensurations données par le texte n'ont pas à être cohérentes entre elles. Richard de Saint-Victor a pris un parti fondamentalement original : il a essayé d'expliciter les

21 Exode 28, 8 à 27, 19.

22 I Rois 5, 15 à 9, 25, y compris la logistique et le mobilier ; la description du temple proprement dite est I Rois 6, 2-36. Le palais de Salomon est aussi décrit en I Rois 7, 1-12.

23 Esdras 3, 1 à 6, 15. Le texte parle surtout du financement de la construction et des difficultés politiques que celle ci a soulevée. La description proprement dite est très brève, elle n'occupe que les deux versets Esdras 6, 3-4. Le livre de Néhémie décrit aussi la reconstruction des remparts de Jérusalem (Néhémie 3,1-32 e, particulier).

24 Ézéchiel 40, 1 à 42, 20, plus les mesures de l'autel en Ézéchiel 43, 13-18.

25 Apocalypse 21, 9 à 22, 2.

26 C.H. Krinsky, "Representations of the Temple of Jerusalem before 1500", *Journal of the Warburg and Courtauld Institutes*, vol. 33, pp. 1-19 (1970).

27 Il mentionne (art. cit. n. 26) : - Un texte latin du XIV^{e} siècle du "*Speculum humanae salvationis*" provenant de Sélestat (Munich, Staatsbibl. Clm. 146, fol. 7r), et : (Le Temple de Salomon et sa construction dans la Bible de Roda de Ripoll du XIe siècle (Paris, B.N. lat. 6, II, fol. 129 v.)

28 *Cf.* Umberto Eco, *Art et beauté dans l'esthétique médiévale*, traduction de Maurice Javion (Paris, Grasset, 1997).

29 *Cf.* U. Eco, *op. cit.* n. 28. Saint Thomas parle de maison plutôt que d'église.

sens historique de texte, en reconstituant le Temple Futur comme s'il s'agissait d'un édifice concret. L'indifférence générale pour la forme "historique'' du Temple met en évidence l'originalité de sa démarche.

On conserve 13 manuscrits du commentaire de Richard sur Ézéchiel[30]. L'un d'eux provient de l'abbaye de Saint-Victor même[31]. Ce commentaire est relié avec d'autres œuvres, variables suivant les manuscrits et qui, pour deux d'entre eux, contiennent le commentaire d'André de Saint-Victor sur le même texte. Le manuscrit de Saint-Victor contient d'autres œuvres de Richard. La date du texte n'est pas certaine. Richard n'y étant pas mentionné comme prieur, le texte serait antérieur à 1162 (ni comme sous-prieur, 1159), cependant, la plupart des manuscrits ne mentionnant même pas son nom, l'argument n'est pas très probant. Le manuscrit de Saint-Victor n'est pas daté, les indications stylistiques ne sont pas certaines mais orientent avant 1170.

Le commentaire se compose d'un prologue et de vingt chapitres. La vision du char est traitée "in a very rapid fashion", et Richard commente surtout la vision du Temple. Dans l'exégèse en général, cette vision n'est pas réputée représenter un édifice réel mais symbolique. Grégoire le Grand, en particulier, soutient que le temple doit être compris "*spiritualiter*", dès le début de son commentaire, en s'appuyant sur l'incohérence des mesures[32]. Saint Jérôme en arrive à la même conclusion, après davantage d'efforts pour établir le sens historique. Aucune des copies médiévales de ces deux commentaires ne contient de représentation figurée du Temple. Le commentaire d'Haymon d'Auxerre ne se préoccupe pas davantage du sens littéral du texte à son sujet, il est illustré, mais sans représentation du Temple.

Le commentaire d'André de Saint-Victor est totalement indépendant de celui de Richard. Il s'intéresse lui aussi au sens littéral, mais paraît moins convaincu de la possibilité de reconstituer plan et élévation de l'édifice. Il ne le fait d'ailleurs pas, et ne présente pas de dessin.

Le commentaire de Richard s'intéresse au sens historique, qu'il comprend ici comme la restitution du complexe de bâtiments, tel qu'il pouvait "exister'' (L'existence dans la vision du prophète est sans doute considérée comme une existence tout à fait réelle par Richard). On remarque très vite que toute interprétation allégorique ou symbolique est absente du commentaire. Donc, du point de vue de Richard, reconstituer un projet architectural semble exclure ce type d'approche. Ceci peut venir à l'encontre d'une idée que l'on entend souvent, selon laquelle la conception architecturale et plus spécialement les mensurations des bâtiments, est intimement liée à des intentions symboliques. Cela n'exclut pas toute approche basée un symbolisme de la part des bâtisseurs, mais montre du moins que le fait architectural au XII^{e} siècle, prend un sens indépendamment de tout symbolisme, même du point de vue d'un théologien. Par ailleurs, doit on voir, dans la différence de point de vue entre Richard et Grégoire le Grand, le signe d'une tendance générale de l'époque à une approche plus concrète, ou cela n'implique-t-il que la seule personnalité de Richard ? Le goût du concret dans les choses intellectuelles est lié au développement des sciences, depuis le XII^{e} siècle jusqu'à la Renaissance. La volonté de Richard, d'attacher un sens

30 PL 196, col. 527-600. Une grande partie de cette analyse est extraite de l'article de Walter Cahn, "Architecture and exegesis: Richard of St.-Victor's Ezekiel commentary and its illustrations", *The Art Bulletin*, vol. 76, n° 1, pp. 53-68 (1994). *Cf.* aussi, du même auteur, "Architectural draftsmanship in twelfth-century Paris: the illustrations of Richard of Saint-Victor's commentary on Ezekiel's Temple vision", *Gesta*, vol. 15, n° 1/2, *Essays in Honor of Sumner McKnight Crosby*, pp. 247- 254 (1976).

31 Bibl. Nat. lat. 14516.

32 Grégoire le Grand, *Homélies sur Ézéchiel*, II, I, 3, (Sources Chrétiennes n° 360, Éd. du Cerf, Paris 1990, p. 50-51).

concret à ce texte scripturaire, participe sans doute de ce vaste mouvement.

Les manuscrits contiennent 13 plans ou élévations de l'ensemble ou de parties du Temple, plus, pour certains, une carte du partage de la Terre Promise entre les 12 tribus d'Israël[33]. Les figures en question représentent :

1) un plan montrant la position relative de l'atrium intérieur et de l'atrium extérieur[34].

2) Un plan de l'ensemble du complexe indiquant la position des cours (*atria*) et porches (*portices*)[35].

3) Le même plan, avec, en plus, le détail de l'organisation de l'*atrium* intérieur[36].

4) Un plan, indiquant simplement la position des trois porches, l'élévation de ceux-ci étant projetée vers l'intérieur[37].

5) Une sorte de 'plan de masse' du porche oriental, ne montrant que son enceinte extérieure et son allée centrale[38].

6) Un plan des chambres latérales du porche oriental[39].

7) Un plan de ce porche entier, c'est essentiellement le plan (5) dans lequel est inséré deux exemplaires du plan (6)[40].

8) Une construction géométrique[41].

9) L'élévation de la façade du porche[42].

10) L'élévation latérale de celui-ci[43].

11) Le plan du Temple (*templum*) proprement dit[44].

12) L'élévation latérale de l'édifice nord (*edificium vergens ad aquilonem*)[45].

---

33 Une bonne partie des figures du manuscrit de Saint-Victor (BN Lat. 14516) sont reproduites dans l'article cité de W. Cahn [30], auquel je renvoie pour la liste des manuscrits. Les figures du manuscrit la British Library (Harley 461) sont disponibles sur http://www.bl.uk/catalogues/illuminatedmanuscripts/searchMSNo.asp, celles du manuscrit d'Oxford (Bodleian Library, Ms Bodley 494), sur http://www.artstor.org/index.shtml (sur abonnement), une partie de celles du manuscrit de Cambrai (Bibl. Mun. Ms 305 fols. 240-257), à l'adresse http://www.culture.gouv.fr/documentation/enlumine/fr/BM/cambrai_437-01.htm. La totalité du manuscrit de Troyes (Bibl. Mun. MS544, fols. 1-31) peut être consulté à http://bvmm.irht.cnrs.fr/resultRecherche/resultRecherche.php?COMPOSITION_ID=698. Je limite mon étude à cet échantillon des figures.

34 St Victor : Harl. 461 : fol. 4 r ; Bodl. 494 : fol. 131 v ; Troyes : fol. 4 v.

35 St Victor : fol. 212 r ; Harl. 461 : fol. 4 v ; Bodl. 494 : fol. 132 r ; Troyes : fol. 5 r.

36 St Victor : fol. 213 r ; Harl. 461 : fol. 5 v ; Bodl. 494 : fol. 133 r ; Cambrai : fol. 235 r ;Troyes : fol. 6 r.

37 Harl. 461 : fol. 7 v ; Bodl. 494 : fol. 135r ; Troyes : fol. 8r.

38 Harl. 461 : fol. 9 r ; Bodl. 494 : fol. 136 v ; Troyes : fol. 10 r.

39 Harl. 461 : fol. 9 v ; Bodl. 494 : fol. 137 v ; Troyes : fol. 10 v.

40 St Victor : fol. 220 v ; Harl. 461 : fol. 11 r ; Bodl. 494 : fol. 139 v ; Troyes : fol. 12 r.

41 Harl. 461 : fol. 25 r ; Bodl. 494 : fol. 154 v ; Troyes : fol. 25 v.

42 St Victor : fol. 240 r ; Harl. 461 : fol. 26 r ; Bodl. 494 : fol. 155 v ; Cambrai : fol. 244 v ; Troyes : fol. 26 r.

43 St Victor : fol. 240v ; Harl. 461 : fol. 26 v ; Bodl. 494 : fol. 156 r ; Cambrai : fol. 244 v ; Troyes : fol. 26 r.

44 St Victor : fol. 244 v ; Harl. 461 : fol. 29 v ; Bodl. 494 : fol. 158 v ; Troyes : fol. 28 r.

45 St Victor : fol. 248 r ; Harl. 461 : fol. 33 r ; Bodl. 494 : fol. 162 v ; Cambrai : fol. 246 v ; Troyes : fol. 31 v.

13) Le plan de l'autel de holocaustes[46].

14) Le partage de la Terre Promise[47].

W. Cahn pense qu'en outre, une élévation du temple et soit un plan, soit une élévation de la façade de l'édifice nord étaient prévus à l'origine, les folios 245 r et 248 v du manuscrit de Saint-Victor étant restés vierges.

Le texte de Richard de Saint-Victor est très intéressant parce qu'il donne des représentations graphiques et des mesures, avec un commentaire détaillé qui donne la clef de leur interprétation, ce qui est exceptionnel.

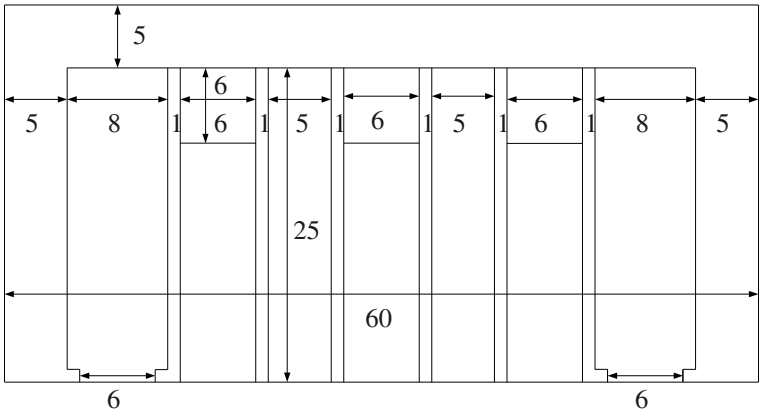


Figure 2. Le plan des chambres du porche oriental avec les mesures données par Richard, à l'échelle.

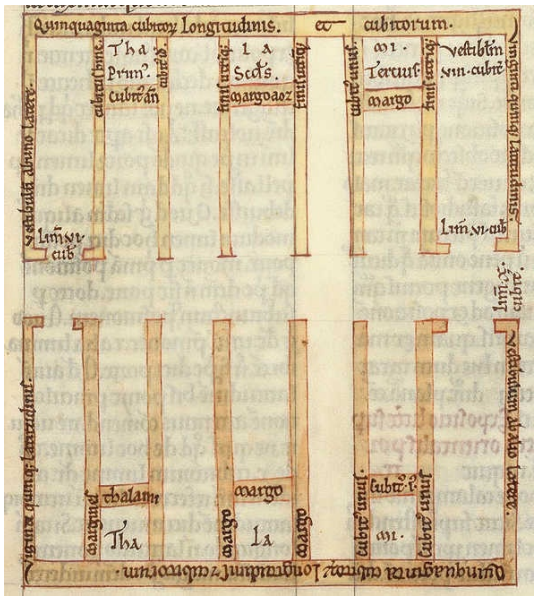


Figure 3. Le plan du porche oriental. Manuscrit Harley 461, fol. 11r.

Richard insiste en plusieurs endroits sur la différence en mesures prises intérieurement,

46 Harl. 461 : fol. 36 r ; Bodl. 494 : fol. 165 v ; Troyes : fol. 35 r.

47 Ce dessin n'ayant aucun caractère architectural, il sort complètement du cadre de notre étude. On remarquera cependant, après W. Cahn, que l'image apparaît de façon presque identique dans plusieurs copies du commentaire sur Ezéchiel de Rachi, comme celui représenté sur la fig. 16 de l'article cité n. 30 (Vatican, Bibl. Apost. Vatic., Cod. Hebr. 94, fol. 175).

l'épaisseur (*spissitudo*) du mur étant exclue, et extérieurement, épaisseur du mur incluse. Par exemple, dans le chap. II, il additionne les longueur de la *domus aquilonaris* (100 coudées) et de son porche (50 coudées) et doit retirer 5 coudées de l'épaisseur d'un mur mitoyen, pour en obtenir 145[48]. Cette longueur de 145 coudées au lieu de 150, à cause de l'épaisseur des murs de 5 coudées, reparaît plus loin, au sujet de l'atrium intérieur[49]. Dans le chap. VI[50], Richard discute la taille des chambres (*thalami*) du porche. Le texte donne en effet deux valeurs différentes pour leur largeur, 6 et 8 coudées. Richard comprend que l'un des nombres donne la largeur mus inclus, l'autre murs exclus. La dimension prise entres les axes des murs n'est envisagée en aucune façon.

Dans l'ensemble, Richard s'attache beaucoup à la cohérence additive des mesures. C'est pour que celle-ci soit assurée qu'il conclut que la longueur du porche doit être mesurée entre ses parois[51].

Dans le chapitre XIII[52], sont considérés les édifices qui voisinent le Temple. Ezéchiel[53] mentionne un édifice (*aedificium separatum*), séparé du Temple sans doute, qui mesure 70×90 coudées, et une maison (*domus*) de 100 coudées de long. Richard, qui identifie les deux, comprend que la longueur intérieure est 90 coudées, auxquelles il faut ajouter deux fois 5 coudées d'épaisseur de murs, ce qui donne une longueur extérieure totale de 100 coudées. De même, la largeur extérieure est 70+2×5=80 coudées. Ici non plus, aucun axe de mur n'est envisagé.

Le porche (*porticus*) oriental est décrit en détail. Richard consacre les chap. IV à VI à l'établissement de son plan, avec trois dessins. Il reviendra sur ces dimensions avant qu'il donne les élévations au chap. XV. Le plan des chambres du porches, avec les mesures en coudées données par Richard, est reproduit à l'échelle sur la Fig. 2. La Fig. 3 donne la miniature correspondante du manuscrit Harley 461.

On voit du premier coup d'œil que le plan du manuscrit ne respecte pas les cotes. J'ai effectué des mesures sur la plupart des images à ma disposition[54]. En considérant *a priori* comme valant exactement 60 coudées la longueur totale du dessin, j'ai obtenu des mesures en coudées : les épaisseurs des parois séparant les chambres varient beaucoup mais essentiellement entre 1,5 et 2 coudées, elles sont donc élargies, alors que les murs extérieurs sont amincis, 4,4 à 4,6 sauf pour le Harley 461, où leur largeur excède à peine celle des murs intérieurs. Sur la largeur des chambres, les écarts entre les mesures obtenues et les cotes données par Richard sont typiquement de l'ordre de 0,5 à 1, rarement moins, mais quelquefois jusqu'à 2. Ces écarts ne se reproduisent pas de la même manière d'un plan à l'autre sur un même manuscrit. Dans le manuscrit de Troyes, les écarts deviennent très grands : les murs extérieurs sont plus fins et les murs intérieurs plus larges que la cote, comme précédemment. la chambre centrale est presque deux fois trop grande, les profondeurs des chambres et largeur des seuils sont fantaisistes, même la proportion d'ensemble du bâtiment n'est plus du tout respectée. La miniature du manuscrit de Saint-Victor que j'ai examinée ne respecte pas davantage l'échelle que les autres. Il n'est pas exclu qu'un exemplaire original, dessiné

48 PL 196, col. 536 B-C.

49 Chap. XIII, PL 196, 568 A.

50 PL 196, col. 547-8.

51 PL 196, col. 555 B : "*LX cubitorum intra parietes",* col. 555 C : "*Debemus vel de mensura sentire, intra parietes videlicet sumptam esse".*

52 PL 196, col. 568 BC.

53 Ézéchiel 41, 12-13.

54 Bodley 494, fol. 137 v et 139 v, Harley 461, fol. 9 v et 11 r, Saint-Victor, fol. 220 v, Troyes, fol. 10 v. La miniature de Troyes, fol. 12 r a des dimensions visiblement encore plus éloignées des cotes de Richard.

plus rigoureusement, et aujourd'hui perdu, ait existé, mais rappelons que le manuscrit que nous appelons de Saint-Victor, BN lat 14516, a été copié à Saint-Victor même du vivant de Richard[55], et qu'on peut croire que celui-ci était en mesure de contrôler la qualité de la copie. Ainsi, Richard met un grand soin à assurer la cohérence des mesures, et présente un plan. Mais il ne cherche pas à ce que son plan soit à l'échelle ! On en vient à douter que la notion même de plan à l'échelle, homothétique des dimensions réelles, ait existé au XII^{e} siècle. En tout cas, le soin que met Richard à établir la cohérence des détails du texte est grand. Par exemple, dans le chap. XV[56], Richard étudie un passage dans lequel le prophète donne différent nombres pour la largeur de la porte[57]. Pour attribuer un sens cohérent à toutes ces données, Richard distingue trois façon de définir la porte, soit en tant qu'ensemble architectural, soit comme le percement lui-même, ou bien comme les battants de menuiserie qui le ferment. De façon analogue, un peu plus loin[58] : les portes du temple se replient quand elles sont ouvertes pour ne pas dépasser la largeur du mur. Ceci dénote une grande attention au détail.

La projection des mesures sur un plan horizontal donne lieu à des discussions originales. Elle est introduite dans le chap. III[59] : pour cela, Richard explique qu'il va décrire l'édifice comme si celui-ci était construit dans une plaine. Il s'agit clairement d'une projection sur un plan horizontal, mais cette notion mathématique semble inconnue à Richard en tant que telle.

Dans le chap. VI, qui traite du porche oriental, Richard explique qu'il est impossible de représenter les trois dimensions sur un même plan, et explique ensuite comment le volume peut se construire à partir du plan, en élevant des lignes de dimension adéquate à partir de celui-ci[60]. L'impression que donne ce texte est que le plan, une représentation par une projection sur un plan horizontal, n'est pas du tout un mode de représentation familier pour Richard, mais plutôt une technique sophistiquée, dont il se sent obligé d'expliquer le sens à son lecteur.

Richard va expliquer certains désaccords entre les différentes mesures par la pente du terrain. Dans le chap. XII, qui concerne certaines dispositions de l'atrium intérieur, il va constater le problème, qu'il résoudra dans le chapitre XV, avec l'aide d'une figure géométrique (figure (8) de la liste ci-dessus). Il constate donc assez naïvement qu'une distance mesurée sur un plan horizontal, et la même distance mesurée sur un plan incliné ne se terminent pas à la verticale l'une de l'autre[61]. Il semble bien que ce fait ne soit pas évident pour lui.

Résumons la façon dont il calcule la pente de la montagne[62]. La mesure du pavement est de 100

---

55 Selon W. Cahn (*op. cit.* n. 30), ce manuscrit daterait du 3^{e} quart du XII^{e} siècle ; rappelons que Richard est mort en 1173.

56 PL 196, col. 580 D.

57 Ézéchiel 41, 2-3 en particulier.

58 PL 196, col. 590 B.

59 PL 196, col. 539 A.

60 PL 196, col. 549 B. Voici le passage en entier : "*Sed quia difficile, seu etiam impossibile est longitudinem, et latitudinem, et altitudinem aedificiorum in plano sub eadem figura repraesentare, sufficere arbitror horum omnium quae diximus situm, locumque conformasse, et lineis proportionalibus ductis omnium eorum quasi quoddam fundamentum jecisse.*"

61 PL 196, col. 566 B : "*Centum siquidem cubitorum linea una jacens, et alia oblique se erigens ab eodem puncto emergentes in eumdem cathetum non concurrunt, nec secundum planum aequale spatium includunt, sed haec quomodo se habeant ex sequentibus patebunt.*"

62 PL 196, col. 574 D-575 A.

coudées, alors que la place qui reste dans le plan pour placer celui-ci, quand on a déduit 20 coudées dont le porche dépasse du mur, est de 80 coudées seulement. C'est donc que la mesure de 100 coudées est prise non pas sur le plan horizontal, mais le long de la pente. On considère une ligne (droite) *abcdef*, avec *ab* = *bc* = *cd* = *de* = *ef*. On trace une perpendiculaire à *af* en *e* avec *ae* = (4/5)×*af*, c'est la ligne *eghk*, et on voit que *ek* = 3*ab*. Avec une unité *ab* de 20 coudées, on arrive à une hauteur *ek* de 60. Je reproduis en Fig. 4 le dessin tel qu'il apparaît dans le manuscrit Harley 461 de la British Library, et le même dessin corrigé par mes soins. Il s'agit du triangle rectangle bien connu de côtés 3, 4 et 5. L'égalité des unités est indiquée par les petits cercles, celle de *af* et *ak* par le grand. Le dessin du Bodley 494 n'est pas plus juste que celui du Harley 461 : l'angle en *e* n'est même pas droit, le petit cercle qui doit passer par *f* recoupe l'horizontale bien à droite du grand. Le scribe du manuscrit de Troyes est plus faux encore[63]. Bref, les copistes n'ont rien compris à la figure. Il faut donc considérer cette discussion géométrique qui nous semble si simple comme un problème d'assez haut niveau pour l'époque. On a ici affaire à un théologien et à des copistes, mais cette discussion n'apparaîtra-t-elle pas de même comme un raisonnement long et sophistiqué à un architecte contemporain de Richard ?

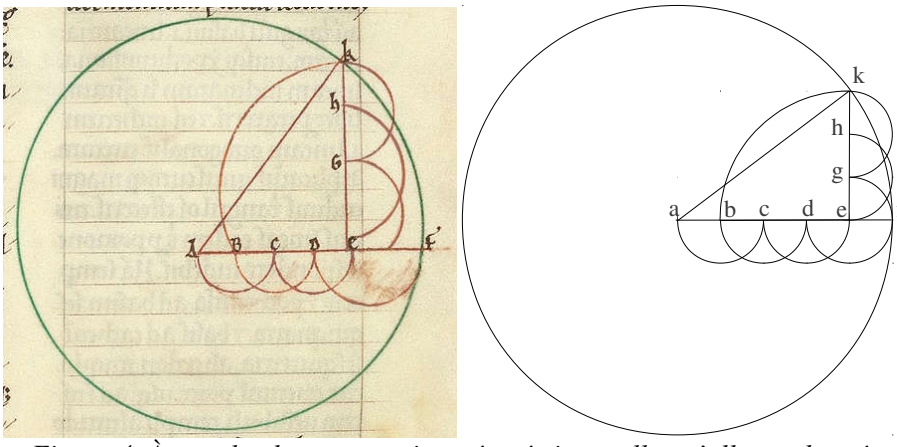


Figure 4. À gauche, la construction géométrique telle qu'elle est donnée dans le manuscrit Harley 461, fol. 25r. À droite, la même figure, après correction.

Quoiqu'il en soit, Richard a établi que la proportion de l'hypothénuse (*hypotemisa*) à la base (*basis*) est 5/4, et celle de la base à la hauteur (*cathetus*) est 4/3. Or le portique extérieur fait 60 coudées de long, la différence de niveau entre les deux façades est donc de 45 coudées[64]. Par ailleurs, la porte fait 13 coudées de haut, et il y a au-dessus 25 coudées du sol de la chambre jusqu'au toit (*a pavimento coenaculi usque ad tectum portae*) - Le toit est en terrasse, parce que c'est l'usage en Terre Sainte[65] -, ce à quoi Richard ajoute 2 coudées du haut de la porte au sol de la chambre, et 5 coudées pour un crénelage (*ad propugnacula faienda),* pour arriver à un total de 45 coudées qui double la hauteur trouvée pour la dénivellation, portant la hauteur totale à 90 coudées.

63 Chez lui, le quart de cercle centré en *e* et qui sert à montrer que *be* = *ek* est remplacé par une gracieuse courbe qui passe bien au-dessus de *k*, les deux cercles centrés en *g* et *h* sont décalés vers le haut d'une longueur de rayon, et *a* n'est pas plus au centre que dans la figure du Harley 461.

64 Ce qui confirme que les mesures données, comme cette longueur de 60 coudées, sont bien mesurées dans le plan horizontal.

65 PL 196, col. 554 D : "*Forte secundum morem terrae Palaestinorum debemus intelligere tectum portae planum esse, non erectum.*"

Richard en donne une coupe (Fig. 5) et une élévation.

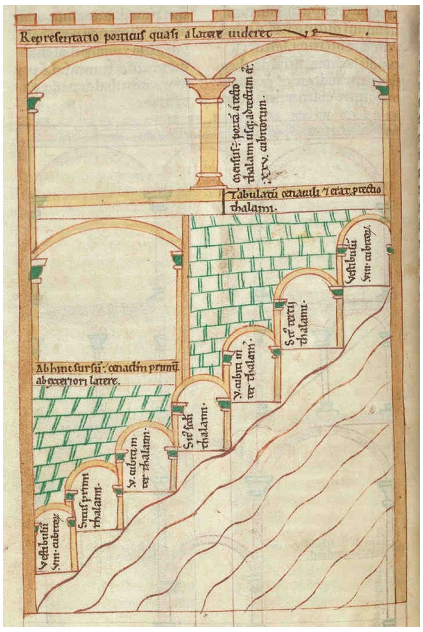


Figure 5. Coupe du porche du temple, manuscrit Harley 461, fol. 26 v.

On peut évidemment arguer que ces dessins appartiennent au registre des miniatures, et non pas du dessin technique. Il s'agit en fait de dessin technique utilisé dans un contexte qui n'est normalement pas le sien. Mais pourquoi aussi mal utiliser cette technique, si elle est bien établie ?

1.D. Des monument pris comme modèle

Dans le chap. XVI, Richard compare les dimensions du Temple d'Ézéchiel avec celles du Temple de Salomon et de la Tente. Il s'agit d'en trouver la hauteur, dont la proportion relativement à la largeur ou la longueur de l'édifice devrait être la mêmes dans les différents cas[66]. Richard obtient ainsi une hauteur de 20 coudées sur le modèle de la tente et de 30 sur celui du temple. Cette dernière valeur n'est pas cohérentes avec les autres mesures, et c'est la première qui est retenue. Ceci met en évidence, d'une part le rôle des proportions, d'autre part (si besoin en était) l'importance de celles du Temple de Salomon et de la Tente.

De même, le Saint Sépulcre a été pris pour modèle. Par exemple, en 1033, l'abbé Wino de Helmarshausen doit ramener de Jérusalem les mesures de son église et du Saint Sépulcre, pour l'évêque Meinwerk de Paderborn[67]. Selon G. Binding, l'imitation des édifices de Terre Sainte

66 PL 196, col. 583 A : "*Notandum autem quod haec mensura longitudinis seu latitudinis, tam exterioris quam interioris domus, aequalius est illi mensurae quam de templo Salomonis legimus. Dupla vero ad illam quam de tabernaculo invenimus. Sed quoniam Scriptura hoc loco omnino de altitudine tacet, dubitari de exteriori domo potest, cuinam respondere debeat, an templo Salomonis juxta aequalitatem, an tabernaculo foederis juxta dictam proportionem.*"

67 Cité par G. Binding, *op. cit*. n. 3 p. 179. Le texte latin se trouve dans la *vita Meinwerci*, MGH SS rer. Germ. 59, p. 128-129 : CCXVI. "*Episcopus ergo pro optinenda celesti Ierusalem ecclesiam ad similitudinem sanctę Ierosolimitanę ecclesię facere disponens Winonem abbatem de Helmwardeshusun, quem de monachis civitatis suę ibi preposuerat, ad se accersivit eumque Ierosolimam mittens mensuras*

provient d'un symbolisme attesté depuis des auteurs anciens comme le Pseudo-Denys (vers 500), et Jean Scot Erigène (vers 810-vers 876), jusqu'à Hugues de Saint-Victor (1096-1141). La séquence d'Adam de Saint-Victor *"Rex salomon fecit templum" présente* la construction du temple comme modèle (*exemplum)* de la fondation de l'Eglise par le Christ. Suger présente l'église de Saint-Denis comme image du temple de Salomon[68].

Mais on peut aussi utiliser des édifices contemporains comme modèles. Adam de Brême raconte en 1075 que, la cathédrale de Brême ayant brûlé en 1044, il a été décidé de fixer les dimensions de la nouvelle église suivant le modèle (*ad formam*) de celle de Cologne (*ad instar Coloniensis*). Un peu plus tard on change et on prend Bénévent comme modèle (*ad exemplum*)[69]. Cet exemple, comme d'autres cités par G. Binding, montre non seulement l'usage du bâtiment existant comme modèle, mais aussi la liberté qu'on prend avec celui-ci[70].

1.E. *Forma in mente*

Si on excepte les quelques exemples cités-ci-dessus, on ne conserve aucun dessin d'architecture antérieur au XIII[e] siècle ; le document les plus ancien est le Carnet de Villard de Honnecourt, traditionnellement daté des années 1225-1250[5]. Pourquoi cette absence ? Doit-on on croire que les dessins ont été tous perdus, ou qu'il n'ont jamais existé ? Pour J. Harvey, la réponse était claire : seuls des intellectuels n'ayant aucune idée de la pratique des métiers du bâtiment peuvent soutenir que les dessins ne sont pas indispensables, ne fût-ce que pour construire un abri de jardin. Les dessins sont essentiels de même que la notation musicale est essentielle à une polyphonie complexe[71]. Mais il est justement bien établi que, au Moyen Âge, "la notation n'est pas la condition de la création et de la consignation du son : tout manuscrit musical au Moyen Âge est postérieur aux faits musicaux qu'il transcrit et conserve comme une trace"[72]. S'il s'agit là plus spécifiquement de musique monophonique, des polyphonies semblent exister en Occident dès le VII[e] siècles, alors que les premières notations polyphoniques apparaissent à la fin du XI[e] siècle[73]. "Deux traités - la *Musica enchiriadis* (vers 890) et le *Micrologus* de Guy d'Arezzo (vers 1025) - rendent compte du chant

---

eiusdem ecclesię et sancti sepulgri deferri sibi mandavit.[...]" CCXVII. "*Reverso autem Winone abbate de Ierosolimis et mensuras eiusdem ecclesię et sepulchri sancti reliquias deferente cepit episcopus ad similitudinem eius ecclesiam in honore sanctę Dei genitricis et perpetuę virginis Marię ac beatorum apostolorum Petri et Andreę extra Patherbrunnensem civitatem in orientali parte construere*."

68 G. Binding, *op. cit*. n. 3, p. 179.

69 *Ibid.*, p. 180.

70 D'autres exemples sont cités dans John Harvey, *The Mediaeval Architect* (Londres, Wayland, 1972), pp. 105 *sq.*

71 J. Harvey, *op. cit*. n. 70, p. 101 : "To those trained in any of the structural arts or crafts, this answer will look like the stale repetition of a commonplace; yet armchair students have frequently denied that drawings were made for, or were necessary to, the production of cathedrals and castles, churches chapels and monuments. Drawings, in some form, are as essential a means of transmission of ideas between designer and workmen as is some method of musical notation essential to the performance of all complex harmonized and contrapuntal music."

72 Christelle Chaillou et Olivier Cullin, "La mémoire et la musique au Moyen Âge", *Cahiers de civilisation médiévale* vol. 49, n° 49-194, pp. 142-161 (2006).

73 Christian Meyer, "Polyphonies médiévales et tradition orale", *Cahiers de musiques traditionnelles*, vol. 6, polyphonies, pp. 99-117 (1993).

polyphonique"[74]. D'autres musicologues ont écrit qu'"une œuvre musicale moderne quelque peu compliquée ne saurait, sans les ressources de notre notation musicale, ni être produite ni être transmise ni être reproduite"[75]. Est-ce une divergence de point de vue entre musicologues, ou bien atteint-on ici un degré de complexité pour lequel l'approche écrite est réellement nécessaire ? Je ne saurai le dire, mais il est par contre certain que de nouvelles méthodes de notation - notation du rythme en particulier - se sont développées de façon concomitante avec le développement de polyphonies complexes - multitextuelles en particulier - dans la France du Nord et les Flandres aux alentours de 1300[76].

Pour ce qui est de la littérature, Wolfram von Eschenbach va jusqu'à écrire, dans son *Parzifal*, "Mais qui consent à m'entendre ne prenne pas mon récit pour un livre savant ! Je ne sais ni lire ni écrire ! Nombreux sont, certes, ceux qui y trouvent leur gloire, mais ce récit se déroule sans l'aide des livres"[77]. Sans doute n'y a-t-il là que de l'ironie, comme l'affirment les traducteurs de ce passage[78], cependant il est indispensable que cette affirmation ait un minimum de vraisemblance aux yeux des contemporains, et donc que la composition entièrement orale d'un poème ait été possible à l'époque, même si ça n'est pas le cas du Parzifal lui-même. De façon générale, la littérature médiévale ne se conçoit pas sans l'oral : elle est toujours lue, chantée, récitée. L'évolution générale de la littérature française, depuis les chansons de geste, qui sont issues d'une poésie épique purement orale, vers le roman en prose, qui apparaît au XIII^{e} siècle, dont la composition et la performance ne se conçoivent pas sans l'écrit, montre une transition de la culture écrite vers une culture orale, transition lente : la littérature médiévale n'est jamais purement l'un ou l'autre[79].

La conception architecturale évolue-t-elle elle aussi, depuis des techniques n'utilisant pas de plan écrit, et relevant en ce sens de la culture orale, vers d'autres techniques qui sont, elles, basées sur l'écrit ? Geoffrey de Vinsauf, au début du XIII^{e} siècle, proposant une nouvelle théorie poétique, compare la construction d'un poème à celle d'une maison. Le poème existe dans l'esprit du poète, puis devient son, et de même la maison prend forme dans l'esprit du bâtisseur, puis la main le

74 Ch. Meyer, art. cit. n. 73, p. 101.

75 Max Weber, *Sociologie de la musique. Les fondements rationnels et sociaux de la musique*, (Paris, 1998) (traduction de l'original allemand de 1921), pp. 117-121, cité dans : Étienne Anheim, "La musique polyphonique à la cour des papes au xiv siècle. Une sociologie historique", *Bulletin du centre d'études médiévales d'Auxerre*, hors-série n° 2, p. 9 (2008).

76 E. Anheim, art. cit. n. 75, pp. 5-6. Leur usage dans la liturgie a été interdit par Jean XXII, dans sa décrétale *Docta sanctorum* (1324-1325). Dès le règne de Benoît XII (1334-1342) la papauté se convertira d'ailleurs au nouveau style.

77 Wolfram von Eschenbach, *Parzifal*, traduction française de Danielle Buschinger, Wolfgang Spiewok et Jean-Marc Pastré (Paris, Christian Bourgeois, 1989), p. 103. Le texte original est :
swer des von mir geruoche,
dern zels ze keinem buoche.
ine kan decheinen buochstap.
dâ nement genuoge ir urhap :
disiu âventiure
vert âne der buoche stiure.
Wolfram von Eschenbach, *Parzifal*, nach der ausgabe Karl Lachmanns, éd. Eberhard Nellmann et Dieter Kühn, (Frankfurt, Deutscher Klassiker Verlag, 1994), vol. 1, n° 115.

78 *Parzifal*, traduction française citée n. 77, introduction, p. 110.

79 *Cf.* Michel Zink, *Littérature française du Moyen Age* (Paris, PUF, 1992).

construit[80]. Il n'est question d'un passage par l'écrit ni pour l'un ni pour l'autre.

Philon d'Alexandrie, dans son traité sur la création, compare Dieu à un architecte qui conçoit le plan d'une cité ; celui-ci le conçoit dans son esprit, et non pas dans un document écrit ou dessiné[81]. La même idée est reprise par Robert Grosseteste dans une lettre écrite en 1228 et fréquemment citée[82]. L'ensemble du texte présente Dieu en tant que forme, dans le contexte des idées platoniciennes et de leur interprétation augustinienne. Grosseteste précise d'abord le sens de *forma*, en commençant par des objets très concrets, le pied de bois qui sert de gabarit au cordonnier, un sceau ou un moule pour fondre une statue, pour en arriver à un modèle de l'objet à fabriquer ou de la maison à construire, que l'architecte comme l'artisan a dans son esprit, et à l'image duquel il fabrique l'objet ou construit la maison. Il explique en suite la différence entre ce processus et la création divine, qui réside essentiellement dans le fait que l'homme ne peut pas donner forme à la matière par la seule force de son esprit. Le point important pour nous est que, pour l'évêque de Lincoln, le projet est dans la tête de l'architecte, sans qu'il soit question ni de dessin ni de maquette[83]. La *forma* est *in mente architecti*[84].

---

80 "The mind's hand shapes the entire house before the body's hand built it", et pour ce qui est du poème, "let it exist in the mind before it is on the lips". Geoffrey de Vinsauf, *Poetria Nova*, I. cité dans Nancy Y. Wu, "The hand of the mind: The ground plan of Reims as a case study", dans *Ad Quadratum, The practical application of geometry in medieval architecture*, éd. par Nancy Y. Wu, AVISTA studies in the History of Medieval Technology, Science and Art, vol. 1 (Aldershot, Burlington, Ashgate, 2002), chap. 6. pp. 149-168. Le même extrait est cité par J. Harvey, *op. cit*. n. 70.

81 Philon d'Alexandrie, *œuvres, 1, de opificio mundi,* Roger Arnaldez, éd. et trad., (Paris, éditions du Cerf, 1961), pp. 152-153 : "[16] Car Dieu, sachant par avance en tant que Dieu, qu'une belle imitation ne pourrait jamais naître sans un beau modèle, et qu'il n'y a rien dans le sensible d'irréprochable, qui ne soit copié sur l'idée archétypale et intelligible, quand il voulut fabriquer le monde visible d'ici-bas, forma d'abord le monde intelligible, afin qu'en utilisant un modèle incorporel et tout à la ressemblance divine, il réalisât le monde corporel, réplique plus récente d'un plus ancien, et destiné à comporter autant d'espèces sensibles qu'il y en a d'intelligibles dans le premier. [17] Quant à dire ou à supposer que ce monde constitué par les idées se tient en un lieu, ce n'est pas permis. Mais comment il est organisé, nous le saurons en suivant une analogie prise de chez nous. Quand une cité se fonde pour satisfaire l'immense ambition d'un roi ou d'un chef qui prétend au pouvoir absolu et qui, dans l'éclat de sa magnificence, donne un surcroît de lustre à sa prospérité, il se présente parfois un homme qui a reçu la formation d'architecte ; il observe les commodités qu'offrent le climat et la situation géographique, et il dessine d'abord dans sa pensée presque toutes les parties de la cité qu'il doit construire, sanctuaires, gymnases, prytanées, places publiques, ports, cales sèches, ruelles, fortifications, fondations des maisons et des édifices publics. [18] Puis, une fois qu'il a renfermé en son âme, comme dans une cire, les empreintes de chaque partie, il porte en lui une cité intelligible. Il en fait ressortir les traits grâce à la mémoire qui lui est innée, il en accentue davantage les caractères ; tel un bon ouvrier, les yeux fixés sur le modèle, il commence à bâtir la cité de pierre et de bois, conformant les réalités corporelles à chacune des idées incorporelles."

82 *Roberti Grosseteste episcopi quondam Lincolniensis epistolae*, édité par Henry Richards Luard (Londres, Longman, 1861), lettre n° 1, p. 1 et suivantes, en particulier pp. 4-5.

83 *Cf.* G. Binding, *op. cit*. n. 3, p. 182 : "Robert Grosseteste kennt in diesem Brieftext um 1228 weder Zeichnungen noch Modelle als „similitudo" der „forma in mente architectoris" des zu bauenden Hauses".

84 *Cf.* R. Gosseteste, *op. cit*. n. 82 : "*artifex habet in anima sua artificii fiendi similitudinem" ; "ipsa in mente artificiis similitudo forma artificii dicitur*" ; "*in mente architecti, formam et similitudinem domus fabricandae*". Les expressions *in mente architecti* ou *in mente artificis* apparaissent 8 fois au total dans

Figure 6. La vision de Gunzo. Vie de saint Hugues. Manuscrit de l'abbaye Saint-Martin des Champs, fin du XII^e s. BnF, ms. lat. 17716, fol 43r

Pour saint Bonaventure, lui aussi, "toute œuvre d'art présuppose une conception dans l'imagination : l'artiste crée suivant les dispositions qu'il s'est imaginées et tend à faire ressembler le mieux possible l'œuvre à l'idéal qu'il a conçu"[85]. Le texte du *De reductione artium ad theologiam*[86] contient presque la même expression, *similitudine existente in mente*, et parle aussi d'exemplaire intérieur. Guillaume de Conches aussi dit qu'un artisan organise dans son esprit ce qu'il veut fabriquer, avant de commencer à opérer sur la matière[87]. Saint Thomas d'Aquin affirme qu'"un constructeur ne pourrait pas concevoir le plan de la maison, s'il n'avait pas en lui la représentation propre de chacune de ses parties"[88]. Pour lui aussi, un projet préalable est indispensable, mais il semble plutôt une agrégation d'idées : la forme de la maison est conçue à partir de celle de ses parties, non comme une enveloppe globale. Si cela n'est pas précisé dans ce passage, saint Thomas emploie lui aussi ailleurs les termes de *forma in mente*, certes dans un contexte théologique bien différent[89], et d'une façon qui revient à dire que le projet prime sur sa

---

cette page.

85 Edgar de Bruyne, *Études d'esthétique médiévale* (Slatkine Reprints, Genève, 1975), p. 208.

86 Saint Bonaventure, *de red. artium and theol.* 11 (V, 322). "[...] *videbimus quod effectus artificialis exit ab artifice mediante similitudine existente in mente, per quam artifex excogitat antequam producat et inde producit sicut disposuit. Producit autem artifex externis pus assimilatum exemplari interiori eatenus qua potest melius* [...]", cité par de Bruyne, *op. cit*. n. 85, n. 5, p. 208.

87 Guillaume de Conches, *In Timeum* : "*Ut enim faber volens aliquid fabricare prius illud in mente disponit, postea quesita materia juxta mentem suam operatur*", cité par G. Binding, *op. cit.* n. 3, p. 187.

88 Saint Thomas d'Aquin, *Somme Théologique* I a, q. 15, a. 2 co. : "*Ratio autem alicuius totius haberi non potest, nisi habeantur propriae rationes eorum ex quibus totum constituitur, sicut aedificator speciem domus concipere non posset, nisi apud ipsum esset propria ratio cuiuslibet partium eius*", et traduction dominicaine, 1984, (Ed numérique bibliothèque des éditions du Cerf, http://docteurangelique.free.fr/index.html). Cité par Nancy Y. Wu, "The hand of the mind: The ground plan of Reims as a case study", dans *Ad Quadratum*, *op. cit.* n. 80, chap. 6, pp. 149-168.

89 Il s'agit de la présence réelle du corps du Christ dans l'Eucharistie.

réalisation[90], mais il ne considère pas davantage l'intermédiaire d'un plan dessiné, ni d'une maquette. Saint Thomas semble avoir fort peu de considération pour le travail manuel. L'exemple cité par G. Binding[91], où il commente une comparaison d'Aristote entre art (*artem*) et expérience (*experimentum*), le montre bien : la raison de juger l'artisan plus sage est sa connaissance de l'universel, et ceux qui savent sont plus sages que ceux qui agissent[92].

Mais ce sont là des théologiens, on peut douter qu'ils aient une quelconque compétence en matière d'architecture. On trouve cependant les mêmes expressions chez de nombreux chroniqueurs. En 1193 ; Arnoul II de Guînes fortifie la ville d'Ardres près de Saint-Omer ; il est dit que l'architecte, maître Simon, conçoit le projet dans son esprit, en mesurant non pas tant avec une perche qu'avec ses yeux[93]. Menco, dans sa chronique de l'abbaye de Wittewierum (province de Groningue), au sujet de la construction de l'abbatiale en 1238, explique que l'architecte a disposé la matière de son ouvrage premièrement dans son esprit[94]. Dans le récit de la fondation de l'abbaye de la Sauve-Majeure par saint Gérard en 1079, c'est le saint abbé lui-même qui détermine où il placerait l'église et les autres bâtiments, mais toujours dans son esprit[95]. Quand saint Pierre apparaît à Gunzo et lui enjoint d'agrandir son église, il lui demande de retenir dans son esprit le souvenir des dimensions et de l'aspect de l'église à construire[96]. L'enluminure qui accompagne ce texte montre les saints Pierre, Paul et Étienne maniant des cordes, qui forment l'implantation du bâtiment, représentée en perspective (Fig. 6). Orderic Vital, vers 1130, raconte la construction d'une ville aux Indes par saint Thomas apôtre : le saint se rend sur l'emplacement, prend des mesures, et explique

---

90 Saint Thomas d'Aquin, *Somme Théologique* III a, q. 78, a. 2 c. : "*Forma autem artificialis est similitudo ultimis effectus in quem fertur intentio artificis, sicut forma artis in mente aedificatoris est forma domus aedificatae principaliter, aedificationis autem per consequens*", cité par de Bruyne, *op. cit*. n. 85, p 326.

91 G. Binding, *op. cit*. n. 3, p. 20.

92 Saint Thomas d'Aquin, *Sententia Metaphysicae*, lib. 1 l. 1 n. 23 : "*Ex hoc enim artifex sapientior iudicatur, quam expertus quia universalia considerat.* [...] *ut scilicet dicantur sapientes magis qui magis sciunt, non qui magis sunt operativi*."

93 Victor Mortet et Paul Deschamps, *Recueil de textes relatifs à l'histoire de l'architecture et à la condition des Architectes et France, au Moyen-Âge, XII-XIIe siècles* (Paris, Picard, 1929), n° 90, p. 190 sq., et MGH SS XXIV, p. 640 : "[...] *tam doctum geometricalis operis magistrum Symonem fossarium cum virga sua magistrali more procedentem et hic illic iam in mente conceptum rei opus non tam in virga quam in oculorum pertica geometricantem domosque et grangias convellentem*," cité par G. Binding, *op. cit*. n. 3, p. 187.

94 MGH SS 23, p. 535 : "*Preterea quoniam difficile est superedificare, nisi sciatur intentio primi fundatoris, cum quilibet artifex discretus primo in mente disponat materiam sui operis, et diversos diversa iuvant, ideo primam ordinationem operis hoc loco duximus describendam, ut si posteris placuerit superedificare, ex hoc habeant materiam perficiendi,*" cité par G. Binding, *op. cit*. n. 3, p. 187, et p. 13.

95 Victor Mortet, *Recueil de textes relatifs à l'histoire de l'architecture et à la condition des Architectes et France, au Moyen-Âge, XI-XIe siècles* (Paris, Picard, 1911), n° 84, 2, p. 258 : "*Jam designabat in mente ubi ecclesiam et alias officinas apte disponeret et locaret*", cité par G. Binding, *op. cit*. n. 3, p. 187.

96 Hildebert du Mans, PL 159, col. 884 C : "*His dictis, ipse funiculos tendere visus est, ipse longitudinis alque latitudinis metiri quantitatem; ostendit ei etiam basilicae qualitatem fabricandae, menti ejus et dimensionis et schematis memoriam tenacius haerere praecipiens*".

ce qu'il projette de construire au roi, qui le qualifie de véritable homme de l'art[97]. Le fait est évidemment légendaire, mais l'histoire montre bien que, du point de vue de l'auteur, le passage par un plan dessiné n'est pas nécessaire à l'architecte.

Dans la légende de saint Thomas apôtre que l'on vient de citer, les mesures se font sur le terrain, en vraie grandeur ; c'est ce que fait aussi saint Pierre dans le rêve de Gunzo. Giraud de Barri, dans son autobiographie de la fin du XII^{e} siècle, relate une vision qu'il aurait eu, de Jean, le fils du roi, traçant le plan d'une église sur une plaine verte, à la façon de ceux qui mesurent[98]. La citations montre de façon explicite un plan réalisé directement en vraie grandeur sur le terrain. G. Binding consacre une section de son ouvrage à la mesure[99], il cite un assez grand nombre de documents qui montrent que les travaux commençaient par des mesures visant à mettre en place les fondations. Il semble que, dans le haut Moyen Âge au moins, ce travail ne relève pas d'un technicien mais de l'abbé, ou d'un grand personnages, laïc ou ecclésiastique. À Gellone en 804, malgré la présence de spécialistes (*magistri*), c'est le duc Guilhem lui-même qui remplit le rôle de l'architecte, non seulement en ce qui concerne la mesure de l'emplacement, mais aussi pour diriger les divers corps de métier[100]. A Corbie, en 822, c'est l'abbé, avec quelques personnages importants et les moines, qui fait le tracé[101]. Par contre à York à la fin du X^{e} siècle, ce travail est échu à des maçons et non à l'évêque Oswald (961-992)[102]. Vers 990 à Abingdon (Berkshire), le roi Edred (946-

97 Orderic Vital, *Histoire ecclésiastique*, PL 188, col. 159 : "*Cum venissent Hierapolim in India civitatem, ingressus Abbanes ad Gundaforum regem, nuntiavit Thomam adesse peritissimum artificem. Rex autem de fabricando palatio cum eo tractavit, et aedificii locum illi ostendit. Thomas autem arundinem apprehendit, et metiendo dixit : "Ecce januas hic disponam, et ad ortum solis ingressum : primo pro-aulam,* [...]*" Rex autem considerans, ait : "Vere artifex es, et decet te regibus ministrare".*" Cité par G. Binding, *op. cit.* n. 3, p. 187.

98 Giraldus Cambrensis, *De rebus a se gestis*, J. Brewer éd., (Longman, Londres, 1861), livre 2, chap. 12, p. 64 : "*Visus sum enim mihi videre filium regis Johannem in viridi quadam planicie tanquam ecclesiam fundaturum. Cumque metantium more cespitem undique signando terrae faciem linealiter apperuisset, fabricam archetipam sensili quodam modo circumponens, tandem corporis ecclesiae signatio posterior aliquantulum capax, presbyterium autem enormiter arctum apparuit et informe*" ; cité par Nigel Hiscock, "A schematic plan for Norwich cathedral", dans *Ad Quadratum*, *op. cit* n. 80, chap. 4, p. 83-121. N. Hiscock cite cet extrait, ainsi que le rêve de Gunzo[96], à l'appui de l'existence d'un plan à échelle réduite, quoique les textes ne contiennent rien qui n'aille en sens contraire.

99 G. Binding, *op. cit*. n. 3, p. 339 *sq.*, d'où sont tirées la plupart des références qui suivent.

100 Mabillon, *Acta sanctorum ordinis sancti benedicti*, saec. 4, part 1, p. 76 : "*Accitis quoque magistris quos secum educebat, virisque sapientibus quos in suo comitatu habebat, quamprimum concedens metitur Oratorium, metitur etiam totius claustri spatium, domum refectionis atque dormitorium,* [...]. *Hiis ita dispositis et congruè atque regulariter designatis, ipse Dux ad opus rediit, operarios ponit, artifices praeponit ; qui quibus insistant operibus, quaeve exerceant studia diligenter et opportunè disponit*". *Cf.* aussi Cl. Devic et J. Vaissète, *Histoire générale du Languedoc* (Toulouse, Privat, 1872), vol. I, livre IX, p. 915.

101 *Translatio S. Viti Corbeiam*, MGH SS II p 579 : "*Tum venerabilis abba, accepta licentia, pervenit in partes Saxoniae una cum Walone, fratre suo.* [...] *Ierunt ergo et quidam ex fratribus cum eis, et invenerunt locum huic negotio aptissimum, et quia erat optimus, habitationi monachorum congruum. Tunc inierunt consilium cum episcopis et comitibus, et cum nobilissimis viris eiusdem gentis, ut instanter eumdem locum excolerent, et monasterium ibidem collocarent. Venerunt ergo* [...] *ad locum memoratum ;* [...] *Et postquam compleverunt letaniam et orationem, iactaverunt lineam, et infixerunt paxillos, et coeperunt mensurare, prius quidem templum, inde habitationes fratrum*."

102 *Vita sancti oswaldi auctore anonymo*, dans James Raine, *The historians of the church of York and its*

955) mesure les fondations de sa propre main[103] ; en 1089, l'abbé Wilhelm de Hirsau mesure le monastère de ses propres mains[104]. Lors de la fondation de l'abbaye de Baumburg en Bavière (entre 1107 et 1109), c'est le comte Bérenger de Sulzbach, le fondateur de l'abbaye, qui mesure l'espace pour placer l'église, puis le cloître et les logements des frères[105]. De plus, certains ecclésiastiques sont qualifiés de savants architectes : *theoricus architectus* pour Ethelwold de Winchester[106], *sapiens architectus*, pour l'abbé Beringer (mort en 1045) du monastère de Saint-Blaise dans la Forêt Noire[107], en référence à l'Épître aux Corinthiens[108]. Selon G. Binding, dans ces mesures effectuées par des rois, évêques et abbés, il ne s'agirait pas d'une activité d'architecte, mais d'un acte symbolique ayant un caractère sacral, à rapprocher du tracé des *cardo* et *decumanus* romains, ou, lors de la consécration d'une église, de la *crux decussata*, une croix en cendres qui joint les coins opposés, sur laquelle l'évêque trace l'alphabet[109]. Cependant, quelle que soit la dimension sacrale de l'acte, les textes cités mentionnent explicitement des activités d'architecte dans de nombreux cas.

Revenons au problème du plan dessiné : il est clair que l'absence de plan dessiné, et le fait que le projet n'existe nulle par ailleurs que dans l'esprit de l'architecte, doit créer des difficultés si il arrive un accident à celui-ci. Certains auteurs ont voulu voir là un argument montrant que le procédé serait inutilisable, et par conséquent que des plans dessinés auraient toujours existé, mais la documentation montre que de telles difficultés se sont effectivement présentées. Considérons tout d'abord l'histoire de la construction de la cathédrale de Cantorbéry, et de l'accident survenu à l'architecte Guillaume de Sens en 1178. Le pauvre homme, ayant fait une chute d'une quinzaine de mètres avec des matériaux de construction, était grièvement blessé et ne pouvait bouger de son lit ; cependant il a dû continuer à diriger les travaux pendant environ un an, avant qu'un nouvel architecte ne soit embauché. S'il retourne alors en France, c'est sans doute qu'il sent sa fin proche : la chronique le dit incurable[110]. La chronique de Menco dit explicitement qu'il est nécessaire de connaître le projet initial formé dans l'esprit de l'artisan, et qu'il va donner une description de ce projet dans ce but[94]. Il ne s'agit là que d'une description, relativement brève, pas d'un dessin !

---

archbishops (Longman, 1879), p. 434 : "*Transacto autumno, coepit non desistere coeptis, sed avida mentis intentione acquirere studuit caementarios, qui recta rectitudine regulae et triangulo ternario atque circino scirent honorifice monasterii fundamenta exordiri*".

103 G. Binding, *op. cit*. n. 3, p. 350. Il donne la référence : Otto Lehmann-Brockhaus, *Lateinische Schriftquellen zur Kunst in England, Wales und Schottland vom Jahre 901 bis zum Jahre 1307* (Munich, 1955-60), n^{os} 7 et 35.

104 *Bertholdi Zwifaltensis chronicon*, MGH SS X, p. 97 : "*Prefatus quoque Willehelmus per se adveniens secundum illud prophetae : ut evellas et destruas et aedifices et plantes, eandem villam satis populosam primo iussit destrui et funditus everti ac postea propriis manibus, quia in tali negotio peritissimus erat, cepit monasterium metiri et caeteras officinas, ut hodie cernuntur, pulchre et prudenter disponere in nomine Domini*."

105 G. Binding, *op. cit.* n. 3, p. 350, avec la référence : O. Lehmann-Brockhaus, *op. cit.* n. 103, n° 142.

106 *Liber Eliensis, ad fidem codicum variorum* (Londres, Impensis Societatis, 1848), p 164 : "*In fundandis vel reparandis monasteriis velut procinctum Dominici belli et castrorum agebat hic ergo theoricus architectus*".

107 G. Binding, *op. cit.* n. 3, p. 351, avec la référence : *Liber constructionis monasterii ad S. Blasium* (1388-1408) ; O. Lehmann-Brockhaus, *op. cit*. n. 103, n° 173.

108 1 Cor 3, 10 : "*sapiens architectus fundamentum posui*".

109 G. Binding, *op. cit*. n. 3, p. 350.

110 *Historical works of Gervase of Canterbury*, W Stubbs éd. (Londres, Longman, 1879), p. 21. Résumé dans J. Harvey, *op. cit*. n. 70, p. 210 *sq*.

L'empereur Frédéric II a fait construire, dans les années 1230, une série de châteaux en Italie du sud (Trani, Bari, Brindisi, Catania,...). Frédéric, ainsi que ses successeurs Manfred et Charles d'Anjou, ordonnait très précisément la construction, mesures inclues, sans dessin mais par une description[111].

En plus des plans, d'autres types de documents doivent être considérés, écrits plutôt que dessinés, en particulier les contrats et les comptes. G. Binding donne une liste de comptes conservés[112], qui commence en 1249. Les plus anciens sont ceux de la couronne anglaise[113], puis les comptes sont rares jusqu'au milieu du XIV^{e} siècle[114], pour devenir abondants ensuite, en particulier dans l'Empire. Pour justifier l'existence de comptes antérieurs, G. Binding mentionne un diplôme du roi de France Louis VI de 1123, qui autorise en vacance du siège épiscopal une dépense annuelle de 10 livres pour la toiture de la cathédrale[115]. Un deuxième document est issu de la vie d'Otton de Bamberg, écrite en 1160, par Ebbon. L'empereur Henri IV avait donné la maîtrise d'ouvrage de la cathédrale de Spire à Othon, et celui ci lui a rendu fidèlement tout l'argent en excès[116]. Ces documents prouvent indubitablement que les comptes étaient faits et bien faits, ce qui de toutes façons paraît indispensable, mais ne disent pas explicitement que ceux-ci étaient tenus par écrit. Par contre, le registre des visites de l'archevêque Eudes de Rouen (1248-1275) mentionne explicitement des comptes écrits[117]. S'il est utile de préciser ce point, est-ce parce que c'est une nouveauté ? La date coïncide justement avec celle des plus anciens comptes conservés. Il semble qu'ici, de même qu'avec les plans, le caractère "oral" (ou plutôt non-écrit) de l'action n'est pas réellement envisagé, ce qui fait apparaître une alternative entre une action non faite et une action faite par écrit. Une telle alternative est une nécessité pratique dans la culture écrite qui est la nôtre, elle ne l'est peut-être pas dans le cadre d'une culture plus orale, comme c'est encore le cas au XII^{e} siècle. Il en est de même des contrats passés pour la réalisation de pièces particulières : initialement oraux et conclu par un "tope-là", ils deviennent écrits ensuite[118]. G. Binding cite un exemple de contrat passé avec un architecte illettré. Il s'agit de Godijn van Dormael, maître d'œuvre à la cathédrale de Lüttich de 1344 à 1367, puis d' Utrecht de 1356 à 1360. Dans le contrat avec le chapitre de la cathédrale d'Utrecht, il est dit "*laycus seu illiteratus*", le contrat est en langue vulgaire ("niederdeutscher Sprache") et il doit le jurer en levant la main[119]. On peut se demander si les contrats conservés ne

111 G. Binding, *op. cit.* n. 3, p. 81. Il cite Arthur Haseloff: *Die Bauten der Hohenstaufen in Unteritalien* (Leipzig, 1920), p. 12.

112 *Ibid.*, pp. 130-131.

113 Abbaye et palais de Westminster, abbaye de Vale Royal, cathédrale d'Exeter, châteaux de Douvres et de Winchester.

114 Les exceptions mentionnées sont Saint-Pierre de Lille en 1249, la cathédrale de Troyes, les murs de Coblence.

115 G. Binding, *op. cit*. n. 3, p. 131 : "*decano et capitulo ab earum custodibus computabitur*", avec la référence : Wolfgang Schöller, *Die rechtliche Organisation des Kirchenbaues im Mittelalter vornehmlich des Kathedralbaues. Baulast - Bauherrschaft - Baufinanzierung* (Thèse, Marburg 1986) (Cologne-Vienne, 1989), p. 197.

116 G. Binding, *op. cit*. n. 3, p. 132 : "*percuniam, quae supererat statuto operi, fideliter ei resignabat*", avec la référence : O. Lehmann-Brockhaus, *op. cit*. n. 103, n°1367.

117 G. Binding, *op. cit*. n. 3, p. 132, avec la référence W. Schöller, *op. cit.* n. 115, p. 196.

118 G. Binding, *op. cit*. n. 3, p. 151 : "Bei der einfacheren und zumeist auch früheren Form des Realvertrages kam durch die Zurverfügungstellung bereits der Vertrag zustande und wurde mündlich und mit Handschlag abgeschlossen".

119 G. Binding, *op. cit*. n. 3, p. 246 ; il donne les références : (i) F.A.L. Ridder van Rappard: "Het kapittel ten Dom te Utrecht nemmt Mr. Godijn van Dormael (bij Luik) tot zijnen architect aan, 10 Maart 1356",

gardent d'une façon privilégiée la trace des engagements passés par les architectes, maçons, ou autres artisans qui savaient lire, alors que les illettrés prenaient plus souvent leurs engagements de façon orale, ce qui n'a laissé aucune trace. J. Harvey cite un contrat de 1436, au sujet d'une maison qui devait être construite rue Saint-Pancrace à Winchester[120]. La longue description du bâtiment à construire que l'on trouve usuellement dans les contrats est ici remplacée par la mention explicite, que la construction devra être conforme à un dessin fourni. J. Harvey voyait dans cet exemple la preuve de l'utilisation de dessins (à petite échelle) au Moyen Âge. Ne doit on pas plutôt voir ici l'expression de l'originalité et de la nouveauté de ce procédé, à cette date de 1436 ?

1.F. Dessins à échelle réduite ?

Les quelques dessins antérieurs à 1200 cités plus haut relèvent encore de la miniature. On a vu aussi des documents (*cf.* les n. 97 et 98) montrant la mise en place du plan en grandeur réelle sur le terrain. On voit apparaître assez tôt des épures gravées sur les murs ou les dallages des édifices, d'abord en vraie grandeur. Les plus anciennes épures connues, qui datent de 1190-1200 environ, sont deux dessins, dans deux abbayes cisterciennes du Yorkshire, l'un pour la rosace de la façade ouest de l'abbaye de Bylan, et l'autre gravés à l'aide d'un gabarit sur la surface d'une base de pilier, à Jervaulx[121]. L'épure d'une rose, des environs de 1200, a aussi été observée à Notre Dame en Vaux de Châlons-sur-Marne[122]. On connaît les dessins gravés à Narbonne, Limoges, et Clermont-Ferrand. Ces derniers représentent trois fenêtres, les archivoltes et gâbles de deux portails, une paire d'arcs-boutants[123]. Dans la tribune de la tour nord de la cathédrale de Soissons sont gravés trois dessins. L'un serait l'arcature aveugle du haut de la façade, réalisée, un autre un projet pour la fenêtre centrale de celle-ci, remplacée par une rose, le troisième un plan de l'embrasure d'un portail[124]. Tous ces dessins sont en vraie grandeur, des épures gravées à échelle réduite apparaissent plus tard. Un dessin gravé dans le mur est des tribunes du transept sud, toujours à Soissons, semble être un des plus anciens dessins de ce type. Ses dimensions (1,7 m de diamètre) correspondent à la rose voisine, mais le dessin ne correspond à aucune rose existant à la cathédrale de Soissons. Il est par contre très proche de la rose occidentale de la cathédrale de Chartres, mais beaucoup plus petit. Quoique son usage à Soissons reste indéterminée, c'est un des plus anciens dessins à échelle réduite conservés, du tout début du XIII^{e} siècle[125]. La liste de toutes ces épures est trop longue pour être

---

Archief voor Nederlandsche Kunstgeschiedenis vol. 5, p. 4-8 (1882-1883) ; (ii) Klaus Jan Philipp, ""Eyn huys in manieren van eynre kirchen". Werkmeister, Parliere, Steinlieferanten, Zimmermeister und die Bauorganisation in der Niederlanden vom 14. bis zu 16. Jahrhundert", *Wallraf-Richartz-Jb*., vol. 50, pp. 69-113 (1989) ; pp. 74, 85, 93 sq.

120 J. Harvey, *op. cit.* n. 70, pp. 228-229.

121 Peter J. Fergusson, "Notes on two cistercian engraved designs", *Speculum*, vol. 54, n° 1, pp. 1-17 (1979).

122 Katharina Corsepius, *Notre-Dame-en-Vaux: Studien zur Baugeschichte des 12. Jahrhunderts in Châlons-sur-Marne* (Stuttgart, Steiner, 1997), p. 82 *sq.*

123 Michael T. Davis, "On the drawing board: Plans of the Clermont cathedral terrace", dans *Ad Quadratum*, *op. cit.* n. 80, chap. 8, pp. 183-204 ; Florence Claval, "Les épures de la cathédrale de Clermont-Ferrand", *Bulletin Archéologique du comité des Travaux Historiques et Scientifiques* n.s. 20-21, pp. 185-224 (1988).

124 Carl F. Barnes, Jr., "The Gothic architectural engravings of the cathedral of Soissons", *Speculum* vol. 47, pp. 60-64 (1972).

125 Wolfgang Schöller, "Eine mittelalterliche Architekturzeichnung im südlichen Querhausarm der

reportée exhaustivement ici ; tout au long du XIII^e^ et du XIV^e^ siècles on a des dessins, en particulier de remplages de fenêtres, à échelle réduite ou en vraie grandeur.

Le nombre et la variété des dessins, par leur taille, leur emplacement, leur qualité ou leur nature, sont tels qu'on doit admettre que leurs fonctions sont multiples. R.H. Adamson, qui présente un ensemble très intéressant d'épures, a identifié plusieurs catégories : plans de montage (working drawings), réalisé sur des aires de tracé (*trasurae*), de plus ou moins grande dimensions, dessins préliminaires (preliminary designs), tracés de délimitation (marking out), documents de référence (reference), documents servant à la formation et l'apprentissage (instruction and training), dessins de présentation (presentation)[126]. Selon K. Corsepius, "les plus anciens exemples conservés sont à l'échelle 1:1. Des épures à échelle réduite sont mises en évidence à partir de 1220 seulement"[127]. On peut aussi citer les graffiti de la collégiale de Saint-Quentin, attribués à Villard de Honnecourt et datés des années 1120-1130 par F. Bucher[128]. Les épures joueraient un rôle important dans le passage du dessin en vraie grandeur vers le dessin à échelle réduite[129].

Selon G. Binding, il n'y a pas de réduction à l'échelle avant la fin du Moyen Âge[130]. W. Müller écrit de son côté que "certains facteurs permettent d'affirmer que la technique du bâtiment au Moyen Âge, jusqu'au début du XIII^e^ siècle au moins, pouvait se passer de dessins à petite échelle"[131]. R. Branner défend la même opinion : les débuts de la construction de la cathédrale de Reims en 1210 n'auraient pas utilisé de dessin d'architecture, alors que le Carnet de Villard de Honnecourt attesterait l'existence d'un projet dessiné pour celle de Cambrai, dès début de sa construction vers 1220[132].

Dans les dessins d'architecture du XIII^e^ siècle sur parchemin, le Carnet de Villard de Honnecourt occupe comme on l'a dit une position toute particulière ; l'évolution vers le dessin à échelle réduite est marquée par le palimpseste de Reims et des élévations de la cathédrale de Strasbourg (A, B, D), de 1255-1260, 1275, 1285, puis les dessins de la cathédrale de Cologne (fin XIII^e^ -début XIV^e^)[129]. Au XIV^e^ et au XV^e^ siècles, les dessins deviennent très nombreux, et on possède même plusieurs traités. Avant de parler de ces derniers, quelques remarques sur Villard de Honnecourt sont nécessaires. Le nombre de publications concernant le Carnet est énorme, et la variété des opinions à son sujet n'est pas moins grande. Villard a été considéré, au moins par certains, comme un des plus grands architectes de son temps, jusqu'à ce que C. Barnes mette en

---

Kathedrale von Soissons", *Zeitschrift für Kunstgeschichte,* vol. 43, pp. 196-202 (1980).

126 Rose Harris Adamson, "Stonemasons' drawings on building fabric : diversity, form and function", *Archaeological Journal*, vol. 171-1, pp. 258-288 (2014).

127 K. Corsepius, *op. cit.* n. 122, p. 82.

128 *Cf.* François Bucher, "A rediscovered tracing by Villard de Honnecourt", *The Art Bulletin*, vol. 59, n° 3 pp. 315-319 (1977), et le site de l'Inventaire général, région Hauts-de-France, https://inventaire.picardie.fr/dossier/ensemble-de-deux-graffitis-dessins-de-roses/6869a16b-21cc-4dfb-91b0-a74466de0009.

129 W. Schöller, *op. cit.* n. 2.

130 G. Binding, *op. cit.* n. 3, p. 171, note 3 : "Nur so ermöglicht sie eine Übertragung in den Originalmaßstab, für die im Mittelalter die geometrischen Hilfskonstruktionen wichtig sind (maßstäbliche Verkleinerungen kommen erst zu Ende des Mittelalters auf)".

131 Werner Müller, "Le dessin technique à l'époque gothique", dans *Les bâtisseurs de cathédrales*, *op. cit*. n. 2, p. 237.

132 Robert Branner, "Villard de Honnecourt, Reims and the origin of Gothic architectural drawing", *Gazette des Beaux-Arts*, pp. 129-146 (1963).

évidence l'exagération qu'il y a dans cette opinion[133] : on n'a aucune preuve qu'un seul des bâtiments dont l'exécution a été attribuée à Villard soit de lui. Au sujet du Carnet, il y a essentiellement deux "écoles", l'une qui veut que l'ouvrage soit un livre de loge (Bauhüttenbuch), l'autre qui constate que "[L'album de Villard de Honnecourt n'est] ni un traité, ni un exposé de principes classés avec méthode, ni un cours d'architecture théorique et pratique, ni la fondation d'un ouvrage [sur l'architecture]"[134].

Dans le Carnet, Villard présente ce qu'il appelle l'"art de géométrie", qui occupe les folios 18 à 21[135]. Les deux premiers feuillets montrent "li force des trais de portraiture". Il comprennent environ 27 figures ou compositions présentant des personnages, 9 présentant des animaux[136], et un seul objet inanimé, qui est un bâtiment, très stylisé. Les célèbres vignettes techniques remplissent les trois pages suivantes (folios 20r à 21r), et le fol. 21v est consacré à une composition schématique de la roue de fortune. On voit donc que l'"art de portraiture" n'a rien à voir avec une méthode de dessin technique. Il semble à première vue s'agir d'une méthode de composition graphique, mais R. Bechmann récuse cette interprétation. En effet, les tracés sous-jacents ne permettent pas la reproduction des dessins, et leur rapport avec ceux-ci est parfois assez ténu. Il s'agirait plutôt de moyens mnémotechniques permettant d'associer une figure et un nom à certaines constructions géométriques, comme on l'a fait avec les constellations pour repérer des groupes d'étoiles. L'identification de ces constructions reste toutefois très hypothétique[137].

Le Carnet n'étant pas un traité d'architecture, son auteur n'a pas de raison d'être architecte. Pour cette raison et plusieurs autres, en particulier le désaccord entre les dessins d'architecture de Villard et ce qu'il considère devoir être un dessin d'architecte du XIII^{e} siècle, C. Barnes tend à tomber dans l'excès inverse en refusant toute compétence en matière d'architecture à Villard. Quoiqu'il en soit de sa formation initiale, de ses fonctions réelles, et de son niveau de compétences effectif, on ne peut nier ni le talent de dessinateur de Villard, ni sa vaste curiosité, ni son intérêt pour l'architecture. Ainsi, si l'on doit éviter de considérer le Carnet comme un exemple caractéristique des documents de travail usuels des architectes du XIII^{e} siècle, il n'en reste pas moins un témoignage de premier ordre des connaissances qui pouvaient effectivement circuler dans leur milieu à cette époque.

R. Branner attribue les divergences entre les dessins de la cathédrale de Reims de Villard et le monument tel qu'il a été construit, à des erreurs de Villard, qui a dessiné l'état de l'église tel qu'il l'observait. Ces erreurs signifieraient que Villard n'a pas pu recopier des dessins existants, justement parce que ceux-ci n'existaient pas. On peut même dire que la maladresse de Villard exprime plutôt le fait que le dessin ne faisait pas alors partie des compétences d'un architecte ou d'un maître d'oeuvre, que l'incompétence de Villard. Celui-ci donne un plan du chevet de la cathédrale de Cambrai et mentionne d'autres dessins de cet édifice[138]. Selon R. Branner, cet édifice,

---

133 Carl F. Barnes, "Le "problème" Villard de Honnecourt", dans *Les bâtisseurs de cathédrales*, *op. cit*. n. 2, pp. 209-223.

134 Eugène Viollet-le-Duc, dans *Revue Archéologique*, n.s. 7, pp, 103-118 (1863) ; cité par C. Barnes, art. cit. n. 133, p. 211.

135 Au bas du fol. 19v on lit : "en ces -iiii- fuelles a des figures de l'art de ieometrie".

136 10 si on y inclut le cheval du cavalier du fol. 19r.

137 R. Bechmann, *op. cit.* n. 5, p. 305 et suivantes.

138 Carnet, fol. 14 v : "vesci lesligement del chauec me dame Sainte marie de canbrai ensi com il ist de tierre . avant en cest liure en trouveres les montees dedens et dehors. et tote le maniere des capeles et des plains pans autresi. et li maniere des ars boteres."

contrairement au précédent, n'étant pas encore construit lors de la visite de Villard, il n'a pu réaliser ces dessins qu'en recopiant ceux qui existaient alors sur le chantier. Ce sont pour lui les plus anciens dessins d'architecte (au sens de dessins ayant réellement servi à l'établissement et à la réalisation d'un projet) attestés par la documentation, ce qui situe le début de l'emploi du dessin vers 1220[139].

2. Ad quadratum

2.A. Les traités de la fin du Moyen Âge

Particulièrement importants sont les traités de Mathieu Roriczer : le *Livret de la rectitude des pinacles*[140], le *Livret sur les gâbles*[141] et la *Géométrie en Allemand*[142]. Le premier de ces ouvrages donne une construction géométrique, qui aboutit au plan et à l'élévation d'un pinacle. Selon R. Recht, "C'est une règle pratique avant d'être une règle esthétique"[143]. La *Géométrie en Allemand* expose la construction de polygones réguliers, pour s'achever sur un pinacles et un gâble. Le *Livret des pinacles* de Hans Schmuttermayer[144] propose une construction du même type.

R. Recht cite quelques autres traités[143] : Lorenz Lechler, dans *Underweisungen und Lehrungen für seinen Sohn Moritz* (1516), donne les dimensions d'un chœur d'église. La longueur doit être deux fois la largeur, et la nef doit être longue de deux chœurs. La largeur des bas-côté est la moitié de celle de la nef. On constate qu'ici on a un rapport simple, deux, conformément aux théories scolastiques de l'esthétique [...], et non un irrationnel comme $\sqrt{2}$ (ou le nombre d'or). De même, la hauteur du chœur est $3/2$ de sa largeur. "Le petit traité publié par Stieglitz en 1820 et aujourd'hui disparu, *Von des Chores Mass und Gerechtigkeit*... fournit des données comparables"[145]. Le *Livre de tailleur de pierre*, *Steinmetzbuch WG 1572*[146] présente surtout des voûtes (147 sur 222 dessins), des remplages, escaliers... Les formes remonteraient à 1480-1520. Le recueil dit "de Dresde"[147], daté de 1544-1567, "contient vingt-trois dessins de voûtes et leurs projections". Il donne ainsi un procédé pour tirer l'élévation d'une voûte de son plan. Le recueil dit "de Wolfgang Rixener"[148],

---

139 R. Branner, art. cit. n. 132.

140 Mathieu Roriczer, *Büchlein von der Fialen Gerechtikait* (Ratisbonne, 1486) ; édité dans Lon R. Shelby, *Gothic design techniques : the fifteenth-century design booklets of Mathes Roriczer and Hans Schmuttermayer* (Carbondale, Southern Illinois University Press, 1977). http://www.hs-augsburg.de/~harsch/germanica/Chronologie/15Jh/Roriczer/ror_pu00.html

141 Mathieu Roriczer, *Wimpergbüchlein* (Ratisbonne, vers 1488), édité dans L. Shelby, *op. cit*. n. 140.

142 Mathieu Roriczer, *Geometria deutsch*, édité dans L. Shelby, *op. cit*. n. 140 ; http://www.hs-augsburg.de/~harsch/germanica/Chronologie/15Jh/Roriczer/ror_ge00.html

143 Roland Recht, "Les "traités pratiques" d'architecture gothique", dans *Les bâtisseurs de cathédrales*, *op. cit*. n. 2, pp. 279-286. *Cf.* aussi R. Recht, *Le dessin... op. cit*. n. 2, p. 101 *sq.*

144 Hans Schmuttermayer, *Fialenbüchlein* (Nuremberg, vers 1488). édité dans L. Shelby, *op. cit.* n. 140 ; http://de.wikisource.org/wiki/Hans_Schmuttermayers_Fialenbüchlein

145 R. Recht, art. cit. et *op. cit*. n. 143. Il donne la référence : C. L. Stieglitz, *Von altdeutscher Baukunst* (Leipzig, 1820).

146 Städelsches Kunstinstitut, Francfort.

147 *Vienne, Österreichische Nationalbibliothek*, Cod Min. 3. R. Recht, *Le dessin... op. cit*. n. 2, p. 107. Il donne la référence : F. Bucher, "The Dresden sketchbook of vault projection", dans *Actes du XXII^e Congrès International d'Histoire de l'Art* (1969), (Budapest, 1972), pp. 527-537.

148 Vienne, Graphische Sammlung Albertina. R. Recht, *Le dessin... op. cit.* n. 2, p. 109.

contient des représentations de voûtes et de remplages, dont certaines ont été découpées comme dans le livre de tailleur de pierre WG 1572. Enfin, R. Recht mentionne les recueils de Jacob Stromer (1561-1614), qui présente des vues de villes, de fortifications, et de moulins, de Hans Hammer, qui semble d'un grand intérêt, mais dont l'étude n'a pas encore fait l'objet de publications, et la *Underweysung der messung* d'Albrecht Dürer (1525).

La construction du pinacle, telle que la décrit Roriczer, repose sur le procédé dit "*ad quadratum*", de "quadrature", ou "rotation du carré". La Fig. 7, extraite de l'ouvrage, montre la construction du plan du pinacle : il s'agit d'inscrire des carrés les uns dans les autres, puis de faire tourner le carré "oblique" de 45°. le rapport entre les côtés de 2 carrés successifs est $\frac{ab}{ef}=\frac{eh}{ik}=\sqrt{2}$.

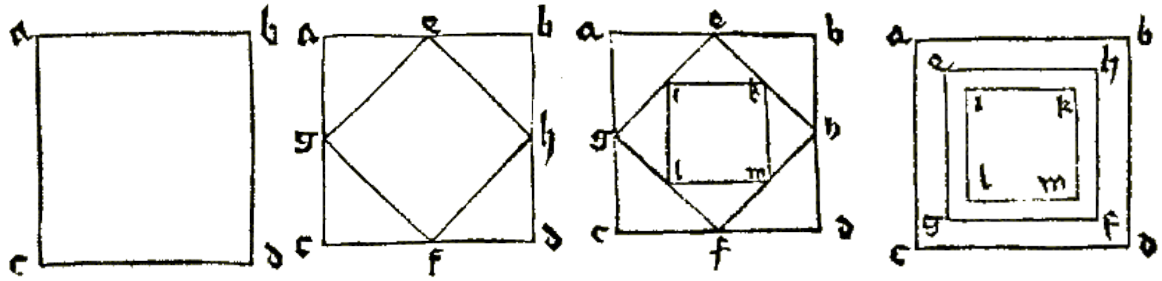


Figure 7. Figures des fol. 3r et 3 v du Livret de la rectitude des pinacles de M*athieu Roriczer*[140].

Cette construction est utilisée dans les divers traités de la fin du XV[e] siècle : Lechler l'utilise pour déterminer le profil d'un meneau, Hans Schmuttermayer construit le même pinacle que Roriczer. On peut cependant remarquer que c'est un motif courant dans l'architecture gothique flamboyante, que de disposer des supports, pinacles ou montants de baies tournés de 45° par rapport au plan du mur, de façon à ce que leur arête fasse face au spectateur. Ne faudrait-il pas voir là la source de cette construction, plutôt qu'un prédilection pour le rapport irrationnel $\sqrt{2}$, qui ne peut même pas être considéré comme un nombre du point de vue des mathématiques médiévales ?

2.A.1. *Ad quadratum* chez Villard de Honnecourt

La question qui se pose est de savoir si cette construction peut se retrouver à une époque antérieure à la fin du XV[e] siècle. Dans cette optique, F. Bucher identifie une construction "*ad quadratum*" dans la rose du transept sud de la cathédrale de Lausanne[149]. Les lignes de la construction obtenue par la "rotation du carré" coïncident très précisément avec le dessin de la rose. Cette même rose a été dessinée par Villard de Honnecourt[150], et on constate aisément qu'il ne respecte pas ce schéma : selon F. Bucher, il n'a rien compris à la structure géométrique originale de la verrière[151]. Ainsi Villard ignore le procédé de "quadrature", qui est "la clef du dessin architectural à l'époque médiévale", c'est une des raisons qui montre qu'il ne peut pas être un architecte selon C. Barnes[152]. On peut se demander si ces auteurs n'exagèrent pas quelque peu l'ancienneté et

149 F. Bucher, *op. cit.* n. 1.

150 Fol. 16 r du Carnet.

151 F. Bucher, *op. cit.* n. 1, p 53 : "He completely missed the simple geometric development on which the original concept was based, and which he should have remembered eve, if he drew the rose from memory".

152 Carl F. Barnes, "Le "problème" Villard de Honnecourt", dans *Les bâtisseurs de cathédrales*, *op. cit.* n. 2, pp. 209-223.

l'importance de ce procédé de "quadrature". En effet, il est aisé de voir que la figure géométrique qui donne la structure de la rose de Lausanne peut être obtenue par d'autres constructions géométriques que celle proposée par F. Bucher. Par exemple, on peut obtenir cette même figure de la façon suivante (*cf.* Fig. 9) : 1- on construit 4 cercles C_1, C_2, C_3, C_4 de même rayon, tangents entre eux. Appelons A, B, C, et D les centres de C_1, C_2, C_3, C_4 (ABCD est évidemment un carré). 2- On construit le cercle C_5 qui passe par les points A, B, C, et D, et le cercle C_6 tangent extérieurement à C_1, C_2, C_3, C_4. 3- On construit 8 petits cercles, Γ_1 à Γ_8, centrés sur les intersections de C_6 avec les diagonales et les médianes du carré ABCD, de même rayon que les 4 cercles initiaux C_1, C_2, C_3, C_4. 4- On construit un cercle C_7 tangent extérieurement à ces 8 cercles. 5- Reste à ajouter une fantaisie à cette épure en remplaçant les cercles C_5 et Γ_1, Γ_3, Γ_5, Γ_7 par des carrés inscrits. La figure 9, obtenue par ce procédé, est mathématiquement équivalente à celle donnée par F. Bucher ; il suffit pour le vérifier de relier de façon adéquate les centres des cercles, de façon à faire apparaître les carrés de la "quadrature", qui sont déjà présents *de facto* de par les propriétés géométriques de la construction. La logique des deux constructions est différente, mais la structure géométrique obtenue est la même. La confrontation de cette structure à la rose exécutée, et la constatation du fait que cette structure est réalisé avec une grande précision, ne permet en aucune façon de trancher entre les deux constructions. F. Bucher s'est basé sur le traités de Roriczer, et d'autres documents analogues, pour trancher en faveur de la construction *ad quadratum*, cependant ces traités sont largement postérieurs, et traitent d'éléments architecturaux bien différents.

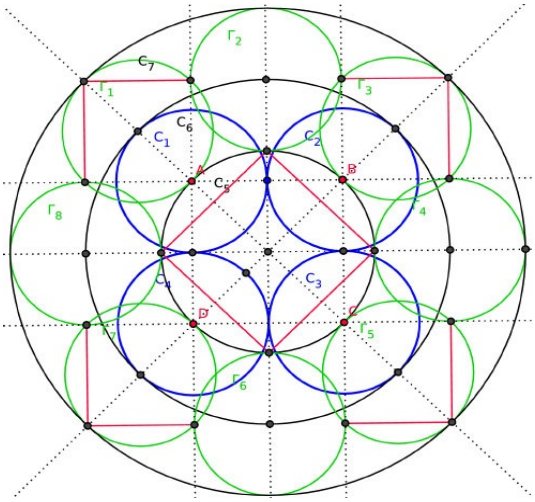


Figure 8. Une construction possible de la rose de la cathédrale de Lausanne.

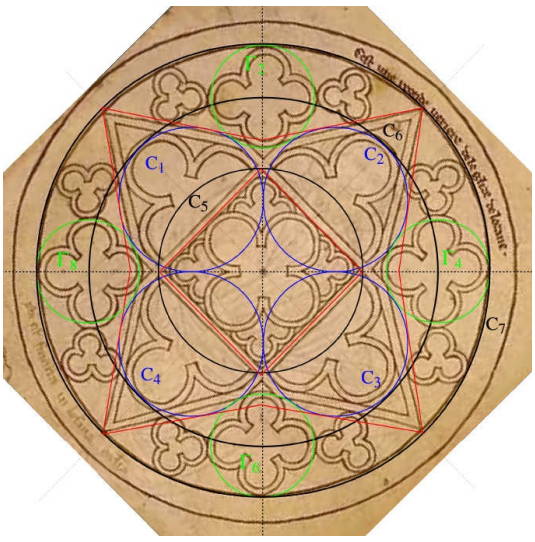


Figure 9. La rose de la cathédrale de Lausanne selon Villard de Honnecourt, avec une construction possible adaptée de celle de la Figure 8.

On peut remarquer que le dessin de la Fig. 9 est plus proche que celui obtenu par la construction *ad quadratum* des épures de roses contemporaines conservées : celle de Byland abbey[153] ne se compose que de cercle tangents entre eux, celles de Soissons de cercles et de quelques lignes radiales[154]. En effet, la construction proposée, si l'on modifie le nombre de cercles

153 P. J. Fergusson, art. cit. n. 121.

154 W. Schöller, art. cit. n. 125 ; François Bucher, "a rediscovered tracing by Villard de Honnecourt", *The Art Bulletin*, vol. 59, n° 3, pp. 315-319 (1977), Fig. 1. Notons de plus que des lignes de construction

initiaux, peut être adaptée à d'autres roses (comme celles à 6 ou 12 cercles des épures).

De plus, le dessin de la rose de Lausanne par Villard de Honnecourt peut être interprété à l'aide de même construction, si on y apporte les modifications suivantes (*cf*. Fig. 8[155]) : - le carré ABCD est tourné de 45° (ses sommet sont sur les axes vertical et horizontal) - le rayon des cercles Γ_2, Γ_4, Γ_6, Γ_8 est modifié, diminué de façon à ce qu'ils soient tangents aux cercles C_1, C_2, C_3, C_4, et les cercles Γ_1, Γ_3, Γ_5, Γ_7 sont supprimés. - les carrés inscrits dans les cercles Γ_1, Γ_3, Γ_5, Γ_7 n'existent plus en tant que tels, et sont remplacés par des angles dont le sommet reste au même endroit sur le cercle C_7 et dont les côtés sont tangents à C_1, C_2, C_3, C_4. Le résultat s'accorde de façon très raisonnable au dessin de Villard.

Si on analyse la rose à l'aide de la construction proposée, les différences entre la rose construite à Lausanne et le dessin de Villard paraissent bien plus faibles, et plus explicables : il suffit qu'il n'ait pas vu les cercles Γ_1, Γ_3, Γ_5, Γ_7, ce qui est d'autant plus explicable que, dans la forme réalisée, ceux-ci n'apparaîtraient que par leurs carrés inscrits. Mon propos n'est cependant pas de donner une nouvelle interprétation du dessin de Villard, mais seulement d'essayer de mettre en évidence la fragilité des arguments réputés établir que le procédé de quadrature était couramment utilisés dès la première moitié du XIII^{e} siècle.

Il faut cependant noter que Villard fait usage de ce procédé par ailleurs. D'une part dans ses dessins techniques du folio 20[156], Villard présente trois fois le même résultat géométrique (ou à très peu près), à savoir que si la diagonale d'un carré est égale au côté d'un autre, l'aire du premier est la moitié de celle du second, dans trois situation différentes : le plan d'un cloître (n° 39k), couper un pierre (n° 39o), et fabriquer deux vaisseaux cylindriques (n° 39q). Si dans le cas du cloître, l'application semble valable : cette proportion, d'une surface de galerie égale à celle de la cour, a été pratiquée dans de nombreux cas[157], les deux autres n'ont guère d'intérêt pratique[158] ; on voit mal l'intérêt de couper une pierre en deux de telle façon qu'une des deux moitiés se retrouve en quatre morceaux. En ce qui concerne les vaisseaux, Lassus remarque déjà que la condition d'égale hauteur manque et que la solution serait fausse pour des "vases sphériques ou hémisphériques"[159]. Les mesures de capacités conservent ordinairement la même proportion entre la hauteur et le diamètre (c'est celle qui minimise la quantité de matière employée !), et n'ont pas une hauteur constante. Il s'agit vraisemblablement d'un simple "habillage" d'une question purement mathématique. Il ne faut donc pas voir cette répétition comme la trace du fait que cette propriété géométrique était abondamment appliquée. La curiosité éclectique de Villard est bien connue, et suffit à justifier sont

---

radiales apparaissent sur le dessin de Villard, *cf.* C. Barnes, *op. cit*. n. 5, p. 101.

155 La figure a été tournée de 45° par rapport à la mise en page de Villard pour faciliter la comparaison.

156 N° 39k : "(P)ar chu fait om on clostre autre tant es voies com el prael es" ; n° 39o : "(P)ar chu partis om une pirre que les II moitié qont queres" ; n° 39q : "(P)ar chu fait om II vassias que li ons tient II tant que li atres", *cf*. R. Bechmann, *op. cit.* n. 5, p. 160-161, J.-B Lassus, *op. cit*. n. 5, pp. 150, 152, 153.

157 Selon R. Bechmann, *op. cit.* n. 5, p 160. Elle serait aussi prescrite par Vitruve, *de Architectura*, livre VI, chap. III, 3. Cependant, le texte de Vitruve semble plutôt spécifier un rapport $\sqrt{2}$ de la longueur à la largeur de l'*atrium*, et non de la longueur totale à celle de l'*impluvium*. Le rapport entre la largeur des galeries et la longueur de la cour est en effet spécifié dans l'alinéa suivant (VI, 3, 4).

158 R. Bechmann, *op. cit*. n. 5, dit au sujet de la pierre (n° 39o) : "on peut penser aussi que le successeur de Villard (ou le copiste) qui a rédigé cette légende, a cherché ainsi à donner une explication pratique et matérielle à une figure qui, en réalité, était la solution d'un problème plus général de géométrie pure". Il croît par contre à l'intérêt pratique du dessin des récipients cylindriques (n° 39q).

159 J.-B Lassus, *op. cit*. n. 5, p. 153.

intérêt. S'il multiplie les situations, c'est sans doute qu'il ne les considère pas comme redondantes, ce qui montre que, relativement à son niveau en géométrie, la question reste pour lui difficile. Ainsi on peut conclure comme C. Barnes que Villard ne connaît pas le procédé de quadrature, mais faut-il nécessairement en déduire que Villard n'a pas pas les compétences de l'architecte ? Ne serait-il pas plus raisonnable de faire davantage confiance au document, et moins à l'extrapolation d'un système attesté beaucoup plus tardivement ?

Le plan de la tour de Laon, tel que le donne Villard[160], a fait l'objet de nombreuse analyses, qui montent toutes que le dessin repose sur la quadrature, et même dans ses moindres détails selon M. Velte[161], ce qui n'empêche pas C. Barnes de penser que Villard ne comprend pas le procédé de quadrature[162]. Cependant il ne semble pas remettre en question l'importance et la généralité du procédé, alors que l'analyse de ce plan est justement l'argument principal qui permette de faire remonter celui-ci au XIII^{e} siècle. L'existence d'une figure de "rotation du carré" sous-jacente au plan de la tour de Laon est en fait incontestable, du fait même qu'il s'agit fondamentalement d'une tour octogonale : cette construction est le moyen le plus simple, voire incontournable, de construire un octogone régulier. S'il est donc bien établi que le procédé de quadrature a été utilisé pour ce type de formes, s'applique-t-il réellement à d'autres ?

2.A.2. Les constructions "retrouvées" et leurs erreurs

Un assez grand nombre de chercheurs ont essayé de reconstituer les plans originels d'édifices médiévaux, à partir de mesures prise sur les plans existants. Une approche consiste à rechercher systématiquement des mesures qui seraient entières relativement à une unité fondamentale, qui est en général un pied mais peut aussi être un module plus grand. Les difficultés, incertitudes et risques d'erreurs liés à ce type d'approche sont nombreux. En 1899 déjà, Auguste Choisy en relevait plusieurs[163] :

"Chez les Grecs, l'exécution était pour ainsi dire parfaite, et l'on peut d'après les ruines rétablir presque toujours sans chances d'erreur les cotes du projet : ici l'exécution est souvent assez grossière pour rendre cette traduction incertaine.

Les pierres des édifices grecs étaient à joints vifs ; au moyen âge, les épaisseurs de mortier ne sont pas négligeables et elles échappent à toute détermination absolue.

Une autre cause de complication tient au principe même de la bâtisse sans ravalement : qu'il s'agisse d'une base, d'un chapiteau ou d'une corniche, chaque membre de la décoration est pris dans une assise ; et, pour employer la pierre sans déchet, il faut d'une assise à l'autre modifier le profil type.

Admettez le tracé théoriquement le plus simple : après cette double altération qui résulte des épaisseurs de mortier et des hauteurs variables des assises, vous trouverez des cotes de hauteur complexes d'où la conception primitive ne pourra se dégager qu'indécise et voilée."

Il ne voyait par contre que peu de difficultés dans les mesures effectuées en plan, son

160 Carnet, fol. 9v, n° 18a.

161 Maria Velte, *Die Anwendung der Quadratur und Triangulatur bei der Grund- und Aufrissgestaltung der gotischen Kirchen*. Basler Studien zur Kunstgeschichte, n° 8. (Bâle, Birkhauser, 1951) ; cité par C. Barnes, ouvrage et site web cités n. 5, et analysé par James S. Ackerman, dans *Art Bulletin*, vol. 35, pp. 155-157 (1953).

162 C. Barnes, *op. cit.* n. 5, p. 71 : "In short, Villard's tower plan does not prove that he understood quadrature".

163 Auguste Choisy, *Histoire de l'architecture* (Paris, Gauthier-Villars, 1899), t. 2, p. 182.

optimisme était sans doute excessif.

A. Guerreau a proposé une méthode d'analyse des dimensions des édifices[164]. L'article contient une discussion sur les incertitudes, la définition des longueurs concernées, dont malheureusement on voit mal l'application aux édifices. L'analyse, limitée au plan, concerne 21 églises qui se composent toutes d'une nef rectangulaire, une travée sous clocher et une abside semi-circulaire. L'étude montre que 60% des angles mesurés sont droits avec une précision de 1° ou mieux. 10% présentent "un écart de 2,5° ou plus", et l'auteur en conclut que "l'orthogonalité n'était pas une préoccupation prioritaire des constructeurs de ces églises", ce qui est tout à fait raisonnable. Cependant, l'écart à l'orthogonalité mesuré reste bien faible, et, en l'absence de toute référence ou justification de ce qui caractérise une bonne précision, on aurait tout aussi bien pu en tirer une conclusion opposée.

A. Guerreau constate ensuite que le parallélisme des murs gouttereaux et celui de l'arc d'entrée de la travée sous clocher et de l'arc triomphal est meilleur que celui des autres côtés, et en tire les conclusions naturelles en ce qui concerne la construction : les lignes principales du plan contiendraient un "transept" limité à une travée sous clocher, mais conçu d'abord comme deux lignes parallèles Est-Ouest, et une nef construite sur une ligne perpendiculaire à ceux-ci. L'analyse métrologique est basée sur un "module", déduit des mesures de longueurs entre faces internes des murs. La mesure "observée" est le plus souvent le pied "romain classique" de 29,57 cm[165], cependant l'existence de modules plus grand que le pied est envisagée. Des proportions de 2:1 (Massy, Saint-Etienne) sont relevées.

L'auteur a identifié deux édifices, les deux églises de Vinzelles et Sancé, dont les plans sont identiques. Les rapports de dimensions homologues (internes) sont très voisins du rapport $30{,}4/29{,}6=1{,}027$ des deux pieds qui auraient été utilisés dans les deux bâtiments. Les dimensions extérieures ne présentent pas le même rapport. L'analyse montre de façon convaincante que les mesures internes sont les mesures pertinentes, et donnent un exemple de deux édifices dont les mesures en pieds sont identiques, avec des pieds différents. Il est regrettable que la comparaison soit limitée au plan. Finalement, A. Guerreau remarque l'absence de corrélation entre la "qualité métrologique" du plan, et le soin apporté à la maçonnerie, d'où il déduit que les deux opérations de tracé du plan et de construction étaient attribuées à des personnes différentes.

À Sant Vicenç de Cardona (1020-1040), James Adiss a identifié un module de 7 pieds romains[166]. Il a trouvé aussi des modules de 3 et 4 pieds romains à Quarante. Un système modulaire pour San Miniato de Florence montre un système de carrés groupés en travées, entourés de bandes correspondant à l'épaisseur des noyaux des piles composites. Les dimensions sont encore basées sur le pied romain. Une grille analogue, de carrés séparés par l'épaisseur des colonnes, est visible dans la crypte. Quatre grosses colonnes portant les piles de l'étage supérieur sont placées dans cette crypte, sans que leur rythme coïncide avec celui de la grille. Le pied romain a aussi été identifié par

---

164 Alain Guerreau, "Vingt et une petites églises romanes du Mâconnais : irrégularités et métrologie", dans : *L'innovation technique au moyen âge - Actes du VIe Congrès International d'archéologie médiévale*, éd. Patrice Beck (Paris, Errance, 1998), pp. 186-210.

165 Les incertitudes semblent cependant bien grandes pour identifier un pied sans *a priori*. On aimerait voir le détail des raisonnements menant à ces conclusions, qui malheureusement ne figure pas dans l'article.

166 James Adiss, "Measure and proportion in romanesque architecture", dans *Ad Quadratum*, *op. cit.* n. 80, chap. 3, pp. p. 57-81. Renvoie à James Adiss, *Spatial organization in romanesque church architecture*, thèse, State University of New York at Binghamton, 1983.

K. Conant à Cluny III[167], et par J. Adiss au Puley, et à Bourbon-Lancy, etc. À Jumièges, il semble que les proportions pertinentes soient encore celles qui utilisent les distances entres les colonnes plutôt qu'entre leurs axes, mais une analyse détaillée serait nécessaire .

D'autres pieds ont été observés, plutôt grands (entre 32,4 cm et 35 cm) en divers lieux. L'emploi du pied romain n'est pas plus important là où il y a des monuments antiques, par exemple on a un pied de 33,5 cm et non le pied romain à Saint Trophime d'Arles[166].

Une autre approche recherche des constructions géométriques basées sur des polygones réguliers, ou faisant apparaître des rapport irrationnels tels que $\sqrt{2}$, $\sqrt{3}$ ou le nombre d'or. Les discours méthodologiques sont nombreux, mais il semble que certains auteurs aient parfois du mal à maîtriser les structures géométriques et mathématiques, ainsi que les concepts métrologiques que ces études impliquent.

E. Fernie, dans le chapitre d'introduction d'un ouvrage intitulé *Ad Quadratum* (ce qui est déjà tout un programme)[168], pose quelques principes méthodologiques. Il commence par condamner l'usage des plans sur papier, en autorisant les plans numériques suffisamment précis. Il évoque les problèmes de précision, sans cependant spécifier de méthode permettant d'évaluer celle-ci. Il conseille de privilégier les systèmes de lignes géométriques les plus simples, qui risquent moins de coïncider fortuitement avec le plan de l'édifice. Les plans et centres de symétrie doivent être clairement identifiables. Ces prescriptions sont tout à fait raisonnables, mais pas toujours suivies. E. Fernie pose ensuite le problème de l'identification des unités, avec quelques règles : (i) se limiter à des unités de longueur connues à l'avance, (ii) rechercher les rapport irrationnels comme $\sqrt{2}$, $\sqrt{3}$, et $\sqrt{5}$, et (iii) ne pas exclure les nombres "inhabituels". Si la première de ces règles est bien de nature à éviter de prendre des mesures fortuites pour des données réelles, un résultat bien connu des mathématiciens montre que la deuxième peut présenter des risques. On montre en effet qu'il est possible d'approcher n'importe quel nombre d'aussi près qu'on le veut par un nombre de la forme $a\sqrt{2}-b\sqrt{5}$, où a et b sont deux nombres entiers. Quoique ces derniers puissent souvent être assez grands en pratique, cette propriété mathématique[169] introduit un risque d'observations dues à des coïncidences fortuites, qui est assez important, et difficile à évaluer. L'auteur présente ensuite deux types de systèmes, géométrique ou arithmétique. Le système "géométrique" est basé sur des cercles et des polygones[170], et par conséquent fait apparaître des proportions impliquant $\sqrt{2}$, $\sqrt{3}$, $\sqrt{5}$, et le nombre d'or.

L'usage de proportions entières, conduisant à un schéma directeur en "grille", est établi pour le XIII^{e} siècle, en particulier par un dessin de Villard de Honnecourt, représentant le plan d'une église cistercienne[171], et par le palimpseste de Reims[172]. Il ne s'agit dans le deuxième cas que d'une

167 Kenneth John Conant, Cluny, *les églises et la maison du chef d'ordre* (Cambridge, Massachusetts, Mediaeval Academy of America, et Macon, Impr. Protat Freres, 1968).

168 Eric C. Fernie, Chap. 1, "Introduction", dans *Ad Quadratum, op. cit.* n. 80, pp. 1-10.

169 En mathématiques, pour rendre compte de cette propriété, l'ensemble de nombre en question, qui est un "sous-groupe de $\mathbb{R}$", est qualifié de "dense".

170 Il est à noter que dans tout l'ouvrage (*Ad Quadratum*, *op. cit*. n. 80), le terme "polygone" (polygon) est utilisé dans le sens de polygone régulier. On voudrait parfois que, l'existence d'un polygone étant évidente, on cherche à savoir si celui-ci est régulier, mais il semble que ce genre de démarche n'ait intéressé aucun des auteurs.

171 Il s'agit du dessin du fol. 14 (n° 28d) du *Carnet*, qui porte la légende "vesci une glize desquarie, ki fu esgardée a faire en l'ordene de Cistiaus".

172 *Cf.* Stephen Murray, "Gothic façade drawings in the Reims palimpsest", *Gesta*, vol. 17, n° 2, pp. 51-55

interprétation de la géométrie du dessin par un chercheur contemporain, alors que dans le cas du dessin de Villard, l'utilisation d'une grille carrée est à la fois évidente et mentionnée explicitement dans la légende écrite par Villard lui-même. Par ailleurs, de Bruyne montre que ce dessin correspond précisément aux normes de l'esthétique musicale[173], on y reviendra.

L'usage du rapport $\sqrt{2}$ est attestée, comme on l'a vu, par le fol. 39 de Villard et les dessins de la fin du Moyen Âge conservés à Vienne. Le rapport $\sqrt{2}$ apparaît trois fois dans Vitruve : livre V, chap. VIII, 1, dans une type de théâtre grec, pour les proportions de la scène ; livre VI, chap. III, 3 : le 3e dessin d'un atrium a une proportion $\sqrt{2}$, et livre IX, chap. III, 3 : le "théorème de Platon" pour doubler l'aire d'un carré. Remarquons que Vitruve ne mentionne jamais de "nombre" ni de "proportion" $\sqrt{2}$, il n'est jamais question que d'utiliser à la fois la longueur du côté d'un carré et celle de sa diagonale. Un dessin du XVe siècle conservé à Vienne[174] illustre l'utilisation de la rotation d'un carré pour établir la différence de taille entre la base d'une colonne et son fût. E. Fernie mentionne ensuite certaines bizarreries qui lui permettent de mettre des rapports en évidence. Par exemple, dans quelques églises monastiques de l'Angleterre normande, le mur occidental du cloître rencontre celui du bas-côté au milieu d'une travée. Ceci s'explique parce que le rapport de longueur entre le côté du cloître et la longueur de la nef est $\sqrt{2}$. L'utilisation du rapport $\sqrt{2}$ dans l'architecture médiévale semble donc à cet auteur une évidence incontestable. Cela pose pourtant une difficulté : en effet, les mathématiques médiévales ne connaissent que les nombres entiers et ne peuvent en aucun cas considérer $\sqrt{2}$ comme un nombre. Une proportion est le rapport de deux nombres (entiers) et, même si au Moyen Âge il n'est pas question de l'identifier avec le nombre rationnel correspondant, elle ne peut en aucun cas être irrationnelle. Ainsi l'utilisation du rapport $\sqrt{2}$, conçu comme tel, est impossible au Moyen Âge. Il ne peut s'agir que d'une figure géométrique, dans laquelle sont utilisés à la fois la longueur de la diagonale et le côté d'un carré. De même, le dessin de la "rotation du carré" ne peut être entendu que comme la construction d'un rapport 2 entre les aires, non comme celle d'un rapport $\sqrt{2}$ entre les longueurs.

Ceci est reconnu par les différents auteurs, qui considèrent comme purement géométriques les procédés qui feraient intervenir des proportions irrationnelles, et même, "on a prétendu que les bâtiments médiévaux étaient dessinés uniquement par des méthodes géométriques, et qu'il n'existait aucune mesure linéaire faite dans un but pratique dans les dessins médiévaux"[175].

Plusieurs reconstitutions du tracé géométrique original ont été proposées pour Saint-Étienne de Nevers. L'une est due à M.-Th. Zenner, qui a étudié en détail cet édifice[176]. Elle part de trois hauteurs de voûtes : celle du le sanctuaire et des bras du transept, $A \simeq 15{,}13\,\mathrm{m}$, celle de la nef, $B \simeq 17{,}92\,\mathrm{m}$, et celle de la coupole de la croisée, $C \simeq 19{,}76\,\mathrm{m}$. Ces trois distances se retrouvent aussi dans le plan, dont elle propose une construction les utilisant. La figure sous-jacente, présentée

---

(1978).

173 De Bruyne, *op. cit.* n. 85, t. I, p. 22.

174 Viennne, Akademie der Bildenden Künste, n° 17090 ; *cf.* François Bucher, "Medieval Architectural Design Methods, 800-1560", *Gesta*, vol. 11, n° 2, pp. 37-51 (1972).

175 F. Bucher, "Design in gothic architecture", *Journal of the Society of Architectural Historians*, vol. 27, n° 1, pp. 49-71 (1968).

176 Marie-Thérèse Zenner, "A proposal for constructing the plan and elevation of a romanesque church using three measures", dans *Ad Quadratum*, *op. cit.* n. 80, chap. 3, pp. 25-55. Renvoie à Marie-Thérèse Zenner, *Methods and meaning of physical analysis in romanesque architecture: a case study, Saint-Etienne in Nevers* (thèse, Bryn Mawr College, 1994).

par l'auteur comme *vesica piscis*, diffère cependant de cette figure ésotérique, formée de deux cercles dont les centres sont distants d'un rayon. Ici la distance A entre les deux centres diffère du rayon *C*. L'auteur dessine des cercles de rayon *C*, *A*, $A/2$, $A/3$, $C/6$, $C/12$ et constate qu'ils sont tangents à des lignes du plan, puis, finalement, l'auteur plaque cette construction sur celle de doublement du carré. En conclusion, il est clair que les longueurs identifiées ne sont pas quelconques ; leurs rapport est une ligne trigonométrique d'un angle simple[177] ; moyennant une petite modification des valeurs, elles peuvent être interprétées, dans une certaine unité, comme trois nombres possédant de "bonnes propriétés arithmétiques"[178]. Ces propriétés mathématiques suffisent à garantir la cohérence remarquable des figures, et les trois longueurs ont indubitablement un rôle dans les mensurations originales et le dessin original de Saint-Étienne de Nevers. Cependant on peut également voir la figure proposée par M.-Th. Zenner comme étant composée de deux octogones réguliers dont les centres sont distants du côté de l'octogone. Ainsi, même s'il est établi de façon sûre que la figure géométrique identifiée est présente dans le plan conçu par l'architecte médiéval, rien ne permet d'affirmer que la construction proposée pour cette figure est celle qu'il a utilisée : il existe d'autres constructions, équivalentes.

Un autre auteur (dans le chapitre suivant du même ouvrage !) propose une reconstitution toute différente du même plan[179]. À Saint-Étienne de Nevers toujours, J. Adiss, a constaté d'abord l'existence de rapports de longueurs grossièrement égaux à 2 ou $3/2$, puis procédé à divers tâtonnements. Plusieurs longueurs sont multiples du pied romain (29,57 cm) : la largeur de la nef (24 pieds), la longueur des travées (15 pieds), la hauteur de la nef (48 pieds), etc. Un détail déroutant est que ces longueurs sont tantôt prises au nu des murs, tantôt entre axes. La grande épaisseur (6 pieds) attribuée au mur dans ce système modulaire est considérablement réduite dans le mur réel, aminci par des arcatures, un rétrécissement au-dessus de la plinthe, c'est-à-dire que le module identifié comme "épaisseur du mur" contient les colonnes engagées, avec leurs bases et plinthes.

Ensuite le même auteur a considéré un point de vue géométrique ; le rapport de la longueur à la largeur totale de la nef est proche du nombre d'or. Si on totalise les mesures en pieds données par J. Adiss sur la longueur de l'église[180] on obtient 179 pieds, en faisant de même pour la largeur, 108. Or $\frac{180}{108}=\frac{5}{3}$. Il est tentant de conclure que J. Adiss a oublié un pied dans le décompte des longueurs, et qu'il est en train de donner le nombre d'or comme valeur approchée de 5/3 qui serait la valeur exacte (l'écart relatif est 3%). Les théories esthétiques médiévales privilégient en effet les rapports simples[181]. Le schéma géométrique aurait été utilisé pour la mise en place du plan d'ensemble, et la méthode modulaire pour la construction elle-même. Quoique n'étant pas compatibles l'un avec l'autre, les schémas directeurs du plan de Saint Étienne de Nevers proposés par J. Adiss et M.-Th. Zenner sont établis par des mesures tout à fait précises et des coïncidences remarquables. Faut-il en déduire que celles-ci ne prouvent rien ? En tout cas un maximum de circonspection est nécessaire.

---

177 La figure proposée permet de justifier aisément que $A=2C\sin\frac{\pi}{8}=C\sqrt{2-\sqrt{2}}$.

178 *A* vaudrait 54 pieds de 28 cm, *B*, 64 et *C*, 70.

179 James Adiss, "Measure and proportion in romanesque architecture", dans *Ad Quadratum*, *op. cit.* n. 80, chap. 3, pp. 57-81.

180 Figs. 3.4 et 3.5 de l'article cité n. 179.

181 Quoique l'intervalle de sixte, qui correspond au rapport $5/3$, soit peu utilisé en musique au Moyen Âge.

N. Hiscock[182] discute un travail mettant en évidence l'usage de la proportion $\sqrt{2}$ dans le plan de la cathédrale de Norwich[183]. Il présente l'utilisation du rapport $\sqrt{2}$ comme un fait établi[184], mais va proposer autre chose. Pour lui, l'absence de signification attachée au rapport $\sqrt{2}$ rend problématique la préférence pour celui-ci. La cathédrale entière étant faite pour porter du sens, il est curieux que sa disposition soit déterminée par un simple expédient de dessin qui ne signifie rien. Il veut réviser ce point de vue en utilisant les trois figures de la géométrie de Platon, à savoir le triangle équilatéral, le carré et le pentagone régulier, qui sont les faces des polyèdres qui interviennent dans le Timée. Son étude est basée sur un relevé numérique très précis de la cathédrale de Norwich, qui met en évidence des irrégularités déjà remarquées en partie sur certains relevés manuels. N. Hiscock insiste sur l'intérêt que peut avoir l'interprétation de ces irrégularités. Par exemple, la distance entre les deux seuls piliers qui soient resté dans leur état "d'origine" est 27 cm de moins que dans les autres travées, ce qui pourrait être une irrégularité intentionnelle liée à une fonction "liturgique" : encadrer l'autel de la Sainte Croix (avec une paire de piliers voisins). Les longueurs des travées varient typiquement de quelques cm, ce qui fait des erreurs relatives de 1% ou moins, sauf pour celles qui sont les plus proches de la croisée, plus longues d'environ 60 cm. En donnant ces précisions, N. Hiscock néglige cependant de préciser comment il définit la longueur de la travée ; les irrégularités dépendent pourtant crucialement de cette définition, *a priori* du moins.

La méthode de "design" qu'il propose est une construction en 16 pas, utilisant des constructions d'angles de 30°, 60°, 45°, 36° et 54°. Elle suppose la réalisation d'un plan à une certaine échelle, puis son agrandissement. La comparaison avec les mesures actuelles est effectuée pas par pas, ce qui est raisonnable : les erreurs dans la réalisation du plan auront influencé les pas suivants. Cependant cette précaution ajoute un degré de liberté à l'analyse, qui pourrait augmenter le risque de prendre une observation fortuite pour ce qu'elle n'est pas.

La construction géométrique commence par un carré englobant la croisée, le bas côté nord au nord de celle-ci, et la première travée de chœur et de son bas-coté nord à l'est. L'auteur remarque que la ligne du quadrillage peut théoriquement être placée n'importe où dans l'épaisseur du mur. Les précisions affichées sont excellentes : 0,04‰ pour le pas 2, 0,3% pour le pas 3, etc., cependant, les lignes de référence définissant ces longueurs ne semblent être placées de façon systématique par rapport aux murs et piliers. L'auteur a déterminé des procédures analogues dans la plupart des grandes églises anglo-normandes.

Comment ce plan, *a priori* réalisé sur papier (ou tout autre support, mais à échelle réduite) a-t-il pu être reproduit en vraie grandeur ? N. Hiscock cite le rêve de Gunzo[95] et la vision de Giraud de Barri[97], qui pourtant mentionnent explicitement une construction directe en vraie grandeur, comme on l'a vu plus haut. Il envisage un agrandissement par multiplication ; à l'appui de cette hypothèse il cite un contrat du 15^{e} siècle[185], dans lequel il serait question de reproduire en vraie grandeur un plan

182 Nigel Hiscock, "A schematic plan for Norwich cathedral", dans *Ad Quadratum*, *op. cit*. n. 80, chap. 4, pp. 83-121.

183 Eric Fernie, "The ground plan of Norwich cathedral and the square root of two", *Journal of the British Archaeological Association*, vol. 129, pp. 77-86 (1976).

184 N. Hiscock, art. cit. n. 182 : "It is now stated as a fact that medieval architects used the $\sqrt{2}$ ratio to design their churches".

185 Ce contrat concerne l'église de Fotheringhay. Voici la citation exacte : le maître maçon devait "wel make all the groundwerk of the said body and take hit and void it at his own cost and latlay hit suffisantly as hit ought to be oversight of maisters of the same craft" (N. Hiscock, art. cit. n. 182)

à petite échelle. À ce qu'il me semble, il ne s'agit que d'agrandir des fondations, qui doivent être profondes et larges conformément aux usages. Un autre mode d'agrandissement envisagé consiste à utiliser règle, compas et équerre, dont l'usage est bien établi. Il l'est, certes, mais pas nécessairement pour agrandir un dessin : ces instruments pourraient ne servir qu'à le réaliser directement en vraie grandeur. Il est vrai que d'autres auteurs[186] considèrent qu'un plan défini par une construction géométrique simple a l'avantage de pouvoir être aisément réalisé à n'importe quelle échelle, et peut donc servir à tracer en vraie grandeur ce qui l'a été préalablement à échelle réduite.

N. Hiscock propose ensuite une méthode numérique de réalisation du plan. Celle-ci utilise des approximations numériques, qui reviennent à[187] $tg\,60° = \sqrt{3} \simeq \frac{12}{7}$, et $tg\,36° \simeq \frac{8}{11}$, malheureusement sans référence montrant si ces approximations étaient connues ou utilisées au Moyen Âge.

On trouve des approximations de ce genre dans le chapitre suivant du même ouvrage[188], consacré au plan de la collégiale de Saint-Quentin, et plus particulièrement de son chœur, consacré en 1257. Ayant établi que la longueur des travées et la largeur des bas-côtés seraient de 17 pieds et la largeur du vaisseau central de 48, l'auteur étaye son observation par le fait que $24/17$ était une approximation médiévale usuelle de $\sqrt{2}$. L'écart est inférieur à 2‰, mais il n'y a aucune référence. Un peut plus loin, on lit que le rapport $5/3$ est une approximation grossière du nombre d'or utilisée par les constructeurs médiévaux, ici il y en a une[189]. Ici la précision est de 3%, mais ne serait-il pas plus raisonnable de considérer que ce rapport $5/3$ est là pour lui même, et qu'on ne croit observer le nombre d'or que parce qu'il est proche de $5/3$? Dans ce même plan, des multiples de 8 pieds sont aussi observés. On pourrait juger qu'une valeur 16 de la largeur est *a priori* plus probable que 17 pour la longueur des travées, ce qui donnerait un rapport $24/16 = 3/2$, mais il semble que E. Shortell trouve au contraire qu'une proportion $\left(\sqrt{5}+1\right)/2$ est *a priori* plus probable que $3/2$, en dépit de la théorie esthétique médiévale. Un peu plus loin, on trouve une proportion $8/5$, qui est "une autre approximation médiévale du nombre d'or''. La précision est cette fois de 1,1%, ce qui est tout à fait satisfaisant, mais pourquoi le rapport $8/5$ n'apparaîtrait il pas pour lui-même ? Un calcul d'erreur standard montre que les chiffres donnés par l'auteur ne permettent pas de trancher entre ces deux hypothèses. En additionnant les différents modules, on reconstitue la longueur totale, d'un façon qui correspond à l'égalité approchée $\frac{\sqrt{5}-1}{2} + \frac{1}{2\sqrt{2}} \simeq 1$ (l'erreur est d'environ 3%). En utilisant les valeurs rationnelles, ceci se transforme en une égalité comme $5/8 + 3/8 = 1$, qui me semble préférable.

Le chevet, ayant 5 chapelles rayonnantes, se trouve assez naturellement être pentagonal. Après avoir constaté que les largeurs angulaires des chapelles étaient de 36° (à 1° près pour les extrêmes,

---

186 G. Binding, *op. cit*. n. 3, p. 192 : "Gotische Werkrisse sing geometrisch konstruiert und können auf die gleiche Weise auf dem 1:1 - Rießboden oder auf der Baustelle in natürlicher Größe wiederaufgetragen werden."

187 La première approximation a une précision de l'ordre de 1%, l'autre 0,1%.

188 Ellen M. Shortell, "The plan of Saint-Quentin: Pentagon and square in the genesis of high Gothic design", dans *Ad Quadratum*, *op. cit*. n. 80, chap. 5, pp. 123-148.

189 Stephen Murray, "*Notre-Dame, Cathedral of Amiens: The power of change in Gothic*", (Cambridge, 1996), pp. 30-31, 36, 42 et fig. 40.

ce qui est fort peu), l'auteur montre qu'on peut inscrire deux pentagones dans l'hémicycle, de façon que 2 ou 3 de leurs sommets coïncident avec les colonnes, puis que deux autres pentagones indiquent le centre des chapelles. Ce n'est que la conséquence géométrique directe de la relation angulaire observée. Les travées du déambulatoire sont aussi des pentagones réguliers. En plus de ce qui provient de la symétrie, il suffit pour cela que deux des sommets se placent au bon endroit, ce qui n'est d'ailleurs le cas que de façon fort approximative.

Ainsi, la présence d'un demi-décagone régulier, naturellement dû à un chevet pentagonal, se transforme en une combinaison compliquée de pentagones, dont la présence est justifiée par une volonté systématique de faire apparaître la proportion dorée. La multiplication des pentagones dans l'analyse de la géométrie de la figure donne au chercheur qui n'est pas conscient de certaines propriétés purement mathématiques du dessin le plus simple, la conviction que les croyances ésotériques où il voit l'origine des ces figures ne sont pas dépourvues de fondement. Une étude de N. Wu sur le plan du chevet de la cathédrale de Reims montre des constructions et des partis pris analogues[190].

2.B. Fantasmes sur le nombre d'or

Si la volonté de rechercher la proportion $\sqrt{2}$ dans les mensurations des édifices est fondée, comme on l'a vu, sur l'étude de documents médiévaux, il n'en va pas de même du nombre d'or. M. Neveux a consacré un ouvrage à l'origine de ce phénomène et à sa diffusion au XX^{e} siècle[191], donnons-en un bref compte-rendu. L'origine du nombre d'or est la "Division en extrême et moyenne raison", donnée par Euclide, dans son livre II, proposition 11. Luca Pacioli, moine franciscain et professeur de mathématiques' (vers 1445-1514) a écrit en 1498 un ouvrage intitulé *De divina proportione*, qui détaille "les treize effets" de ce partage. C'est un ouvrage de mathématiques tiré d'Euclide, qui décrit en particulier un grand nombre de polyèdres. L'intérêt du partage en extrême et moyenne raison est qu'il permet de construire le pentagone et le dodécaèdre, et d'inscrire les cinq polyèdres régulier dans une sphère. L'auteur mêle un peu de numérologie et de symbolique chrétienne à ses mathématiques. Deux appendices sont ajoutés pour la publication en 1509, l'un traitant des mesures et proportions du corps humain et de l'architecture, tiré de Vitruve, le deuxième résolvant 139 problèmes de géométrie. Des ressemblances on été relevées entre cet ouvrage et le *De quinque corporis regularibus* de Piero della Francesca. Selon Vasari, c'est Pacioli qui aurait copié ; peu importe, aucun des deux ouvrages ne contient "la moindre allusion à une application possible de la divine proportion à l'art". Léonard de Vinci a réalisé des dessins des soixante corps réguliers, qui illustrent l'ouvrage. Mais celui-ci ne parle en aucune façon de peinture. Quand à Léonard de Vinci, s'il utilise l'expression "divine proportion" dans son *Traité de la peinture*, ça n'est pas pour désigner le nombre d'or, mais l'harmonie visible en général.

Mis à part Kepler, la terminologie "partage en extrême et moyenne raison" reste de rigueur jusqu'au XX^{e} siècle. Etienne Monucla, auteur d'une *Histoire des mathématiques* publiée pour la première fois en 1758, et Michel Chasles serait les premiers à prétendre que Pacioli "fait diverses applications aux arts" de cette proportion, mais cette affirmation n'est qu'un amalgame entre le sujet du corps de son ouvrage et celui, tout différent, du premier appendice. Guillaume Libri, dans son *Histoire des sciences mathématiques en Italie* (1838), augmente cette identification en en

190 N. Wu, art. cit. n. 80.

191 Marguerite Neveux, *Le nombre d'or, Radiographie d'un mythe* (édité avec H.E. Huntley, *La Divine Proportion*) (Paris, Seuil, 1995).

faisant Léonard l'auteur, alors qu'il n'a fait que graver les figures.

En 1854, Adolf Zeising, professeur de philosophie à Leipzig et à Munich, dans un ouvrage intitulé *Neue Lehre von den Proportionen des menschlichen Körpers* "démontre" l'existence d'une loi fondamentale de la beauté, qui est la "section d'or". Il cite de nombreux monuments en référence, surtout des temples grecs. Dans son article "Das Pentagramm" (1868), il y ajoute l'autorité de grands philosophes et mathématiciens : Pythagore, Platon, Euclide, Cassiodore, Boèce, Kepler,... Puis Franz Liharzik (*Das Quadrat*, 1865), exprimant son admiration pour l'ouvrage de Zeising, cherche à justifier "scientifiquement" sa thèse. Selon lui les proportions du corps humain obéissent au carré magique du nombre 7. L'étape suivante est marquée par trois ouvrages de Gustav Theodor Fechner, *Ueber die Frage des goldenen Schnittes* (1865), *Zur experimentalen Aesthetik* (1871), *Vorschule der Aesthetik* (1876). Après une critique assez sévère de Zeising, Fechner va effectivement proposer une approche de l'esthétique qui relève des sciences expérimentales. Il aboutit à remplacer la section d'or par le rectangle d'or. Son point de vue est prolongé par celui de Wilhelm Wundt (1832-1920).

Les mathématiciens ou historiens des mathématiques (Siegmund Günther, Moritz Cantor, Constantin Winterberg) font état des travaux sur le nombre d'or (Zeising et Pacioli), et, en non-spécialistes confiants, admettent et propagent tout ce qui a été dit sur l'emploi du nombre d'or au Parthénon ou chez le Vinci, etc. La préface de Winterberg à la réédition de l'ouvrage de Pacioli "constitue, en 1921, l'une des références d'Erwin Panofsky".

En France, la section d'or apparaît dans la *Revue philosophique de la France et de l'étranger*, qui après avoir mentionné Zeising, Fechner et Wundt, publie en 1880 un article (de James Sully) qui "associe la section d'or et Zeising". Charles Henry s'empare de ces théories, et les présente à un cercle d'artistes : Seurat, Signac, Pissaro,...

Le reste de l'ouvrage de M. Neveux est consacré à l'influence de la section d'or dans la peinture du XX^{e} siècle. Il semble que les amis de Charles Henry ait plutôt utilisé de vieilles recettes de découpages en moitiés, quarts et huitièmes. Desiderius Lenz (1832-1928), moine à l'abbaye bénédictine de Beuron (Hohenzollern), y fonde une école d'art sacré et une théorie esthétique basée sur une géométrie rigoureuse comparable à celle de Zeising, Wolf, etc. Ses idées seront importées en France par Paul Sérusier, ceci est à l'origine d'un (ou peut-être de quelques) groupe d'artistes qui ont effectivement mis en œuvre une théorie picturale utilisant le nombre d'or, dans la première moitié du XX^{e} siècle. Je ne suivrai pas Mme Neveux dans l'analyse de ceux-ci, mais tout porte à croire que ce sont les premiers.

2.C. Une étude métrologique exemplaire

L'étude qu'a faite A. Özdural de l'église Saint-Georges des Latins à Famagouste[192] peut être présentée comme modèle. Cette église gothique datant de l'occupation de Chypre par les Lusignan a été détruite par l'artillerie turque en 1570, et n'a pratiquement pas subi de modification depuis, quoique la plupart des pierres tombées aient été prises pour des remplois au XIX^{e} siècle. Il en reste la moitié nord et la base de l'abside.

L'auteur commence par une discussion très sérieuse des unités de mesures attestées par la documentation. Francesco Balducci Pegolotti, auteur de *La prattica della mercatura* (vers 1340), vivait à Chypre de 1325 à 1329, ce qui permet de préciser la valeur de la canne de Chypre, de 4

192 Alpay Özdural, "The church of St George of the Latins in Famagusta: A case study on medieval metrology and design techniques", dans *Ad Quadratum*, *op. cit*. n. 80, chap. 10, pp. 217-242.

aunes de 53 cm. On apprend que le pied de Roi, était réputé avoir été fixé par Charlemagne (en 789), ce qui était attesté par une verge de fer conservée dans le cabinet de l'Électeur Palatin au début du XVII^{e} siècle[193]. Les mesures ottomanes semblent héritées directement des mesures romaines. L'auteur mentionne aussi le pied phileterien donné comme valant $6/5$ du pied romain par Héron d'Alexandrie, soit 35,52 cm. L'aune des maçons ottomane serait de 2 de ces pieds, alors que l'aune des tisserands serait de 4 pieds romains. Selon P. Kidson[194] les maçons français utilisaient la toise de Notre-Dame de 4 pieds phileteriens jusqu'à ce quelle soit progressivement remplacée par la toise de Charlemagne au XIII^{e} siècle.

Après cette discussion sur les unités vient l'analyse des mesures. Le plan de l'église est très régulier, les proportions de chacune des 3 travées sont de 1:2, mesurées soit de mur à mur, soit entre l'axe des nervures (doubleaux). La 4^{e} travée et l'abside forment 5 côtés d'un octogone régulier, et les contreforts sont dans l'axe des nervures. Les dimensions les plus cohérentes sont obtenues en pieds romains (travée de 15 pieds sur 30, côté de l'abside de 12,5 pieds). L'auteur considère les multiples et sous-multiples du pied romain attestées : subdivisions en 18 doigts à l'époque romaine, ou en 12 pouces plus tardivement, coudée de 1,5 pied, pas de 2,5 pieds. Les valeurs des mesures en coudées sont 10, 20, et $8+1/3$. En pas, 6, 12, et 5. Le centre de l'octogone se trouve facilement par une construction géométrique[195]. Héron d'Alexandrie utilise un triangle 5, 12, 13 pour construire l'octogone[196]. Cette valeur approchée coïncide avec les mesures en pas.

A. Özdural se défend ensuite de ne pas donner de rapports $\sqrt{2}$ et nombre d'or comme le font d'autres auteurs, sur la base du fait que le "Moyen Age central définissait et pratiquait l'architecture comme de la géométrie appliquée"[197], et que l'usage de proportions numériques serait caractéristique de la Renaissance et inconnu du Moyen Âge. Ces affirmations n'empêchent pas l'auteur d'interpréter fort justement les proportions comme intervalles musicaux. La proportion 2:1 des travées correspond à une octave. La hauteur des colonnes est de 9 pas, ce qui forme une quinte avec la longueur de travée ($9/6=3/2$) et une quarte avec la largeur ($12/9=4/3$). Les sommets des doubleaux sont à 8 pas au-dessus des chapiteaux, ceux des ogives à 9. Ce qui, aux accords précédemment identifiés, ajoute le ton $9/8$. L'auteur identifie aussi des moyennes : la profondeur du chœur avec l'abside, 8,5 pas, est l'approximation de Héron de la moyenne géométrique de la longueur et de la largeur d'une travée (c'est-à-dire $\sqrt{6\times 12}=6\sqrt{2}\simeq 8.4853\simeq 8.5$). On voit aussi apparaître des moyennes arithmétique et harmonique[198]. Cependant, les références données par l'auteur à l'appui de ses comparaisons à des intervalles musicaux sont antiques : Pythagore, Platon,

---

193 *Cf.* Alexis J. P. Paucton, *Métrologie, ou, Traité des mesures, poids et monnaies des anciens peuples & des modernes* (Paris, 1780), p. 780.

194 Peter Kidson, *Systems of measurement and proportion in early medieval architecture*, thèse de doctorat, université de Londres, 1956.

195 La distance du doubleau à ce centre est égale à la demi-largeur de la nef multiplié par tg 22,5°. Sachant que $\text{tg}\,22{,}5\,°=\sqrt{2}-1$, il suffit de construire ce dernier nombre, ce qui est aisé.

196 Ce qui revient à utiliser $5/12$ comme valeur approchée de $\text{tg}\,\frac{\pi}{8}=\sqrt{2}-1$, l'erreur relative est de 0,6%.

197 "The High Middle Ages defined and practiced architecture as applied geometry", Otto von Simson, *The Gothic cathedral* (New York, 1956), p. 33.

198 La moyenne harmonique de deux nombres a et c est le nombre b tel que $\frac{b-a}{a}=\frac{c-b}{c}$; ici 9 est moyenne harmonique de 6 et 18 : $\frac{9-6}{6}=\frac{18-9}{18}$.

mais aussi Archytas, Iamblichus, Aristacus, Timaeus, Philolaus, Nicomachus sont cités, puis Boèce, et de là on passe à Francesco Giorgi et à la Renaissance. On trouverait pourtant aussi le nécessaire chez des auteurs médiévaux.

3. Techniciens et instruments

3.A. Le titre d'architecte, et la participation des religieux

On a beaucoup discuté pour savoir s'il fallait ou non donner le titre d'architecte aux concepteurs des édifices médiévaux ; John Harvey, dans son ouvrage intitulé *The Mediaeval Architect*[199], défend le titre. Si on prend comme lui le terme d'architecte dans un sens très large, il n'y a aucune raison de ne pas l'utiliser. La seule restriction est que cela n'autorise en aucune façon à projeter le contenu et les méthodes de la profession d'architecte contemporaine sur son homologue médiéval. Harvey combat des idées fausses, qui étaient encore répandues, sur l'absence d'artiste individuel, et l'anonymat des artistes. Il cite à cet effet des artistes médiévaux de renom, dès le XI^{e} siècle : Bernard, qui a construit la cathédrale Saint-Jacques de Compostelle vers 1071, qualifié de "*mirabilis magister*" ; Walter Coorland, envoyé à Poitiers vers 1025 par Emma, reine d'Angleterre, pour reconstruire Saint-Hilaire le Grand, selon la chronique de de Saint Maixent ; et d'autres postérieurs, dont la plupart sont bien connus.

Il est indiscutablement établi que l'on connaît donc le nom d'un assez grand nombre d'artistes, que certains d'entre eux avaient une grande renommée pour leur talent, et pouvaient s'enrichir appréciablement. Ainsi Peter Parler (1330 ou 1333-1399) possédait cinq maisons dans le centre de Prague[200]. Cependant cela implique-t-il qu'on les ait considérés comme des "artistes de génie" ? Le titre de *doctor lathomorum* qui figurait sur le tombeau de Pierre de Montreuil[201], qui est une espèce de superlatif du titre habituel de *magister*, présente le grand architecte comme quelqu'un d'exceptionnellement savant : l'expression met l'accent sur une compétence extraordinaire, mais qui n'est pas ce que nous entendons par génie. Guillaume de Sens est dit "*in ligno et lapide artifex subtilissimus*"[202], l'apôtre Thomas lui-même, quand Orderic Vital vante son talent d'architecte, est dit "*peritissimus artifex*"[97]. Ces épithètes n'expriment rien d'autre que de la compétence, fût-elle exceptionnelle (et quel que soit le génie que nous pouvons, à juste titre, mais de notre point de vue, attribuer aux architectes mentionnés ou à d'autres). En conclusion de son ouvrage sur la littérature médiévale, M. Zink fait observer "qu'à la différence de celles de l'antiquité et de l'époque moderne, la littérature médiévale ne fait guère appel à la notion d'inspiration et ignore celle de génie. [...] Les auteurs ne se vantent que de connaître leur sujet, de maîtriser leurs sources, d'écrire avec soin"[203]. Pourquoi le point de vue des hommes du Moyen Âge vis-à-vis de l'architecture et des arts plastiques serait-il foncièrement différent ? Ainsi le Moyen Âge pourrait avoir effectivement ignoré les artistes de génie, non que les personnes n'aient pas existé ou n'aient pas été connues, ni même reconnues, mais que le concept même d'artiste de génie soit tout simplement anachronique. G. Binding mentionne lui aussi un assez grand nombre de personnages qualifiés d'"architectes" (*architectus*), avec les épithètes *sapiens*, *fidelis*, *prudens*, ou *theoreticus*, entre le X^{e} et le XIII^{e}

199 J. Harvey, *op. cit*. n. 70.
200 G. Binding, *op. cit.* n. 3, p. 245.
201 Pierre du Colombier, *Les chantiers des Cathédrales* (Paris, Picard, 1973), p. 65.
202 Gervase of Canterbury, *op. cit.* n. 110, p. 6.
203 M. Zink, *op. cit.* n. 79, p. 354.

siècles, mais il s'agit ici d'hommes d'église[204]. Il y a sans doute là une allusion au passage de l'Épître aux Corinthiens déjà cité[108], et il ne faudrait pas croire que ces religieux ont eux-mêmes les compétences et l'activité du maître d'œuvre. En effet, du moins si l'on suit l'opinion de J. Harvey[205], il y aurait eu très peu de religieux architectes. Sur environ 1200 architectes anglais connus ou supposés entre 1050 et 1550, seulement 18 seraient clercs. Et encore, certains ne seraient que maçons, et les rares architectes l'étaient déjà avant d'entrer en religion. Cependant son décompte est biaisé : d'une part, la documentation étant beaucoup plus abondante à la fin du Moyen Âge, une statistique portant sur l'ensemble de la période ne rend pas correctement compte du début de celle-ci. D'autre part, J. Harvey raisonne en grande partie sur des contrats. Or, si le maître maçon est moine de l'abbaye, il n'y a pas de raison de faire un contrat entre lui et celle-ci, et il n'apparaîtra pas dans la documentation[206]. Enfin, pourquoi le mot *architectus* ne désignerait-il pas le maître d'œuvre ? D'autres textes[207] montrent que ce terme est utilisé dans ce sens à la même époque (X^{e} - XIII^{e} siècles).

Ce n'est pas le lieu ici de résoudre cette controverse, cependant je doute que la "légende romantique" critiquée par Harvey soit totalement dénuée de fondement. Par exemple, la chronique de Saint-Bénigne de Dijon de 1060 dit que, en 1001, l'évêque de Langres Brunon finance et fait venir les matériaux et colonnes, alors que l'abbé Guillaume de Volpiano construit l'édifice, en dirigeant lui-même le travail et les artisans[208]. Le texte nomme ici explicitement l'évêque comme maître d'ouvrage et l'abbé comme maître d'œuvre, indiquant que ce dernier rôle a aussi pu être rempli par des ecclésiastiques. D'autres documents montrent des religieux à l'ouvrage ; par exemple, en 1164 l'abbé Pierre de l'abbaye d'Andres à Boulogne sur mer, mesure lui-même les pierres, alors que les moines et convers portent les pierres et le mortier[209].

Le récit d'un accident survenu en 1166 dans l'église de Ninove sur la Dendre, en Flandres, met en scène des religieux. L'église avait été commencée en 1157 ; quand l'arc triomphal a été achevé par les maçons, deux chanoines, le frère du prieur et un autre diacre sont montés jusqu'au cintre et on commencé à l'enlever ; à ce moment l'arc s'est effondré et les frères sont tombés avec lui[210]. Il

204 G. Binding, *op. cit.* n. 3, pp. 17-18.

205 J. Harvey, *op. cit.* n. 70, p. 81 sq.

206 Cette remarque est aussi valable en ce qui concerne le travail des religieux à d'autres niveaux de qualification, et la main d'œuvre bénévole laïque.

207 G. Binding, *op. cit.* n. 3, p. 20.

208 Louis-Émile Bougaud, *Joseph Garnier, Chronique de l'abbaye de Saint-Bénigne de Dijon ; suivie de la chronique de Saint-Pierre de Bèze publiées d'après les textes originaux* (Dijon, Darantiere, 1875), p. 138 : "*in cuius basilice miro opere Domnus Presul expensas tribuendo, as columnas marmoreas ac lapideas undecumque adducendo, et Reverendus Abbas magistros conducendo, et ipsum opus dictando, insudantes, dignum divino cultui templum construxerunt*" (cité par G. Binding, *op. cit.* n. 3, p. 341).

209 V. Mortet, *op. cit.* n. 95 n°153, p 390, cité par G. Binding, *op. cit*. n. 3, p. 341. Le texte complet est le suivant : "*Sed pastor intrepidus, ibi minas non metuens ubi alii metuebant, viris se ab opere subtrahentibus, monachos et conversos, mulieres tam mundanas quam conversas, ad opus ceptum invitabat, et ad portandum lapides aut cementum ad quodlibet vehiculum, quod vulgo dicitur chiveria, ex una parte feminam, ex altera vero monachum novo laborandi genere operari monens instruebat. Nec ipse tamen a ceptis desiit vel otio idulsit, sed assidue, cuculla(m) precinctus, cum ligno vel virgula geometrica lapides metiens et vehiculo superponens, et ipse laborabat et alios exemplo sui ad laborem viriliter incitabat, representans in se et in sibi subditis filios antique transmigrationis, qui templum Dei eversum et profanatum una manu edificabant et altera contra inimicos pugnabant.*"

210 W.W. Rockwell (éd), *Liber miraculorum S. Cornelii Ninivensis*. (Diss. Göttingen 1914), p. 75,

en ont réchappé par l'intervention miraculeuse de saint Corneille, qui nous a valu le fait que l'histoire en soit conservée. Le récit de ce miracle montre que des religieux pouvaient aller faire un travail demandant la compétence de maçons. On a prétendu que cela n'est pas possible parce qu'ils n'avaient pas eux-même cette compétence : selon cette histoire, il semble que ça ne les en empêchait pas, et qu'il pouvait en résulter des accidents. Le récit de miracle sous-entend en effet que des accidents du même type se produisaient couramment, mais pas sans mal.

Pour finir je mentionnerai un tableau du XV^{e} siècle, redessiné dans l'ouvrage de G. Binding[211], qui montre la fondation du monastère de Saint-Leonhard à Tamsweg près de Salzburg, et dans lequel on voit des moines (ou convers) travaillant comme maçons, tailleurs de pierre, morteliers et manœuvres sur le chantier ale[212]. .

3.B. Les mesures et instruments de mesure selon les textes et l'iconographie

Une fresque de l'église Saint-Clément de Bonn-Schwarzrheindorf[213] montre un personnage tenant une canne à mesurer d'une main, et mesurant le tour de la ville à l'aide d'un cordeau de l'autre. G. Binding mentionne plusieurs miniatures montrant la canne à mesurer, appelée *pertica* ou *virga* dans les textes. Celle-ci est utilisée par deux personnages dans plusieurs manuscrits de la Psychomachie de Prudence des X^{e} et XI^{e} siècles[214]. Un Marcianus Capella, copié en Allemagne du Sud vers 1000[215], montre une canne à mesurer très fine et plus longue que le personnage. Les exemples sont nombreux. La canne à mesurer ou perche comprend 6 coudées ou 12 pieds, ce qui suivant la valeur du pied peut mener de 2,7 à 4 m[216]. On trouve des mentions très anciennes de mesures en perches. Dès 721, Bède, dans la vie de saint Cuthbert, précise que la première habitation construite par le saint mesurait 4 ou 5 perches (*perticas*) d'un mur à l'autre[217]. Gerbert d'Aurillac,

---

http://www.bookprep.com/read/uc1.b154522 (cité par G. Binding, *op. cit*. n. 3, p. 434).

211 G. Binding, *op. cit.* n. 3, Fig. 69 p. 295, "Gründung des Klosters St Leonhard in Tamsweg bei Salzburg, Tafelmalerei 1452/61".

212 On peut ajouter quelques exemples tirés de l'ouvrage d'Alain Erlande-Brandenbourg, *De pierre, d'or et de feu, La création, artistique au Moyen Âge IV^{e}-XIII^{e} siècle* (Paris, Fayard, 1999) : Ratgar à Fulda, "qui avait commencé les travaux de reconstruction sous l'abbé Baugulf, lui succéda en 802, [...] il s'agit d'un homme de métier mais aussi d'un intellectuel capable de diriger administrativement et religieusement une abbaye." (pp. 106-107) ; Eginhard, "Architecte, il a conçu et dirigé le construction des deux monastères qu'il avait fondés, cumulant maîtrise d'ouvrage et maîtrise d'œuvre" (p. 107) ; "Tuotilo, moine à Saint-Gall au tournant du X^{e} siècle (895-912), devient l'artiste idéal [...] expert dans toutes les techniques - architecture, sculpture, peinture, orfèvrerie, enluminure -" (p. 134) ; Guillaume de Volpiano, à Saint Bénigne de Dijon, ""apparaît finalement comme le concepteur, le financier, peut-être même l'architecte du chantier" (p. 139) , Fulbert évêque de Chartres (1006-1028) : ""La conception relève, si l'on en croit les textes, de Fulbert qui prit soin d'en surveiller la réalisation (*industria sua*)" (p. 141). Pour la période suivante, ""à côté de laïcs qui semblent représenter la masse la plus importante subsistent des religieux", par exemple le moine Ponce à l'abbaye de Montierneuf à Poitier vers 1080 ; Géraud de Latofave qui construisit l'église de Saint-Julien à Tulle ; le moine qui a édifié le prieuré de Correns dépendant de Montmajour ; Jean, moine à la Trinité de Vendôme, actif au Mans (pp. 166 *sq.*).

213 Église Saint-Clément de Bonn-Schwarzrheindorf, voûte de la chapelle inférieure, 1151-1156 ; G. Binding, *op. cit.* n. 3, Fig. 110 p. 341 ; voir aussi http://www.flickr.com/photos/nemoleon/711860860/.

214 G. Binding, *op. cit*. n. 3, Fig. 111 p. 343.

215 Vienne, Österr. Nat. Bibl., Cod. 177, fol. 14 r, dans G. Binding, *op. cit*. n. 3, Fig. 112 p. 343.

216 G. Binding, *op. cit*. n. 3, p. 342.

217 J.A. Giles (éd), *The Complete Works of Venerable Bede,* (London, Whittaker and Co., 1843). De Vita

dans son *Livre de la Division des Nombres*, spécifie les rapports entre les diverses unités de mesures. Elles sont toutes qualifiées de mesures agraires (*agrestium mensurarum*), même le doigt. Cependant, une discontinuité très nette entre la perche de 10 pieds, et le stade de 125 pas permet de distinguer deux types de mesures : celles destinées aux dimensions des objets et des bâtiments, et mesures itinéraires (ou agraires au sens où nous l'entendons). La perche est la plus grande unité de la première catégorie[218].

L'autre instrument servant à mesurer est la *linea*, le cordeau à mesurer, que l'on a souvent du mal à distinguer du cordeau à tracer dans les sources[219]. Les cordeaux étaient fixés à des piquets, et les points qu'ils définissaient matérialisés par ceux-ci. W. Weyres a trouvé des traces de piquets dans la chapelle d'axe de la cathédrale de Cologne[220].

Les tracés étaient souvent effectués sur un enduit de plâtre posé sur une aire réservée à cet effet sur le sol de la "chambre aux trait". Ces dispositifs sont documentés à partir du XIV^e^ siècle. On en conserve quelques uns de l'époque gothique tardive, à Lorch, à Wells, sur un dallage de pierre d'environ 3,5 sur 4,5 m, et à York ; ce dernier, de 8 m sur 5 m, date des années 1360. Une pierre retrouvée à Gloucester, réemployée dans une cheminée, a été utilisée pour de nombreux tracés, soit qu'elle ait fait partie du pavage d'une "chambre aux traits", soit qu'elle ait été utilisée indépendamment comme une sorte de table à tracer[221]. On conserve aussi quelques planches à dessins : les unes réutilisées pour faire les volets du "Böhmischen Altar" à la cathédrale de Brandebourg (3^e^ quart du XIV^e^ siècle), et deux autres conservées au musée de la cathédrale de Gérone[222].

Au XII^e^ siècle, Théophile, dans le chapitre sur le vitrail de son Essai sur divers arts, décrit en détail une table pour dessiner. Il est remarquable que c'est le seul endroit de son ouvrage où il soit question d'un dessin préparatoire. De plus, le report du dessin sur le verre se fait uniquement par

---

Et Miraculis Sancti Cuthberti, Episcopi Lindisfarnensis., Chap XVII. : "*Est autem ædificium situ pæne rotundum, a muro usque ad murum mensura quatuor ferme, sive quinque, perticarum distentum*."

218 Gerbert, *Lib. de numerorum divisione*, PL 139, col. 90-91 :
"*Cap XVI; De protensione quarundam mensurarum terrae.*
Digitus est minima pars agrestium mensurarum.
Uncia habet digitos tres.
Palmus in quatuor protenditur digitos.
Pedem sedecim metiuntur digiti.
Passus quinque pedum mensuram sortitur.
Pertica duos passus, videlicet decem pedes explicat.
Passus centum et viginti quinque stadium absolvunt.
Stadia octo milliarium praestant.
Mille passus, id est milliarium et dimidium, leucam faciunt, habentem passus mille et quingentos.
Duae leugae, sive milliaria tria, restam efficiunt.
Quidam leucam, pro leuva legunt.
Ambitus totius terrae ducentorum quinquaginta duorum millium stadiorum absolvitur [...]*"*
http://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k5768144b/f45.image.r=.langFR.

219 G. Binding, *op. cit.* n. 3, p. 344.

220 *Ibid.*, p. 348, qui renvoie à Willy Weyres, "Das System des Kölner Chorgrundrisses", *Kölner Domblatt* n° 16/17, pp. 97-105 (1959).

221 R.H. Adamson, art. cit. n. 126. L'auteur qualifie cette pierre de "design slab".

222 G. Binding, *op. cit*. n. 3, p. 226-227.

transparence. Théophile explique même comment s'y prendre si le verre n'est pas assez transparent, à l'aide de verre blanc et en l'élevant à la lumière[223].

223 Théophile, *Essai sur divers arts en trois livres*, trad. chanoine J. J. Bourassé, revue par André Blanc (Paris, Picard, 1980), p. 81 :
"Lorsque vous voudrez faire des fenêtres de verre, ayez d'abord une table de bois bien égale, d'une longueur et largeur suffisantes pour que vous puissiez y travailler deux parties de chaque fenêtre. Prenez de la craie que vous raclerez avec un couteau sur toute la table, versez de l'eau par-dessus, et frottez partout avec un linge. Lorsqu'elle sera sèche, prenez la mesure d'une partie de la fenêtre, en longueur et en largeur ; vous la représenterez sur la table avec un compas et une règle, en marquant avec du plomb ou de l'étain ; et si vous voulez lui donner une bordure, tracez-la de la grandeur que vous voudrez, et indiquez les ornements que vous jugerez convenables. Après cela, dessinez les figures que vous voudrez d'abord avec du plomb ou de l'étain, et ensuite avec du rouge ou du noir, en ayant soin de bien faire tous les traits, parce qu'il sera nécessaire, lorsque vous peindrez le verre, d'unir les ombres et les lumières, d'après la table. Vous disposerez ensuite les vêtements variés ; notez la couleur de chacun à sa place ; et pour tout ce que vous voudrez peindre, vous en indiquerez la couleur avec une lettre. Après cela, prenez un vase de plomb et mettez-y de la craie broyée à l'eau ; faites-vous deux ou trois pinceaux de poil, à savoir de queue de martre, ou de petit-gris, ou d'écureuil, ou de chat, ou de crinière d'âne. Prenez un morceau de verre du genre que vous voudrez, plus grand de toutes parts que l'endroit où il doit être placé ; mettez- le à plat sur cet espace ; et suivant les traits que vous apercevrez sur la table à travers le verre, tracez sur le verre avec la craie des traits extérieurs seulement. Si le verre est trop épais pour que l'on puisse voir au travers les traits marqués sur la table, prenez un morceau de verre blanc, et indiquez les traits dessus ; lorsqu'il sera sec, mettez le verre épais sur le verre blanc, élevez-le au jour, et tracez les traits comme vous le verrez. De la même manière, vous indiquerez toutes les espèces de verre pour la figure, les vêtements, les mains, les pieds, la bordure et tous les endroits où vous voudrez qu'il y ait des couleurs."

2. Mathématiques, numérologie et sciences exactes

1. Le *quadrivium* et l'arithmétique

On considère en général que le *quadrivium* décrit l'ensemble des matières formant l'enseignement "scientifique" de l'université médiévale, le *trivium* en constituant la contrepartie "littéraire". Hugues de Saint-Victor donne dans le *Didascalicon* la définition du *quadrivium* : les mathématiques se divisent en arithmétique, musique, géométrie, astronomie. L'astronomie étudie la grandeur mobile, la géométrie la grandeur immobile, l'arithmétique la grandeur en soi (*quae per se est*), la musique la grandeur relative à quelque chose (*quae ad aliquid est*)[1]. La répartition des matières entre *trivium* et *quadrivium* ne correspond cependant pas vraiment aux divisions réelles de l'enseignement[2]. Immédiatement avant cette définition, Hugues a fait la distinction entre une quantité continue (*continua*), appelée grandeur (*magnitudo*) et une quantité discrète (*discreta*) appelée multitude (*multitudo*), mais il n'en a pas tenu compte dans la subdivision que je viens de rapporter : l'arithmétique considère les nombres entiers, c'est-à-dire les quantités discrètes. En effet, ceux-ci se caractérisent d'emblée par le fait qu'ils peuvent être pairs ou impairs[3].

Gundissalvi, à la suite d'Al Farabi dont il amplifie largement la *Classification des sciences*, donne une autre délimitation des mathématiques ; il divise celles-ci en sept "arts", qui sont l'arithmétique, la géométrie, la musique, l'astronomie, l'optique, la science des poids et la science des "ingénieurs"[4], rajoutant les trois derniers au *quadrivium* tel que le définit Hugues. Seules les deux premières de ces sciences sont actuellement considérées comme des mathématiques ; la musique mise à part, le reste fait pour nous partie de la physique (ou des sciences de l'ingénieur). Mais Gundissalvi considère les mathématiques comme une science fondée sur un type bien défini de raisonnement : le syllogisme[5].

Nous discuterons plus loin de ce que pouvaient contenir les sciences des poids et des ingénieurs, de première importance pour l'architecture. La musique, du point de vue de la science médiévale, est bien davantage une théorie de l'harmonie, que l'art du chanteur ou de l'instrumentiste. Elle ne se restreint donc pas réellement aux harmonies sonores, et nous aurons à y

1 Hugues de Saint-Victor, *Didascalicon*, livre II, chap. 7, PL 176, col. 755.
Voir aussi http://www.thelatinlibrary.com/hugo.html.

2 *Cf.* Sten Ebbesen et Irène Rosier-Catach, "Le trivium à la faculté des arts", dans Olga Weijers et Louis Holtz (éd.), *L'enseignement des disciplines à la faculté des arts. (Paris et Oxford, XIII-XV siècles)* (Turnhout, 1997), pp. 97-128.

3 Le chap. 12 du livre II du *Disdascalicon,* intitulé *de arithmetica,* commence par "*Arithmetica materiam habet parem et imparem numerum*", et se poursuit par quelques considérations tout à fait analogues.

4 Dominicus Gundissalinus, *De divisione philosophiae,* éd. Ludwig Baur (Münster, 1903) http://capricorn.bc.edu/siepm/books.html. Al Farabi, *Kitab ihsa' al-'ulum.* L'édition de référence est celle de Angel Gonzalez Palencia, *Alfarabi, Catalogo de las ciencias* (Madrid, 1932), qui contient l'original arabe, une traduction en Castillan (http://www.documentacatholicaomnia.eu/04z/z_0870-0950_Alpharabius_De_Scientiis_Ihsa_Ulum_ES.pdf.html), et les deux traductions médiévales de Gundissalvi et Gérard de Crémone. La liste de Gundissalvi est la même que celle d'Al Farabi, à l'ordre près. Cette dernière est en effet : arithmétique, géométrie, optique, astronomie, musique, science des poids, science de l'ingénieur.

5 Dominicus Gundissalinus, *op. cit.* n. 4, p. 32 : "*Instrumentum uero mathematice uniuersaliter est demonstracio. Demonstracio autem est sillogismus constant ex primis et ueris proposicionibus*."

revenir à ce titre. L'astronomie et l'optique ayant peu d'incidence sur l'architecture, nous les laisserons de côté. Il serait cependant dommage de ne pas mentionner les progrès essentiels de l'optique dus à Ibn Al Haytham, connu en occident sous le nom d'Alhacen[6] dont le *Traité d'optique* (*Kitab al-Manazir*) fut traduit en latin vers 1200.

Toujours à la suite d'Al Farabi, Gundissalvi distingue deux parties à l'arithmétique, pratique et théorique[7]. L'arithmétique pratique est celle qui sert à compter, c'est-à-dire le calcul, alors que l'arithmétique théorique correspond aux propriétés intrinsèques des nombres, qui sont essentiellement celles associées à la divisibilité. Cette deuxième partie est donc assez proche, du moins dans son objet, de ce que les mathématiciens d'aujourd'hui appellent arithmétique. Cependant les mêmes propriétés, beaucoup plus difficiles à établir avec les outils mathématiques médiévaux qu'avec les nôtres, exerçaient alors une fascination beaucoup plus grande, qui débouchait sur la symbolique des nombres et la numérologie.

Quant aux calcul, si l'on excepte quelques spécialistes, astronomes et computistes en particulier, c'est surtout aux commerçants qu'ils sont utiles[8], ainsi qu'aux autres professions amenées à compter de l'argent, comme les banquiers et les agents du fisc. Ils se limitent aux quatre opérations. Gundissalvi fait une mention particulière de la multiplication par 2, et mentionne les racines (carrées), mais sans envisager d'algorithme spécifique pour les déterminer[9].

Les techniques de calcul utilisent soit l'abaque dit "à jetons", soit l'abaque dit "à poussière". Les deux sont basés sur la numération décimale, et contiennent une colonne pour les unités, une pour les dizaines, etc. La différence entre eux consiste en ce que le premier utilise un jeton pour chaque unité (et d'autres pour les groupes de 5), alors que le second, connu au Moyen-Âge sous le nom d'"algorisme", note les quantités dans chaque colonne par les chiffres arabes (ou indo-arabes) de 1 à 9. Le zéro, qui ne pouvait être considéré comme un nombre à l'époque, était indiqué par une case vide, comme dans l'abaque à jetons. Un signe spécifique apparaît à partir du milieu du XII^{e} siècle. L'abaque "à poussière" est une surface plane recouverte de poussière ou de sable fin sur laquelle les signes sont tracés avec le doigt. Les algorithmes s'effectueront ensuite sur papier. Cette nouvelle manière apparaît dès le XIII^{e} siècle avec la baisse du coût du support, et est documentée

6 Abu Ali al-Hasan ibn al-Hasan ibn al-Haytham (965-1039).

7 Dominicus Gundissalinus, *op. cit.* n. 4, p. 90 : "*arithmetica est sciencia de numero. Numrerus autem duobus modis consideratur ; scilicet prout est in sensibilibus et in non sensibilibus, et prout consideratur abstractius per intellectum ab omni eo, in quo est.* [...] *In sensibilibus ergo et non sensibilibus consideratur cum est numerans uel numeratus ; abstractus uero est, cum nec est numerans, nec nuemeratus*."
Ce texte suit d'assez près le début de l'article III de la *Classification des sciences* d'Al Farabi[4], p. 13 de la traduction en Castillan.

8 Dominicus Gundissalinus, *op. cit.* n. 4, p. 91 : "*In materia considerantur, cum attenditur ut aliquid eo numeretur, quemadmodum utuntur eo in commerciis et in negociacionibus.*" En ce qui concerne les astronomes, leurs besoins en techniques de calcul sont plus importants. Les tables alphonsines ainsi que leurs commentaires parisiens du XIII^{e} siècle utilisent la trigonométrie, *cf.* les éditions de Fritz S. Pedersen, http://www.igl.ku.dk/fsp/texts2009/index.html.

9 On trouve les racines carrées soit en multipliant, soit en divisant : il semble bien que ce soit par tâtonnements. Voici le texte : "*Partes uero practice principaliter due sunt, scilicet sciencia coniungendi numeros et sciencia disiungendi. set sciencia coniungendi alia est sciencia aggregandi, alia duplandi, alia multiplicandi. sciencia uero disiungendi alia est diminuendi, alia diuidendi. sciencia uero radices numerorum inueniendi sub utraque continetur, quoniam numeri radix utroque modo invenitur, scilicet multiplicando et diuidendo*" (Dominicus Gundissalinus, *op. cit.* n. 4, pp. 92-93).

par plusieurs traités du XV^e^[10]. Elle s'inscrit dans le processus général de passage d'une culture profane orale à une culture écrite.

Les algorithmes utilisés sont pratiquement identiques aux algorithmes modernes. Une variante ancienne de cette technique est l'abaque de Gerbert d'Aurillac (entre 945 et 950-1003)[11], qui utilise des jetons sur lesquels sont marqués les signes. En ce qui concerne les algorithmes de division, l'abaque utilise une approximation par excès du diviseur qui permet de calculer le reste par addition plutôt que par soustraction. L'algorisme suit l'algorithme moderne, la présentation matérielle (sur la poussière) des calculs seule diffère[12].

Par ailleurs, l'abaque à jetons a été utilisé fort tard par les marchands. P. Portet cite plusieurs traités écrits au XVI^e^ siècle et réédités jusque tard dans le XVII^e^[10]. Ce dispositif présente l'avantage de dispenser de l'apprentissage des tables. Il est même utilisable par des marchands "qui ne savent ni lire ni escrire" selon un traité édité à Lyon au début du XVI^e^ siècle. Enfin, il permet en cas de besoin de mélanger système décimal et duodécimal (ou tout autre) sans effort supplémentaire[13].

2. Mesurer l'espace

2.A. Agrimensores

On conserve sous le nom de *Corpus Agrimensorum* un "recueil de courts ouvrages en latin, de dates très variables", relatifs à l'arpentage[14]. "Beaucoup de ces traités contiennent des illustrations, dont la plupart sont très bien conservées". À trois passages remontant au I^r^ siècle avant J.-C. près, leurs dates vont de la fin du I^r^ siècle après J.-C. au VII^e^, avec des extraits d'Isidore de Séville.

Un des traités les plus importants est dû à Frontin (*Sextus Julius Frontinus*), un "homme très compétent", qui s'est illustré politiquement et militairement en Grande-Bretagne dans les années 70 de notre ère, et est l'auteur de "deux traités de guerre" et de l'ouvrage d'arpentage en question, probablement rédigés tous trois sous le principat de Domitien (81-96).

D'autres sont dus à un certain Hygin, dont on ne sait rien mais que l'on confond fréquemment avec un affranchi et bibliothécaire d'Auguste du même nom (*Caius Julius Hyginus*) qui, lui, "écrivit un ouvrage, aujourd'hui perdu, sur les origines et la topographie des villes italiennes". Les ouvrages d'arpentage encore existants qui lui sont attribués doivent être plus tardifs.

Les connaissance mathématiques des Agrimenseurs consistent essentiellement en une série de formules de calcul d'aires, qui est résumée dans le livre V du *De re rustica* de Columelle. Celui-ci

10 Pierre Portet, "Les techniques du calcul élémentaire dans l'Occident médiéval : un choix de lectures", dans Natacha Coquery, François Menant et Florence Weber (éd.) *Écrire, compter, mesurer : vers une histoire des rationalités pratiques* (Paris, Éd. Rue d'Ulm, 2006), p. 51-66. <halshs-00134982>

11 On pense que Gerbert aurait recueilli ces connaissances mathématiques lors de son séjour en Catalogne entre 967 et 969. *Cf.* G. Beaujouan, *Par raison de nombres: l'art du calcul et les savoirs scientifiques médiévaux* (Aldershot/Brookfield, Variorum reprints, 1991), chap. I, "L'enseignement du *quadrivium*", en particulier.

12 Une description des algorithmes de l'abaque de Gerbert et de l'algorisme est donnée dans G. Beaujouan, *op. cit.* n. 11, chap. XI : "L'enseignement de l'arithmétique élémentaire à l'université de Paris aux XIII^e^ et XIV^e^ siècles".

13 On peut citer par exemple un abaque portable romain contenant 6 boules dans la rainure la plus à droite, marquée O pour once. https://interstices.info/jcms/c_15272/machines-a-calculer.

14 Tout ce paragraphe sur les agrimenseurs est tiré de l'ouvrage d'Oswald A.W. Dilke, *Les arpenteurs de la Rome antique* (APDCA, Sophia Antipolis, 1995).

donne d'abord les formules usuelles pour l'aire du carré, du rectangle, du trapèze. Il donne une formule qui permet de calculer l'aire d'un triangle équilatéral connaissant son côté. Celle-ci repose sur l'approximation $\frac{1}{2}\cos 30° = \frac{\sqrt{3}}{4} \simeq \frac{1}{3} + \frac{1}{10}$, soit $\sqrt{3} \simeq 1.7333...$; l'erreur est inférieure à 0.8‰. On trouve ensuite l'aire du triangle rectangle, qui ne pose pas de difficultés. Pour obtenir l'aire d'un disque, une approximation de π est nécessaire ; plus précisément, $\frac{\pi}{4}$ est approché par $\frac{11}{14}$, ce qui donne une valeur approchée de π voisine de 3.14286 : l'erreur n'est que de 0,4‰. Columelle traite ensuite le cas du demi-cercle, ce qui n'apporte rien de plus. Puis il donne une formule approchée pour le calcul de l'aire S d'un secteur circulaire, $S = (b+h)\frac{h}{2} + \left(\frac{b}{2}\right)^2 \times \frac{1}{14}$, où b et h sont respectivement la corde et la flèche du secteur. Cette formule semble empirique, mais fonctionne avec une précision meilleure que 4‰ pour les secteurs dont les angles sont plus grands que 90°, et encore meilleure pour les angles voisins de 180°. Le dernier cas mentionné est la superficie de l'hexagone régulier, mais c'est une conséquence directe de celle du triangle équilatéral. Ce sont des formules pratiques, d'une excellente précision pour les applications envisagées, sans chercher à être exactes du point de vue mathématique.

Un procédé décrit par Hygin pour l'orientation est assez intéressant (Fig. 10) : on trace un cercle sur le sol et un bâton vertical (gnomon) est planté en son centre (G). On relève la position de l'extrémité de l'ombre du gnomon avant et après qu'elle franchisse le cercle (points A, B, C, et D). Les intersections des lignes droites AB et CD avec le cercle donnent 2 points E et F qui sont très proches de ceux où l'ombre coupe le cercle : la direction du sud S passe par le milieu de EF. Ce procédé permet évidemment une bien plus grande précision que celui qui consiste à chercher la direction de l'ombre la plus courte. Reste à savoir s'il a été employé au Moyen Âge.

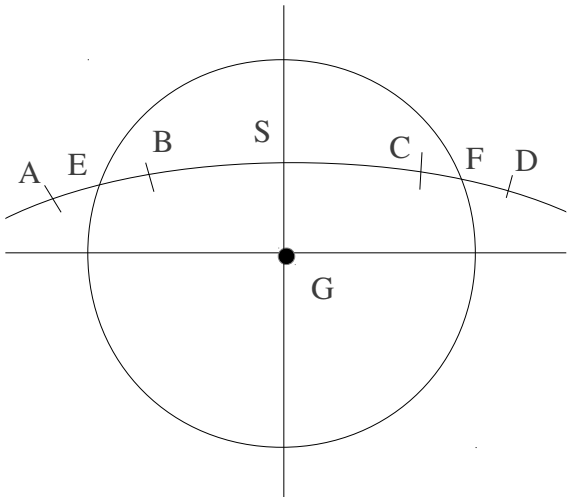


Figure 10. Procédé décrit par Hygin pour établir l'orientation préalable au travail d'arpentage.

Un des instruments les plus importants des agrimenseurs est la *groma* : c'est un dispositif qui permet d'établir un angle droit dans un plan horizontal, par deux visées perpendiculaires. Il se compose d'une croix métallique (en fer ou en bronze) supportée par un pied. Des fils à plomb sont

suspendus aux extrémités des bras, la visée se fait à l'œil nu, dans l'alignement de deux de ces fils[15]. La précision des lotissements (centuriations) conservés montre quelle précision on pouvait obtenir avec ce dispositif très simple.

Comme instruments de nivellement, on doit citer le c*horobate*, niveau à eau décrit par Vitruve[16], qui "servait surtout au nivellement des aqueducs et n'est en fait jamais mentionné par les auteurs du Corpus. [...] On lui préférait des instruments de nivellement portables, tels l'équerre de charpentier (*norma*) et le niveau avec fil à plomb (*libra*, *libella*), qui ressemblait au triangle de mineur du XIX^{e} siècle, le fil à plomb recouvrait une ligne verticale tracée sur la face antérieur de la traverse, et les visées s'effectuaient au sommet de la traverse".

Des instruments de mesure de longueurs on été retrouvés dans un atelier d'agrimenseur fouillé à Pompéi : "une règle pliante à deux articulations, longue d'un pied romain ; il en existe d'autres exemplaires au musée de Naples". Cependant la principale mesure d'arpentage est la perche de deux pas, c'est-à-dire 10 pieds. Celle-ci était munie d'embouts métalliques à ses extrémités, dont des exemplaires ont été retrouvés à Pompéi et à Enns en Autriche[17]. Héron d'Alexandrie mentionne aussi "des cordes ou des cordeaux doublés, enduits de cire", mais on n'en a rien conservé. D'ailleurs, "le mot *pertica* en italien et en espagnol, signifie "perche d'arpenteur", et *perticatore* est le nom italien de l'arpenteur". L'unité de longueur pour la centuriation (c'est-à-dire la division du territoire de la colonie en lots carrés) était l'*actus,* qui valait 120 pieds romains. Par contre, "il est clair que les plans d'urbanisme n'étaient pas du ressort de l'arpenteur. Les mesures y étaient prises en pieds, et non pas en actus ; il n'y avait pas de centuriation".

D'autres instruments sont mentionnés par Héron d'Alexandrie, notamment la *dioptra*, sorte de théodolite ou goniomètre, permettant de mesurer des angles verticaux ou horizontaux, "son appareil, très sophistiqué, n'a pas dû être utilisé par les arpenteurs romains". Un autre engin de Héron est un hodomètre.

2.B. Comment l'arpentage antique est-il perçu au Moyen Âge ?

Le dernier document mentionnant un *agrimensor* serait une lettre de Grégoire le Grand, datée de 597. Les copie médiévales du *Corpus* contiennent des erreurs qui sont essentiellement dues à l'incompréhension des copistes, mais on conserve des manuscrits anciens. "On sait que, vers 981, l'abbé Gerbert [...] étudia les travaux des *Agrimensores* au monastère de Bobbio," et on pense avoir identifié le manuscrit en question parmi ceux conservés[18].

Un des traités du Corpus, celui de Nipsus, propose une méthode pour mesurer la largeur d'une rivière. Il est intéressant de la comparer à celle que propose Villard de Honnecourt, *cf.* Fig 11[19] ; l'astuce n'est pas du tout la même. La solution de Nipsus demande un angle droit et beaucoup de place libre sur la rive où l'on mesure, *cf.* Fig. 12[20]. Celle de Villard requiert soit un calcul, soit plus probablement une 2^{e} visée avec déplacement du dispositif, source d'imprécision ou d'erreur. Les

---

15 *Cf.* O. Dilke, op. cit. n. 14, p. 76.

16 Vitruve, *de Architectura*, livre VIII, chap. V, 1.

17 *Cf.* O. Dilke, op. cit. n. 14, p. 77.

18 Il s'agirait de l'Arcerianus A, conservé dans la Herzog August Bibiliothek de Wolfenbüttel.

19 *Carnet*, fol. 20 r, n° 39l.

20 La Fig. 12 est dessinée d'après O.A. Dilke, *op. cit.* n. 14, p. 68, Fig. 12, qui est accompagnée du commentaire : "Reconstitution par C.C. Lange du schéma imaginé par Nipsus". "D'après Nipsus, *Varatio fluminis* (La 286, fig 208)".

deux méthodes, quoique différentes, font cependant appel à la même géométrie.

Figure 11. Villard de Honnecourt : Par chu prent on la largece d'one aive sens paseir[19].

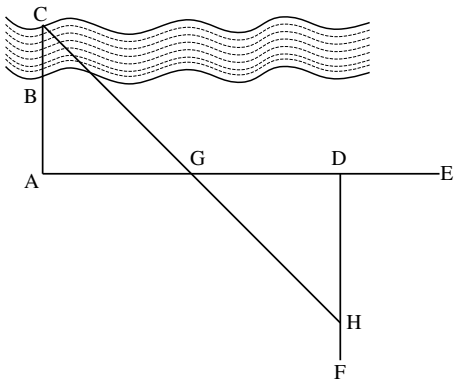


Figure 12. Méthode pour mesurer la largeur d'une rivière, "CAG et GDH sont des triangles homothétiques". D'après O.A. Dilke[20].

Vincent de Beauvais mentionne dans le *Speculum Naturale* la "science universelle de la mesure"[21]. Il s'agit en fait des cinq postulats d'Euclide, accompagnées des "notions communes" qui les complètent dans les Éléments[22]. Ainsi la science de la mesure semble être, pour Vincent, la géométrie dans ce qu'elle a de plus général. Le chapitre suivant cependant, sur la "mesure des espaces"[23], présente un point de vue assez différent. Il contient plusieurs passages tirés des *Étymologies* d'Isidore de Séville, d'abord le chap. XV du livre 15, *de mensuris agrorum,* qui énumère des divisions de l'espace de la province au doigt. On y retrouve entre autre la perche, *pertica* : "*Est enim decem pedum ad instar calami in Ezechielo templum mensurantis*." La fin du chapitre, à partir de la définition de l'*actus* incluse, est omise, ce qui montre que cette mesure est complètement désuète au XIII^{e} siècle. Vincent passe alors au chapitre suivant (chap. XVI, *de itineribus,* incomplet), qui comme son titre l'indique, présente les mesures itinéraires, en particulier le stade. Puis il revient au chap. XIV, *de finibus agrorum,* qui donne les définitions des *limites*, *cardo*, *decumanus.* Enfin il en vient aux mesures de capacité avec le chap. XXVI du livre 16, *de mensuris.*

Les instruments pouvaient cependant être connus au Moyen-Âge. Un manuscrit parisien du XV^{e} siècle de la *Bible historiale* de Pierre le Mangeur montre, illustrant le livre de Zacharie, un arpenteur équipé d'une groma et d'une corde d'arpentage[24]. Cette dernière est conforme au texte de

21 *Speculii maioris vincenti burgundi preasulis bellovacensis,* t. II : *Speculum doctrinale*, fac-similé de l'édition publiée à Douai, chez B. Beller en 1624 (Graz, Akademische Druck-und Verlagsanstalt, 1964), livre 16, chap. XL, *De universali scientia mensurandi*.

22 Le texte est assez proche de celui qui est publié par Hubert L.L. Busard et Menso Folkerts, *Robert of Chester's (?) redaction of Euclid's Elements, the so-called Adelard II version: Vol. 2* (Birkhäuser, Bâle, 1992), p. 115.

23 Vincent de Beauvais, *Speculum doctrinale*[21], livre 16, chap. XLI : *De mensuris spatiorum, siue locorum*

24 *La Bible hystoriaulx, ou Les hystoires escolastres* de "Pierre" [le Mangeur], traduction avec gloses de "Guient des Moulins", BNF, ms Français 10, fol. 461.

Zacharie 2, 1 : "*et levavi oculos meos et vidi et ecce vir et in manu eius funiculus mensorum*".

Figure 13: Arpenteur portant un cordeau et une groma*, dans une Bible historiale du XV^e^ siècle*[24].

L'homme tient non seulement le *funiculus mensorum*, c'est-à-dire le cordeau des arpenteurs, mais aussi un instrument composé d'une tablette carrée, dont les diagonales et les médianes sont nettement tracées, montée sur un long pied vertical. Cet instrument est clairement une *groma*. Celle dont les parties métalliques ont été retrouvées à Pfünz (près d'Eichstätt, en Bavière) comportait, selon la reconstitution de H. Schöne, un cadre de bois carré, dont la croix métallique formait les médianes[25]. Le dispositif ainsi reconstitué est identique à celui représenté sur le manuscrit.

3. Symbolique des nombres

3.A. Il a tout disposé par nombre, mesure et poids

La référence scripturaire utilisée pour "justifier" la numérologie est un passage du livre de la Sagesse : "*omnia mensura et numero et pondere disposuisti*"[26]. Il s'agit du châtiment des Égyptiens qui retenaient les Hébreux captifs, et de la justice et de la modération de Dieu dans celui-ci. Mais à la suite d'Augustin, qui cite ce passage à de nombreuses reprises, il devient presque synonyme de l'acte de création lui-même. Sur un chapiteau de la fin du XII^e^ siècle, provenant de Notre Dame des Doms à Avignon et conservé au Musée d'Aquitaine à Bordeaux, la création est ainsi représentée par la figure du Père, tenant une balance à la main[27].

Le commentaire de la genèse "*ad litteram*" commente longuement ce passage, en donnant à

25 O.A. Dilke, *op. cit.* n. 14, p. 77.

26 Sagesse 11, 21.

27 Bordeaux, Musée d'Aquitaine, numéro d'inventaire 11 764, http://collections-musees.bordeaux.fr/ow4/maq/voir.xsp?id=00101-20429&qid=sdx_q0&n=1&e=. Cette iconographie est confirmée par le fait que la création du soleil et de la lune, celle d'Adam, puis celle d'Ève, sont représentées sur les trois autres faces du même chapiteau.

mesure, nombre et poids un contenu métaphysique qui leur permet de résider en dieu même dès avant la création[28]. Augustin démontre ensuite[29] que le nombre 6 des jours de la création est un nombre parfait, et place ce fait avant la création elle-même : "Ainsi, nous ne devons pas dire que le nombre 6 est parfait, parce que Dieu a achevé tous ses ouvrages en six jours : loin de là, Dieu a achevé tous ses ouvrages en six jours parce que le nombre 6 est parfait ; supprimez le monde, ce nombre resterait également parfait ; mais s'il n'était pas parfait, le monde, qui reproduit les mêmes rapports, n'aurait plus la même perfection"[30].

Une citation du même passage de la Sagesse apparaît dans le II[e] livre du même commentaire[31] qui a pour but de montrer que l'existence des "eaux supérieures" mentionnées par les Écritures n'est pas en contradiction avec les lois de la physique. La citation "qui a disposé tout avec nombre, poids et mesure" est là pour appuyer cette idée, qu'Augustin affirme juste auparavant. Elle semble donc à ce moment signifier "conformément aux lois de la physique".

Augustin cite le même passage de la Sagesse nombreuses autres reprises pour justifier que la création est bonne, dans ses textes contre les manichéens en particulier ; par exemple : "*Quid in ipsa carne vitalia viscera, totius formae convenientia, membra operandi, vasa sentiendi, locis atque officiis suis cuncta distincta, et concordi unitate contexta, moderatione mensurarum, parilitate numerorum, ordine ponderum, nonne indicant artificem suum Deum verum, cui vere dictum est : Omnia in mensura, et numero, et pondere disposuisti ?*"[32]. Quelques lignes plus loin, il le présente comme fondant la beauté (*pulchritudo*) de la création. Boèce exprime la même idée sous une forme différente : "*Ad arithmeticam Deus cuncta constituit, quaecumque, fabricante ratione, per numeros assignati ordinis invenere concordiam*"[33]. "Si par conséquent la proportion produit la beauté plastique dans les figures visibles de la géométrie et la beauté sonore dans les mouvements audibles de la musique, c'est dans l'arithmétique qu'il faut chercher la raison dernière de la beauté"[34].

Ce même extrait de la Sagesse apparaît aussi dans un passage de la Cité de Dieu[35], dans lequel Augustin explique que l'infini est fini pour Dieu. Les nombres sont infinis, or Dieu les connaît puisqu'il a créé le monde par eux, ce qui prouve qu'il connaît l'infini. Le nombre apparaît ici comme une connaissance très élevée, on sent que rien ne peut être plus haut qu'elle, excepté bien sûr ce qui vient de Dieu lui même. On retrouve la même idée dans le commentaire du psaume 146 :

"*Intellegentiae eius non est numerus. Excedit omnes numerarios intellegentia eius, numerari a*

---

28 Saint Augustin, *De Genesi ad Litteram libri duodecim,* http://www.augustinus.it/latino/genesi_lettera/index2.htm, livre IV, chap. 3 à 6.

29 Dans le chap. 6.

30 Saint Augustin, *op. cit.* n. 28, livre IV, chap. 2, 2, traduction de M. Citoleux, http://www.abbaye-saint-benoit.ch/saints/augustin/genese/genlit/gen3d.htm#_Toc23143016

31 Chap. 1, n°2.

32 Saint Augustin, *Contra Faustum Manichaeum libri triginta t*res, livre 21, chap. 6, http://www.augustinus.it/latino/contro_fausto/libro_21_testo.htm. *Cf.* aussi *De Genesi contra Manichaeos libri duo*, livre 1, chap. 16, http://www.augustinus.it/latino/genesi_dcm/genesi_dcm_1_libro.htm, et *Contra adversarium Legis et Prophetarum libri duo*, livre 1 chap. 6, n° 8.

33 Boèce, *De institutione arithmetica*, cité dans Edgar de Bruyne, *Études d'esthétique médiévale* (Slatkine Reprints, Genève, 1975), t. 1, p. 9.

34 E. de Bruyne, *op. cit.* n. 33, t. I, p. 10. L'auteur paraphrase Boèce.

35 Saint Augustin, *De Civitate Dei,* livre 12, chap. 18, http://www.augustinus.it/latino/cdd/cdd_12_libro.htm.

nobis non potest. Ipsum numerum quis numerat ? Numero numerantur quaecumque numerantur. Si quidquid numeratur, numero numeratur ; numeri non potest esse numerus, numerari numerus nullo pacto potest. Quid ergo est apud Deum, unde fecit omnia, et ubi fecit omnia, cui dicitur: Omnia in mensura, et numero, et pondere disposuisti ?"[36].

3.B. La numérologie chez les théologiens

Pour Isidore de Séville, la beauté de l'homme est issue des proportions, et l'arithmologie joue un rôle important[37]. La description de l'Arche de Noé[38], qui contient des dimensions précises, lui donne l'occasion d'utiliser celles-ci, dans le sens d'une représentation allégorique de l'Église. "L'arche était faite de bois équarris *lignis quadratis*, pour symboliser la perfection des saints dont l'Église se compose : l'homme carré, *homo quadratus*, est en effet le symbole de la vertu parfaite"[39]. Selon l'Écriture, l'arche mesure en effet 300 × 50 × 30 coudées. Isidore considère les nombres 10 et 6 comme parfaits. Il interprète le nombre 30 comme la durée mortelle de la vie du Christ, 300 comme la durée de la Loi ancienne. Ce même nombre représente aussi les 6 âges du monde, chacun étant représenté par 50. L'ère chrétienne est la dernière période de l'histoire, et le signe de la croix, identifié à la lettre τ, signifie 300 dans la numération grecque.

Ainsi "l'Arche symbolise l'Église, l'Église est le corps mystique du Christ, le Christ est l'homme parfait. Nous devons donc retrouver dans l'arche la projection des proportions de l'homme parfait. Or ces proportions se définissent en fonction des nombres six et dix"[40]. La hauteur du corps est 6 fois la largeur du bassin, ou 10 fois la hauteur des cuisses de l'homme allongé. Les proportions de l'Arche, données par $300 = 30 \times 10 = 50 \times 6$, se retrouvent dans le corps humain[41].

Dans son *Liber numerorum*, Isidore expose son arithmologie. Il présente plusieurs nombres qu'il considère comme parfaits : 3 parce que c'est le nombre des personnes de la trinité, parce que le Christ a passé trois jours dans le tombeau, parce que Pierre l'a renié trois fois. C'est aussi le nombre des vertus théologales, il y a trois classes de créatures "intellectuelles" : anges, hommes, démons, trois continents, etc.

Le nombre 4 est lui aussi parfait parce que $1+2+3+4=10$; c'est le nombre des fleuves du paradis, des points cardinaux, des éléments, des couleurs de l'arc-en-ciel (et non pas 7), etc. Les symboles considérés se rapportent plutôt à la Terre ou à la vie terrestre.

Le nombre 12 est parfait encore, mais pour des raisons arithmétiques : il amène à 7 parce que $12=3\times4$ (Isidore n'est pas gêné de confondre ainsi addition et multiplication), et à 16 (qui est remarquable en tant que carré du nombre parfait 4), parce que c'est la somme de ses diviseurs, $16 = 1 + 2 + 3 + 4 + 6$, avec[42] $12/12=1$, $12/6=2$, $12/4=3$, $12/3=4$, $12/2=6$.

Vincent de Beauvais, dans le chap VIII du speculum doctrinale[21], *De Speciebus numeri*, distingue nombres pairs (*par*), impairs (*impar*), pairement pairs (*pariter par*), ce sont les puissances

---

36 Saint Augustin, *In Psalmum 146 enarratio*, chap 11, http://www.augustinus.it/latino/esposizioni_salmi/esposizione_salmo_204_testo.htm.

37 E. de Bruyne, *op. cit.* n. 33, t. 1, p. 85 *sq.*

38 Genèse 6, 14 à 16.

39 E. de Bruyne, *op. cit.* n. 33, t. I, p. 85-86.

40 *Ibid*., t. I p. 86.

41 De Bruyne paraphrase Isidore, *Quaestiones in vetus Testamentum*, chap. 7, *de Arca Noe*, qu'il cite ensuite. Je renvoie à son ouvrage pour le texte original latin.

42 E. de Bruyne, *op. cit.* n. 33, t. I p. 87-88.

de deux (2^n), pairement impairs (*pariter impar*), qui sont les doubles de nombres impairs ($2n$ avec n impair), impairement pairs (*impariter par*), qui sont les autres nombres pairs. Parmi les nombres impairs il distingue les nombres premiers (*simplices*), les composés (*compositi*) qui ont [au moins] deux facteurs premiers. Enfin les nombres peuvent être comparés à la somme de leurs diviseurs autres qu'eux-mêmes. Si cette somme est plus grande que le nombre, il est *superfluus*, si elle est plus petite, *diminutus*, si elle est égale, il est parfait (*perfectus*). On a vu cette notion de nombre parfait chez Isidore de Séville, dans le cas du nombre 12.

Cette classification provient du premier livre du *De institutione arithmetica* de Boèce[43]. On y trouve aussi une classification des rapports, cependant on ne doit pas considérer ceux-ci comme des nombres. Deux nombres peuvent être multiples l'un de l'autre. Un rapport de la forme $\frac{n+1}{n}$ est dit superparticulier (*superparticularis)*, par exemple la *sesqualtera proportio* qui se dit de deux nombres qui sont dans un rapport de $3/2$. Si le deuxième nombre s'obtient en ajoutant plus d'une partie au premier, c'est à dire s'il est de la forme $\frac{n+m}{n}$, avec $m>1$, le rapport est *superpartiens*, enfin si on ajoute soit une partie, soit plusieurs, non pas au premier nombre, mais à un des ses multiples (c'est-à-dire s'il est de la forme $(pn+m)/n$), la proportion est multiple superparticulière (si $m=1$) ou multiple superpartiente (si $m>1$). Le deuxième livre traite des nombres envisagés sous des figures géométriques, par exemples les nombres triangulaires, carrés, ou pentagonaux[44].

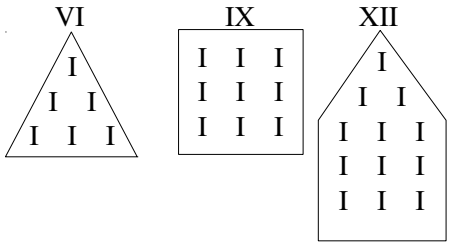


Figure 14. Les nombres triangulaires, carrés et pentagonaux.

"L'ouvrage de Boèce s'achemine vers le bouquet final avec l'étude de la proportionnalité qui

---

43 Cité par Guy Beaujouan, *Par raison de nombres : l'art du calcul et des savoirs scientifiques médiévaux* (Brookfield (Vt.), Ashgate, Variorum, 1991), p. 159. La section qui suit est essentiellement tirée du chap. X de cet ouvrage, "Le symbolisme des nombres à l'époque romane".

44 Les nombres triangulaires, carrés et pentagonaux sont respectivement de la forme $\frac{n(n+1)}{2}$, n^2 , et $\frac{n(3n-1)}{2}$. La présentation contemporaine de ces propriétés arithmétique utilise des polygones réguliers, dont le côtés s'agrandissent d'une unité quand on passe d'un nombre au suivant (cf. Wikipedia, art. "Nombre pentagonal", par exemple). On peut aussi voir le nombre triangulaire comme un empilement de niveaux, dont la longueur décroît unité par unité, et le nombre pentagonal comme un carré surmonté d'un tel triangle, qui forment un pentagone irrégulier. Il semble que les auteurs médiévaux aient préféré cette forme, c'est en tout cas celle qu'on voit représentée dans un manuscrit du *Liber mathematicalis* de Boèce conservé dans le trésor de la cathédrale de Hildesheim (reproduit dans Carl Heitz, "Architecture et symbolique des nombres au Moyen-Âge", *Artium Quaestiones*, n° 1, pp. 7-26 (1979)), et que j'ai utilisée dans la Fig. 14.

peut être arithmétique, géométrique ou harmonique. [...] Je parlais du bouquet qui clôture ce feu d'artifice d'ingéniosité : il est constitué par la *maxima perfectaque harmonia* dont les trois intervalles réalisent simultanément une proportionnalité arithmétique, géométrique et harmonique. Dans la suite 6, 8, 9, 12, par exemple, 6-9-12 est arithmétique de raison 3 ; 6-8-12 est harmonique, car $\frac{12}{6}=\frac{12-8}{8-6}$; l'ensemble constitue enfin une proportion géométrique, car $\frac{12}{9}=\frac{8}{6}$. Cette harmonie parfaite comprend les intervalles musicaux fondamentaux :

"diapason" (double) : 6/12 [octave],

"diapente" (*sesquialter*) : 9/6 [c'est-à-dire 3/2, c'est la quinte],

"diatesseron" (*sesquitertius*) : 8/6 ou 12/9 [4/3, c'est la quarte],

"ton simple" ; 9/8 [l'intervalle est dit *tonus*, la proportion *sesquioctavus*]"[45].

G. Beaujouan, dans la suite de l'article que je viens de citer, considère "les données numériques des saintes Écritures". "Les matériaux sont rassemblés dès le haut moyen âge dans le *Liber numerorum qui in sanctis scripturis occurrunt*, attribué à Isidore de Séville"[46]. Hugues de Saint-Victor distingue "neuf manières d'interpréter la valeur mystique des nombres rencontrés dans l'Écriture :

1° selon leur ordre (*secundum ordinem positionis*) : 2 représente le péché parce que c'est une déviation de l'unité ;

2° selon leur composition (*secundum qualitatem compositionis*) : 2, parce qu'il est divisible, représente les choses transitoires et corruptibles, tandis que 3, du fait qu'il est impair, symbolise les réalités indissolubles et incorruptibles ;

3° selon leur extension (*secundum modum porrectionis*) :

$7 > 6$ évoque le repos après le travail ;

$8 > 7$ - l'éternité après la vie d'ici-bas ;

$9 < 10$ - le manque de perfection ;

$11 > 10$ - la démesure ;

4° selon leur forme géométrique (*secundum formam dispositionis*) : 10 est linéaire et signifie la rectitude de la foi, 100 et carré et représente la largesse de la charité, 1.000 est cubique et possède l'élévation de l'espérance ;

5° selon la manière de compter (*secundum computationem*) : 10 est parfait puisque le système de numération est à base décimale ;

6° selon la multiplication (*secundum multiplicationem*) : 12 représente l'universalité parce qu'il est le produit de 4, symbole de la matière (les quatre éléments), par 3, symbole de l'esprit (la Trinité) ;

7° selon l'addition de leurs parties aliquotes (*secundum partium aggregationem*), c'est la théorie des nombres parfaits selon Boèce ;

8° selon ce qu'ils représentent (*secundum multitudinem*) : 3 désigne la Trinité, 4 les choses temporelles à cause des quatre éléments, des quatre saisons, des quatre parties du monde, etc. ;

9° selon l'accumulation (*secundum exaggerationem*) : c'est l'emploi d'un nombre quelconque"[47].

---

45 G. Beaujouan, *op. cit.* n. 35, p. 160.

46 *Ibid.*, p. 162.

47 *Ibid.*, pp. 162-163. La source est spécifiée dans la n. 17 de cet ouvrage : Hugues de Saint-Victor, *Prenotationes eluciudatorie de scripturis et scriptoribus sacris*, I, 15 (PL, CLXXV, 22).

D'autres ouvrages sont d'une grande importance pour ce sujet, G. Beaujouan mentionne notamment les *Analytica numerorum* d'Eudes, mort abbé de l'abbaye cistercienne de Morimond (Haute Marne) en 1161, le *De sacramentis numerorum a ternario usque ad duodenarium* de Guillaume abbé d'Auberive, qui est aussi une abbaye cistercienne située en haute Marne, mort vers 1180, et le *De sacramentis numerorum de XIII a XX* de Geoffroy d'Auxerre, abbé de Haute-Combe, cistercienne aussi mais en Savoie, de 1176 à 1188.

"Eudes de Morimond insiste en effet tout particulièrement sur la signification symbolique des figures par lesquelles sont représentés les nombres", il utilise les chiffres grecs, de façon assez traditionnelle, mais aussi, ce qui est plus original, les chiffres romains. Par contre les chiffres arabes n'apparaissent pas. Les gestes du comput digital sont aussi mis à contribution.

Thibaut de Langres reprend toutes ces méthodes et amplifie la classification des interprétations d'Hugues de Saint-Victor. Citons par exemple, comme nouvelles approches, "l'*aggregatio continua* ; c'est ainsi que les quatre Évangiles correspondent au Décalogue puisque 1 + 2 + 3 + 4 = 10"[48], ainsi que quelques variantes de celle-ci, une assez importante contribution du calcul digital, et des lettres grecques suivant leur forme ou leur place dans l'alphabet, et l'*affinitas*, qui est la situation dans laquelle deux nombres présentent une analogie au moyen d'une opération arithmétique ou d'une autre, comme $8=7+1$ avec $6=7-1$, ou $7=7+3$ avec $12=4\times3$, etc.

H. Meyer, dans son ouvrage sur la symbolique des nombres[49], explique d'abord que, dans l'enseignement du *quadrivium*, l'aspect allégorique du nombre prend le pas sur son aspect mathématique, en s'appuyant d'abord sur saint Augustin, puis sur Honorius d'Autun (vers 1080-vers 1157), et Hugues de Saint-Victor (1096-1141). Il expose ensuite les diverses méthodes d'exégèse numérique, selon des auteurs médiévaux qui sont les mêmes que ceux analysés par G. Beaujouan dans l'article que j'ai cité plus haut. Les méthodes décrites sont donc essentiellement les mêmes. H. Meyer insiste ensuite sur l'importance du contexte biblique, puis se préoccupe d'applications à l'architecture, mais aussi à la construction des textes, qu'il s'agisse des Écritures elles-mêmes ou des œuvres des auteurs médiévaux. Mais le plus intéressant de l'ouvrage est à mon sens la deuxième partie, qui présente le sens attribué à tous les nombres par trois auteurs choisis : Grégoire le Grand, Bède, et Honorius d'Autun. La quantité de nombres à qui ceux-ci ont attribué un sens symbolique est impressionnante. Dans chaque cas, plusieurs interprétations sont possibles, basées souvent sur diverses décompositions d'un nombre en une somme. Le contexte biblique permet de trancher entre ces différentes interprétations, de telle façon que toutes les décompositions retenues offrent des sens cohérents. On constate que presque tous les nombres de 1 à 100 possèdent des interprétations relativement bien définies. Cependant Honorius a attribué un sens au numéro de chacun des 150 psaumes, même s'il a sans doute dû forcer l'interprétation en ce qui concerne les nombres de 100 à 150, car ni lui ni les autres auteurs ne donnent d'interprétation des ces nombres par ailleurs. Enfin, quelques nombres plus grands apparaissent : ce sont surtout des multiples de 100 et 1000, mais on en trouve aussi quelques autres, comme par exemple 153, le nombre des poissons de la pêche miraculeuse, 666, le nombre de la bête, qui sont directement tirés dans les écritures[50], ou 888 qui est la somme des nombres signifiés en Grec par les lettres du mot ιησους (10 + 8 + 200 + 70 + 400 + 200).

---

48 G. Beaujouan, *op. cit.* n. 35, p. 167.

49 Heinz Meyer, *Die Zahlenallegorese im Mittelalter : Methode und Gebrauch* (München, W. Fink, 1975).

50 Jean 21, 11, et Apocalypse 13, 18, respectivement.

4. Esthétique

4.A. Harmonie musicale

Le fondement mathématique de l'esthétique est la musique théorique. Celle-ci trouve son origine mythique dans la légende des marteaux de Pythagore : "passant devant une forge, Pythagore entend le bruit harmonieux que font quatre marteaux frappant l'un après l'autre l'enclume ; il s'arrête et découvre que ces marteaux pèsent respectivement 6, 8, 9 et 12 livres"[51]. Cette découverte établit la relation entre proportions et intervalles musicaux. La légende semble avoir été bien connue, Vincent de Beauvais la reprend mais, à la suite de Pierre le Mangeur, il fait de Jubal, frère de Tubalcaïn, l'inventeur, pour rattacher cette histoire à l'Écriture[52]. On sait aujourd'hui que ces proportions sont les rapports des fréquences, et la consonance s'explique par suite assez aisément. On a donné plus haut les noms moderne et médiéval des intervalles musicaux et les rapports correspondants.

Le rapport le plus simple est le plus beau : "*Si igitur cunctis notior est ea consonantia quae in duplicitate consistit, non est dubium primam esse omnium diapason consonantiam meritoque excellere, quoniam cognitione praecedat*"[53].

La musique et la plastique obéissent aux mêmes règles : "*eodem modo auris afficitur sonis vel oculus aspectu*"[54]. Cependant, la musique est supérieure à la plastique, entre autres, parce que "le monde sensible est essentiellement devenir" et parce qu'elle agit sur l'âme. La musique cosmique (*musica mundana*) est une harmonie fondamentale dont la musique des sphères n'est qu'une partie. L'homme est aussi régi par l'harmonie (*musica humana*) en tant que microcosme[55].

Dans l'arithmétique de Boèce, on rencontre deux principes fondamentaux : unité (*principum Ejusdem*) et multiplicité (*principum Alterius*). De l'unité relèvent la monade, les nombres impairs, les nombres et les figures carrés. De la multiplicité relèvent la dyade, les nombres pairs, les nombres et figures rectangulaires "*parte altera longior*". Celle-ci est de la forme $n\times(n+1)$ (p. 16). On y associe aussi bien les nombres $n(n+1)$ que les rapports $n/(n+1)$. On obtient ainsi la *proportio dupla,* 2 ou $1/2$, la *proportio sesquialtera*, $3/2$ ou $2/3$; la *proportio sesquitertia*, $4/3$ ou $3/4$ [56].

Ces proportions sont appréciées dans l'architecture antique et médiévale. Vitruve préférait la proportion rapport $2/1$ pour les temples[57] et les basiliques[58] ; le forum romain idéal serait de

51 E. de Bruyne, *op. cit.* n. 33, t. I, p. 19.

52 Plus précisémment à Genèse 4, 21. Voici le texte de Vincent de Beauvais (*Speculum doctrinale, op. cit*. n. 21, chap. XXV) : "*Petrus Commestor in Historia Scholastica*
Tubal filius Lamech [...] *non instrumentorum quidem, quem longe post inventa sunt, sed inuentor fuit musicae, id est consonantiarum,* [...] *Tubalcayn frater eius, ferrariam artem primus adinuenit* [...] *quo fabricante, Tubal de quo dictum est, sono malleorum delectatus, ex ponderibus eorum proportiones et consonantias quae ex his nascuntur excogitauit, quam inuentionem Graeci Pythagorae attribuunt fabulose*."

53 Boèce, *De Institutione Musica*, livre II, chap. 17, cité par E. de Bruyne, *op. cit.* n. 33, t. I, p. 20, n. 4.

54 Boèce, *De Institutione Musica*, livre II, chap. 31,cité par E. de Bruyne, *op. cit*. n. 33, t. I, p. 21.

55 E. de Bruyne, *op. cit.* n. 33, t. I, p. 12.

56 *Ibid.*, t. I, pp. 16-17.

57 Vitruve, *de Architectura*, livre III, chap. IV, 14.

58 En particulier les dimensions qu'il attribue à celle de Fanum, Vitruve, *de Architectura*, livre V chap. I, 18.

proportion $3/2$, alors que chez les grecs la place publique est carrée[59]. Les centuriations, lotissements des arpenteurs romains, sont souvent constituées à partir d'un quadrillage carré, car "les carrés correspondaient davantage à la mentalité de Rome que les rectangles : les forts romains [...] sont fondamentalement carrés"[60]. La proportion que Vitruve donne du temple toscan est légèrement différente, le rapport de sa longueur à sa largeur est de $6/5$ (ce qui correspond à une tierce mineure). Les autres dimensions s'obtiennent par des divisions simples : la longueur est divisée en 2 pour fixer la limite entre cella et colonnade. La largeur est divisée en 10, dont 4 pour la nef et 3 pour chaque bas côtés[61]. Dans le cas du temple dorique, le nombre de modules est plus grand : 27 pour le tétrastyle et 42 pour l'hexastyle. "Or, vingt-sept est le cube ou la perfection de trois"[62]. En effet, selon Vitruve, le cube est une figure parfaite : Pythagore a trouvé bon d'écrire en proportions cubiques (*cybicis rationibus*). Comme le cube se trouve en équilibre stable quelle que soit celle de ses faces sur laquelle il tombe, un nombre "cubique" de vers rend ce qui est écrit stable dans la mémoire[63].

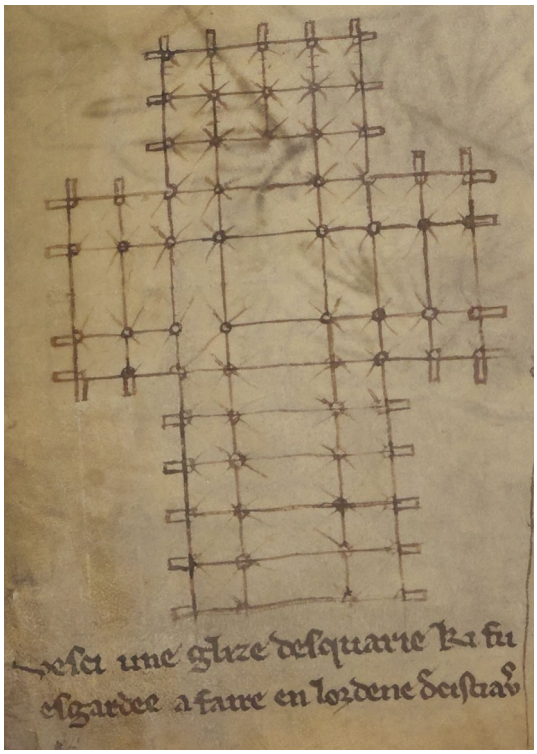


Figure 15. Villard de Honnecourt plan d'une église "desquarie" (fol. 14v, n° 28b).

E. de Bruyne analyse en détail le plan du folio 14v du Carnet de Villard de Honnecourt (n° 28b, *cf.* Fig. 15), dont il traduit l'intitulé "vesci une glize d'esquarie ki fu esgardée a faire en l'ordene de cistiaus" par "Voici une église tracée *ad quadratum* [...]." La grille modulaire carrée apparaît clairement sur le dessin ; la longueur est de 12 modules, la largeur de 8, ce qui donne un rapport de

59 Vitruve, *de Architectura*, livre V, chap. I, 6 & 1.
60 O.A. Dilke, *op. cit.* n. 14, p. 149.
61 Vitruve, *de Architectura*, livre IV, chap. VII, 1 à 7.
62 *Ibid.*, livre IV, chap. III, 11-12, et E. de Bruyne, *op. cit.* n. 33, t. I, p. 257.
63 Vitruve, *de Architectura*, livre V, préface, 5 & 6.

$\frac{12}{8}=\frac{3}{2}$, qui correspond à une quinte. Le chœur a des dimensions de 4×3, soit un rapport de $\frac{4}{3}$, qui correspond à une quarte. Les croisillons du transept mesurent 4 modules sur 2 : le rapport est $\frac{4}{2}=2$, c'est-à-dire une octave, de même que pour le transept entier, de 8 modules sur 4. La croisée est un carré, de 4×4 si on y inclut les bas-côtés, le rapport est ici l'unité. Les proportions de la nef, 5 modules sur 4, décrivent un intervalle de tierce. Enfin, en comparant la largeur totale du transept, 8 modules, à la longueur de la nef réunie à la croisée, 9 modules, on obtient le rapport $9/8$ qui correspond au ton[64].

Vitruve est resté un auteur de premier plan pendant la plus grande partie du Moyen Âge. À l'époque carolingienne, on constate une volonté impériale de "renouveler la splendeur de la civilisation latine". Ainsi, Eginhard "s'inspira des œuvres de Vitruve et se fit l'architecte de l'Empereur"[65]. On sait que le *de Architectura* a été copié à Fulda à cette époque, c'est-à-dire sous sous l'abbatiat d'Eigil (818-822). "Dès le Haut Moyen Âge Vitruve devait donc jouir d'un grand crédit [...], une constitution d'York, de 936, prescrit [...] à tout architecte d'étudier les livres d'Euclide et de Vitruve". C'est à Vitruve (et à Ptolémée) que Hermann le Paralytique de Reichenau (1013-1054) renvoie ses lecteurs désirant des détails sur la construction de l'astrolabe. Un exemplaire du *de Architectura* se trouvait parmi les livres légués à Saint-Michel de Hildesheim par Bernward (évêque de 993 à 1022). De même, "au XIIe siècle, la cathédrale de Rouen hérite d'un Vitruve que lui lègue l'archevêque Rotrou". Vitruve est cité par Hugues de Saint-Victor "énumérant les grands hommes des arts mécaniques". Vincent de Beauvais, dans le Speculum naturale, reproduit sa théorie des proportions humaines, extraite du livre III du *de Architectura*[66].

E. de Bruyne explique en quoi consiste la théorie des proportions architecturales de Vitruve : "Au point de vue de la quantité, il faut qu'un bâtiment soit rigoureusement proportionné d'après un "module" fondamental. C'est ce que Vitruve appelle *ordinatio*. Le module, c'est-à dire la proportion de base (par exemple de diamètre des colonnes par rapport à leur hauteur) produit la "symmétrie [...]"". De son côté, "la symétrie correspond à la symphonie musicale, purement théorique et objective : c'est l'accord de toutes les parties d'un édifice, dominé par la loi de proportionnalité exacte". L'eurythmie et le *decor* viennent corriger cette rigueur mathématique. L'eurythmie, c'est la symmétrie corrigée en fonction des nécessités sensibles et des exigences de la vision". La notion de *decor* recouvre l'adéquation de la forme à l'idée (au dieu particulier auquel est consacré le temple, par exemple), de l'intérieur de l'édifice à son extérieur. Le *decor* demande aussi de "tenir compte de la nature des lieux ou de l'exposition à la lumière"[67].

4.A.1. Analogie entre les proportions architecturales-et celles du corps humain

On sait que, selon Vitruve, un homme couché sur le dos, les pieds et les mains étendus, touchera des doigts des pieds et des mains un cercle centré en son nombril[68]. La suite du même texte inscrit l'homme dans un un carré, sa hauteur totale étant égale à son envergure totale, bras étendus.

---

64 E. de Bruyne, *op. cit.* n. 33, t. I, p. 22.
65 *Ibid.*, t. I, p. 243.
66 *Ibid.*, t. I, p. 245-247.
67 *Ibid.*, t. I, pp. 252-255.
68 Vitruve, *de Architectura*, livre II, chap. I, 19 *sq.*

Cette position, les bras en croix, a eu naturellement un grand succès auprès des chrétiens[69]. Dans ce cercle, le Moyen Âge peut inscrire un pentagone. En effet, "cinq est le nombre humain parce qu'il exprime les cinq sens et l'union des deux sexes : mâle - 3 - et femelle - 2 -" ; "cinq est une nombre merveilleux et circulaire puisqu'en se multipliant, il revient sans cesse à lui-même : $5\times5=25$; $25\times5=125$; $125\times5=625$, etc.[70].

L'homme est un microcosme, et il se compare, avec ses proportions, au macrocosme. Hildegarde de Bingen détaille cette analogie, d'une façon qu'en suivant E. de Bruyne on peut résumer ainsi :

brillant	feu		2/9		front	cerveau supérieur
noir			1/9			cerveau centre de vie
éther		firmament	3/9	tête et cou	nez	
aqueux	air		2/9		partie inf.	bouche, menton
lourd (comprimé)			1/9			gorge
air subtil			1	du cou au nombril		
terre			1	du nombril aux organes		

Les quatre membres correspondent aux quatre vents, et sont divisés en deux parties égales par le coude ou le genou. Ainsi l'homme s'inscrit dans un carré, divisé en 5 parties en hauteur comme en largeur, et dont le bassin occupe le carré central[71].

Ce schéma symbolique est lié au nombre 4, qui est attaché à l'homme autant que le 5. En effet, Alcuin compare "les bois bien équarris de l'Arche aux saints hommes fermes dans la vertu"[72]. L'homme carré, parfait par la perfection arithmologique du nombre 4, est aussi, par sa position bras étendus, une image du Crist en croix[73] ; il est donc naturel que l'église reproduise ce modèle.

Durand de Mende (vers 12630-1296) écrit : "*Dispositio autem ecclesiae materialis modum humani corporis tenet. Cancellus, sive locus ubi altare est, caput representat, crux ex utraque parte brachia et manus, reliqua pars ab occidente, quidquid corporis superesse videtur*"[74]. Le Guide du pèlerin compare l'église Saint-Jacques de Compostelle à un grand organisme humain : "*Ecclesia vero eadem novem naves habet inferius, et sex superius, et unum caput, majus videlicet, in quo Sancti Salvatoris est altare, et lauream unam, et unum corpus, et duo membra, et octo alia parva capita habet, in singulis quibusque singula habentur altaria*"[75]. L'unité de mesure utilisée par Aimery Picaud dans ce texte est le *status hominis*, de 8 palmes[76] Parmi les éloges qu'il fait de l'église, celle ci est "*magnitudine condecenti, latitudine, longitudine et altitudine congruenti*"[77] :

69 E. de Bruyne, *op. cit*. n. 33, t. I, p. 259.

70 *Ibid.*, t. II, p. 348 & 349 ; la deuxième citation d'après Marcianus Capella, *De nuptiis philologiae et Mercurii*, livre VII, 735.

71 E. de Bruyne, *op. cit.* n. 33, t. II, p. 353-356, d'après Hildegarde de Bingen, *Liber divinorum operum simplicis hominis* (PL 197, col. 739-1036), *pars* I, *visio* IV.

72 E. de Bruyne, *op. cit.* n. 33, t. II, p. 359, d'après Alcuin, *Libri Carolini* IV, pref.

73 *Ibid.*, t. II, p. 360.

74 Durand de Mende, *Rationale divinorum officiorum* livre I, chap I, 14, cité par E. de Bruyne, *op. cit.* n. 33, t. I, p. 258.

75 Aimery Picaud, *Le guide du pèlerin de Saint-Jacques de Compostelle*, éd. Jeanne Vielliard, (Mâcon, Protat, 1938, Paris, Vrin, 1984), p. 87-88, cité par E. de Bruyne, *op. cit.* n. 33, t. II, p. 89.

76 "*Statim hominis recte de octo palmis esse dicimus*," *Le guide du pèlerin*, *op. cit.* n. 75, p. 88.

77 *Le guide du pèlerin*, *op. cit.* n. 75, p. 92.

l'harmonie des proportions est une partie essentielle de la beauté de l'édifice, elle s'exprime par des mesures, et se rattache à la taille de l'homme.

La relation entre proportions architecturales et celles du corps humain se trouve déjà dans Vitruve. Les proportions des colonnes en particulier, sont tirées de celles-ci. Quand Vitruve décrit la création de l'ordre dorique, il explique que, comme la stature d'un homme est 6 fois la longueur de son pied, la hauteur de la colonne a été choisie faisant 6 fois son diamètre[78]. Pour la colonne ionique, la hauteur vaut 8 fois le diamètre, pour en conformer la proportion à la sveltesse féminine, *muliebrem gracilitatem*. "Les volutes du chapiteau devaient rappeler les boucles de la chevelure et les cannelures, les plis des robes", et la base, une chaussure[79]. La colonne corinthienne, quant à elle, est à l'image d'une jeune fille : "*Virginalis habet gracilitatis imitationem*"[80].

Cependant pour des chrétiens, ces rapprochements ont également un contenu théologique : l'église est le corps du Christ[81]. Bien sûr pour saint Paul il s'agit de l'assemblée des fidèles[82], mais au Moyen Âge les théologiens aussi bien que les fidèles y voient aussi le bâtiment.

D'ailleurs Paul lui-même identifie déjà les deux : "*An nescitis quoniam membra vestra templum est Spiritus Sancti ?*"[83]. "*In domo Dei conversari quae est ecclesia Dei vivi columna et firmamentum veritatis*"[84]. "*Superaedificati super fundamentum apostolorum et prophetarum ipso summo angulari lapide Christo Iesu*"[85]. Ces mêmes idées se retrouvent dans la 1e épître de Pierre[86], et même dans un psaume[87].

Les théologiens médiévaux ne manquent pas de développer ce parallèle. On a cité plus haut Durand de Mende ; Honorius d'Autun (vers 1080-1157), attribue à chaque groupe social une place particulière dans l'édifice : "*Perspicuae* fenestrae*, quae tempestatem excludunt et lumen introducunt sunt* doctores*, qui turbini haeresum obsistunt, et lumen doctrinae Ecclesiae infudunt.* [...] Columnae*, quae domum fulciunt, sunt episcopi, qui machinam Ecclesiae vitae rectitudine in alta suspendunt.* Trabes*, quae domum conjungunt, sunt saeculi principes, qui ecclesiam continendo muniunt.* Tegulae *tecti, quae imbrem a dome repellunt, sunt milites, qui Ecclesiam a paganis et hostibus protegunt.* [...] Pavimentum*, quod pedibus calcatur, est vulgus cujus labore Ecclesia sustentatur.* Criptae *sub terra constructae sunt cultores secretioris vitae*"[88].

Selon Pierre de Roissy, les murs "sont fait de pierres équarries et polies : équarries comme l'homme carré, "*significant (enim) quadratum virtutum in sanctis quae sunt temperantia, justitia, fortitudo, prudentia*""[89]. Enfin, Suger (vers 1081-1151) écrit au sujet de Saint-Denis que "*Medium quippe duodecim Apostolorum exponentes numerum, secundario vero totidem alarum columnae*

78 Vitruve, *de Architectura*, livre IV, chap. I, 19-20.
79 *Ibid.*, livre IV, chap. I, 21-25, et E. de Bruyne, *op. cit*. n. 33, t. I, p. 260.
80 Vitruve, *de Architectura*, livre IV, chap. I, 30.
81 Éphésiens 1, 23.
82 Il le dit explicitement : "vous êtes le corps du Christ" (1 Corinthiens 12.27). *Cf.* aussi Éphésiens 5, 39-30, Romains 12, 5.
83 1 Corinthiens 6, 19.
84 1 Timothée 3, 14-15.
85 Éphésiens 2, 20.
86 Le Christ est "*lapidem vivum* [...]*, et ipsi tamquam lapides vivi superaedificamini domus spiritalis* [...]. *Propter quod continet in scriptura ecce pono in Sion lapidem summum angularem*" (1 Pierre 2, 4-7.).
87 "*Lapidem quem reprobaverunt aedificantes hic factus est in caput anguli*" (Psaume 117 (118), 22).
88 Honorius d'Autun, *De gemma animae*, livre I, PL 172, col. 586.
89 Pierre de Roissy, *Speculum Ecclesiae*, cité par E. de Bruyne, *op. cit.* n. 33, t. II, p. 364.

Prophetarum numerum significantes, altum repente subrigebant aedificium, juxta Apostolum, spiritualiter aedificantem", suit une citation du passage de saint Paul cité plus haut, selon lequel le Christ est la pierre angulaire[90]. Les colonnes représentent des personnes, mais ces personnes sont liées à l'Écriture, et doublement : c'en sont les auteurs, et le lien est dû à l'apôtre. La symbolique du nombre est au milieu, lien entre homme, architecture et Écriture.

De son côté, Hugues de Saint-Victor "explique l'union du corps et de l'âme par les principes esthétiques de la musique". La perfection de l'âme s'exprime dans le nombre impair, l'imperfection du corps dans le nombre pair. "L'esprit est essentiellement unité indivisible, cette unité s'épanouit dans les trois facultés principales de l'âme (1×3), celle-ci organise le corps et constitue la sensibilité qui se sert des neuf orifices de l'organisme ($3\times3=9$) ; la sensibilité s'épanouit au dehors, cherchant à capturer le monde extérieur ($9\times3=27$), puis faisant retour sur elle-même se délecte de son intuition totale dans un dernier mouvement où reparaît l'unité ($27\times3=81$, c'est-à-dire 80 : nombre de la vie mortelle et 1 : symbole de l'esprit) . Quant aux opérations matérielles du corps, c'est par le nombre deux qu'elles sont dominées. La matière se constitue en éléments ($2\times2=4$), puis les éléments, se mélangeant, donnent naissance aux humeurs principales ($4\times2=8$), celles-ci créent sans doute les grands organes corporels, mais Hugues ne développe pas plus loin l'allégorie. Il lui suffit de rappeler que le corps et l'âme sont tous deux des harmonies"[91].

4.A.2. Harmonie musicale et consonance

Selon E. de Bruyne, la beauté musicale est triple ; la musique est d'abord "pure mélodie sensible où le nombre s'incarne mais sans que l'auditeur s'en doute". Mais "elle est belle aussi pour l'esthéticien plus intellectualiste qui jouit de la musique en mathématicien", qui jouit aussi des proportions simples qui font sa beauté. Enfin l'allégoriste ressent une troisième sorte de jouissance, due à "on ne sait quelle harmonie spirituelle et angélique"[92]. À tous ces niveaux, l'esthétique musicale est fondée sur les proportions numériques. D'ailleurs la musique fait partie des mathématiques ; on le constate dans la classification des sciences d'Al Farabi, celle de Gundissalvi[4], dans le *Speculum doctrinale* de Vincent de Beauvais[21], dans l'enseignement du *quadrivium*[93]. Ainsi dans la *Scholia Enchiriadis* (IX^{e} siècle), on lit : "*Igitur quidquid in modulatione suave est, numerus operatur per ratas dimensiones vocum : quidquid rhythmi delectabile praestant sive in modulationibus, seu in quibuslibet rhythmicis motibus, totum numerus efficit. Et voces quidem transeunt, numeri autem(..) manent.*

Quapropter [...] *ratio, quae in rhythmis, qui latine dicuntur numeri, sive in ipsa modulatione, intellexit numeros regnare, totumque perficere, inspexit diligentissime, reperiebatque divinos et sempiternos. Deinde ratio eadem coelum terramque conlustrans, sensit nihil aliud, quam pulchritudinem sibi placere, et in pulchritudine figuras, in figuris dimensiones, in dimensionibus numeros. Haes quoque distincta et disposita in disciplinam redegit, appellavitque Geometricam*." "En géométrie comme en musique, ce sont donc les nombres immortels qui non seulement sont

90 La citation scripturaire est Éphésiens 2, 19-22, le texte de Suger, *de consecratione ecclesiae sancti Dionysii*, A. Lecoy de La Marche (éd), *Œuvres complètes de Suger* (Renouard, Paris, 1867), p. 227.

91 E. de Bruyne, *op. cit.* n. 33, t. II, p. 221-222, d'après Hugues de Saint-Victor, *Didascalicon*, livre II, chap. 5-6, PL 176, col. 753-755.

92 E. de Bruyne, *op. cit*. n. 33, t. II, p. 346.

93 Guy Beaujouan, "Le quadrivium et la faculté des arts", dans Olga Weijers et Louis Holtz (éd.), *L'enseignement des disciplines à la Faculté des arts, Paris et Oxford, XIIIe-XVe siècles : actes du colloque international* (Turnhout, Brepols, 1997), pp. 185-194.

contemplés par l'intelligence mais aussi appréciés par la sensibilité"[94].

Selon Jean Scot Érigène, la beauté vient de la "réduction de la diversité à l'unité". Ce qui explique celle-ci, "c'est, du point de vue mathématique, le rapport, du point de vue métaphysique, la participation. Les nombres différents sont unifiés grâce à la proportion, les proportions différentes le sont grâce à la proportionnalité : les ordres divers des choses sont unifiés grâce à la participation du même, toutes les participations constituent une unité ineffable grâce à l'harmonie"[95].

La musique se divise en trois parties : musique cosmique, humaine, instrumentale[96]. La musique cosmique est due au mouvement des sphères, au mélange des éléments, à la succession des saisons. La musique humaine est celle du microcosme qu'est l'homme, c'est cela qui fait la beauté du chant. Les instruments que cite Aurélien de Réomé sont l'orgue (*organum*) ; la cithare (*cithara*), la lyre (*lyra*). Réginon de Prüm (842-915) réunit les deux premières catégories dans la musique naturelle, qu'il oppose à la musique artificielle (*musicam naturalem et artificialem*). La musique naturelle est bien supérieure, il faut d'abord étudier la musique artificielle, c'est-à-dire instrumentale[97].

Par ailleurs, "qu'il s'agisse d'arithmétique, de géométrie, de musique, d'astronomie, l'homme ne peut que découvrir les lois de l'harmonie, il ne peut pas les fabriquer [...] "*Sciendum vero quod saepe dictae consonantiae nequaquam sunt humano ingenio inventae sed divino quodam nutu Pythagorae sunt ostensae*""[98]. Selon Réginon "les lois de la musique naturelle sont objectives, immuables, divines : dans l'ordre idéal elles obéissent à une échelle diatonique parfaite où il n'y a que des tons entiers ; les phénomènes de la musique artificielle sont en partie humains, variables et subjectifs : ils admettent des demi-tons et des modes fondés sur les variations de l'emplacement de ceux-ci"[99]. En d'autres termes, pour lui, la musique "artificielle" est imparfaite, parce que la gamme comprend cinq tons et deux demi-tons, alors que la musique de la nature doit être parfaite, et donc comprendre "deux fois quatre tons entiers parfaits"[100]. On voit quelle importance il attache au nombre entier en soi, au point d'en imaginer une gamme idéale, en dépit de l'arithmétique.

Pour Otloh de Saint Emmeram (vers 1010 - vers 1072) cette harmonie est universelle. Une large section de son *Dialogus de tribus quæstionibus*[101] semble bien n'être un traité de numérologie. Elle commence d'ailleurs effet par ces mots : "*Numerus enim cum maximus sit divinae scientiae delator*"[102]. À la fin du passage, il sépare les nombres en deux catégories : ceux dont la suite ne forme pas d'harmonie (nulla proportione harmonica copulentur), et ceux qui en forment une. Il s'agit des nombres, ou plutôt de la séquence, 3, 4, 6, 8, 12. L'harmonie de celle-ci est illustrée par le dessin reproduit Fig. 16 dans la forme qu'en donne la *Patrologie* de Migne.

---

94 *Scholia Musica Enchiriadis*, PL 132, col. 1008, & E. de Bruyne, *op. cit*. n. 33, t. I, p. 308.

95 E. de Bruyne, *op. cit.* n. 33, t. I p. 310, traduit de Jean Scot Érigène, *De divisione naturae*, livre III, PL 133, col. 630.

96 *Cf.* Aurélien de Réomé : "*Musicae genera tria noscuntur esse: prima quidem mundana, secunda humana, tertia quae quibusdam constat instrumentis*", *Musica disciplina*, chap. 3, cité par E. de Bruyne, *op. cit*. n. 33, t. I, p. 310.

97 E. de Bruyne, *op. cit*. n. 33, t. I, p. 313.

98 *Ibid.*, t. I, p. 314, et Reginon de Prüm, *Epistola de harmonica institutione* 11, PL 132, col. 494.

99 E. de Bruyne, *op. cit*. n. 33, t. I, p. 315-316.

100 *Ibid.*, t. I, p. 315, et Réginon de Prüm, *op. cit.* n. 98, PL 132, col. 486 : "*Toni naturalis musicae sunt quatuor principales (et quatuor accedentes), toni vero artificialis musicae sunt quinque et duo semitonia ; in naturali musica omnes octo toni integri sunt atque perfecti*".

101 À partir du chap. 34 jusqu'au milieu du chap. 41.

102 Otloh de Saint Emmeram, *Dialogus de tribus quæstionibus*, chap. 34, PL 146, col. 103.

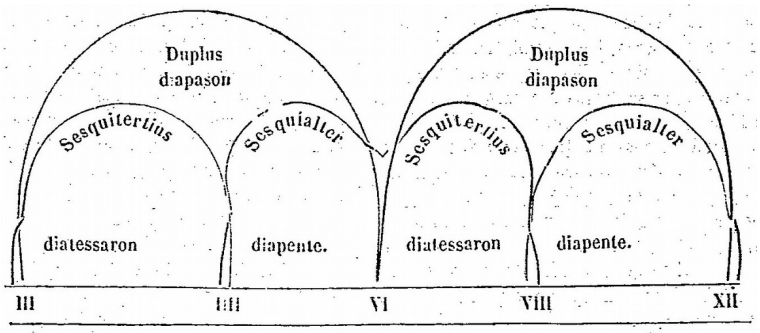
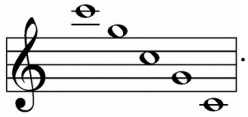


Figure 16. L'harmonie selon Otloh de Saint-Emmeram (PL 146, col. 117-118).

Rappelons que l'intervalle *diatessaron* est la quarte, correspondant au rapport *sesquitertius*, qui est $\frac{4}{3}$; le *diapente* est la quinte, correspondant au rapport *sesquialter*, $\frac{3}{2}$, et le *diapason* est l'octave, correspondant au rapport *duplus*, c'est-à dire 2. Ainsi, du point de vue arithmétique, ce schéma correspond tout simplement, en notation moderne, à $3\times\frac{4}{3}=4$, $4\times\frac{3}{2}=6$, et $3\times 2=6$, pour l'arcade de gauche, et $6\times\frac{4}{3}=8$, $8\times\frac{3}{2}=12$, et $6\times 2=12$ pour celle de droite. Si c'est musicalement que l'on veut le transcrire dans les formes actuelles, ce dessin peut correspondre à la séquence de notes  . La simplicité de ce schéma harmonique est extrême.

Dans les chapitres suivants, Otloh expose l'universalité de cette harmonie : *consonantia habetur in omni creatura*[103]. Elle se trouve dans tous les arts et toutes les professions, par le fait même que l'un dépend de l'autre. Enfin, c'est le même schéma harmonique qui règne au ciel entre les saints :

"*sicut enim in organis vel in monochordo, quae videlicet praecipua sunt in hujusmodi disciplina, varia discrimina sonorum, quolibet modo se praecedant vel subsequantur, per diapason coadunantur : ita in coelesti regno esse credo ; ut, licet ibi pro meritis diversis alter quidem sanctus ad alterum quasi sesquioctavus, id est tonus integer, alter vero, ut sesquialter, id est diapente ; et alius ut sesquitertius, id est diatessaron ad alium referatur : tamen omnes sancti per charitatis concordiam quasi per diapason unum resonent, unum sapiant*"[104]. Les traités musicaux proprement dits sont à l'unisson de ces considérations théologiques. "Vers 1200 le Pseudo-Aristote [...] lui aussi affirme le caractère transcendental de l'harmonie : en toutes chose et non seulement dans le monde sonore se retrouvent les proportions fondamentales de la moitié ou du double, du tiers et du quart. Non seulement elles s'entendent mais elles se voient"[105]. On doit donc s'attendre à

103 Othloh de Saint-Emmeram, *op. cit.* n. 102, chap. 43, PL 146, col. 120.

104 *Ibid.*, chap. 45, PL 146, col. 123.

105 "*Non immerito ad summam refertur Trinitatem quia res quaelibet naturalis ed similitudinem divinae naturae ex tribus constare invenitur. In vocibus et sonis et rebus omnibus trina tantum consistit consonantia, scilicet diatessaron, diapente et diapason. Hanc igitur Trinitatem omnia naturaliter formata consequuntur*". *Cf.* E. de Bruyne, *op. cit.* n. 33, t. II, p. 110-111, et Edmond de Coussemaker (éd), *Scriptorum de musica medii aevi nova series* (Paris, 1864), t. I, p. 270. Le pseudo-Aristote en question est un traité de musique qui occupe la section VI, pp. 251-281, de cet ouvrage sous le titre

trouver les même schémas harmoniques simples dans tous les arts, y compris l'architecture.

4.B. De la beauté idéale au travail bien fait

Si cette esthétique, avec le symbolisme numérique sur lequel elle se fonde, et le schéma harmonique qui lui correspond, est bien établie d'après les théologiens et la musique théorique, elle concerne d'abord la beauté idéale des choses divines. Avant même d'envisager son application à l'architecture, voyons comment les théologiens pensent l'incarnation de cette beauté idéale dans des œuvres plastiques.

Pour Hugues de Saint-Victor, la beauté sensible et la beauté des choses invisibles sont différentes. Dans les choses visibles, la forme est autre chose que l'essence, ce n'est pas le cas des choses invisibles. A cause de cela, la beauté des secondes est simple, alors que celle des premières vient de l'assemblage de plusieurs éléments. Cependant, il y a similitude entre elles "*est tamen aliqua similitudo visibilis pulchritudinis ad invisibilem pulchritudinem*". C'est la beauté sensible qui permet à l'âme de percevoir la sienne propre, "*quoniam visibilis pulchritudo invisibilis pulchritudinis imago est*"[106]. C'est par le symbole que la forme sensible peut signifier l'invisible : "*Symbolum est collatio formarum visibilium ad invisibilium demonstrationem*"[107]. C'est pourquoi, comme l'écrit E. de Bruyne, "dans l'esthétique de Hugues de Saint-Victor, la beauté symbolique est la beauté fondamentale"[108]. De même, Suger, après avoir décrit l'orfèvrerie et énuméré les pierres précieuses qui ornent l'autel de Saint-Denis, se voit transporté dans la pureté du ciel de façon anagogique[109].

Cependant il ne faut pas oublier que, malgré tout ce symbolisme, l'architecture, comme la peinture, la sculpture ou l'orfèvrerie, conservent entière leur valeur purement plastique. "Sans doute, on ne peut oublier un seul instant que le Moyen Âge a nettement fait la distinction entre "*res*" et "*signa*". Avant d'être un signe de l'invisible, la chose a une structure qui lui est propre : il serait ridicule de le perdre de vue ; L'œuvre d'art, même faite avec des intentions allégoristes, est donc avant tout une "*res artificiata*", c'est-à-dire une chose soumise aux lois de la technique et du métier, ayant sa perfection et par conséquent sa beauté propre, s'offrant à la contemplation du premier degré comme une forme purement sensible sans plus"[110]. Les bâtiments aussi bien que les images ont aussi une valeur utilitaire. Remarquons cependant qu'en ce qui concerne l'art religieux, l'utilité est d'abord liturgique. Une part du symbolisme, requis par cette liturgie, doit donc être considéré comme "utilitaire". L'examen de cet aspect demanderait une étude spécifique, en rapport direct avec la liturgie en vue de laquelle les édifices ont été effectivement construits. Un autre

---

Cujusdam Aristotelis tractatus de musica.

106 Hugues de Saint-Victor, *Expositio in Hierarchia* Celestia *Sancti Dionysii*, livre II, PL 175, col. 948-949, et E. de Bruyne, *op. cit.* n. 33, t. II, p. 212.

107 Hugues de Saint-Victor, *op. cit.* n. 106, PL 175, col. 941, et E. de Bruyne, *op. cit.* n. 33, t. II, p. 213.

108 E. de Bruyne, *op. cit.* n. 33, t. II, p. 216.

109 "*Unde, cum ex dilectione decoris domus Dei aliquando multicolor gemmarum speciositas ab exintrinsecis me curis devocaret, sanctarum etiam diversitatem virtutum, de materialibus ad immaterialia transferendo, honesta meditatio insistere persuaderet, videor videre me quasi sub aliqua extranea orbis terrarum plaga, quae nec not sit in terrarum faece, nec tota in coeli puritate demorari, ab hac etiam inferiori ad illam superiorem anagogico more Deo donante posse transferri*" ; Suger, *Liber de Rebus in Administratione sua Gestis*, dans A. Lecoy de La Marche (éd.) *op. cit*. n. 90, p. 198 ; cité par E. de Bruyne, *op. cit.* n. 33, t. II, p. 143.

110 E. de Bruyne, *op. cit.* n. 33, t. II, p. 344.

aspect utilitaire est l'usage pédagogique des représentations imagées. C'est de ce point de vue que Raban Maur (vers 780-856), dans son *de Institutione clericorum*, envisage l'étude des sciences, en particulier "l'arithmétique (mystique), en apprenant les propriétés des nombres sert à pénétrer le sens allégorique ; il en est de même pour la géométrie, employée par les constructeurs du Tabernacle et du Temple"[111].

4.B.1. Y a-t-il accord ou opposition entre esthétique et utilité ?

Si de nombreux auteurs médiévaux distinguent explicitement la beauté de l'utilité, *pulchritudo* et *utilitas*, *pulchra* et *apta*, *decor* et *profectus*, *usus* et *decor*, les deux notions ne sont pas opposées à proprement parler. De nombreux textes vantent le décor comme adéquat, *decens* ou *conveniens*, ce qui ne donne pas davantage l'idée d'un franche opposition[112].

Hugues de Saint-Victor oppose l'utile au beau, mais c'est pour dire immédiatement que dans l'œuvre de Dieu, cette opposition n'existe pas : "*Nam et in formandis vestibus, ii quis nimis pulchritudinem diligunt, saepe utilitatem perdunt, et qui utilitatem conservare cupiunt, pulchritudinem habere non possunt. Sed in opere Dei nec multitudo magnitudinem minuit, nec magnitudo multitudinem stringit, neque simul vel magnitudo vel multitudo pulchritudini officit, neque pulchritudo utilitatem tollit*"[113].

Ces auteurs, qui sont avant tout des théologiens, sont plus intéressés par la beauté morale que par la beauté sensible. Selon Guillaume d'Auvergne (1190-1249) cependant, c'est cette dernière qui est à l'origine de la beauté morale : "*Hanc bonitatem (moralem) vocamus pulchritudinem seu decorem quam approbat et in qua complacet sibi visus noster seu aspectus interior : nominavimus eam pulchritudinem et decorem ex comparatione exterioris et visibilis pulchritudinis*"[114]. Quant à la beauté sensible, elle comporte deux aspects, la beauté intrinsèque des éléments, et l'adéquation de ceux-ci à un ensemble : "*Rubor speciosus est in se et pulchritudo est. Si tamen esset in ea parte oculi ubi albedo esse debet, oculum deturparet* [...] *Id enim quod in se est bonum et pulchrum, in subjecto indecenti turpido est, sicut viridis color, cui in se speciosus sit, in subjecto qui non congruit, turpitudo*"[115]. Naturellement, Guillaume ne s'en tient pas à l'esthétique, et distingue une articulation analogue dans la beauté morale.

Alexandre de Hales (1180-1245) reprend cette idée. Pour lui, le bien (*bonum*) peut être bon en soi (*honestum*) ou relativement à autre chose (*utile*), et de la même façon le beau (*decor*) peut être beau en soi (*pulchrum*) ou bien par son adéquation à l'ensemble (*aptum*). Ainsi se pose "la question de savoir si le beau et le bien sont la même chose. Hales est le premier à formuler cette question de manière précise. Tous les auteurs avant lui affirment sans distinction explicite l'identité des deux concepts". "Au sens strict, d'après Augustin et Cicéron, le bien honnête s'identifie avec la beauté

111 *Cf.* E. de Bruyne, *op. cit. n. 33*, t. I, p. 209.

112 *Ibid.*, t. II, p. 81.

113 Hugues de Saint-Victor, *Didascalicon*, livre VII, chap. 15, PL 176, col. 823, cité par E. de Bruyne, *op. cit.* n. 33, t. II, p. 241.

114 Guillaume d'Auvergne, *Tractatus de bono et malo*, B fol. 207r, cité par E. de Bruyne, *op. cit*. n. 33, t. III, p. 83, d'après Henri Pouillon (éd), Guillaume d'Auvergne, "Tractatus de bono et malo : Texte inédit", Archives d'histoire doctrinale et littéraire du Moyen Âge, vol. 13, pp. 315-319 (1946). Les n^{os} de page sont données d'après les sources de ce dernier, qui sont les manuscrits n° 207, fol. 200r-216v (B) et n° 287, fol. 1r-28v (O) de Oxford Balliol College.

115 Guillaume d'Auvergne, *op. cit*. n. 114, O fol. 13r, B fol. 207r, cité par E. de Bruyne, *op. cit*. n. 33, t. III, p. 87.

intelligible, spirituelle, morale". En simplifiant à l'extrême, on peut dire que le bien et le beau sont essentiellement la même chose, mais que le beau est relatif à une certaine perception. Le beau est le bien "considéré en fonction du plaisir de la contemplation"[116].

Guillaume d'Auvergne affirme leur identité en Dieu, "*Non distinguo tibi hanc pulchritudinem et suavitatem Creatoris a bonitate ipsius*"[117], et Guillaume d'Auxerre (vers 1150-1231) l'étend à la création : "*Idem est Dei bonitas et ejus pulchritudo* [...] *In bonitate rei relucet ejus pulchritudo*"[118].

Le point de vue d'Albert le Grand (vers 1200-1280), est appréciablement différent : pour lui, le bien ultime est l'adaptation à la fin[119]. Par exemple, la forme (*species*) du pied est vraie et bonne parce que le pied est adapté à sa fonction, qui est la marche. La beauté apparaît plutôt comme un degré supérieur ou une conséquence de ces qualités. "Mais la synthèse du vrai et du bien dans la valeur suprême qui vaut par elle-même et est désirable en soi, c'est le beau. "*Pulchrum vero ponit commensurationem veri et boni secundum rationem honesti. Pulchrum enim est "quod propter se expetendum est". Et hoc est in ratione veri boni*""[120].

Dans le *Commentaire sur les Noms Divins*, saint Thomas d'Aquin ne dit pas autre chose : "Le bien et le beau s'identifient quant au sujet qu'ils qualifient, puisque la consonance et la clarté sont contenues à la fois dans la définition du bien comme dans celle du beau. Le bien se rapporte à la faculté d'appétition, le beau ajoute au bien un rapport à la faculté de connaissance"[121].

Il s'agit là de la beauté et de la bonté divines, mais en quoi en diffèrent celles des créatures ? Saint Thomas donne une réponse dans la même leçon : la beauté de la créature est une participation à celle de Dieu, et cette participation est imparfaite. De plus saint Thomas précise ces défauts : "*Est autem duplex defectus pulchritudinis in creaturis : unus, quod quaedam sunt quae habent pulchritudinem variabilem, sicut de rebus corruptibilibus apparet* [...] *Secundus autem defectus pulchritudinis est quod omnes creaturae habent aliquo modo particulatam pulchritudinem sicut et particulatam naturam ; hunc defectum excludit a Deo, quantum ad omnem modum particulationis*"[122]. Évidemment, Dieu est exempt de ces défauts. Mais on voit que, par conséquent, tous ceux des créatures, laides ou mauvaises, ne sont donc essentiellement qu'une plus ou moins grande imperfection de leur participation à la beauté et la bonté divine. Or on a vu que ces deux qualités ne diffèrent que par un certain rapport à la connaissance. Cette identité se généralise ainsi de Dieu à toute la création.

On peut ainsi conclure que "tous les arts tendent au beau comment ils tendent au bien"[123]. Il est

---

116 E. de Bruyne, *op. cit.* n. 33, t. III, p. 90-93.

117 Guillaume d'Auvergne, cité par E. de Bruyne, *op. cit.* n. 33, t. III, p. 91, d'après H. Pouillon.

118 Guillaume d'Auxerre, *Summa Aurea*, livre II *tract*. 9, *quaest*. 4 et *tract*. 13, chap. 1, cité par E. de Bruyne, *op. cit*. n. 33, t. III, p. 91.

119 E. de Bruyne, *op. cit*. n. 33, t. III, p. 157-158.

120 *Ibid.*, t. III, p. 160, et Albert le Grand, *Summa de Bono*, question XII, 8, 22-25. L'ouvrage a été édité, en partie postérieurement à celui de de Bruyne, par H. Kühle, C. Feckes, B. Geyer, et W. Kübel ; *Alberti Magni, Opera omnia*, vol. 28 (Aschendorff, 1951).

121 E. de Bruyne, *op. cit.* n. 33, t. III, p. 279, traduit saint Thomas : "*Quamvis autem pulchrum et bonum sint idem subiecto, quia tam claritas quam consonantia sub ratione boni continentur, tamen ratione differunt : nam pulchrum addit supra bonum, ordinem ad vim cognoscitivam illud esse huiusmodi.*" Saint Thomas d'Aquin, *In librum B. Dionysii De divinis nominibus expositio*, chap. 4, leçon 5, Édition numérique, http://docteurangelique.free.fr.

122 Saint Thomas d'Aquin, *op. cit.* n. 121, chap. 4, leçon 5.

123 E. de Bruyne, *op. cit*. n. 33, t. III, p. 336.

vraisemblable que la pensée des constructeurs devait être en accord avec celle des théologiens, en ne faisant pas de distinction essentielle entre une construction bien faite, dans le sens où elle est solide et adaptée à sa fonction, et une construction belle. De là à soutenir que le Moyen Âge n'aurait pas recherché l'esthétique, la distance a pu être un peu trop vite franchie par certains. J. Harvey dans l'introduction de son ouvrage[124], s'élève contre cette erreur (*fantasy*), parmi d'autres erreurs répandues au sujet des constructeurs médiévaux. Il cite à l'appui de sa position un nombre appréciable de textes médiévaux qui font état de la beauté d'un édifice. Cependant, si ces textes permettent d'affirmer que l'esthétique était perçue et prise en compte, ils ne montrent pas que l'esthétique puisse être conçue indépendamment de la solidité et de la foi, à une exception notable près. Il s'agit d'un texte concernant la tour de Berverley Minster (1050, rebâtie après l'incendie de 1188), qui fait état de constructeurs qui ont plus recherché l'esthétique que la solidité : "*magis invigilabant decori, quam fortitudini, magis delectationi quam commodo stabilitatis*"[125]. Ce texte qui dissocie explicitement esthétique et solidité mécanique semble rester exceptionnel. On constate que des édifices purement fonctionnels, dans lesquels toute recherche esthétique serait parfaitement déplacée (le dessous des latrines de l'abbaye de Royaumont par exemple) sont construits de la même façon que d'autres édifices faits pour être beaux, et nous les trouvons beaux. Cela s'explique simplement : la théologie ne fait pas de différence entre beau et bon, c'est-à-dire solide et adapté. Le constructeur qui crée une nouvelle forme, le fait de façon à satisfaire ces deux objectifs, esthétique et solidité, qui sont tous deux présents en tant que tels, donc que nous pouvons dissocier, mais qui restent indissociables pour lui, puisque, de son point de vue, c'est la même chose : il s'agit toujours d'avoir un édifice bien construit. Lorsqu'on va ensuite construire une bâtisse on voudra le faire bien, et donc on emploiera les méthodes bonnes. Le fait que ces méthodes bonnes aient été établies en tant que telles pour des raisons esthétiques, et qu'on les utilise dans des situations où l'esthétique n'a que faire, n'a pas à entrer en ligne de compte, puisque beau et bon c'est essentiellement même chose. Ceci est valable tant qu'il s'agit de la *proportio* et de la *dispositio*. En ce qui concerne le *decor*, l'ornementation, on s'en passera dans le local fonctionnel. Cependant *decor* signifie ce qui convient, c'est-à-dire que la présence d'une ornementation est elle aussi assujettie à une adaptation à la fonction.

Remarquons enfin que ne pas dissocier "beau" et "bon" s'accorde parfaitement avec la thèse "fonctionnaliste" de Viollet-le-Duc, celle qu'il présente en particulier dans ses *Entretiens*[126]. En effet, dans sa thèse, tout élément doit être à la fois esthétique et fonctionnel, sans qu'il puisse y avoir de désaccord entre les deux notions.

---

124 John Harvey, *The Mediaeval Architect* (Londres, Wayland, 1972).

125 Voici le compte rendu que donne J. Harvey du document en question :
"The craftsmen in charge of the work were not as cautious as they should have been, nor as judicious as they were outstanding in their art; they were intent upon beauty rather than strength, on delighting the eye rather than ensuring stability (*magis invigilabant decori, quam fortitudini, magis delectationi quam commodo stabilitatis*). For when they built the four main piers as supports for the whole of the load to be placed upon them, they set them in the old work elegantly rather than firmly, in the way of those who sew a new patch into an old garment. So it happened that neither the bases nor the shafts of the piers were strong enough to hold up the enormous pile of such astonishing and lofty height", J. Harvey, *op. cit*. n. 124, pp. 39-40, d'après J. Raine (éd.), *The Historians of the Church of York and its Archbishops*, Rolls Series 71, vol. I, p. 345.

126 Eugène Viollet le Duc, *Entretiens sur l'architecture* (Paris, 1863).

5. En matière d'architecture, que pouvons-nous affirmer ?

L'importance de la géométrie pour l'architecture au Moyen Âge est fortement affirmée par Vitruve, comme on l'a vu. Même si le nombre de manuscrits médiévaux de Vitruve conservés est limité, on a la preuve que l'ouvrage (sinon son contenu, du moins son existence et le nom de son auteur), était assez bien connu : "Au XIIIe siècle, la gloire de Vitruve semble consacrée, puisque dans son *Speculum naturale*, Vincent de Beauvais cite textuellement la théorie Vitruvienne des proportions humaines"[127]. Selon Vitruve, l'architecture provient à la fois de la pratique et de la théorie, "*nascitur ex fabrica et ratiocinatione*", cette dernière se définit par la proportion, elle consiste en "*Ratione proportionis demonstrare atque explicare*". Vitruve nous explique aussi les connaissances que doit avoir l'architecte, il "doit être instruit dans la physique, dans la géométrie, dans la médecine et l'hygiène, dans l'astronomie et la musique" : outre la polyvalence, la curiosité intellectuelle demandée, il est raisonnable d'y voir l'exigence des connaissances sur les nombres évoquées plus haut[128].

Les architectes médiévaux prétendent-ils avoir ces mêmes connaissances ? Les "constitutions of masonry", qui présentent les règles de la corporation des maçons en Angleterre au début du XV^{e} siècle[129], affirment dès d'abord le primat de la géométrie : "Ye shall understand that there be seven liberal sciences by the which seven all sciences and crafts in the world were first found; and in especial, for he is causer of all, that is to say the science of Geometry of all other that be. [...] The fifth is Geometry the which teacheth a man all the metes and measures and ponderation of weights of all manner crafts." Tout artisanat provient de la géométrie, parce que l'artisanat utilise la main, qui est de la terre (comme la chair de l'homme) et une certaine proportion : c'est donc la mesure de la terre, c'est-à-dire la géométrie. La géométrie est due à Jabal fils de Lamech : "The elder son Jabal he was the first man that ever found Geometry and masonry, and he made houses and is named in the Bible: *Pater habitancium in tentoriis atque pastorum*". La référence à Genèse 4, 20 est bien fragile, mais Jabal est le frère de Jubal, l'inventeur de la musique selon Pierre le Mangeur[52], et l'auteur des constitutions ne manque pas de le relever. Les connaissances sur l'artisanat ont été écrites sur deux pierres avant le déluge, puis retrouvées par Pythagore et Hermès. Abraham ayant fui une famine était passé en Egypte "and taught the Egyptians the science of Geometry. And this worthy clerk Euclid was his scholar and learned of him [...]. And the lords of the country [...] took their sons to Euclid to govern them at his own will and he taught to them the craft of masonry and gave it the name of Geometry because of the parting of the ground". La suite de l'histoire est tout aussi fantaisiste ; en passant par Charles Martel et le roi d'Angleterre Athelstan, elle établit une origine légendaire de la profession qui la fait remonter à la plus haute antiquité et revendique pour

---

127 E. de Bruyne, *op. cit.* n. 33, t. I, p. 247, cite Vincent de Beauvais, *Speculum Naturale*, XXVIII, c. 2, lui même citant "*Vitruvius in libro III de Architectura*".

128 Vitruve, *de Architectura*, livre I, chap. I, 1-2 ; et E. de Bruyne, *op. cit.* n. 33, t. I, p. 249. Remarquons cependant que, selon l'édition d'A. Choisy du *de Architectura*, il faudrait lire "*pro portione*" et non "*porportionis*".

129 J. Harvey, *op. cit.* n. 124, d'après le manuscrit Cooke, British Museum Additional 23198. J. Harvey a modernisé l'orthographe ; selon lui le texte date de 1400 environ et représente un état des constitutions antérieur à 1390. Quoique ce texte soit un des plus anciens documents revendiqués par les francs-maçons comme exposant l'origine de leur organisation, et que cette revendication soit peut-être aussi ancienne que la franc-maçonnerie, celle-ci ne remonte pas avant le XVII^{e} siècle : au Moyen Âge il s'agit bien d'artisans du bâtiment.

les maçons une origine noble. Le reste du texte est consacré aux règles de la corporation : mœurs, formation, organisation du travail.

Ainsi l'auteur des constitutions donnent de l'importance à la géométrie au point de l'identifier à la maçonnerie ; mais ce qu'il dit positivement de cette science est bien maigre : il n'en donne qu'une étymologie et le nom d'Euclide. La "mesure de la terre" semble bien représenter davantage pour lui le travail de celui qui délimite des parcelles de terrain que des mathématiques. Quant à ce qu'il dit d'Euclide, cela a tellement peu de rapport avec la réalité que j'en viens à penser qu'il connaît peut-être aussi mal l'œuvre que l'auteur. Ainsi, quoique, selon lui, Athelstan ait été un maître en géométrie "speculative", on a l'impression que l'auteur en est bien loin. Ainsi ce texte, déjà assez tardif, nous indiquerait plutôt que ce qu'il faut entendre par géométrie au sujet des maçons médiévaux est bien différent de ce qu'en font les mathématiciens.

Il ne faut cependant pas trop minimiser les liens entre la culture des clercs et celle des constructeurs. En particulier, un certain nombre de religieux se sont particulièrement investis dans la construction et l'ornement de leur église, et en ont rendu compte dans leurs écrits. Suger (1080 ou 1081-1151) est l'un des plus fameux. Il fait écrire sur les portes de son abbatiale :

"[...] *opus quod nobile claret*
Clarificet mentes ut eant per lumina vera
Ad verum lumen, ubi Christus janua vera. [...]
Mens hebes ad verum per materialia surgit
Et demersa prius hac visa luce resurgit"[130].

Suger affirme son symbolisme tout aussi ouvertement, quand il inscrit l'exégèse typologique dans le vitrail représentant l'abre de Jessé. Il fait inscrire sur celui-ci

"*Quod Moyses velat, Christi doctrina revelat.*
Denudant legem qui spoliant Moysem"

et répète ce distique dans ses écrits[131]. Il peut aussi utiliser des symboles de façon moins explicite. C'est ainsi que, "en gardant les fondations [...] de l'ancienne église, Suger voulut à la fois rendre hommage au caractère consacré de l'ancien édifice et l'adapter "*congrua cohaerentia*" aux dimensions du nouveau. Par des instruments de géométrie et d'arithmétique "*geometricis et arithmeticis intrumentis*", il se devait d'égaler l'axe de la nouvelle voûte à celui de l'ancienne et d'adapter la masse des anciennes ailes à celle des nouvelles, en élevant sur les fondements du vieil édifice les colonnes soutenant les arcs de la nef principale, où il voulut rappeler le nombre des douze apôtres, auxquels correspondaient les douze prophètes symbolisés par les colonnes des nefs latérales"[132]. Le texte dit explicitement que la construction nouvelle est adaptée à l'ancienne, et que le nombre de colonnes est déterminé par une intention symbolique. Il est fréquent que l'on oppose ces deux types d'explication, selon les contraintes pratiques du bâti existant, ou selon le symbolisme religieux ou arithmétique : on voit ici qu'elles ne s'excluent pas nécessairement.

Plusieurs auteurs ont étudié l'application de la symbolique des nombres et de structures modulaires dans l'architecture, j'en discute un certain nombre par ailleurs. L'architecture carolingienne a aussi fourni la matière d'études très intéressantes, comme celle de W. Horn et E Born[133]. A. Quacquarelli a mis en relief le symbolisme paléochrétien du nombre 8, qui signifiait la

130 Suger, *op. cit.* n. 109, p. 189, mais aussi *in situ*.

131 *Ibid.*, p. 205.

132 Suger, *de consecratione*, *op. cit.* n. 90, p. 225 & 227, et E. de Bruyne, *op. cit.* n. 33, t. II, p. 144.

133 Walter Horn et Ernest Born, "On the selective ue of sacred numbers and the creation in Carolingian architecture of a new aesthetic based on modular concepts", *Viator*, vol. 6, pp. 351-390 (1975).

résurrection et le baptême[134]. Son analyse se base d'abord sur les pères, avec un nombre important de citations de symbolique des nombres dans l'exégèse biblique ayant un rapport avec le nombre 8. Il considère ensuite ce symbolisme dans la liturgie, dans l'octave de Pâques et certaines odes, puis dans les monuments. La forme octogonale de nombreux baptistères en particulier, serait liée à la symbolique de la résurrection, le baptême étant en soi une renaissance qui fait participer le fidèle à la résurrection du Christ, qui a lieu le dimanche de Pâques, 8^{e} jour de la semaine sainte. L'auteur mentionne aussi des églises octogonales, et l'octogone utilisé comme motif décoratif en relation avec ce symbolisme. Enfin, il a observé le signe du comput digital qui signifie le nombre 8 sur des sarcophages (mais avec un changement de main).

Les controverses au sujet de la construction de la cathédrale de Milan, bien connues par le remarquable article de J. Ackermann[135], apportent un des rares témoignages explicites sur les méthodes employées par les architectes. Le premier projet, proposé par Nicolas de Bonaventure en 1390, repose sur un quadrillage utilisant deux modules différents, 16 et 10 brasses (*brachia)*, pour les dimensions horizontales et verticales respectivement. Les hauteurs sont de 3, 4 ou 5, 6 ou 7 modules (suivant qu'on compte ou non le chapiteau et le départ des voûtes dans ces hauteurs). Annas de Firimburg, successeur de Nicolas, propose ensuite une section définie par un triangle équilatéral. Cette proposition apparaît comme une nouveauté, au moins du point de vue des maîtres maçons lombards. Pour la prendre en compte, il faut calculer la hauteur du triangle équilatéral à partir de la longueur de sa base, à savoir la largeur de la nef dont les fondations étaient déjà réalisées, 96 brasses. Aujourd'hui, c'est un exercice du niveau du collège, la hauteur est $(96/2)\times\tan 60° = 48\sqrt{3} \simeq 83.14$. En 1391, il a été nécessaire de faire appel à un spécialiste, un mathématicien de Plaisance nommé Gabriele Stornaloco. Celui-ci a calculé la hauteur et trouvé 84.

Il a ensuite proposé un deuxième schéma modulaire, basé sur la décomposition de ces 84 brasses en 6 modules de 14 brasses chacun. La largeur étant divisée en 6 parties (de 16 brasses) de façon analogue, on obtient pour les différentes nefs des proportions de 2 modules sur 1, 3 sur 1, 4 sur 2 : ces proportions restent parfaitement dans le cadre de l'harmonique musicale telle qu'on l'a vue précédemment, dès le moment ou l'on oublie que le module vertical n'est pas égal au module horizontal. En 1392, un expert étranger, en conflit avec les maître locaux, et qui n'est autre que Heinrich Parler de Gmünd, propose un nouveau plan, dit *ad quadratum* : Il s'agit essentiellement de conserver un système modulaire analogue, mais avec un quadrillage carré, c'est à dire un module vertical de 16 *braccia* égal au module horizontal. Cette solution, bien que plus satisfaisante du point de vue de la géométrie, est rejetée par les maîtres maçons lombards, parce qu'elle porterait la hauteur de la nef à une telle valeur, qu'il leur faudrait renoncer à leur propres techniques de maçonnerie, en particulier en termes de contrebutement et raidissement, pour adopter celles qui étaient pratiquées en Allemagne ou en France. L'esthétique qui en résulte, d'une part donnant moins d'importance aux verticales, et d'autre part conservant la surface murale plutôt que de multiplier les arcs (pas d'arcs boutants en particulier), est très différente. On voit ici que choix technique et choix esthétique sont intimement mêlés.

Dans une expertise ultérieure, en 1400, un autre maître, Français celui-là, Jean Mignot, reprochera aux lombards de ne pas tenir compte de la science, mais seulement de la technique (le

134 Antonio Quacquarelli, "L'ogdoade patristica e suoi riflessi nella liturgia e nei monumenti", *Quaderni di "Vetera Christianorum",* n° 7 (Bari, 1973).

135 James S. Ackerman, ""Ars Sine Scientia Nihil Est" - Gothic Theory of Architecture at the Cathedral of Milan", *The Art Bulletin*, vol. 31, n° 2, pp. 84-111 (1949).

fameux "*ars sine scientia nihil est*"). Mais ses arguments sont techniques : qualité des fondations et poussée des arcs[136]. Ici la "science" consiste à respecter le schéma géométrique *ad quadratum* (ou éventuellement *ad triangulum*) avec suffisamment de rigueur : c'est donc un choix qui porte essentiellement sur les proportions du volume interne de l'édifice, que nous pouvons considérer comme un choix essentiellement esthétique de notre point de vue.

Revenons à la "dispute" de 1392. Les maîtres lombards proposent que le module soit réduit à 12 brasses, au-dessus des chapiteaux des piliers qui séparent les premiers bas-côtés des seconds. Le triangle équilatéral est ainsi remplacé par un triangle "de Pythagore", c'est à dire à côtés proportionnels à 3, 4, et 5 : c'est le choix d'angle qui permet d'avoir des dimensions entières, et surtout un rapport simple de $4/3$ (quarte) entre largeur et hauteur. Comme le dit J. Ackerman, du point de vue de Heinrich Parler, "this peculiar alteration upsets entirely the logic of the original scheme. By employing two different geometrical systems, the chief purpose of the triangle - to provide a unified interrelation of the parts and the whole - is ignored." Les maîtres lombards appliquent en effet leur système de proportions, celui de l'harmonie musicale, avec une désinvolture déroutante. De leur point de vue vraisemblablement, d'une part les rapports des nombres de modules forment une certaine harmonie, d'autre part les mesures en brasses de ces modules en forment une autre. Ce qui compte est la qualité de l'harmonie qui en résulte, pas sa cohérence mathématique. La logique d'Heinrich Parler paraît plus systématique et dogmatique, mais ne serait-ce pas tout simplement dû à sa position d'expert étranger représentant à la fois la dernière mode et la technologie de pointe ?

Dans l'expertise de Jean Mignot de 1400, il est question des proportions des chapiteaux. Pour lui le chapiteau et la base doivent avoir la même hauteur, et cette proportion semble fixée une fois pour toutes, alors que les lombards reviennent plutôt à l'origine des proportions telle que la présente Vitruve lui-même, avec cependant l'affirmation d'une proportion inusitée, la tête faisant 4 fois le pied ; mais il s'agit de l'épaisseur et non de la longueur de celui-ci, comme de la hauteur et non du diamètre de la base[137]. De plus, ils prennent une liberté étonnante avec cette dimension, augmentée de 2 brasses "pour y placer des sculptures". Même si l'argument est inventé a posteriori, il fallait au moins qu'il paraisse acceptable à ses auteurs.

La stabilité de la tour de croisée prévue fut discutée ; en particulier, l'absence de fondations pour quatre tours devant l'encadrer était critiquée par Mignot. L'argumentation des maîtres

136 "[...] *et quod est deterius oppositum est quod scientia geometriae non debet in iis locum habere eo quia scientia est unum et ars est aliud. Dictus magister Johannes dicit quod ars sine scientia nihil est, et quod sive voltae sint acutae sive retondae non habendo fundamentum bonum nihil sunt, et nihilominus quamvis sint acutae habent maximum onus et pondus*." *Annali della fabbrica del Duomo di Milano dall' origine fino al presente* (Milan, 1877-1885), vol. I, p. 209, cité par J. Ackerman, art. cit. n. 135, appendix, III.

137 "*Item quod capitelli pilonorum positi in opera supra ipsis pilonis non sunt positi ad rationem suam, quia pedes ipsorum pilonorum sunt brachiorum duorum pro quolibet in longitudine, et capitelli sunt br. X pro quolibet ipsorum in longitudine, debent esse ipsi capitelli tantae longitudinis quantae sunt pedes ipsorum pilonorum.*
Dicunt et respondent quod pedes sive bassae pironorum si sunt brachiorum II capitelli debent esse brachium unum, ipsis rationibus dicunt bassam pironorum et pes dicitur pes hominis et capitellum dicitur caput piloni, ita caput hominis dicitura capitello. Ita quod pes est quarta pars capitis hominis et per istam rationem naturalem deberent esse brachia VIII et si essent facti de br. X essent propter ad ornamentum pironorum pro ponendo figuras." *Annali* ..., vol. I, p. 203-204, cité par J. Ackerman, art. cit. n. 135, appendix, IIb.

lombards, entre un argument géométrique peu clair et d'autres franchement techniques, fait appel à la symbolique religieuse : "*alia vero pro fortitudine et pulchritudine tiborii, videlicet quasi per istum exemplum in paradixo Dominus Deus sedet in medio troni, circha tronum sunt quatuor evangelistae secundum Apocalissim, et istae sunt rationes quare sunt incoeptae*"[138].

Enfin les maîtres se défendent, contre Mignot, de respecter la géométrie, d'abord parce qu'ils n'ont utilisé que des lignes droites ou des arcs de cercles. La façon dont ils justifient que seules ces deux sortes de lignes doivent être considérées est assez curieuse : c'est parce qu'"*Aristotulus dixit hominis autem motus secundum locum quem vocamus lationem, aut reclusus aut circularis aut ex eis mixtus*"[138]. On a parlé plus haut des proportions de l'architecture selon Vitruve, mais aussi du corps humain, et constaté que les figures géométriques qu'il considère sont essentiellement des cercles et des carrés[139]. En géométrie, on observe des limitations analogues. A.G. Molland observe que dans les éléments d'Euclide, les seules lignes qui apparaissent sont soit des lignes droites soit des arcs de cercles[140].

6. Histoire des sciences : physique, mesures, science des poids

6.A. Quelques considérations sur la statique au Moyen Âge

Pour cerner les grandes lignes de la physique médiévale, je me référerai d'abord aux travaux de M. Clagett[141]. Il cite d'abord la définition que Hugues de Saint-Victor donne de cette science, sur l'autorité de Boèce : "*Physica causas rerum in effectibus suis et effectus a causis suis investigando considerat*", "*haec etiam physiologia dicitur, id est, sermo de naturis disserens, quod ad eandem causam spectat*"[142]. D'autres auteurs, suivant la tradition dite platonique de Cassiodore et Isidore de Séville, divisent la philosophie en trois parties, physique, éthique et logique. La mécanique n'apparaît pas dans cette division. Seule la physique traite des choses à proprement parler, les autres sciences, mathématiques et métaphysique, traitent de la compréhension intellectuelle des choses. De plus, la physique se réfère à l'expérience. Par "mécanique", il faut plutôt comprendre technique : "*Mechanica septem scientias continet: lanificium, armaturam, navigationem, agriculturam, venationem, medicinam, theatricam*"[143].

La *division des sciences* d'Al Farabi[4] mentionne l'optique et la "science des poids", comme des parties des mathématiques, alors que la physique s'occupe des "accidents" des corps[144]. Il s'agit de l'étude de la matière considérée comme un matériau. Al Farabi dépend fortement d'Aristote. Il divise la physique en 8 sections qui sont autant de livres attribués à Aristote[145] : *Physique*, *Traité du*

138 *Annali* ..., vol. I, p. 209-210, cité par J. Ackerman, art. cit. n. 135, appendix, III.

139 *Cf.* aussi E. de Bruyne, *op. cit.* n. 33, t. I, p. 259.

140 A. George Molland, "Colonizing the world for mathematics : the disversity of medieval strategies", in in Edward Grant, John E. Murdoch (éd.), *Mathematics and its applications to science and natural philosophy in the Middle Ages* (Cambridge, 1987), pp. 45-66, plus particulièrement p. 46.

141 Marshall Clagett, *Studies in medieval Physics and Mathematics* (Variorum reprints, Londres, 1979), chap. 1 : "Some general aspects of physics in the Middle Ages", et *ibid*., *Isis,* vol. 39, pp. 29-44 (1948).

142 Hugues de Saint-Victor, *Didascalicon*, livre II, chap. 16, PL 176, col. 757.

143 *Ibid.*, livre II, chap. 20, PL 176, col. 759.

144 "Natural science (physics) investigates natural bodies and the accidents which are in these bodies (i.e. the sensible attributes of the bodies)." Al Farabi *Kitab ihsa' al-'ulum,* trad. M. Clagett, art. cit. n. 141.

145 À deux détails près : Al Farabi sépare les *Météorologiques* en 2 parties, corps purs et composés, et regroupe l'*Histoire des Animaux* et d*e l'Âme* en une seule section. Le *Livre des Minéraux* est attribué à

Ciel, *de la Génération et de la Corruption*, *Météorologiques*, *Livre des Minéraux*, *Livre des Plantes*, *Histoire des Animaux*, *de l'Âme*. Cette science comprend donc la minéralogie, la biologie, la zoologie, et finalement assez peu de ce qu'on appelle physique aujourd'hui.

Ce qui nous intéresse ici est la mécanique, *sciencia de ponderibus*, mais aussi la *sciencia de ingeniis*, science des machines, qui semble bien être la "science de l'ingénieur". On se souvient de la façon dont Gundissalvi divise les mathématiques[4] : "*Mathematica quoque universalis est, quia sub ea continentur septem artes, que sunt arismetica, geometria, musica et astrologia, sciencia de aspectibus, sciencia de ponderibus, sciencia de ingeniis.*" Sa description de la science des poids est très brève[146]. Cette science contient l'étude des poids selon qu'on les mesure ou selon qu'on mesure avec eux, il s'agit sans doute de la mesure des masses et des unités de cette mesure. Mais elle contient aussi l'étude du mouvement, et celle des machines servant à soulever et à transporter les charges.

En ce qui concerne la *sciencia de ingeniis*, Gundissalvi reste aussi très proche d'Al Farabi. "*Scientia uero de ingeniis est sciencia excogitandi, qualiter quis faciat conuenire omnia illa, quorum modi declarantur et demonstrantur in doctrinis, conuenire inquam in corporibus naturalibus in acceptione et situi eorum in actu*"[147]. Elle fait appel à l'algèbre et à la géométrie, et aussi aux nombres "*rationabilibus et surdis*", c'est-à-dire rationnels et irrationnels, qui apparaissent dans le livre X des éléments d'Euclide.

Et cette science géométrique s'applique à la maçonnerie (*ars cementariorum*), à la mesure (*ad mensuranda corpora*), à la fabrication d'armes et d'instruments de musique, d'instruments d'optique, y compris les miroirs ardents, mais aussi à la science des poids (*arte ponderum*) et à la charpenterie (*ars fabricandi in carpentariis*). Il est aussi question d'*instrumentis de arte eleuandi*, qui eux n'apparaissent pas dans le texte d'Al Farabi, qui parle plutôt d'instruments nombreux à cet endroit ; s'agit-il d'une addition ou d'une erreur de traduction de Gundissalvi ?

Le *De divisione philosophiae* n'est pas une traduction du *Kitab ihsa' al-'ulum*, quoique le sujet en soit essentiellement le même : les divisions diffèrent, bien des sections sont rédigées de façon totalement différente. Cependant les deux sections du premier qui concernent la science des poids et celle de l'ingénieur sont (à une phrase omise et diverses subtilités de traduction près, dont l'étude est totalement en dehors de mes compétences), des traductions des passages correspondants du second. Faut-il en déduire que Gundissalvi adhérait totalement et sans réserve à l'opinion de Al Farabi, ou plutôt qu'il n'avait aucune idée sur le sujet par ailleurs, et s'est pour cela contenté de recopier sa source ? Cette dernière hypothèse est trop vraisemblable pour que les conclusions que l'on pourrait tirer du texte, comme l'usage de nombres irrationnels par les "ingénieurs", soit attestée par celui-ci dans l'Europe du XII^{e} siècle, et pas seulement dans le Califat. Il faut remarquer que nombres rationnels (*racionabiles*) et irrationnels (*surdos*) sont traités de façon équivalente, et concernent davantage les ingénieurs que les mathématiciens : ils ne sont en effet mentionnés qu'une fois dans la science de géométrie alors qu'un paragraphe entier leur est consacré dans la science de

Avicenne, et le *Livre des Plantes* serait de Nicolas de Damas. M. Clagett, art. cit. n. 141.

146 À tel point qu'on peut la reproduire ici dans son intégralité : "*Sciencia uero de ponderibus ponderosa duobus modis considerat: uel secundum quod mensuratur uel secundum quod mensuratur cum eis et eis ; et est inquisicio de principiis doctrine in ponderibus. uel considerat secundum quod mouentur uel secundum ea, cum quibus mouentur ; et tunc est inquisicio de principiis instrumentorum, quibus eleuantur grauiora et super que permutantur de loco ad locum*." D. Gundissalinus, *op. cit*. n. 4, pp. 121-122. Ce texte traduit la section correspondante du *Kitab ihsa' al-'ulum d'Al Farabi.*

147 D. Gundissalinus, *op. cit*. n. 4, p. 122.

l'ingénieur.

M. Clagett[148] donne une liste des ouvrages de référence de la physique médiévale. Peu d'ouvrages concernent la mécanique, on retiendra le *Liber charastonis* de Thabit ibn Qurra, traduit par Gérard de Crémone, un traité sur la balance romaine, et des *Problemata mechanica* atttribués (à tort) à Aristote[149].

La mécanique peut être partagée en deux parties, statique et dynamique, c'est-à-dire l'équilibre des corps au repos et l'étude des mouvements. Telle qu'on conçoit cette science depuis Newton, les lois de la statique se déduisent simplement de celles de la dynamique, en supposant la vitesse nulle. La situation était bien différente dans l'Antiquité et au Moyen Âge. La dynamique est une partie de la physique, et est essentiellement qualitative. La statique, elle, relève davantage des mathématiques : des résultats quantitatifs sont obtenus, et ses lois se déduisent d'un petit nombre d'axiomes d'une façon analogue à la géométrie d'Euclide. C'est le cas en particulier dans l'ouvrage d'Archimède *de l'équilibre des plans*[150]. Le fait qu'un théorie quantitative du mouvement ne se soit développée qu'à partir de la Renaissance est sans doute lié au progrès technologiques de l'horlogerie, qui ont rendu possible une mesure du temps beaucoup plus précise, et profondément modifié l'appréhension de celui-ci[151].

Archimède établit la loi des leviers, qui revient à la condition d'équilibre des moment des forces appliquées, à l'aide d'un raisonnement géométrique assez subtil, qui fait intervenir la notion préalable de centre de gravité[152]. Les *Problemata mechanica* du pseudo-Aristote justifient le même résultats à l'aide de déplacements virtuels[153].

Entre ce raisonnement et celui que l'on ferait en physique contemporaine en faisant intervenir le travail des forces, la différence essentielle est que l'auteur des *Problemata mechanica* mentionne la vitesse des mobiles. On sait que la mécanique aristotélicienne ignore l'inertie : en fait, on peut la considérer comme valable dans la limite où les frottements sont suffisamment importants pour que l'inertie soit négligeable. C'est justement cette situation qui est celle du mouvement quasi-statique, situation dans laquelle on applique aujourd'hui le principe des travaux virtuels.

6.B. Jordanus de Nemore

La s*cientia de ponderibus* de Jordanus de Nemore[154] semble bien être un ouvrage majeur de la statique médiévale. On ne sait rien de sûr de l'auteur. On suppose qu'il vivait au début du XIII^{e} siècle, ou à la fin du XII^{e}, parce que ses travaux sont cités dans la *Biblionomia*, un catalogue de la Bibliothèque de Richard de Fournival compilé entre 1246 et 1260. Jordanus est fréquemment cité,

148 M. Clagett, art. cit. n. 141.

149 On peut y ajouter le traité *des corps flottants* d'Archimède, traduit par Guillaume de Moerbeke en 1269, qui expose le principe d'Archimède et l'équilibre de divers corps dans un liquide, mais il ne s'agit ici d'hydrostatique et non de mécanique à proprement parler.

150 Daniel Silvio Vaccaro, "La tensión entre estática y dinámica desde la Antigüedad hasta el Renacimiento", S*cientiæ studia*, vol. 6, n° 4, pp. 509-449 (São Paulo, 2008).

151 *Cf.* Alexandre Koyré, *Études galiléennes* (Hermann, 1966).

152 Archimède, *De l'équilibre des plans, cf.* l'analyse de ce texte dans Daniel Silvio Vaccaro, art. cit. n. 148.

153 Daniel Silvio Vaccaro, art. cit. n. 148.

154 E.A. Moody et M. Clagett (éds.), *The medieval science of weights (Scientia de ponderibus), Treatises ascribed to Euclid, Archimedes, Thabit ibn Qurra, Jordanus de Nemore, and Blasius of Parma* (Madison, Wis., 1952).

par exemple par Nicole Oresme (vers 1323-1382), il était connu et a été publié aux XV^e^ et XVI^e^ siècles. À partir du nom *de Nemore*, plusieurs conjectures ont été faitres sur son origine. Cependant, la majorité des manuscrits, ainsi que les citations médiévales, l'appellent *Iordanus* tout court[155]. De plus, *de Nemore* signifie "de la forêt" ou même simplement "forestier", et peut aussi bien indiquer simplement une origine liée à un lieu boisé, qu'être un nom de lieu, comme l'affirme P. Duhem[156]. Cependant beaucoup de lieux sont nommés *Nemoris* ou *Nemus*, en Allemagne, Belgique, France, Espagne et Italie. Pierre Duhem propose Nemi, dans le Latium, un autre auteur, Nemours. Un troisième auteur a vu dans ce nom une corruption de *de numeris* ou *de numero*[157].

Certains ont voulu l'identifier avec Jourdain de Saxe, maître général des Dominicains de 1222 à 1237, mais P. Duhem a justifié que cette identité n'est pas fondée. R.B. Thomson considère cependant que la question reste non résolue.

R.B. Thomson mentionne une douzaine d'œuvres de Jordanus, dont la moitié seraient des attributions hypothétiques[158]. Parmi celles-ci figurent plusieurs ouvrages d'arithmétique : deux portent le titre d'*Algorismus.* Le premier présente le système des nombres arabes et les opérations usuelles, auxquelles il faut ajouter l'extraction de racines. Le second traite des fractions et des opérations sur celles-ci. Le traité *De elementis arismetice artis* "devint la source standard de l'arithmétique théorique au Moyen Age". Enfin l'ouvrage *De numeris datis* traite de résolution d'équations.

Sous le nom de *Filotegni*, comme il est cité dans la *scientia de ponderibus*, ou plus exactement *Liber phylotegni de triangulis*, est donné, non pas un ouvrage de technologie, comme on pourrait s'y attendre d'après son titre de "philotechnique" mais un traité de géométrie. Il faut noter qu'il n'y a pas d'autre mention du mot *philotegni* au Moyen Âge[159]. Cet ouvrage "représente la géométrie latine médiévale à son plus haut niveau" selon l'appréciation de R.B. Thomson[160]. Précisons-en un peu le contenu à l'aide de l'analyse de M. Clagett. Il contient 63 ou 64 propositions, qui traitent de rapports métriques dans les triangles (dimensions linéaires et aire, propositions 1 à 13, 30), de la division d'un segment suivant diverses proportions (propositions 14 à 19), puis de la division d'un triangle (propositions 21 à 24), enfin de celle d'un quadrilatère (propositions 25). Les propositions suivantes sont consacrées à des inégalités d'arc de cercles avec les cordes, tangentes et flèches, c'est-à-dire des inégalités trigonométriques (propositions 26 à 37). La suite de l'ouvrage traite de l'inscription de polygones réguliers dans des cercles (propositions 38 à 49 (ou 50)), puis de polygones (réguliers ou non) dans d'autres (propositions 51 à 60). Les 3 dernières propositions

155 Ron B. Thomson, *Jordanus de Nemore and the mathematics of astrolabes: "De Plana Spera". Studies and Texts,* 39 (Toronto, PIMS, 1978).

156 Pierre Duhem, *Les origines de la statique* (Paris, Hermann, 1905), p. 98 *sq.* http://www.archive.org/stream/lesoriginesdelas00duhe#page/n105/mode/2up. Voir aussi Ron B. Thomson, "Jordanus de Nemore and the University of Toulouse", *British J. Hist. Sci.* vol. 7, n° 26, pp. 163-165 (1974).

157 O. Klein, "Who was Jordanus Nemorarius ?" *Nuclear Physics*, vol. 57, p. 347 (1964) ; cité dans R. B. Thomson, *op. cit.* n. 146.

158 R. B. Thomson, *op. cit.* n. 146. Une liste des œuvres de Jordanus, précisant les différentes versions, manuscrits et éditions, y compris pour les attributions fausses, se trouve dans Ron B. Thomson, "Jordanus de Nemore : Opera", *Mediaeval Studies,* vol. 36, pp. 97-144 (1976).

159 "The Liber philotegni of Jordanus de Nemore", in Marshall Clagett, *Archimedes in the Middle Ages*, vol. V, part II, p. 145 *sq.*

160 R. B. Thomson, *op. cit.* n. 146.

établissent les polygones d'aire maximale pour un périmètre donné (propositions 61 à 63).

Mais "c'est en mécanique que Jordanus a laissé son grand legs à la science", en deux traités, la *Scientia de ponderibus, ou Elementa super demonstrationem ponderum,* et le *De ratione ponderum,* dont l'authenticité n'est pas aussi certaine[147]. "Il joignait l'approche dynamique et philosophique caractéristique de la physique Aristotélicienne dominante de son temps avec la physique mathématique abstraite et rigoureuse d'Aristote. Les postulats des *Elementa* et *De ratione ponderis* étaient dérivés de et cohérents avec le concept de mouvement dynamique aristotélicien, mais étaient arrangés d'un façon qui permettait la dérivation de preuves rigoureuses dans un format mathématique modelé sur la statique d'Archimède et la géométrie d'Euclide"[161].

L'apport de Jordanus se compose principalement (i) d'une preuve de la loi de l'équilibre des leviers, qui contient en germe le principe des déplacements virtuels, (ii) de l'introduction de la notion de *gravitas secundum situm,* qui correspond, en mécanique newtonienne, quand on considère l'effet du poids sur un objet posé sur un plan incliné, à la composante du poids le long de ce plan, et (iii) de l'étude de l'équilibre de masses se déplaçant sur des plans inclinés.

Dans les *Elementa Jordani de ponderibus* est introduite la notion de *gravitas secundum situm,* que P. Duhem traduit par "gravité relative à la situation du mobile", est d'abord appliquée au mouvement de l'extrémité du bras de la balance le long d'un arc de cercle : cette grandeur diminue quand le bras s'éloigne de l'horizontale, parce que pour une même distance parcourue le long du cercle, la distance verticale est plus faible[162]. Jordanus considère alors le cas d'un levier coudé à bras inégaux, mais fait une erreur quant à l'équilibre de celui-ci : en l'analysant à l'aide de la notion de *gravitas secundum situm*, il conclut que le bras le plus court s'abaissera. Son erreur vient de ce qu'il considère des trajets finis, là où il faudrait considérer des trajets infinitésimaux. Pour établir ensuite la loi des leviers, Jordanus utilise un principe que P. Duhem énonce : "Ce qui peut élever un poids à une certaine hauteur peut aussi élever un poids k fois plus grand à une hauteur k fois plus petite. Ce principe est donc celui que Descartes prendra pour fondement de toute la Statique"[163]. On peut considérer le raisonnement de Jordanus comme parfaitement correct du point de vue de la physique moderne si l'on tient compte du fait que la grandeur qui mesure pour lui l'intensité du poids n'est pas la force mais le travail de celle-ci[164].

Le *liber Jordani de ratione ponderis* comprend quatre livres dont les trois premiers sont consacrés à la statique (le quatrième l'est à la dynamique). L'auteur reconsidère le problème du levier coudé mais en donne cette fois une solution juste, qui rend compte de l'équilibre stable. Pour cette raison, P. Duhem doute que cet auteur soit Jordanus lui-même, quoique les manuscrits lui attribuent explicitement l'ouvrage, et l'appelle le "précurseur de Léonard de Vinci". Ce dernier généralise son résultat à toutes les situations de leviers coudés, puis résout ce que P. Duhem appelle le "problème du plan incliné"[165], c'est-à dire la condition d'équilibre de deux poids reliés entre eux et glissant sur des pentes d'inclinaison différente. La preuve utilise le principe énoncé plus haut. Ce sont là les recherches les plus abouties de la statique médiévale, du moins du point de vue

161 Edward Grant, "Jordanus de Nemore", p. 172, *Dictionary of Scientific Biography* (New York : Scribners, 1873), http://www.encyclopedia.com/doc/1G2-2830902223.html, cité dans R. B. Thomson, *op. cit.* n. 146.

162 P. Duhem, *op. cit.* n. 145, pp. 118-119.

163 *Ibid.*, p. 121.

164 Est-il besoin de rappeler que toute référence à ces dernières notions au XIII^{e} siècle est totalement anachronique ?

165 P. Duhem, *op. cit.* n. 145, p. 144.

théorique, et cela nous semble bien maigre par rapport aux réalisations architecturales.

Vers 1800, Jean Rondelet consacre une section de son monumental ouvrage *l'Art de bâtir* aux "principes de mécanique"[166]. Quoique les concepts physiques utilisés soient plus modernes, le spectre des problèmes traités est assez voisin du contenu des ouvrages de Jordanus. Dans les sections suivantes, Rondelet dépasse ce niveau pour aborder la poussée des terres ou la résistance des pierres, ce sont là des résultats expérimentaux de son cru. Il expose aussi les résultats récents de la théorie des voûtes. À en juger par ce témoignage, si on excepte ces quelques résultats à la pointe du progrès, le bagage de l'architecte du XVIII^{e} siècle en mécanique semble avoir été assez voisin de la "science des poids" telle que l'avait établie Jordanus longtemps auparavant.

6.C. La physique médiévale à un niveau plus commun

Il s'agit cependant là de hautes mathématiques. Pour se faire une idée des connaissances des non-spécialistes, il est préférable de se reporter à des ouvrages davantage destinés au "grand public" (si le lecteur me permet ce abus de langage), en particulier des ouvrages à caractère encyclopédique comme le *Speculum maius* de Vincent de Beauvais (entre 1246 et 1263).

Les mathématiques et la mécanique sont traitées dans le *Speculum doctrinale*[21]. Le livre 16 traite des mathématiques, en commençant par l'arithmétique et la numération. Le chapitre IX *De Computo, et Algorismo* présente le système de numération décimal, puis, après la musique, vient la géométrie. Le chap. XXXVII *De partibus Geometriae,* distingue géométrie théorique (*speculativa*) et appliquée (*activa*). Cette dernière s'intéresse à la mesure des longueurs, et des superficies des terres, mais elle s'applique aussi aux profession de charpentier, forgeron, maçon. Remarquons que l'architecte en tant que tel n'est pas mentionné[167].

La science de la mesure (chap. XL) se limite aux mesures de longueurs, surfaces et capacités[168]. Les masses se mesurent aussi, c'est la science des poids, mais le mot "mesure" (*mensura*) ne s'y rapporte pas. Il n'y a pas d'autre quantité mesurable.

Après l'optique (*scientia perspectiua*) et l'astronomie, Vincent en vient à la science des poids. Après avoir cité les quelques lignes d'Al Farabi mentionnées plus haut[4], il cite Isidore de Séville (livre 16 des étymologies). Résumons-en le contenu : Moïse fut le premier à parler de nombre, mesure, et poids : ne s'agit-il pas à nouveau de l'extrait du livre de la Sagesse cité plus haut[169], attribué faussement à Moïse ? Puis Isidore, repris par Vincent, décrit les éléments de la balance, puis énumère les unités : le chalque (*calcus*) est le quart de l'obole (*obolus*), la *siliqua* est 1/24 du *solidus,* le *cerates* est la moitié de l'obole, et vaut une *siliqua* et demi. Le scrupule (*scrupulus*) vaut

166 Jean Rondelet, *Traité théorique et pratique de l'art de bâtir* (tome 3, Paris, 1805), livre 5, section III, "des principes de mécanique", art. I à IV. L'art. V est une application des mêmes principes.

167 Voici le texte : "*Alpharabius ubi supra. Geometria similiter, alia est actiua, alia speculatiua. Actiua considerat lineas superficies et corpora tribus modis ; quia vel in altum, et haec scientia dicitur altimetria, vel in planum, et haec planimetria ; uel in profundum, et hec perimetria. Unaqueque autem istarum habet materiam propriam, et instrumenta, et opifices proprios, scilicet mensores et fabros. Mensores sunt. Qui terrae superficiem quamlibet mensurant, horum instrumenta sunt, palmus, pes ; cubitus, stadium, pertica, et huiusmodi. Fabri vero sunt.. carpentarius..., ferrarius..., cementarius...caeteriq. Instrumenta quoque diuersa, ut linea, trulla, perpendiculum, et huiusmodi.*" Vincent de Beauvais, *speculum doctrinale*[21], livre 16, chap. XXXVII.

168 Il s'agit précisément des chapitres XLI, *De mensuris spatiorum, siue locorum*, et XLII, *De mensuris aridorum, et liquidorum*.

169 Sagesse 11, 21.

6 fois la *siliqua*. La drachme (*dragma*) vaut 1/8 d'once (*uncia*) ou 3 scrupules, et est le poids du denier d'argent. Le *solidus* est aussi nommé sextule (*sextula*) parce qu'il est 1/6 de l'once, son tiers est le *tremissis*, et deux font la *duella.* Le statère (*stater*) vaut 3 sous ou une-demi once. Le sicle (*sicel* ou *siclus*) est une once chez les Hébreux, le quart de celle-ci chez les Romains et les Grecs. La livre (*libra*) fait 12 onces, la mine (*mina*) 100 drachmes, le talent (*talentum*) est le plus grand et vaut 50, 72 ou 120 livres. La science des poids se limite donc à une liste d'unités, apparentée comme on le sait aux unités monétaires.

Le chapitre LV *De Scientia ingeniorum* recopie, en l'abrégeant un peu, le texte d'Al Farabi sur ce sujet, mentionné plus haut. Ainsi, il semble bien que la statique telle que l'étudie Jordanus, même dans ses propositions les plus simples, soit trop technique, ou d'un niveau trop élevé, pour être incorporé à un ouvrage encyclopédique. Le bagage des constructeurs médiévaux dans ce qu'on appelle aujourd'hui la physique doit avoir été bien mince.

6.D. *Scientia de ponderibu*s et notion de nombre

Bien que de nombreux concepts actuels ne soient pas à sa disposition, Jordanus a une la conception de la statique assez proche de la conception moderne. En effet l'équilibre qu'il considère est la compensation mutuelle de l'effet de deux poids, alors que l'aristotélisme fait intervenir les qualités de léger et de lourd. Selon Aristote en effet, le feu pur est absolument léger, la terre pure absolument lourde, mais dans tous les corps du monde sublunaire il y a un mélange de ces deux éléments. Thomas Bradwardine, dans son *Tractatus de proportionibus*[170], décrit l'équilibre de deux corps graves comme l'équilibre de quatre quantités, les gravités et les légèretés de chacun. La gravité de l'un ajoutée à la légèreté de l'autre compensent la légèreté du premier et la gravité du second. La statique médiévale se montre ici fondamentalement différente de la statique moderne. La notion de qualité chez Aristote s'oppose à la quantité parce qu'elle est susceptible de plus et de moins, alors que la quantité ne l'est pas[171]. On voit que la possibilité d'associer un nombre à une grandeur physique est au Moyen Âge bien différente de ce qu'elle est aujourd'hui.

Une qualité peut certes avoir une intensité plus ou moins importante, mais, selon saint Thomas d'Aquin (1224/5-1274), la qualité elle-même n'est pas variable, et c'est la participation du sujet à celle-ci qui est plus ou moins grande. Selon Godefroid de Fontaines (1250-1309) et Walter Burley (1275-1344/5), une augmentation de l'intensité de la qualité n'est pas l'ajout de quelque chose, mais l'ancienne forme est détruite et *una forma totaliter nova* est acquise[172]. Richard Middleton (c. 1249-c. 1302), quant à lui, distingue quantité corporelle, qu'il appelle quantité de masse, *quantitas molis*, et quantité virtuelle. La première est mesurée par un nombre d'objets, c'est-à-dire un nombre entier, alors que la deuxième est continue. Ajouter un degré d'une quantité de force à une quantité existante produit quelque chose de plus grande force, exactement comme ajouter une quantité de masse à une autre produit une plus grande masse[173]. La question n'est pas ici de déterminer quelle valeur serait attribuée au nombre représentant la quantité, mais de savoir s'il

---

170 Thomas Bradwardine, *Tractatus de proportionibus*, éd. par H.L. Crosby (Madison, University of Wisconsin Press, 1955), p. 116, cité par A. George Molland, art. cit. n. 140

171 A.G. Molland, art. cit. n. 140.

172 Marshall Clagett, *op. cit.* n. 141, chap. 3 : "Richard Swineshead and late medieval physics", et *ibid.*, *Osiris,* vol. 9, pp. 131-161 (1950). *Cf.* cet art., p. 133, n. 2-3, & 135 n. 9-10 pour les références précises des auteurs médiévaux mentionnés.

173 Marshall Clagett, art. cit. n. 141, p. 136.

est possible de représenter une quantité par un nombre. Les auteurs médiévaux sont limités en cela par le concept de nombre à leur disposition, qui se limite aux entiers naturels : pour eux, il ne peut donc y avoir de valeur numérique que s'il y a des objets à dénombrer.

L'idée qu'on augmente l'intensité d'une qualité en ajoutant ainsi des degrés a été soutenue par Duns Scot (1266-1308). Son élève Jean de Bassolis (mort en 1347) répond, à l'objection qu'ajouter de l'eau tiède à de l'eau tiède ne donne pas de l'eau chaude, qu'il faudrait isoler les quantités de chaleur et les ajouter, et non ajouter l'eau. Il fait une distinction entre "quantité de chaleur" et "intensité de chaleur"[174]. De notre point de vue, l'"intensité de chaleur" serait la température, variable intensive, alors que la "quantité de chaleur" correspond à ce que nous désignons du même nom, qui est une variable extensive. Mais la définition de l'intensité de la qualité par ajout de degrés suppose au contraire une variable extensive, ou, en d'autres termes, la notion médiévale de nombre ne permet pas à l'auteur de quantifier une variable intensive. La distinction nette entre les deux notions ne se mettra en place que bien plus tard, mais on voit là que Jean de Bassolis en déjà une intuition partielle.

Richard Swineshead, fellow au collège Merton d'Oxford vers 1340, discute la position : "*intensio cuiuslibet qualitatis attenditur penes appropinquationem gradui intensissimo illius latitudinis ; remissio tunc penes distantiam a gradu intensissimo*"[175]. L'intension est mesurée par la distance au degré zéro (*a non gradu*) et la rémission par la distance au maximum. Une chose remarquable pour mon propos est la nécessité qu'éprouve cet auteur de définir deux grandeurs, par rapport à deux points de référence, alors que pour la science moderne une seule grandeur et une seule origine suffisent. Il mesure en effet l'intensité par une ligne, et nous faisons de même, mais pour lui la ligne est un segment, et non une droite infinie. Ceci l'amène à considérer deux extrémités, au lieu d'une seule origine. C'est l'absence de la notion de grandeur algébrique qui l'amène à traiter de façon différente les deux mouvements dans un sens et dans l'autre, et d'en faire deux notions distinctes, intension et rémission, alors que pour nous il ne s'agit que d'augmenter ou diminuer une même grandeur.

Il montre que mesurer l'intension par la proximité au maximum oblige à avoir un maximum infini. En effet, la chaleur pourrait être deux fois plus proche du maximum, puis quatre fois, etc., et donc infiniment intense, avant même d'être égale à ce maximum. Swineshead montre la difficulté qu'il y a à mesurer une augmentation par une fonction décroissante qui doit être zéro quand l'augmentation est à son maximum. En particulier, dans cette hypothèse, il n'y a aucune intension entre zéro et le milieu. En effet, c'est la "proximité", c'est à dire l'inverse de la distance au maximum, qui mesure l'intension, et il n'y a pas d'inverse d'entier entre $1/2$ et 1[176]. On observe à nouveau une difficulté à définir une mesure liée à la notion de nombre elle-même, et au fait que celui-ci ne peut être qu'un entier naturel.

On a vu qu'aussi bien la géométrie théorique d'Euclide que la géométrie pratique de Vitruve se restreignaient aux lignes droites et aux arcs de cercles. Or, si on excepte l'art gothique tardif, l'architecture médiévale se restreint toujours à ces types mêmes de lignes. On peut peut-être penser que, de même que le nombres utilisés ne peuvent êtres que des entiers naturels, les lignes utilisées ne pouvaient être que droites ou arcs de cercles, parce qu'aucune autre ligne n'avait le caractère d'être un objet de la géométrie. Par ailleurs, plusieurs auteurs veulent voir dans les dimensions des

---

174 *Ibid.*, pp. 136-137.

175 Richard Swineshead, *Calculationes*, traité I, cité par M. Clagett, art. cit. n. 142, p. 141 et n. 28.

176 M. Clagett, art. cit. n. 142, p. 142.

monuments des approximations rationnelles de nombres irrationnels tels que $\sqrt{2}$ ou $\sqrt{3}$. Il ressort de la notion de nombre, telle qu'elle apparaît dans ces discussions sur la possibilité d'associer un nombre à une grandeur physique, qu'elle est totalement incompatible avec la notion d'approximation rationnelle d'un rapport géométrique. D'ailleurs, même l'identification d'une proportion à un nombre rationnel semble inadéquate.

3. La théorie des voûtes

1. Les théories des mathématiciens des XVII^{e} et XVIII^{e} siècles

1.A. Premiers résultats théoriques

Je présenterai le début de l'historique de cette théorie d'après celui qu'en fait l'Académicien Charles Bossut (1730-1814)[1] dans l'introduction des "Recherches sur l'équilibre des voûtes" qui forment la dernière partie de son traité de mécanique[2], et que J.B. Bérard[3] reprend *in extenso* au début du sien[4,5].

Le tout premier calcul théorique concernant la poussée des voûtes semble bien être la proposition CXXV du Traité de Mécanique de La Hire de 1695[6]. Si l'intitulé est assez prometteur[7], le contenu de la proposition est assez décevant. La Hire établit les conditions d'équilibre de chaque

---

1 Charles Bossut (1730-1814), élu à l'Académie des sciences en 1768, a surtout retenu l'attention pour ses travaux en hydraulique. Il a collaboré à l'Encyclopédie, fut professeur à l'École Royale du Génie de Mézières, et examinateur à l'École Polytechnique. Il est l'auteur de plusieurs ouvrages, de mathématiques générales, et de mécanique, hydrodynamique et statique en particulier (Wikipedia, art. "Charles Bossut").

2 Charles Bossut, *Cours de Mathématiques, tome III, Mécanique, nouvelle édition, revue, et à laquelle l'auteur a ajouté un ouvrage analogue, intitulé : Recherches sur l'équilibre des voûtes* (Paris, Firmin Didot, 1802), pp. 383-430.

3 Joseph-Balthazard Bérard (1763-1843 ou 1844), mathématicien devenu aveugle en 1786, a été professeur de mathématiques à Briançon. Il expose ses opinions jacobines dans plusieurs ouvrages politiques, et prend le prénom de Sunderson en 1793, par référence au mathématicien anglais Nicholas Saunderson (1682-1739), aveugle lui aussi. Il est l'auteur de plusieurs ouvrages de mathématiques, portant notamment sur les courbes et surfaces algébriques, ainsi qu'une une méthode de calcul approché d'intégrales, et la *Statique des Voûtes*. *Cf.* A. V. Arnault, A. Jay, É. de Jouy, M. de Norvins, J. Marquet de Norvins, *Biographie nouvelle des contemporains, ou dictionnaire historique et raisonné de tous les hommes qui, depuis la Révolution française, ont acquis de la célébrité* (Paris, librairie historique, 1820-1825), vol. 2, p. 360-362, et Adolphe Rochas, *Biographie du Dauphiné : contenant l'histoire des hommes nés dans cette province qui se sont fait remarquer dans les lettres, les sciences, les arts, etc.*, vol. 1 (Paris, Charavay, 1856), p. 103-104.

4 J.-B. Bérard, *Statique des voûtes* (Paris, Firmin Didot, 1810).

5 Voir aussi la synthèse de Bernard Collette, "Viollet-le-Duc et la pensée mathématique au XIXème siècle" Pierre-Marie Auzas (éd.), *Actes du Colloque International Viollet-le-Duc, Paris 1980* (Paris, Nouvelles Editions Latines, 1982), pp. 73-91.

6 La Hire, *Traité de mécanique, où l'on explique tout ce qui est nécessaire dans la pratique des Arts, et les propriétés des corps pesants lesquelles ont un plus grand usage dans la Physique* (Paris, Imprimerie Royale, 1695), pp. 465 et suivantes. Philippe de La Hire (1640-1718) fut élu à l'Académie des sciences en 1678. Il a enseigné "au Collège de France et à l'Académie royale d'architecture à partir de 1687. Il a écrit un traité de la coupe des pierres ainsi qu'un traité d'architecture" (Wikipedia, art. "Philippe de La Hire"). On lui doit aussi divers travaux de géométrie, sur les coniques en particulier.

7 Voici le texte : "On détermine icy la charge qu'on doit donner à chaque pierre ou voussoir, comme parlent les ouvriers, dont on forme des arcs ou des voutes". La préface promet encore plus : "J'explique en suite quelle doit être la figure des cordes ou lignes également pesantes ou flexibles [...] & je donne [...] la solution d'un des plus considérables problèmes de la construction des bâtimens".

voussoir, dans l'hypothèse où ils sont "infiniment polis", c'est-à-dire peuvent glisser sans frottement l'un sur l'autre, mais n'en déduit pas d'autre résultat global, que le fait que la voûte ne peut pas tenir dans ces hypothèses, résultat évident : puisque l'on a supposé que les sommiers des arcs glissaient parfaitement sur le dessus du piédroit, rien ne s'oppose à la poussée.

Plus intéressant est l'article publié par le même La Hire dans les mémoires de l'Académie des sciences de 1712[8]. Il décompose un arc en trois parties, et étudie l'équilibre entre la partie supérieure qui contient la clef et l'une ou l'autre des deux parties inférieures liées sans déformation aux piédroits. Cette étude a eu beaucoup de succès, ainsi que l'écrit Bossut : "solution, qui, par la simplicité du calcul et des résultats, fut saisie et adoptée avidement par la plupart des praticiens, sans s'embarrasser si elle était applicable à tous les cas qui peuvent arriver"[9].

On lit dans l'*Histoire de l'Académie* que "M. Parent[10] a cherché quelle seroit la courbure extérieure ou l'*Extrados* d'une voute, dont l'*Intrados* seroit circulaire, & tous les voussoirs en équilibre par leur pesanteur, selon la règle de M. de la Hire. [...] Il a découvert en même temps la mesure de la poussée de la voute, ou quel rapport a cette poussée au poids de la voute entière. [...] les Arts se sentent toujours du progrès de la Géométrie"[11]. Cette mention est abondamment citée, à l'époque dans le *Journal des savants* et dans les *Nouvelles de la république des lettres*[12], et reprise depuis par de nombreux auteurs, mais il semble que ce travail n'ait pas été publié.

"Les deux illustres frères, Jacques Bernoulli et Jean Bernoulli, Huygens et Leibnitz, ayant résolu, en 1691, le problème de la chaînette, les géomètres ne tardèrent pas à s'apercevoir que la figure de cette courbe, retournée de bas en haut, est celle qu'on doit donner à une voûte composée de voussoirs infiniment petits et également pesans, pour que toutes ses parties soient en équilibre"[13]. Cette application est due au mathématicien écossais David Gregory (1659-1708) en 1697[14].

Un mémoire en deux parties de Couplet[15] a aussi retenu l'attention de Bossut[16]. La première partie "considère les voussoirs comme polis", ce qu'on appelle aujourd'hui l'hypothèse de glissement parfait. L'auteur redonne d'abord la condition d'équilibre de la Hire, et l'évaluation des

8 La Hire, "Sur la construction des voûtes dans les édifices", *Histoire de l'Académie royale des sciences*, année 1712, *Mémoires*, pp. 69-77.

9 Ch. Bossut, Mécanique, *op. cit*. n. 2, p. 386.

10 Antoine Parent (1660-1726). Il contribua à la théorie des poutres en calculant la distribution des contraintes dans une poutre en flexion en fonction du moment fléchissant. Il a, le premier, présenté le concept de contrainte de cisaillement, développé plus tard par Coulomb (Wikipedia, art. "Antoine Parent").

11 *Histoire de l'Académie royale des sciences*, année 1704, pp. 95-96.

12 *Journal des savants,* mars 1707, p. 425, et *Nouvelles de la république des lettres,* août 1707, p. 148.

13 Ch. Bossut, Mécanique, *op. cit*. n. 2, p. 385.

14 Et non 1707 comme l'écrit Bossut. C'est le 6e corollaire 6 du Théorème 1 du mémoire de David Gregory sur la chaînette : "*Catena in plano verticali, sed situ inverso, figuram servat nec decidit, adeoque arcum seu fornicem facit tenuissimum : Hoc est spherae minimae rigidae et lubricae in inversa Curva Catenaria dispositae, arcum constituunt cujus nulla pars ab aliis extrorsum vers introrsum propellitur ; sed manentibus infimis punctis immotis, virtute suae figurae sustinetur.*" *Philosophical Transactions of the Royal Society*, vol. 19, pp. 637-652 (1695-1697).

15 Pierre Couplet des Tortreaux (vers 1670-1744), membre de l'Académie des sciences en 1696, puis son trésorier (https://de.wikipedia.org/wiki/Pierre_Couplet).

16 Pierre Couplet, "De la poussée des voûtes", *Histoire de l'Académie royale des sciences*, année 1729, *Mémoires*, pp. 79-117, et "Seconde partie de l'examen de la poussée des voûtes", *ibid.*, année 1730, pp. 117-141.

forces que celui-ci en déduit dans le cas d'une voûte dont l'intrados est en plein cintre et joints radiaux. Un des corollaires de ce premier théorème contient le fait que la poussée à la clef est égale à celle de toute la voûte. Couplet cherche ensuite "la longueur des voussoirs" dans ces conditions : c'est le résultat de Parent[17], puis il résout le même problème en supposant que c'est la ligne médiane de la voûte et non plus son intrados qui est circulaire. Il calcule la masse de la la voûte à l'équilibre, et reprend le problème connu de la chaînette, qu'il appelle "corde lâche". Le "problème 5" de Couplet consiste à trouver la poussée. La Hire l'a déjà constaté, c'est un problème qui n'a pas de solution dès qu'on néglige les frottement. Il suffit à Couplet d'incliner les sommiers pour pouvoir en trouver une, et il semble que c'est lui qui ait introduit cette modification purement mathématique du problème de la poussée, que l'on rencontre ultérieurement. L'article se termine, après le calcul du centre de gravité de la voûte en plein cintre et l'étude de l'équilibre des moments, appelés "énergies", des forces exercées sur le piédroit, par l'étude des forces exercées par la voûte sur le cintre, avant que la clef soit posée. Mais le seul mouvement autorisé par l'auteur est le glissement des voussoirs l'un sur l'autre, ce qui semble peu réaliste. On lit dans l'introduction de la deuxième partie (1730) : "Deux raisons m'ont engagé à considérer dans la première partie les voussoirs comme polis ; la première, parce que tous ceux qui ont traité de la poussée des voûtes, les ont regardés comme tels, & la seconde, [...]". Couplet exprime là le fait qu'un problème purement mathématique s'est substitué au problème physique ou technologique : une hypothèse initialement introduite par commodité (glissement parfait), devient ensuite partie intégrante de la définition du problème. Dans cette deuxième partie, qui tente de prendre en compte les frottements, le "problème I" suppose la voûte coupée en quatre parties égales, qui peuvent pivoter comme sur des charnières placées à l'extrados à la clef et à l'intrados au milieu des arcs. Cette hypothèse, quoique basée sur des observations, est très restrictive et arbitraire. Les autres questions sont beaucoup moins intéressantes ; le "problème II" incline arbitrairement les sommiers à 30° : il est mathématiquement correct mais sans pertinence physique. Le calcul de la poussée ("problème III") est peu convaincant.

Bossut mentionne aussi un mémoire de Bouguer[18,19], qui est le premier à s'être intéressé aux dômes. Il montre que, sous l'hypothèse des voussoirs parfaitement polis, un dôme sera toujours en équilibre si la concavité de son profil est orientée vers le haut. Si cette concavité est orientée vers le bas, la courbure ne doit pas être trop forte, et dans un dôme sphérique, seule la partie située à plus de 38° de l'horizontale sera en équilibre. Ce résultat surprenant et contraire aux usages des constructeurs est mathématiquement correct, mais montre les limites de l'approche utilisée. Bouguer prétend cependant que ses calculs peuvent directement être appliqués à la construction, mais il confond l'existence d'un équilibre dans son modèle mathématique, et la solidité de l'édifice réel[20]. Du point de vue pratique, on sait que ce qui est à craindre n'est pas que les voussoirs glissent

17 "Quoique feu M. Parent ait déjà résolu ce Problème, dont il est fait simplement mention dans l'Histoire de l'Académie de l'année 1704. Comme j'ai trouvé ma résolution & ma construction beaucoup plus simple que la sienne, j'ai cru la devoir donner à l'Académie" (Couplet, 1729, art. cit. n. 16). Ce qui prouve que la solution de Parent était connue, quoiqu'elle n'ait jamais été publiée.

18 Pierre Bouguer (1698-1758), Académicien, connu pour l'anomalie gravimétrique et une contribution importante à la photométrie, hydrographe et auteur de nombreux ouvrages sur la construction navale (Wikipedia, art. "Pierre Bouguer").

19 Pierre Bouguer, "Sur les lignes courbes qui sont propres à former les voûtes en dômes", *Histoire de l'Académie royale des sciences*, année 1734, *Mémoires*, pp. 149-166.

20 Par ailleurs, il est clair d'après son mémoire que Bouguer ne connaît pas la notion de stabilité d'un état

les uns sur les autres, mais que les supports ne résistent pas à la poussée de la voûte. La poussée tend à augmenter quand les joints deviennent verticaux, et dans une voûte ayant sa concavité vers l'extérieur, elle sera la plupart du temps excessive. Le calcul permet cependant de rendre compte des tensions qui existent à la base d'une coupole sphérique, mais il n'est pas certain que Bouguer en ait conscience, et les moyens usuels qui permettent d'y remédier, dont le premier est la cohésion de la maçonnerie, sont ignorés dans le mémoire.

1.B. Ces résultats exposés aux praticiens

Il convient de mentionner ici le traité de stéréotomie de Frézier[21,22]. L'objet de ce traité, comme l'indiquent clairement le titre, et encore plus le "second discours préliminaire", n'est pas la mécanique des voûtes, mais la réalisation en volume de leur dessin. Le tome 1 est entièrement consacré à de la géométrie dans l'espace : intersections de volumes et surfaces, puis projections et épures. La coupe de pierre proprement dite est traitée dans les deux autres tomes, voûtes simples dans le tome 2, voûtes formées de plusieurs surfaces dans le tome 3[23]. Certaines des matières traitées sont d'une grande complexité, comme par exemple une "vis S. Giles sur un polygone quelconque".

Quoique les voûtes sur croisées d'ogives soient totalement passées de mode, on peut avoir besoin de réparer celles d'un édifice existant, c'est la raison que donne Frézier pour consacrer quelques pages de son ouvrage à celles-ci[24]. La stéréotomie s'intéresse uniquement aux nervures, car les voûtains sont garnis de pierres simplement équarries[25]. Frézier remarque aussi que ces nervures sont toujours circulaires, alors qu'on pourrait les faire d'autres formes[26]. Puis l'auteur explique assez brièvement leur tracé.

Quoique l'esthétique de ces voûtes ne soit pas défendable, il leur trouve nettement des avantages techniques. En effet, "la grande inclinaison de leurs pandantifs, qui est encore considerable à leur sommet vers la clef, permet qu'on les fasse extrêmement minces & legeres", elles utilisent par conséquent moins de matériaux, et de plus petit module, donc plus faciles à mettre

---

d'équilibre, qu'il confond avec l'équilibre lui-même.

21 Amédée François Frézier (1682-1773), au cours de sa carrière d'ingénieur militaire, fut tour à tour militaire, architecte, explorateur, cartographe, espion, botaniste, en montrant les mêmes talents dans chaque domaine que s'il en était spécialiste (Wikipédia, art. "Amédée François Frézier").

22 Amédée Frézier, *La théorie et la pratique de la coupe des pierres et des bois, pour la construction des voûtes et autres Parties des Bâtimens Civils & Militaires ; ou : Traité de stéréotomie à l'usage de l'architecture* (Strasbourg, J.D. Doulsseker, Paris, L.H. Guerin, Ch.-A. Jombert, 1737-1739).

23 Les intersection de volumes et de surfaces forment les livres 1 et 2 (Frézier, op. cit. n. 22, t.1, pp. 1-268), et les projections le livre 3 (*ibid.*, t. 1, pp. 269-388). La partie du t. 3 consacrée au tracé des voûtes complexes occupe les pp. 1-338.

24 Frézier, *op. cit.* n. 22, t. 3, pp. 24-30.

25 "Leurs Nervures en sont le principal objet pour la coupe des pierres, en ce qu'il n'est presque jamais question d'Apareil pour les Pandantifs que ces nervures terminent, à cause que leur peu d'épaisseur rendroit la coupe presque insensible dans chaque Voussoir ; c'est pourquoi on se contente ordinairement de les faire de petites pierres, sans coupe, qu'on apelle Pandans, pour lesquelles le mortier mis un peu plus épais à l'extrados qu'à la doële, fait l'office de la coupe d'un Voussoir." (Frézier, *op. cit.* n. 22, t. 3, p25).

26 "Les Courbes de ces cintres ["Arcs Doubleaux" et "Augives"] sont arbitraires, cependant on n'y employe jamais que des Arcs de Cercles." (Frézier, *op. cit.* n. 22, t. 3, p. 25).

en œuvre et à transporter, la taille des pierres est plus aisée, car “on y employe des petites pierres taillées à l’équerre, qu’on apelle des *Pandans*”, et la poussée est diminuée du fait que le poids est plus faible. Il s’ensuit une grand économie. On retrouvera un siècle après tous ces arguments sous la plume de Viollet-le-Duc.

Quoique, comme on l’a dit, le sujet de l’ouvrage ne soit pas la mécanique des voûtes, il contient cependant un “appendice” assez volumineux sur le sujet[27]. L’auteur discute les “règles pour déterminer l’épaisseur des Piédroits” de ses prédécesseurs, et critique assez sévèrement celle, empirique, du Père Deran[28], dont l’application aurait entraîné de nombreux accidents. Il est au contraire favorable à l’application de résultats fondés sur une approche scientifiques, comme ceux de La Hire. A ce propos, je voudrais rapporter une digression de Frézier. Gautier[29], dans sa *Dissertation sur l’épaisseur des culées des ponts*, ayant cité le mémoire de La Hire de 1712, ajoute : “J’avouë ingenuëment que je ne suis pas assez habile pour la comprendre [...]. Car pour concevoir ce qu’il rapporte, il faut sçavoir absolument l’Algebre, [...] Je ne crois pas qu’aucun tailleur de pierres, Appareilleur, ni Architecte, [...] en puissent jamais profiter”[30]. Frézier, sans toutefois mentionner son nom, le critique violemment : “ce n’est pas une raison pour autoriser les fausses regles qui peuvent être à leur portée, que de dire qu’ils ne sont pas en état d’entendre celles qui sont émanées du calcul Algebrique ; il suffit que ceux qui président à la construction des Voutes soient assez dociles pour demander l’explication de ce qu’ils n’entendent pas”. Il faut dire que Gautier donne sa propre règle, qui semble bien fondée non sur l’expérience, mais sur une analyse spéculative, moins rigoureuse que celle de La Hire, et que cette règle ne prend pas en compte “la hauteur des piédroits, l’épaisseur, & la charge de la Voute”, ce qui à juste titre la rend suspecte aux yeux de Frézier. On peut ainsi se demander si ce qui apparaît dans la documentation comme règles “pratiques” est bien déduit de l’expérience des hommes de métier, et ne reste pas de nature spéculative même quand l’auteur n’est pas un théoricien.

Frézier expose ensuite les théories existantes, c’est-à-dire essentiellement celles de La Hire et de Couplet. Il en précise d’abord les hypothèses, puis expose une construction géométrique permettant d’obtenir le résultat du calcul. Il compare celui-ci à l’expérience, puis donne une démonstration qui n’est qu’une explication de celle de La Hire pour un public moins instruit que le sien[31]. La comparaison avec l’expérience est en faveur de La Hire, les règles du Père Deran et de Gautier donnent en général des valeurs trop faibles. L’auteur mentionne une voûte qu’il a faite en utilisant la règle issue du calcul de La Hire : on a pu en ôter les cintres avant le séchage complet du

---

27 “Apendices concernant le dispositif à la Construction des Voutes” (Frézier, *op. cit.* n. 22, t. 3, p. 342 *sq.*).

28 François Derand (entre 1588 et 1591-1644), jésuite et architecte, auteur d’un traité de stéréotomie, *L’architecture des voûtes, ou l’art des traits et coupe des voûtes, traicté très-util, voire nécessaire à tous architectes, maistres massons, appareilleurs, tailleurs de pierre et généralement à tous ceux qui se meslent de l’architecture, mesme militaire* (Paris, S. Cramoisy, 1643), http://architectura.cesr.univ-tours.fr/Traite/Notice/B250566101_11598.asp.

29 Hubert ou Henri Gautier (1660-1737), ingénieur des ponts et chaussées, auteur d’un *Traité des ponts* (Paris, A. Cailleau, 1716), et de plusieurs autres ouvrages, dont une *Dissertation sur l’épaisseur des culées des ponts, sur la largeur des piles, sur la portée des voussoirs, ...* (Paris, A. Cailleau, 1717) (Wikipedia, art. “Henri Gautier”).

30 H. Gautier, *Dissertation...*, *op. cit.* n. 29, p. 6.

31 Les termes de Frézier sont moins mesurés : “dans un détail tel qu’il convient à des gens d’une classe beaucoup inférieure” (Frézier, *op. cit.* n. 22, t. 3, p. 352).

mortier, sans accident[32]. On considère pourtant comme normal qu'une voûte s'effondre si l'on enlève les cintres prématurément. Cela n'indique-t-il pas que les conditions qu'assurent ces théories sont bien plus exigeantes que de nombreuses réalisations pratiques ? Quant à lui, Frézier s'oppose assez violemment aux approches empiriques en la matière, "car en cela un vieux praticien est toujours un vieux ignorant"[33].

Après avoir exposé la théorie de La Hire, il présente celle de Couplet[16], dont il a simplifié la justification avec l'aide de Jean Bernoulli[34]. Son exposé est remarquablement clair. Il en déduit une règle pratique, qui majore largement l'épaisseur requise pour le piédroit. Rappelons cependant que, Couplet utilisant l'hypothèse des joints parfaitement glissants, les sommiers de la voûte sont supposés être inclinés. Frézier traduit ensuite le principal résultat du deuxième article de Couplet, qui suppose que les voussoirs pivotent l'un sur l'autre, en une construction géométrique passablement compliquée. Il expose aussi (sans justification), la théorie de la chaînette, dont il donne une construction, et une règle empirique due à Danisy[35]. La description des expériences de celui-ci lui permet d'affirmer que l'hypothèse de La Hire, d'une dissociation en trois blocs, est valable pour "des Voutes de maçonnerie de moilons ou de briques qui ont fait corps," mais qu'"il n'en est pas de même des voutes de pierres de taille"[36]. Il en tire une autre conséquence, à savoir que "si la Voute étoit toute d'une piéce, la poussée deviendroit nulle"[37].

Frézier considère ensuite l'équilibre de voûtes complexes. Il établit l'épaisseur à donner aux piliers d'une voûte d'arête, en appliquant les résultats obtenus pour un berceau aux voûtains, qu'il réduit chacun à l'arc qui passe à la verticale de son centre de masse, et en additionnant les forces de poussée ainsi obtenues. Il montre qu'une voûte d'arêtes a une surface moindre qu'un berceau couvrant la même surface, mais une plus grande poussée, et que la situation est inverse pour une

---

32 Le passage est intitulé "Remarque sur l'utilité de la Théorie prouvée par des Faits", et concerne la voûte d'une petite chapelle construite par Frézier lui-même. "N'ayant donné d'épaisseur au mur que celle qui résulte du calcul de la premiere hypotese ; je la fis décintrer aussi-tôt qu'elle fut achevée sans lui donner le tems de faire corps, elle subsista sans aucune fracture ;" cependant la voûte subit un orage avant que la couverture soit faite, qui produisit deux lézardes, sans conséquence ultérieure (Frézier, *op. cit.* n. 22, t. 3, p. 354).

33 "On ne doit pas compter sur l'expérience des gens sans Théorie, quelques versez qu'ils puissent être dans la pratique, pour donner les mesures des épaisseurs des piédroits des bâtimens voutez dont ils n'ont pas d'exemple à imiter precisément, car en cela un vieux praticien est toujours un vieux ignorant ; c'est une connoissance du ressort de la Théorie, que la pratique ne peut jamais leur donner" (Frézier, *op. cit.* n. 22, t. 3, p. 355). Quoique la critique soit excessive, on doit cependant lui donner raison dans une certaine mesure, en ce sens que l'extrapolation de résultats empiriques est extrêmement hasardeuse, même quand ceux-ci sont très fiables. Que ce soit à l'honneur des constructeurs qui ont su obtenir des résultats remarquables avec des procédés hasardeux, et qu'on ne leur reproche pas leurs échecs inévitables.

34 Il n'a pas sollicité le premier venu ! L'exposé commence pour plus de clarté par celui du "principe des vitesses virtuelles" (on parle plutôt de travaux virtuels aujourd'hui), introduit par Jean Bernoulli peu de temps auparavant.

35 Augustin Hyacinthe Danyzy ou Danisy (1698-1777), membre de l'Académie des sciences et lettres de Montpellier, professeur de mathématiques et d'hydrographie (Wikipedia, art. "Augustin Danyzy").

36 Frézier, *op. cit.* n. 22, t. 3, p. 380.

37 *Ibid.*, t. 3, p. 382. C'est strictement vrai si le bloc est parfaitement rigide, et peut le rester dans une certaine mesure si l'on tient compte de son élasticité.

voûte en arc de cloître[38]. Il considère encore d'autres types de voûtes, sphériques, annulaires, berceaux rampants, voûtes coniques, etc.

1.C. Deuxième vague de théories au XVIII^{e} siècle

La théorie mathématique des voûtes semble avoir été en grande partie l'œuvre de savants français. Le seul ouvrage étranger cité par Bossut est celui du mathématicien italien Lorenzo Mascheroni[39]. Cet auteur expose un grand nombre de situations sous la forme de problèmes résolus, qui font très peu de place à la discussion de la pertinence physique ou technologique des hypothèses mathématiques utilisées. Il fait de nombreuses références aux auteurs français que l'on a vus, et parmi les savants italiens, à Lorgna[40] et à Frisi[41]. Le premier aborde la question des voûtes dans un article de 1179[42] et dans ses *Saggi di Statica e Meccanica*[43]. Ni l'article, ni l'ouvrage, dont la plus grande partie est consacrée à l'équilibre des poutres, ne semblent apporter de progrès substantiels par rapport aux théories de la Hire, Bossut, Couplet, qui sont abondamment cités. On trouve cependant dans le chap. 5 des *Saggi*[44] le compte-rendu d'expériences mesurant des angles de frottement, en faisant glisser des pierres le long d'un le plan incliné. Contrairement aux expériences de Rondelet (*cf. infra*), celui-ci n'est pas constitué de la même pierre polie, mais d'un lit de mortier[45]. Les angles trouvés sont en conséquence assez grands, de 51° à 63° suivant les matériaux, soit environ deux fois ce que Rondelet a trouvé avec des pierres polies. L'ouvrage de Frisi[46] quant à lui, est principalement consacré à l'hydraulique, et orienté vers l'architecture des canaux navigables. La seconde moitié du livre II, "Architettura Statica", traite de la mécanique des voûtes, mais ne semble pas faire de progrès appréciable par rapport aux travaux de la Hire, Couplet, et Bélidor[47] qu'il cite. Me limiter aux auteurs français ne donnera donc pas une vision trop gravement

38 Frézier, *op. cit.* n. 22, t. 3, pp. 396-397.

39 L. Mascheroni, *Nuove Ricerche sull'equilibrio delle volte* (Bergame, Francesco Locatelli, 1785). Lorenzo Mascheroni (1750-1800), est surtout connu pour ses travaux sur les constructions à la règle et au compas, mais fut aussi un poète qui eut du succès en son temps (Wikipedia, art. "Lorenzo Mascheroni").

40 Antonio Maria Lorgna (1735-1796), mathématicien et ingénieur, est un des fondateurs de l'*Accademia dei XL* (https://it.wikipedia.org/wiki/Antonio_Maria_Lorgna).

41 Paolo Frisi, 1728-1784, est connu pour des travaux en électricité, astronomie et hydraulique (Wikipedia, art. "Paolo Frisi").

42 Antonius-Maria Lorgna, "*De curuarum in concamerationibus impulsu, noua Theoria*", *Acta Academiae Scientiarum Imperialis Petropolitanae*, année 1779, 2^{e} part., pp. 156-187.

43 Antonio-Maria Lorgna, *Saggi di Statica e Meccanica Applicate alle Arti* (Vérone, 1782).

44 *Ibid.*, p. 170 *sq.*.

45 Quoique le texte soit un peu ambigu, il paraît s'agir de mortier frais, auquel on laisse un bref temps de prise après avoir posé la pierre. Une deuxième mesure est effectuée avec le même mortier saupoudré de chaux.

46 Paolo Frisi, *Instituzioni di meccanica, d'idrostatica, d'idrometria e dell'architettura statica, e idraulica* (Milan, 1777).

47 Bernard Forest de Bélidor (1698-1761) est d'abord un militaire. Il enseigne l'artillerie à l'école de La Fère (Aisne), et est l'auteur de divers ouvrages traitant de balistique, de fortifications et d'hydraulique (Wikipedia, art. "Bernard Forest de Bélidor"). Son ouvrage *La science des ingénieurs* traite de la construction autant civile que militaire, et contient en particulier une section sur la théorie des voûtes (Bélidor, *La science des ingénieurs dans la conduite des travaux de fortification et d'architecture civile*, Paris, Claude Jombert, 1729).

faussée de la situation.

Un mémoire de Coulomb présenté à l'Académie des sciences en 1773 se détache de cette théorie mathématique[48]. Il introduit d'abord un traitement quantitatif du frottement, modèle phénoménologique dont il discute en outre la validité. "Je supposerai ici que la résistance due au frottement est proportionnelle à la pression, comme l'a trouvé M. Amontons ; quoique dans les grosses masses le frottement ne suive pas exactement cette loi"[49]. Après avoir remarqué que "la cohésion totale est proportionnelle au nombre de parties à désunir, et par conséquent à la surface de rupture des corps", c'est-à-dire en quelque sorte introduit la notion de contrainte (quoiqu'il n'utilise pas ce mot), Coulomb présente des mesures de contrainte de rupture par des expériences de traction, de cisaillement, et de flexion. Les valeurs qu'il obtient sont assez faibles[50]. Cette mesure des contraintes de traction, très novatrice en dépit de sa mauvaise précision, est suivie d'une étude d'une poutre en flexion. Coulomb a donc non seulement proposé une théorie de la poutre élastique, mais compris que celle-ci s'applique à la maçonnerie. Il affirme cependant que le comportement de la pierre n'est pas élastique, est-ce pour éviter de choquer ses lecteurs par des assertions trop avancées ?

Il étudie ensuite la résistance à l'écrasement d'un pilier de maçonnerie[51]. Pour cela, il suppose qu'une coupure est apparue dans une direction quelconque, évalue la force qui s'exerce entre les deux blocs, et compare celle-ci à la "cohésion" du matériau. Il déterminera ensuite la direction dans laquelle la rupture apparaîtra en premier. Coulomb effectue ensuite la même analyse en prenant en compte le frottement, mais il croit que les deux effets peuvent s'ajouter l'un à l'autre. Cette analyse de la résistance d'un pilier est en désaccord avec celle de Musschenbroeck[52]. "Un pilier, pressé par une force dirigée suivant sa longueur, ne se rompt, dit ce physicien célèbre, que parce qu'il commence à se courber ; En partant de ce principe, il détermine la force des piliers carrés, en raison inverse du carré du leur longueur, et triplée de leurs côtés"[53]. Dans la section suivante de son ouvrage, Coulomb utilise la même approche pour déterminer selon quel profil glissera une masse de terre retenue par un mur de soutènement. En termes de résultats, il se contente de quelques exemples permis par une hypothèse simplifiée, et de l'équation différentielle du profil, sans chercher à résoudre celle-ci.

La théorie des voûtes proprement dite ne commence qu'ensuite, en rappelant le cas de la voûte

48 Charles Augustin Coulomb (1736-1806), "Essai sur une application des règles de *maximis* et *minimis* à quelques problèmes de statique, relatifs à l'architecture, avec 2 planches", dans *Mémoires de mathématiques et de physique présentés à l'Académie royale des sciences par divers savants, et lus sans ses assemblées,* vol. 7, pp. 343-382, 1773, imprimé en 1776, reproduit dans C.A. Coulomb, *Théorie des machines simples, en ayant égard au frottement de leurs parties et a la roideur des cordages* (Paris, Bachelier, 1821), pp. 318-363 et pl. X.

49 *Ibid*., p. 323.

50 Les résultats des mesures en traction de Coulomb sont de l'ordre de 50 livres par pouce (33 kPa) pour un mortier, 215 livres par pouce (0.14 MPa) pour une "pierre de Bordeaux", 280 à 300 livres par pouce (0.18 à 0.14 MPa) pour des "briques de Provence" (Coulomb, art. cit. n. 48, p. 324-325). On peut penser que ces valeurs inférieures d'un ordre de grandeur aux mesures actuelles proviennent de ce que le dispositif assez fruste utilisé par Coulomb n'assure pas une contrainte parfaitement uniaxiale.

51 Coulomb, art. cit. n. 48, p. 329.

52 Pieter van Musschenbroek (1692-1761), outre ses travaux sur la résistance des matériaux qui nous intéresse ici, est l'inventeur (ou l'un des inventeurs) de la bouteille de Leyde, le premier condensateur (*Wikipedia*, art. "Pieter van Musschenbroek").

53 Coulomb, art. cit. n. 48, p. 332. L'auteur écrit "force" et "poids", mais il doit s'agir de la contrainte.

d'épaisseur infiniment petite, dans laquelle on néglige le frottement, et la cohésion : Coulomb retrouve la chaînette, au sujet de laquelle il fait référence à Euler, puis l'équation différentielle qui donne le profil d'une voûte d'épaisseur finie. Puis il remarque[54] que les joints horizontaux doivent être infinis, ce qui n'est pas conforme à l'expérience. "Mais le frottement et l'adhérence conservent par leur résistance l'équilibre, que la force de la gravité tend à détruire. [...] la théorie qui précède ne peut être [...] que d'une faible utilité"[55]. Ce jugement sévère, mais sans doute justifié, n'empêche pas l'auteur de compléter la théorie en trouvant la direction des joints pour un intrados et un extrados donné, dans l'approximation du glissement parfait, résultat qu'il applique à une plate-bande (les joints y sont radiaux). L'innovation majeure me semble être le problème n° 18 : l'extrados, l'intrados, et la direction des joints étant donnés, trouver la poussée, compte tenu de la cohésion et des frottements[56]. Le raisonnement assez subtil fait varier les différents paramètres en prenant tantôt des maxima tantôt des minima. L'auteur ne prend pas le temps de donner des applications, mais critique le résultat de la Hire, dont le découpage arbitraire de la voûte en 3 parties plutôt que 4, conduit à une valeur insuffisante de la poussée.

Il me faut maintenant citer deux mémoires présentés à l'Académie des Sciences par Bossut, l'un en 1774, l'autre en 1776. L'introduction du premier des ces mémoires[57] expose assez bien le problème : les pierres (voussoirs) "doivent être taillées de manière qu'elles forment en effet, par leur assemblage, la voûte projetée, & qu'elles se soutiennent mutuellement en l'air sans pouvoir glisser, abstraction faite de la liaison produite par le mortier ou de toute autre manière". L'hypothèse de glissement parfait n'est plus présentée comme une hypothèse mathématique facilitant le calcul, mais comme l'objectif technologique à atteindre. On peut remarquer qu'une voûte répondant aux exigences de cette théorie devrait être en équilibre sans même que le mortier soit adhérent, et que l'on pourrait en retirer les cintres sans attendre que celui-ci ait pris. On a vu que Frézier dit avoir obtenu ce résultat en pratique[32], et les ingénieurs des ponts du début du XIX^{e} siècle semblent y être intéressés, eu égard au temps de séchage des mortiers et à la difficulté du décintrement des ponts[58], mais c'est bien éloigné des usages des constructeurs jusqu'à cette époque. Rappelons par exemple l'accident survenu en 1166 dans l'église de Ninove sur la Dendre en Flandres[59], parce que les religieux avaient ôté les cintres trop tôt.

Bossut étudie l'équilibre d'une voûte chargée. Dans le cas où la charge serait due à un remplissage des reins de la voûte en maçonnerie, il la suppose verticale (n° 11), comme si le remplissage pouvait se décomposer en tranches verticales glissant parfaitement les unes contre les autres, ce qui n'est pas très réaliste. Une charge perpendiculaire à l'extrados est aussi envisagée (n° 12), elle correspond à un remplissage liquide, et décrit sans doute mieux la situation dans laquelle celui-ci est composé de terre, sable ou gravats, que la charge verticale.

---

54 Coulomb, art. cit. n. 48, II^{e} remarque, p. 353.

55 *Ibid.*, p. 354.

56 *Ibid.*, p. 357.

57 Abbé Bossut, "Recherches sur l'équilibre des voûtes", *Histoire de l'académie royale des sciences*, année 1774, pp. 59-64, et *Mémoires*, pp. 534-566 et pl. V et VI.

58 Voir par exemple la "Notice sur la Construction du nouveau pont de Nemours" de Boistard, dans Louis-Charles Boistard, *Recueil d'expériences et d'observations faites sur différents travaux..exécutés pour la construction du pont de Nemours, pour celle de l'arsenal et du port militaire d'Anvers, et pour la reconstruction du port de Flessingue* (Paris, J.-S. Merlin, 1822).

59 *Cf.* Günther Binding, *Baubetrieb im Mittelalter* (Darmstadt, Wissenschaftliche Buchgesellschaft, 1993), p. 434.

L'auteur étudie ensuite le problème inverse (n° 16) : la forme de la voûte étant supposée connue, et les forces verticales, on cherche la "quantité" de celles-ci. Dans les travaux ultérieurs, ce problème deviendra : connaissant l'intrados, chercher l'extrados. Un problème mécanique, déterminer les forces qui permettent de stabiliser la voûte, se transformera ainsi en un problème géométrique, sans doute parce que cela est plus proche des méthodes et des concepts des mathématiciens qui l'étudient. En second lieu, il examine le cas de la force perpendiculaire à l'extrados (n° 17). Quand il s'agissait du problème direct, cette situation correspondait à la force exercée par un fluide, mais on ne se demande plus ici comment exercer la pression : il s'agit essentiellement d'inverser un problème mathématique, en conservant les hypothèses qui le caractérisent, même si elle ont perdu leur sens concret.

Vient ensuite le rappel de l'évaluation des poussées de la Hire (n^{os} 19-20). Puis Bossut détermine le profil que devraient avoir les piédroits (n^{os} 21-23). Il suppose que ceux-ci peuvent se briser selon une section horizontale, et détermine la longueur que doit avoir celle-ci pour équilibrer la poussée[60]. L'auteur ne cherche pas à déterminer la caractéristique physique "Q" du matériau qui mesure la résistance à l'arrachement.

Une deuxième section est consacrée aux voûtes en dôme ; Bossut se place dans le prolongement du mémoire de Bouguer, qu'il qualifie d'"excellent". Il s'agit de déterminer le profil idéal du "piédroit" de la coupole, par des méthodes analogues à celles employées pour l'arc : l'épaisseur de celui-ci dans la direction perpendiculaire au profil, au lieu d'être constante, devient proportionnelle à la distance à l'axe, le reste est inchangé. Le "piédroit", d'une seule pièce, aboutit à un sommier incliné, puisque l'hypothèse de glissement parfait ne donne pas de solution pour un sommier horizontal. L'auteur rajoute ensuite une charge au sommet de la voûte, qui représente une lanterne (n° 6), puis une charge sur le "piédroit", qui représente un attique (n^{os} 7-9). Les points en lesquels les fissures sont supposées pouvoir s'ouvrir dans le dôme sont fixés de façon assez arbitraire : "Maintenant, il faut se déterminer sur le choix d'une hypothèse au sujet des points Z de rupture du dôme. Supposons que le point Z soit l'intersection de la courbe ACB avec la diagonale OK du rectangle OCKA[61] ce qui est suffisamment conforme à l'expérience"[62]. Il n'est pas dit d'où proviendrait cette expérience, alors que l'on sait que les coupoles ont plutôt tendance à se fissurer dans la direction verticale.

Bossut applique son résultat au dôme du Panthéon, et trouve que "l'épaisseur du piédroit doit être de 4 pieds 11 pouces environ", or "M. Soufflot donne 5 pieds 8 pouces d'épaisseur aux piédroits dans les parties les plus foibles, & 16 pieds aussi d'épaisseur, dans les quatre principales parties [...], par conséquent il n'y a pas à douter que cette voûte ne soit très-solide". La théorie n'a pas à être vérifiée par l'expérience : c'est au contraire le calcul qui prouve que la construction réelle est solide.

Le second mémoire[63] contient d'abord l'équivalent du problème de la chaînette pour une surface de révolution, puis la généralisation à la géométrie de révolution du calcul du profil du piédroit tel qu'il est fait dans le mémoire de 1774. Les hypothèses du calcul, quoiqu'en principe basées sur des observations expérimentales, sont généralisées d'un problème plan à un problème

60 Il s'agit plus précisément d'équilibrer le moment de la poussée par rapport à l'extrémité de la coupure.

61 ACB est l'intrados, et le rectangle OCKA tel que sa deuxième diagonale AC joint le sommet C de la voûte à la naissance A du sommier.

62 Bossut, art. cit. n. 57, p. 563.

63 Abbé Bossut, "Nouvelles recherches sur l'équilibre des voûtes en dôme", *Histoire de l'académie royale des sciences*, année 1776, pp. 43-45, et *Mémoires*, pp. 587-596 et pl. XIX.

tridimensionnel de révolution sans retour à l'expérience. Ce que Bossut donne dans sa Mécanique[2] n'ajoute rien de substantiel à ces deux mémoires.

L'ouvrage de Bérard[4] est d'abord un exposé ordonné et systématique des travaux de ses prédécesseurs. Les hypothèses sont présentées avec beaucoup de clarté, mais comme des axiomes ; l'auteur propose plusieurs démonstrations des mêmes équations : c'est bien là l'œuvre d'un mathématicien.

Dans son second chapitre, qui traite de la poussée, Bérard critique de façon très physique l'hypothèse du glissement parfait. Cependant, il affirme que "ces deux espèces de forces, le frottement et l'adhérence, sont presque impossibles à évaluer" (p. 51), mais se contente d'en rendre compte par un angle limite. Puis il cherche la poussée en déterminant la position du joint pour lequel le moment de celle-ci qui agit sur le piédroit est maximal. Son approche est voisine de celle de Coulomb, mais le calcul est simplifié par un raisonnement qualitatif assez physique, qui réduit toutes les situations possibles à deux, le "coin" et l'"arc-boutant", selon que le nombre de joints de rupture envisagé est pair ou impair. Cette approche est appliquée à plusieurs géométries : plein cintre, ellipse, plate-bande, mais aussi voûte en arc de cloître et voûte d'arêtes[64]. Il reprend enfin le problème de Bossut, d'un piédroit pouvant se dissocier par tranches horizontales. Il obtient la même équation différentielle, mais est en désaccord avec son prédécesseur sur les conditions aux limites.

Une deuxième partie est consacrée aux dômes. Dans l'hypothèse du glissement parfait, Bérard ne tient pas davantage compte des forces qui s'exercent sur les joints latéraux des claveaux que les autres auteurs[65]. Il trouve par conséquent, pour un intrados sphérique, un extrados en forme de flèche infinie (mais de masse finie). Il donne aussi, à la suite de Bossut, l'équivalent pour les dômes du problème de la chaînette, puis examine la poussée des dômes, et considère quelques géométries particulières : voûtes à joints radiaux mais non perpendiculaires à l'intrados, dôme à basse elliptique.

2. *L'Art de bâtir* de Rondelet

Jean-Baptiste Rondelet, architecte travaillant avec Soufflot à l'église Sainte-Geneviève devenue depuis le Panthéon, a publié, de 1802 à 1817, un *Traité de l'Art de Bâtir,* ouvrage considérable par l'étendue des matières traitées, la profondeur de son analyse, et son influence[66]. Il a connu un grand

64 Bérard, *op. cit.* n. 4, n° 34, p. 68 et n° 35, p. 71. Bérard calcule la poussée de la même façon que pour un arc, et intègre le long de la dimension transversale.

65 Plus exactement, il détermine l'équilibre en supposant que ces forces sur les joints radiaux verticaux sont nulles, mais ne semble pas avoir conscience du fait qu'elles pourraient ne pas l'être, et ne le sont pas en pratique.

66 Voici la composition du *Traité théorique et pratique de l'art de bâtir*, de Jean-Baptiste Rondelet :
T. 1, en 2 parties.
- Livre 1 (introduction, matériaux : pierre), Paris, 1802, 242 p., 3 pl. ;
- Livre 2 (matériaux : briques, mortier, et maçonnerie), Paris, 1803, p. 217 *sq.*, 233 p., 11 pl..
T. 2, en 2 parties.
- Livre 3 (pose de pierre de taille, voûtes), Paris, 1804, 173 p., 23 pl. ;
- Livre 4 (épures), Paris, 1804, p. 173 *sq.*, 179 p., 30 pl..
T. 3. Livre 5, *La science qui doit les diriger, pour en déterminer les formes et les dimensions, relativement à la solidité,* 423 p., 25 pl. ;
T. 4, en 3 parties.
- Livre 6, *Charpente*, Paris, 1810, 394 p., 60pl. ;

succès tout au long du XIX[e] siècle ; il avait connu 17 éditions en 1885. L'auteur avait été soutenu et financé par le gouvernement dès 1783, puis par de nombreux souscripteurs[67].

Les deux premiers livres sont consacrés à diverses considérations qualitatives sur l'architecture en général, les matériaux, non seulement pierre, mais aussi briques, pisé, mortier de chaux, et les différentes espèces de maçonnerie, y compris pavés, bétons, stucs... Le livre 3 traite des maçonneries en pierre de taille, et des voûtes[68]. Quelques éléments sont donnés sur leur construction et leur comportement mécanique, mais sans entrer dans le détail ni donner de justification pour l'instant.

Cependant le résumé simplifié de la théorie est assez significatif : Rondelet cite le résultat donné par la théorie pour une voûte en plein cintre extradossée d'égale épaisseur, qui doit avoir une épaisseur minimale, et mentionne qu'une épaisseur plus faible sera possible si un tiers de la voûte est inclus dans les piédroits[69]. L'importance du remplissage en maçonnerie des reins des voûtes, procédé traditionnel, apparaît dès l'abord. Rondelet, tout en remarquant que ce n'est pas l'usage ancien, recommande d'utiliser les profils déduits de la théorie mathématique qui néglige les frottement[70]. Il donne un moyen simple de construire de tels profils. Notons au passage une remarque au sujet des voûtes gothiques : si on considère des voûtes d'arêtes sur plan polygonal, plus le nombre de côté est grand, plus les angles des coupes voisinant les arêtes sont aigus, ce qui fragilise la voûte. "Les architectes goths, qui n'employaient que des voûtes d'arêtes, évitaient la difficulté dans les parties à pans ou circulaires, appelés rond-points, et même dans les travées ordinaires, en plaçant des arcs ogives saillants et profilés qui s'appareillaient comme des arcs simples"[71]. La nervure serait donc pour lui un moyen simple de rendre les arêtes plus solides.

Le livre 4, consacré aux épures, commence[72] par une définition de la projection orthogonale. Il apparaît donc que cette notion était encore en 1804 réservée, sinon aux mathématiciens, du moins à certains techniciens.

La construction géométrique d'une voûte d'ogives, dite "voute d'arète gothique", sur plan hexagonal (Fig. 17), puis celle d'une voûte avec liernes et tiercerons, sous le nom de "voûte gothique à triples arètes", sont données ensuite[73]. Ces formes n'étaient donc pas aussi désuètes qu'on pourrait l'imaginer[74]. Rondelet traite aussi des voûtes en arc de cloître[75]. Les constructions deviennent de plus en plus complexes avec l'appareil des coupoles[76]. Notons en particulier la

- Livre 7, *Couverture, menuiserie et serrurerie*, Paris, de Gillé, 1814, p. 383 *sq.*, 184 p., 31 pl. ;
- Livre 8, *Manière de détailler et d'évaluer les ouvrages des bâtiments*, Paris, de Fain, 1817, p. 561 *sq.*, 449 p., 4 pl..

T. 5. Livre 8, *Nouvelle méthode de mesurer, de détailler et d'évaluer les ouvrages des bâtiments*, Paris, de Fain (sans date), 497 p., 8 pl. (refonte du t. 4-3).

67 Valérie Nègre, "Some considerations on traité de l'art de bâtir by Rondelet and the technical literature of his time", *Proceedings of the Third International Congress on Construction History*, 2009, p. 1089 *sq.*.

68 Rondelet, *op. cit.* n. 66, t. 2, livre 3, section 2.

69 *Ibid.*, t. 2, p. 155.

70 *Ibid.*, t. 2, p. 156

71 *Ibid.*, t. 2, p. 165.

72 *Ibid.*, t. 2, p. 178.

73 *Ibid.*, t. 2, pp. 250-251 et pl. L, puis pp. 256-7 et pl LI.

74 *Cf.* Hélène Rousteau-Chambon, *Le gothique des Temps modernes* (Paris, Picard, 2003).

75 Rondelet, *op. cit.* n. 66, t. 2, p. 258 *sq*.

76 *Ibid.*, t. 2, p. 279 *sq.*

surface de révolution obtenue par la rotation de la chaînette, appelée conoïde par Rondelet[77].

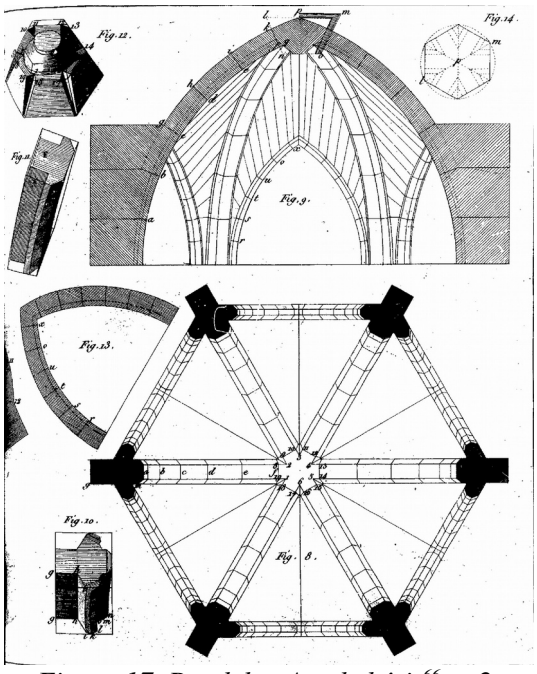


Figure 17. Rondelet, Art de bâtir[66], t. 2, pl. L : voûte d'ogives sur plan hexagonal.

Le tracé de la vis de saint Gilles est présenté vers la fin de l'ouvrage, précédé de ce commentaire : "Cette vis est une espèce de voûte annulaire rampante, disposée pour soutenir les marches d'un escalier tournant autour d'un noyau plein ou évidé. le nom par lequel on la désigne, lui vient de ce que la première voûte de ce genre, exécutée en pierre de taille, a été faite au prieuré de Saint-Gilles, à quatre lieues de Nîmes, département du Gard. Le trait de cette voûte passe pour un des plus difficiles de la coupe des pierres, parce que toutes les surfaces des voussoirs sont gauches et les arêtes à double courbure"[78]. L'exposé du tracé vient ensuite, suivi de celui d'une vis de Saint-Gilles sur un plan carré[79]. On est surpris, alors que le niveau scientifique de l'ouvrage dépasse si largement les connaissances médiévales, que sur ce point, les appareilleurs des années 1800 ne montrent pas de supériorité sur ceux du XII^{e} siècle.

Avant d'en venir à la théorie proprement dite, Rondelet sacrifie à la mode antiquisante en en appelant à Vitruve pour témoigner de l'utilité de la théorie, et de son articulation avec la pratique[80]. C'est encore selon Vitruve que la façon de faire les fondations est discutée[81]. Cependant, quand il s'agit discuter de la façon dont on peut tasser la terre en la frappant avec un objet lourd, Rondelet fait directement appel à l'expérience. Il rend compte d'une série d'expériences qu'il a effectuées pour mesurer la force engendrée par l'impact au sol d'une masse en chute libre, retrouvant les résultats théoriques, et déterminant expérimentalement la correction due au frottement sur l'air[82].

77 Rondelet, *op. cit.* n. 66, t. 2, p. 305, article 4 : "Coupoles du dôme du Panthéon français, et voûtes conoïdes."
78 *Ibid.*, t. 2, p. 321, article 8 : "Vis Saint-Gilles ronde."
79 *Ibid.*, t. 2, p. 326.
80 *Ibid.*, t. 3, pp. 5-7.
81 *Ibid.*, t. 3, pp. 8-17.
82 *Ibid.*, t. 3, p. 21 *sq*.

Cette expérimentation systématique est un des intérêts majeurs de l'ouvrage.

Nous laisserons de côté des passages concernant les fondations de ponts, batardeaux, et jetées, pour en venir directement à une seconde série d'expériences de Rondelet, concernant la "force des pierres"[83]. Rondelet mentionne d'abord un dispositif de mesure conçu par Gauthey[84] pour "éprouver la force des pierres", c'est-à-dire leur résistance à la compression, à l'occasion d'une controverse au sujet du Panthéon (1770-1774). Cette "machine" se compose d'un levier exerçant une compression uniaxiale sur la pierre à éprouver, à l'extrémité duquel on suspend un poids déterminé (Fig. 18). Une série d'expériences effectuées par Soufflot, Perronet[85] et surtout Rondelet lui-même, qui ont utilisé et perfectionné le dispositif de Gauthey, est décrite en détail. L'auteur ne se contente pas de donner les valeurs de la contrainte de rupture mesurées pour les diverses sortes de pierre disponibles à Paris, mais y ajoute une série d'observations qualitatives reliant aspect, grain, couleur de la pierre à cette quantité, ainsi que la description du faciès de rupture, l'influence de la forme des éprouvettes (cubes, blocs rectangulaires, empilement de cubes), et discute de façon approfondie les limites de la pertinence de la mesure relativement à la situation réelle.

Une section[86] est ensuite consacrée aux notions les plus élémentaires de mécanique : composition de forces, leviers, centre de gravité. S'y ajoute l'évaluation des frottements par l'angle limite de glissement[87]. Ces notions élémentaires sont appliquée à l'étude de l'équilibre d'un piédroit parallélépipédique sous l'action d'une force extérieure et de son poids. Le piédroit est ici traité comme un solide non déformable.

Je ne m'attarderai pas sur l'article suivant, "de la poussée des terres"[88], si ce n'est pour remarquer que Rondelet développe ici encore une approche expérimentale personnelle, dont il compare les résultats à la théorie en vigueur[89], avant de discuter de la forme des des murs de soutènement[90].

L'ouvrage rentre dans le cœur des problèmes de construction dans la section suivante, où Rondelet donne l'épaisseur que doit avoir un mur pour résister à l'écrasement (et à lui seul), pour divers matériaux[91].

"Les tables précédentes calculées d'après les expériences faites sur la force des pierres, peuvent servir à apprécier la hardiesse apparente de plusieurs parties d'édifices, dont les murs ou points d'appui excitent l'étonnement par leur légèreté, sur-tout dans les édifices gothiques, où l'on voit souvent des colonnes extrêmement élevées qui n'ont pas plus de 7 à 8 pouces de diamètre, et qui ont l'air de soutenir un poids énorme.

Dans l'église de Toussaint d'Angers, on admire deux colonnes de 11 pouces de diamètre sur 24

---

83 Rondelet, *op. cit.* n. 66, t. 3, section 2, p. 72 *sq.*

84 Émiland Marie Gauthey, 1732-1806, ingénieur et architecte qui a lui aussi collaboré au Panthéon, Inspecteur Général des Ponts et Chaussées en 1791, est l'auteur d'un *Traité de la construction des ponts* et de quelques autres ouvrages, publiés après sa mort par son neveu Henri Navier qu'il avait adopté (Wikipedia, art. "Émiland Gauthey").

85 Jean-Rodolphe Perronet, 1708-1794, architecte et ingénieur, fondateur de l'École des ponts et chaussées (Wikipedia, art. "Jean-Rodolphe Perronet").

86 Rondelet, *op. cit.* n. 66, t. 3, p. 103, section 3 : "Des principes de mécanique".

87 *Ibid.*, t. 3, p. 126.

88 *Ibid.*, t. 3, p. 134, article 6.

89 Celle de Bélidor[149].

90 Rondelet, *op. cit.* n. 66, t. 3, p. 162 *sq.*, d'après Vauban & Bélidor[149].

91 *Ibid.*, t. 3, p. 181, article 6 : "Des points d'appui et des murs isolés".

pied de haut, qui soutiennent les retombées d'une voûte d'arête gothique de 63 pieds de long sur 31 pieds et demi de large[92]. Cette voûte [...] est construite en petits moilons de 5 pouces d'épaisseur avec des nervures en pierre. On trouve par le calcul, que la charge qui tombe sur ces colonnes est de 982 pieds cubes, lesquels, évalués à raison de 130 livres, produisent un poids de 127,660 livres[93]. Ces colonnes sont formées de trois morceaux d'une espèce de pierre dure posée en délit [...] dont le pied cube pèse 180 livres, et dont le pouce superficiel porte avant de s'écraser 6650 ; mais en ne prenant que la moitié de ce poids pour la charge d'un pouce superficiel, ces colonnes, dont la base supérieur contient 95 pouces superficiels et 190 pouces pour les deux, pourraient soutenir un poids de 631750, c'est-à-dire quatre fois et demi plus considérable que celui qu'elles portent"[94].

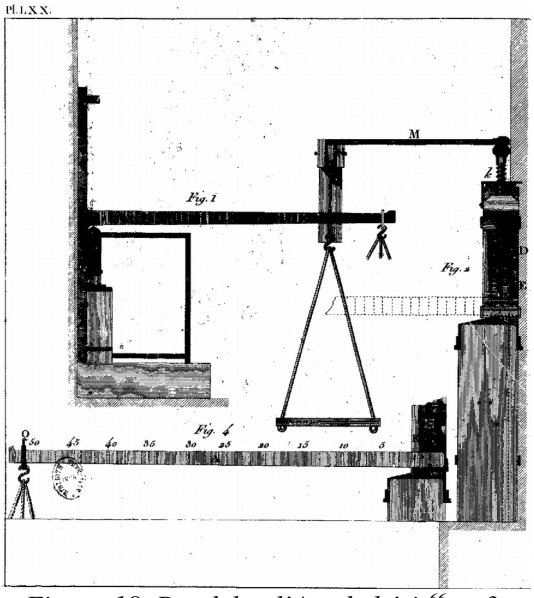


Figure 18. Rondelet, l'Art de bâtir[66], t. 3, pl. XX : la machine à essayer les pierres.

Ainsi, si l'on doit donner une certaine largeur aux murs, c'est avant tout pour assurer leur stabilité et leur résistance aux efforts obliques. Rondelet remarque aussi qu'une pierre plus dure peut être plus économique, parce que le volume utilisé sera beaucoup moindre. "Il faut cependant observer que c'est plutôt la stabilité que la force qui constitue la solidité des édifices ; en sorte qu'un mur en pierre dure de 4 pouces d'épaisseur, serait plus fort qu'il ne faut pour soutenir la charge que portent des murs de 18 pouces d'épaisseur, dans les maisons les plus élevées, c'est-à-dire de 5 à 6 étages, mais il n'aurait pas assez de stabilité à cause du peu de largeur de sa base"[95].

Il s'appuie non seulement sur l'expérimentation, mais aussi sur l'expérience d'édifices existants, avec une prédilection pour les antiques (il cite la "Ville Adrienne" à Tivoli, comme l'un des édifices les mieux construits), qu'il étend plutôt aux églises paléochrétiennes de Rome, puis à celles de la Renaissance italienne, qu'à des édifices tels que l'abbaye Toussaint d'Angers.

---

92 11 pouces ≃ 30 cm ; 24 pieds ≃ 7,8 m ; 63 pieds ≃ 20,5 m ; 31,5 pieds ≃ 10,2 m.

93 5 pouces ≃ 13,5 cm ; 982 pieds cubes ≃ 33,6 m^3 ; 130 livres par pied cubes ≃ 1860 kg/m^3 ; 127 660 livres ≃ 62 t.

94 180 livres par pied cube ≃ 2570 kg/m^3 ; 6650 livres par pouce carré ≃ 43,5 MPa ; 95 pouces carrés ≃ 0,07 m^2 ; 631750/127660 ≃ 4.95 est plus proche de 5 que de 4,5. Rondelet, *op. cit.* n. 66, t. 3, pp. 183-184 : n° 129, et figures 1 et 2, pl. LXXIII.

95 *Ibid.*, t. 3, p. 197 : n°148.

Il propose une méthode, fondée sur l'observation de ces exemples, pour évaluer l'épaisseur à donner aux murs. Celle-ci est basée sur un rapport entre hauteur et l'épaisseur donné *a priori*, auquel on ajoute une construction pour tenir compte de la longueur du mur[96]. Selon lui, la charpente n'est pas toujours la source d'une poussée tendant à déstabiliser les murs : "Il existe plusieurs édifices considérables, dont les murs et points d'appui ne pourraient pas se soutenir, sans le secours de la charpente des toits qui les couvrent"[97]. Les exemples cités à l'appui de cette affirmation sont les églises Saint-Paul hors les murs et Sainte-Sabine de Rome. Une deuxième règle, tout aussi empirique, est donnée un peu plus loin[98].

La section consacrée à la théorie des voûtes[99] commence comme il se doit par le rappel des travaux antérieurs, qui sont essentiellement ceux dont nous avons parlé ci-dessus. Il faut y ajouter l'approche expérimentale de Danizy[35], dont celui-ci déduisit une règle empirique en 1732. Rondelet mentionne aussi celles du père Derand[28] et de Gautier[29], qu'il déclare dénuées de fondement : son opinion rejoint celle de Frézier.

Puis, au lieu de donner les résultats obtenus par les théoriciens en négligeant les frottements, Rondelet étudie par l'expérience l'effet de ceux-ci[100] : Contrairement aux hypothèses de la théorie, deux pierres taillées de même nature ne glissent pas parfaitement l'une sur l'autre. Elles ne commencent à glisser que lorsque le plan du joint est suffisamment incliné, d'un angle de 28° à 36°. Rondelet établit l'angle limite de frottement par une expérimentation systématique, et l'évalue à 30° avec l'horizontale pour du liais "bien équarri et dressé au grès". Il confronte ensuite la théorie à des expériences effectuées sur des modèles de voûtes en liais. La premier de ceux-ci est un arc en plein cintre de 9 pouces de diamètre et 21 lignes d'épaisseur, soutenu par des piédroits de 31 lignes. Un calcul théorique de l'effet de la poussée sur les piédroits, qui tient compte des frottements, quoique de façon peu rigoureuse, aboutit à 28 lignes environ[101]. Un autre modèle est celui d'une plate-bande[102]. Un peu plus loin, Rondelet fait état de résultats expérimentaux peu en accord avec la théorie usuelle. "Dans celles [les voûtes] divisées en nombres impairs et inégalement, plus la clé est grande, moins elles ont de poussée". "La poussée n'augmente pas en raison de l'épaisseur des voûtes, en sorte qu'à condition égale d'ailleurs, une voûte qui a le double d'épaisseur n'a pas le double de poussée". Je pense que ces faits sont dus à la rigidité des voussoirs courbes, plus grande s'ils sont plus épais. De plus, notre auteur observe que "les voûtes en plein cintre et surbaissées, extradossées en ligne droite de niveau, ont moins de poussée que de toute autre manière"[103], ce qu'on peut mettre en relation avec l'usage de remplir de maçonnerie les reins des voûtes.

Il étudie ensuite d'autres configuration, en vérifiant dans chaque cas les calculs par des expériences effectuées sur des modèles en pierre de petite taille et à petit nombre de voussoirs[104].

---

96 Rondelet, *op. cit.* n. 66, t. 3, pp. 191-192.

97 *Ibid.*, t. 3, p. 195.

98 *Ibid.*, t. 3, p. 203 *sq.*

99 *Ibid.*, t. 3, p. 235 *sq.*, section 4 : "De la théorie des voûtes".

100 *Ibid.*, t. 3, p. 239, article 2 : "Recherches et expériences pour établir la théorie des voûtes", et p. 240 : "Expérience sur le frottement".

101 *Ibid.*, t. 3, p. 245 et Fig. 6, pl. LXXXIX. 9 pouces ≃ 24 cm ; 21 lignes ≃ 47 mm ; 31 lignes ≃ 70 mm, plus loin cette distance est portée à 29 lignes ≃ 65 mm ; 28 lignes ≃ 63 mm.

102 *Ibid.*, t. 3, pp. 253-255.

103 *Ibid.*, t. 3, n^{os} 16 et 19, p. 259, et n° 23, p. 260.

104 Un exemple typique est la voûte en plein cintre déjà mentionnée, dont le diamètre était de 9 pouces ≃ 24 cm, et qui comportait 9 voussoirs.

Une conclusion qui lui paraît importante, puisqu'il la répète à plusieurs reprises, est que la voûte en plein cintre doit avoir une épaisseur supérieure à 1/18 de son diamètre. Rondelet établit ainsi par le calcul et par l'expérience la poussée d'arcs de différents profils, qu'il peut ainsi comparer. Il en déduit une appréciation de l'arc brisé, favorable du point de vue technique, mais défavorable esthétiquement : "On voit par ce rapprochement, que la forme de cintre la plus avantageuse pour les voûtes surhaussées, est celle des voûtes gothiques composées de deux arcs de cercle, formant un angle au sommet qui n'est pas agréable"[105]. On peut se demander quelle a été l'influence de jugements de ce type dans la formation de la tendance "fonctionnaliste" dans l'analyse de l'art médiéval, qui veut que les formes caractéristiques soient toujours justifiées par des considérations techniques.

Quelques exemples mettent en évidence l'effet du remplissage des reins des voûtes : celui d'une "voûte en plein cintre, dont les piédroits sont continués jusqu'à l'endroit où la ligne de leur face intérieur prolongée rencontre celle de l'extrados de la voûte". Le calcul donne "un peu moins de 18 lignes, au lieu de 20 lignes 1/8 qu'exigent les piédroits de la même voûte, lorsqu'elle est entièrement extradossée"[106]. Un deuxième exemple est celui d'une voûte "extradossée en ligne droite de niveau".

Rondelet ajoute ensuite un étage, et observe que l'épaisseur des piédroits se réduit alors à 11 lignes 2/3 . De plus, "il est bon de faire observer qu'en avançant les murs du haut d'une ligne en dedans de la verticale BF, il suffit qu'il ayent 6 lignes d'épaisseur pour que le modèle se soutienne, parce que cet espèce de porte-à-faux augment la résistance des piédroits. Ce moyen a été souvent mis en usage, avec succès, par les architectes Goths, ainsi que celui de faire porter la naissance des arcs ogives sur des encorbellements, afin d'éviter de donner une trop grande épaisseur aux murs ou piédroits qui les soutiennent"[107].

Quelques assises de maçonnerie construites au-dessus d'un arc augmentent sa stabilité, "trois assises suffisent pour détruire l'effort de la poussée, et lorsqu'il y en a cinq, on peut ôter la clé de l'arc, et la pierre au-dessus. Ce qui prouve que les murs construits au-dessus des arcades détruisent souvent leur poussée au lieu de l'augmenter, parce qu'il se forme une voûte naturelle par encorbellement"[108].

Deux techniques de chaînages auraient existé du temps de Rondelet : on plaçait des chaînes ou des tirants de fer soit le long de l'extrados, soit à la naissance de la voûte. Aucun de ces deux procédés ne paraît une bonne solution à notre auteur, parce qu'ils n'empêchent pas l'ouverture de l'intrados près de la clef. Rondelet préconise de placer des crampons le long de l'intrados à ce niveau, combinés à d'autres placé le long de l'extrados, là où celui-ci a tendance à s'ouvrir. S'il s'agit de tirants horizontaux, il pense qu'il vaut mieux les placer vers le milieu du voûtain, à l'endroit où les voûtes s'ouvriront à l'extrados[109].

Rondelet rapporte ensuite une théorie et des expériences comparables concernant les voûtes d'arêtes[110], puis un édifice à 3 nefs. Il propose une solution avec des arcs-boutants, et une autre sans ceux-ci. L'arc-boutant est donc une technique connue, et dont l'efficacité est reconnue, mais réputée

105 Rondelet, *op. cit.* n. 66, t. 3, p. 284.
106 *Ibid.*, t. 3, pp. 298-299 : "Quinzième application". 18 lignes ≃ 41 mm ; (20+1/8) ligne ≃ 45 mm.
107 *Ibid.*, t. 3, p. 305. (11+2/3) lignes ≃ 2,6 cm ; 6 lignes ≃ 1,35 cm.
108 *Ibid.*, t. 3, pp. 308-309.
109 *Ibid.*, t. 3, pp. 313-314.
110 *Ibid.*, t. 3, p. 314 *sq.*

inesthétique : on construira “un attique, pour cacher les arcs-boutans”[111]. On peut se demander ce que l’idée assez répandue, selon laquelle les arcs-boutants auraient été introduits au XII^{e} siècle pour des raisons techniques plutôt qu’esthétiques, voire même en dépit de l’esthétique, doit à de tels jugements.

Rondelet, toujours néoclassique, juge les “voûtes d’arètes antiques” presque optimales, mais cela ne l’empêche pas d’analyser les “voûtes d’arètes gothiques”. Il évalue le rapport des largeurs de supports à celles des nefs, pour les cathédrales de Paris, Milan, et Florence. À Notre-Dame de Paris, c’est toute la longueur des murs transversaux des chapelles qui est prise en compte. À Sainte-Marie des Fleurs, l’épaisseur des supports “serait insuffisante pour soutenir la poussée des voûtes d’arète qui sont fort élevées, si elle n’était pas retenue par des doubles tirans de fer [...], et par de fortes armatures de charpente posées au-dessus des voûtes des bas côtés, avec des arcs-boutans en pierre, qui ne paraissent pas à l’extérieur”[112]. La connaissance qu’a Rondelet des diverses techniques employées pour le contrebutement au Moyen Âge est remarquable.

Il explique ce qui, selon lui, forme l’avantage de la voûte gothique[113] : “Comme le milieu des lunettes ne forme jamais une ligne droite horizontale, mais une courbe, il en résulte que tout l’effort ne tombe pas seulement sur les piédroits, et qu’une partie est soutenue par les parties de murs intermédiaires ;” remarquons que cet avantage est encore plus prononcé dans le cas des voûtes angevines.

Rondelet étudie ensuite, par le même procédé de plusieurs calculs théoriques et d’expérimentation, la voûte en arc de cloître, et les “voûtes sphériques”, puis compare les quatre types de voûtes étudiés du point de vue de la mécanique[114]. La poussée de la voûte en arc de cloître est faible, celle de la voûte sphérique est encore moindre, et la profondeur des supports est en conséquence. Par contre, si l’on regarde la surface occupée par les supports, la voûte d’arête devient une des plus avantageuses, peu après la voûte sphérique.

Rondelet étudie ensuite les propriétés mécaniques des mortiers. Celles-ci avaient déjà été considérées dans le partie consacrée aux matériaux[115], on trouve ici on a leurs conséquences sur le comportement mécanique des voûtes. Dans le livre 2, l’auteur donne divers détails techniques sur la cuisson de la chaux, citant depuis Vitruve jusqu’aux chimistes contemporains, notamment Macquer[116], et Duhamel[117]. Il y considère aussi diverses sortes de sables, et d’autres matériaux pouvant servir à confectionner des mortiers. Il discute longuement de la façon de faire le mortier : la qualité de celui-ci dépend de la cuisson de la chaux, qui doit être suffisamment longue et

111 Rondelet, *op. cit.* n. 66, t. 3, p. 324.

112 *Ibid.*, t. 3, p. 329.

113 Outre l’emploi de l’arc brisé dont la poussée est moindre, et celui des nervures qui permettent d’alléger les voûtains. *Ibid.*, t. 3, p. 330.

114 *Ibid.*, t. 3, pp. 332-339, pp. 339-345, puis p. 345 *sq.*

115 *Ibid.*, t. 1, p. 247 *sq.*

116 Pierre-Joseph Macquer (1718-1784), médecin et chimiste, auteur d’un manuel largement diffusé (*Élémens de chymie théorique,* Paris, 1749), il s’est aussi intéressé à des applications industrielles de la chimie, concernant en particulier la porcelaine et certains colorants. (“Macquer, Pierre Joseph”, *Complete Dictionary of Scientific Biography*. 2008. http://www.encyclopedia.com).

117 Henri-Louis Duhamel du Monceau (1700-1782) a laissé d’importants travaux concernant entre autres la sylviculture, la pêche, et la construction navale, mais fut aussi un chimiste. Il a effectué notamment des expériences sur la calcination du calcaire et la chaux. *Cf.* Claude Vie, “Duhamel du Monceau, naturaliste, physicien et chimiste”, *Revue d’histoire des sciences*, vol. 38, n° 38-1, pp. 55-71 (1985).

suffisamment homogène, et de son broyage. Ces détails techniques dépendant directement du savoir-faire des ouvriers paraissent avoir eu des conséquences importantes sur la solidité des constructions. Il est raisonnable de penser que le problème se posait en des termes comparables au Moyen Âge.

Des expériences mesurant la résistance à la compression des mortiers, pour diverses compositions, sont décrites ensuite, puis Rondelet présente les résultats d'une série d'expériences de traction sur des joints en mortier de chaux reliant deux cubes de pierre ou brique de 2 pouces de côté[118]. Les poids qui ont dissocié ces joints vont d'un minimum de 64 livres ou 31,327 kg pour des cubes de liais, à un maximum de 141 livres ou 69,019 kg pour des tuileaux, ce qui donne une résistance du joint à la traction variant de 0,10 à 0,23 MPa. Celle-ci est donc loin d'être nulle, quoi qu'en disent certains auteurs plus récents. Pour des joints de plâtre, la contrainte de rupture est un peu plus élevée. Les poids varient de 124 à 201 livres suivant le matériau, toujours pour 4 pouces carrés, ce qui donne de 2 à 3,3 MPa[119]. Rondelet compare la résistance à la traction du joint à celle du mortier lui-même, et trouve que la première est supérieure à la seconde. Il compare aussi la résistance à la traction des briques de mortier à leur résistance à la compression, et trouve des rapports de 7,5 à 12 suivant la composition et la qualité du mortier. D'autres expériences sont décrites dans le tome 3[120], en commençant par des essais de traction et de flexion sur des éprouvettes de plâtre. La relation entre les résultats de ces deux mesures est présentée de manière empirique. L'expérience présentée ensuite concerne un assemblage de dix cubes de pierre reliés par des joints de plâtre, dont on étude la résistance en flexion et traction ; une expérience analogue fut effectuée avec des joints de mortier[121]. Les résultats des essais de traction sont très voisins des précédents, et Rondelet montre que les résultats des essais de flexion sont cohérents avec ceux-ci.

Dans le tome 3 encore, il traite des conséquences de la cohésion du mortier sur la solidité des voûte[122]. Il établit par l'expérience que "la force du mortier, au bout de six mois, dans les voûtes bien faites, est capable de supprimer la poussée, toutes les fois que l'épaisseur, prise au milieu des reins, est plus forte que la dixième partie de KL, Fig. 25, pour celles maçonnées en mortier, et le douzième dans celles maçonnées en plâtre"[123].

Notre auteur traite ensuite des voûtes réalisées en briques, en moellons, ou en blocage, dont le

---

118 Rondelet, *op. cit.* n. 66, t. 1, pp. 306-309, puis pp. 311 et 312. 2 pouces ≃ 5,4 cm.

119 *Ibid.*, t. 1, p. 313.

120 *Ibid.*, t. 3, p. 374 : "Expériences pour servir de base à la manière de calculer la force du plâtre et du mortier dans la construction des voûtes" et suivantes.

121 *Ibid.*, t. 3, p. 376 : "Cinquième expérience" et p. 377 : "Sixième expérience". Celles-ci ont été effectuées sur des assemblages de 10 cubes de pierre de 2 pouces (5,4 cm), après un mois de séchage des joints de plâtre ou de mortier. Pour l'essai en flexion, l'assemblage était placé sur deux supports espacés de 16 pouces (43 cm), la rupture à été observée pour un poids de 35 livres 3/4 (17,5 kg) dans le cas du plâtre et 10 livres 3/4 (5,26 kg) à 13 livres 1/2 (6,61 kg) dans le cas du mortier. Dans l'essai de traction la rupture à été observée pour un poids de 121 livres (59,2 kg) dans le cas du plâtre, et 64 livres (31,3 kg) dans le cas du mortier. Ces valeurs correspondent respectivement à des contraintes de rupture de 0,20 MPa et 0,10 MPa.

122 *Ibid.*, t. 3, p. 349, article 6 : "De la force avec laquelle le mortier ou le plâtre peuvent unir les pierres ou les briques, et de la construction des voûtes".

123 Le point K est l'intersection de l'intrados avec la diagonale du rectangle qui le circonscrit, et le point L la projection de K sur le plan vertical passant par la clef, ce qui fait que, pour une voûte en plein cintre, la portée totale est $2\,\mathrm{KL}\sqrt{2}$. Rondelet, *op. cit.* n. 66, t. 3, p. 350 et Fig. 25, pl. XC.

comportement se rapproche beaucoup de celui d'une voûtes en béton. Il décrit en détail un type de voûtes antiques en blocage ou en béton avec des chaînages de briques. "Ces voûtes [...] sont extradossées de niveau" ou "à deux pentes dans la proportion du fronton"[124] : On constate encore ici l'importance du remplissage de reins.

Si la cohésion du mortier est suffisante, le comportement mécanique est très différent de ce que prévoit la théorie (qui suppose que les voussoirs glissent parfaitement l'un sur l'autre) : "Lorsque les voûtes en moilons, en brique ou en blocage, ont été faites avec soin, qu'on leur a donné une forme d'épaisseur proportionnée à leur diamètre et à la courbure de leur cintre, et qu'on a donné le tems au mortier de faire corps avec les matériaux, elles ne forment dans la suite qu'une seule pièce, qui n'a aucune poussée contre les murs qui les soutiennent." Dans une telle situation, nous pourrons employer un modèle basé sur la théorie de l'élasticité, qui sera parfaitement valable. Rondelet considère qu'une voûte de 24 à 30 pieds de diamètre demande deux mois de séchage[125]. En utilisant d'autres matériaux, l'effet de la cohésion peut être encore plus important : des voûtes en brique maçonnées au plâtre, n'ont aucune poussée.

Rondelet insiste à nouveau sur l'importance du remplissage des reins : "Comme c'est le moment du décintrement qui est l'instant dangereux, [...] on ne devrait jamais décintrer une voûte, que ses reins ne fussent garnis jusque vers le milieu. Et un peu plus loin : "Les voûtes d'arète extradossées de niveau ont besoin d'avoir leur reins tout-à-fait remplis de maçonnerie". Dans certains cas, on peut remplacer ce remplissage par une structure maçonnée : "Dans les voûtes extradossées d'égale épaisseur, qui doivent former plancher au-dessus, lorsqu'on ne remplit pas les reins en maçonnerie, on fait de petits murs d'éperon, espacés entre eux du tiers de la largeur de la voûte : leur épaisseur doit être la dixième partie de leur intervalle"[126]. Ces murs sont perpendiculaires à l'axe de la voûte. Je pense que les structures que l'on observe sur la voûte du premier étage de la tour Saint-Aubin d'Angers[127] pouvaient avoir cette fonction.

Le volume qui traite de la charpente présente lui aussi des expériences de résistance des matériaux, qui font suite à celles de Buffon : des essais de traction, de compression, et de flexion de bois de chêne[128]. Ces derniers aboutissent à une formule empirique qui relie la charge de rupture de la poutre en flexion à la "force absolue" du bois (contrainte de rupture), puis une autre en fonction de la distance entre les deux appuis.

Dans la section consacrée au trait de charpente, on peut faire des observations analogues à ce qu'on a vu pour la coupe de pierre : on doit définir la notion de projection orthogonale[129]. Les surfaces gauches sont toujours ce qu'on appelle en géométrie des surfaces réglées, c'est-à-dire formées "de lignes droites qui ne sont pas dans un même plan, c'est-à-dire qu'en bornoyant une des arètes, celles opposées paraissent s'élever ou s'abaisser au lieu de se confondre comme dans une surface plane"[130]. Rondelet expose des problèmes de tracé assez délicats, comme par exemple celui des noulets : le raccordement d'un petit comble avec la pente d'un plus grand[131]. La principale

124 Rondelet, *op. cit.* n. 66, t. 3, p. 355.
125 *Ibid.*, t. 3, p. 356. 24 pieds ≃ 7,80 m, 30 pieds ≃ 9.74 m.
126 *Ibid.*, t. 3, pp. 356, 358, et 357 ; voir aussi les figures 8 et 7, pl. XCII.
127 Marcel Deyres, Jean Porcher, *Anjou Roman* (2e éd., Zodiaque, 1987), pp. 208-210.
128 Rondelet, *op. cit.* n. 66, t. 4-1, p. 65 : "Article IV. Sur la force du bois de chêne".
129 *Ibid.*, t. 4-1, p. 183 : "Principes du trait de charpente".
130 *Ibid.*, t. 4-1, p. 188.
131 *Ibid.*, t. 4-1, p. 202 *sq.*

difficulté est de déterminer une longueur dans une direction qui n'est parallèle à aucun des plans de projection. On peut remarquer que la solution qu'en donne notre auteur est purement géométrique.

Quelques passages de ce volume intéressent la construction des voûtes. On peut retenir la mention d'une armature médiévale en bois destinée à compenser la poussée d'une coupole, à Saint-Marc de Venise[132], mais surtout, la 4e section de la charpente, qui concerne le cintrage des voûtes[133]. L'effet du frottement entre les voûtains est pris en compte, en effet, les pierres ne glissant pas en dessous d'un angle de l'ordre de 30°, il est inutile de faire descendre les cintres au-dessous. On observe des exemples antiques de cette pratique sur le pont du Gard et sur le pont Cestius à Rome[134]. En ce qui concerne les cintres proprement dits, l'accent est mis sur la nécessité d'un entrait. Une construction, donnée sans justification, permet de déterminer la position de celui-ci. Rondelet calcule la force exercée sur l'entrait, et d'autres pièces de charpente du cintre, pour évaluer la taille à donner aux pièces de bois. Les pièces sont cependant surdimensionnées par surcroît de précaution ; l'auteur en donne une justification assez étonnante : "En appliquant à ces dimensions le calcul de la force des bois, on trouvera une force beaucoup plus considérable que les efforts que ces pièces ont à soutenir, mais c'est cette surabondance qui constitue la solidité du cintre et sa stabilité sans lesquelles on ne saurait être sûr de son opération. Ce principe est fondé sur la nature qui emploie toujours des moyens surabondants pour obtenir des effets constants et faciles, ainsi qu'on peut s'en convaincre par l'ossature des animaux dont la force est beaucoup au-dessus de ce qu'exigerait leur poids, leur volume et leur mouvement. Le défaut contraire est presque toujours la cause de ce que ceux qui se contentent de calculer le poids à supporter, l'effort à faire ou l'obstacle à vaincre pour y appliquer une puissance un peu au-dessus réussissent rarement"[135]. Notons enfin une remarque concernant le cintrage des coupoles : "Comme les voûtes sphériques se composent de couronnes de voussoirs qui se soutiennent d'elles-mêmes, dès qu'elles sont terminées, les cintres n'ont jamais qu'une de ces couronnes moins un voussoir à soutenir, ce qui n'exige pas une grande force"[136].

Le reste de l'ouvrage contient bien d'autres matière d'un grand intérêt pour la construction : voûtes en charpente, ponts de bois, grues et poulies, résistance mécanique des fers,... Nous nous limiterons à ce qui précède, qui est en rapport direct avec la statique des voûtes.

---

132 Rondelet, *op. cit.* n. 66, t. 4-1, p. 256 : "On lit dans les mémoires historiques de Poleni, sur la coupole de Saint-Pierre de Rome, qu'en 1729, une des calotes de l'église de Saint-Marc de Venise menaçait de tomber à cause d'une grande lézarde qui s'était formée dans sa partie inférieure et qui se réunissait avec d'autres dans la hauteur. le péril imminent que présentait cette coupole, obligeât de l'étayer par une charpente montant de fond ; lorsqu'on voulut la réparer, on trouva que cette coupole avait été établie sur cercle de bois de larix, formé de planches en liaison les unes sur les autres qui étaient pourries et réduites en poussières, on remplaça ce cercle par une assise de pierre en ôtant successivement les parties de vois que chaque pierre devait remplacer, et on termina cette opération en posant à l'extérieur de cette assise, un fort cercle de fer."

133 *Ibid.*, t. 4-1, p. 271 : "Article IV. Des cintres des échafauds et des étayemens."

134 *Ibid.*, t. 4-1, pp. 273-274.

135 *Ibid.*, t. 4-1, p. 279.

136 *Ibid.*, t. 4-1, p. 284 : "Cintres et échafauds pour la construction du dôme du Panthéon français".

3. Les ingénieurs du début du XIX[e] siècle

Les cours donnés par Navier[137] à l'École des ponts-et-chaussées sont connus par leur publication dès 1826[138]. Ils permettent de se faire une idée des connaissances des ingénieurs en construction au début du XIX[e] siècle. Les principes de la théorie de l'élasticité sont exposés dès la préface. Rappelons que les variations de longueur des matériaux de construction sont extrêmement faibles, et qu'il n'était pas du tout naturel dès l'abord de considérer ceux-ci comme déformables. Cette idée, déjà en germe dans les travaux de Coulomb comme on l'a vu plus haut, apparaît comme établie dans le cours de Navier.

La première section de l'ouvrage de celui-ci est consacrée à la résistance de divers matériaux aux efforts de compression, traction, flexion, torsion. L'auteur donne une synthèse des résultats expérimentaux, ceux de Rondelet en particulier, auxquels il ajoute des expériences effectuées en Grande-Bretagne au début du XIX[e] siècle[139]. Il s'agit surtout de mesures de charges de rupture : "il existe peu d'expériences directes, faites dans la vue de déterminer la quantité dont un corps s'allonge sous un effort donné"[140] ; les coefficients ("forces" pour Navier) d'élasticité n'ont pas davantage été mesurés en compression. Les matériaux considérés sont diverses sortes de pierre, de mortier, de bois, et de fer. Comparé à Rondelet, Navier donne une grande importance à ce dernier, et considère aussi d'autres métaux, ainsi que des cordages aussi. Au-delà de son souci d'être aussi exhaustif que possible, ces choix témoignent de son intérêt pour la réalisation de ponts en fer et de ponts suspendus.

Une théorie de la flexion d'une barre, limitée aux flexions faibles et aux barres minces, permet de déduire le coefficient d'élasticité d'une mesure de la flèche dans des essais de flexion[141]. Navier en donne l'application à des mesures effectuée par divers savants français et britanniques. Quelques-unes de ces mesures concernent des pierres, la plupart des bois et des fers et aciers. Les charges de ruptures sont examinées ensuite, pour finir par des sollicitations en torsion.

La 2[e] section, consacrée à la résistance d'un massif[142], reprend les résultats de Coulomb vus plus haut[143], avec quelques compléments que nous passerons, ainsi que ce qui concerne les murs de soutènement. La partie de l'ouvrage qui nous intéresse plus particulièrement est la 3[e] section : "De

---

137 Claude Louis Marie Henri Navier (1785-1836), ingénieur des ponts-et-chaussées, et professeur à l'École des ponts-et-chaussées puis à l'École Polytechnique. On lui doit des ponts suspendus, une contribution essentielle à la théorie de l'élasticité, et les équations qui décrivent le mouvement d'un fluide, connues sous le nom d'équations de Navier-Stokes (Wikipedia, art. "Henri Navier").

138 Claude Navier, *Résumé des leçons données à l'école des Ponts-et-Chaussées, sur l'application de la mécanique à l'établissement des constructions et des machines* (Paris, Firmin-Didot père et fils, 1826). J'utiliserai la 2[e] édition (Paris, Carilian-Gœury 1833).

139 Il s'agit des expériences de George Rennie, publiées dans "Account of experiments made on the strength of materials", *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, vol. 108, pp. 118-136 (1818). George Banks Rennie (1791-1866) était un ingénieur anglais, dont les nombreuses réalisations comprennent des ponts, des chemins de fer, des machines industrielles et même le moteur du premier bateau à hélice http://www.gracesguide.co.uk/George_Rennie.

140 Navier, *op. cit.* n. 138, p. 13.

141 *Ibid.*, p. 43, article 3 : "De la résistance d'un corps prismatique à la flexion produite par un effort dirigé perpendiculairement à l longueur de ce corps".

142 *Ibid.*, p. 121 : "De l'équilibre et de la résistance des massifs formés de matières adhérentes. De l'établissement des murs de revêtement des terres" et suivantes.

143 *Cf.* p. 98 ci-dessus et n. 48.

l'équilibre et de l'établissement des voûtes"[144]. Navier s'intéresse essentiellement aux voûtes en berceau. Il affirme d'emblée l'importance des frottements et de la cohésion de la maçonnerie[145]. Quand il effectue le bilan des forces s'exerçant sur un joint, il tient compte de leur effet. Il envisage cependant le cas peu réaliste où frottement et cohésion sont négligés, et dans les applications, qu'il s'agisse de la plate bande[146], du cas des joints perpendiculaires à l'intrados[147], ou de celui où la voûte est chargée d'un fluide[148], il suppose de même que les frottements et la cohésion sont nuls.

La suite de l'ouvrage est moins théorique[149]. Navier rapporte les expériences de Danisy, Gauthey, Rondelet déjà mentionnées, qui montrent que la voûte a tendance à se rompre en s'ouvrant sous la clef, puis celles de Boistard[150]. Ces dernières, effectuées à plus grande échelle que les précédentes, faisaient apparaître des ouvertures à l'intrados, au tiers supérieur des arcs. Diverses variantes sont exposées, dans lesquelles l'extrados est maintenu par des cordes. Une autre expérience montre qu'une charge placée sur l'extrados peut stabiliser la voûte, si son poids n'est pas excessif.

Ce sont les seules expériences proprement dites, on a ensuite des observations sur des constructions existantes, principalement des ponts en construction ou construits[151]. On commence à voir apparaître une tendance des travaux sur la mécanique des voûtes à s'orienter davantage vers la réalisation d'ouvrages d'art que vers l'architecture. N'oublions pas cependant que nous avons affaire ici à des cours donnés à l'École des ponts-et-chaussées, ce qui suffirait à justifier cet intérêt pour les ponts. Les dômes sont abordés à l'aide d'observations effectuées à Saint-Pierre de Rome[152]. Navier constate que ceux-ci ont tendance à s'ouvrir dans les plans méridiens, à l'extrados à la base, et à l'intrados au sommet. La conclusion générale qu'il tire de ces observations est que "les voûtes se rompent plus facilement par l'écartement que par le glissement des parties"[153].

L'équilibre d'une voûte est étudié en supposant soit le glissement, soit le décollement des claveaux, et en cherchant en quel point de la voûte les forces subies dans l'un ou l'autre cas seront les plus grandes[154]. C'est l'approche et les résultats de Bérard[155]. Les tirants de fer sont aussi examinés[156]. Navier ne développe de théorie que pour les berceaux ; les voûtes en dômes, les voûtes en arc de cloître et les voûtes d'arêtes[157] sont traitées de façon qualitative. Ce peut être par manque de place, ou parce que l'objectif principal de Navier est la construction de ponts.

La suite de l'ouvrage concerne la résistance des poutres à divers supports et diverses charges,

144 Navier, *op. cit.* n. 138, pp. 173-225.
145 *Ibid.*, p. 174 : "Le frottement et l'adhérence des mortiers s'opposent à ces mouvemens, et contribuent à maintenir la voûte en équilibre."
146 *Ibid.*, p. 180, n° 297, et suivants.
147 *Ibid.*, p. 183, n° 303, et suivants.
148 Il s'agit du cas où les forces appliquées sont perpendiculaires à l'extrados. *Ibid.*, p. 185, n° 306, et suivants.
149 *Ibid.*, p. 188, article 2 : "Principales expériences et observations relatives à l'équilibre des voûtes."
150 *Ibid.*, p. 189, n° 312.
151 À Neuilly et Nogent-sur-Seine en particulier. *Ibid.*, p. 191, n° 315, et suivants.
152 *Ibid.*, p. 193, n° 317, et suivants. Navier cite sa source: Giovanni Poleni, *Memorie istoriche della gran cupola del tempio Vaticano*, Padoue, stamperia del seminario, 1748.
153 Navier, *op. cit.* n. 138, p. 195.
154 *Ibid.*, p. 196, article 3 : "De l'établissement des voûtes."
155 *Cf.* ci dessus p. 101, et n. 4.
156 Navier, *op. cit.* n. 138, p. 213 *sq*.
157 *Ibid.*, p. 216, n°344, et suivants, et p. 221, n° 349, et suivants.

puis l'étude des structures en charpente, et n'intéresse plus la mécanique des voûtes.

En 1810, Boistard[158] effectue une étude expérimentale de la statique des voûtes[159]. L'auteur critique dès l'introduction les hypothèses utilisées par la théorie existante, en particulier le fait que "tous ces auteurs supposent que les voûtes sont composées de voussoirs parfaitement polis, sans aucun frottement"[160]. Dans ses expériences, il cherche cependant à reproduire la situation prévue par cette hypothèse, puisque ses voussoirs sont polis[161] et assemblés sans mortier. La première des expériences montre une voûte en plein cintre instable ; celle-ci se brise en 5 parties quand on abaisse le cintre. D'autres expériences montrent la même voûte, à laquelle différentes charges sont appliquées. Les charges appliquées aux reins ont tendance à stabiliser la voûte (Fig. 19[162]). Quand la rupture a tout de même lieu, la voûte se divise en 4 parties. C'est une des hypothèses retenue par Couplet, la différence essentielle résidant dans la position des joints de rupture[163]. Dans la quatrième expérience en particulier, la charge consiste en "un massif de briques arasé de niveau par dessus" : celui-ci stabilise la voûte, qui ne se rompt que sous une charge importante placée à la clef[164]. Boistard étudie de façon analogue des voûtes en anse de panier, des voûtes en arc de cercle et une plate-bande. Les résultats sont analogues à ceux obtenus avec la voûte en plein cintre, avec évidemment des différences quantitatives appréciables.

La conclusion est qu'un modèle de voûte décomposée en 4 parties est valable[165]. Une 2^{e} partie du mémoire présente des "expériences sur l'adhérence des mortiers de sable et de ciment". Le protocole expérimental, ainsi que les résultats, sont détaillés avec grand soin, et l'auteur arrive à la conclusion "que l'adhérence du mortier de chaux et sable peut être estimée au moins à quinze cents livres par pied carré, et l'adhérence de celui de ciment à huit cents livres", c'est à dire 68 kPa pour

158 Louis-Charles Boistard (1763-1823) ingénieur en chef des ponts et chaussées, responsable en particulier de la construction du pont de Nemours et de travaux importants dans les ports d'Anvers et de Flessingue. (Francois-Pierre-H. Tarbe de Saint-Hardouin, *Notices biographiques sur les ingenieurs des ponts et chaussees depuis la creation du corps, en 1716, jusqu'a nos jours* (Paris, Baudry et Cie, 1884), p. 88).

159 Louis-Charles Boistard, "Expériences sur la stabilité des voûtes", dans Ch. Lesage, *Recueil de divers mémoires extraits de la bibliothèque impériale des Ponts et Chaussées, à l'usage de MM les ingénieurs. 2e partie* (Paris, Firmin-Didot, 1810), pp. 171-217, et pl. 11-17. On en trouve une réimpression dans L.-Ch. Boistard, *Recueil d'expériences ... op. cit.* n. 58, pp. 95-134, avec les mêmes planches.

160 *Ibid.*, p. 171. On lit juste au-dessus : "tous ces écrits reposent sur une hypothèse qui n'est pas confirmée par l'expérience, en sorte qu'ils doivent être relégués parmi les recherches de pure spéculation".

161 "Les voûtes [...] étaient composées de voussoirs formés chacun par l'assemblage de deux briques polies au grès sur une de leur face, et jointes par leur autre face avec un coulis de plâtre" (*ibid.*, p. 173).

162 *Ibid.*, figures 1 et 4, "gravé par E. Collin, Rue St Thomas du Louvre N°22", *Bibliothèque numérique patrimoniale des ponts et chaussées.*

163 *Cf.* ci-dessus et n. 16. Il s'agit bien sûr des joints autres que les sommiers et la clef, que Couplet plaçait de façon arbitraire à 45°.

164 Cette charge appliquée localement était de 125 livres. Pour obtenir de même la rupture à l'aide d'une charge est régulièrement répartie, celle-ci doit être beaucoup plus importante (900 livres). L'expérience est réalisée "au bout de quelque temps, le mortier étant un peu essuyé", donc sans attendre son séchage complet. *Cf.* Boistard, art. cit. n. 159, pp. 179-180.

165 Quoique la voûte non chargée se divise en 5 parties, et non en 4. Ce sont sans doute les voûtes chargées qui intéressent principalement l'ingénieur des ponts.

le mortier de chaux et 36 kPa pour le ciment[166].

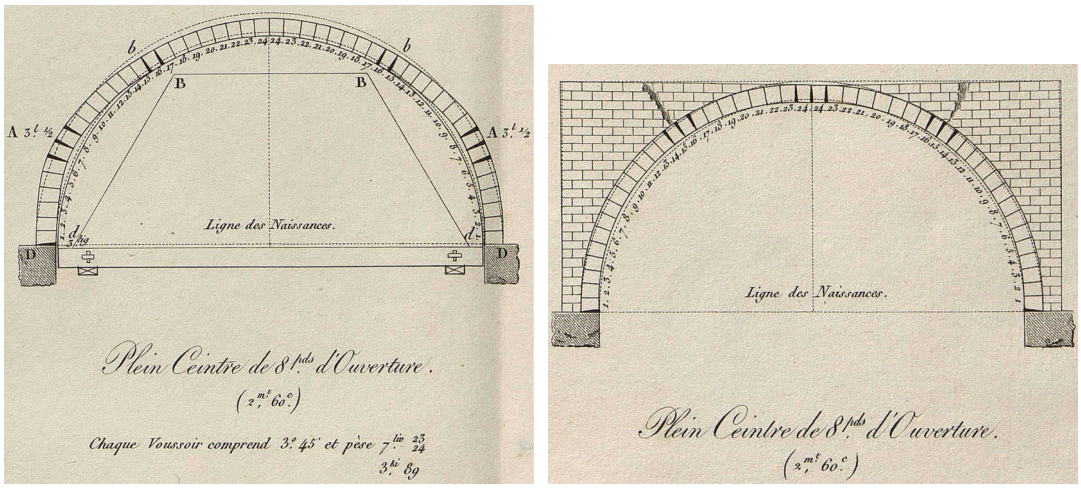


Figure 19. Expériences de Boistard, pour des arcs en plein cintre : deux figures extraites de son mémoire[162].

Un article publié par Lamé et Clapeyron[167] en 1829 est intéressant à plusieurs égards[168]. Il reprend l'équilibre d'une voûte, considérée comme 4 blocs pouvant pivoter l'un par rapport à l'autre, de Couplet : le problème est de déterminer la position du joint de rupture. Les solutions données antérieurement, par Coulomb et Bérard par exemple, ne sont pas directement applicables par un ingénieur. Il faut comprendre que la résolution d'un problème de mécanique, même relativement simple, requiert, sauf dans quelques cas exceptionnels, la résolution de problèmes mathématiques complexes, voire très difficiles. Beaucoup d'équations ne peuvent pas être résolues analytiquement, et on les résout fréquemment par approximations successives. Depuis l'introduction des calculateurs électroniques, de telles méthodes sont employées de façon extensive, mais au début du XIX^{e} siècle (et jusqu'après le milieu du XX^{e}), les calculs devaient entièrement être effectués à la main. D'un point de vue pratique, les ingénieurs préféraient recourir à des méthodes graphiques : la solution d'une équation correspondant à l'intersection de deux courbes, on construisait celles-ci à la règle et au compas, il suffisait ensuite de mesurer les coordonnées du point d'intersection. C'est une méthode pratique de ce type pour déterminer la position du joint de rupture que proposent Lamé et Clapeyron.

Par ailleurs, ces auteurs ne supposent pas que la direction de la fissure suivra nécessairement la

166 Ce mortier se composait en fait d'1/3 de chaux et 2/3 de ciment, *cf.* Boistard, art. cit. n. 159, pp. 203 et 209.

167 Gabriel Lamé (1795-1870) et Émile Clapeyron (Benoît Paul Émile Clapeyron, 1799-1864) ont commencé leur carrière ensemble comme professeurs à l'Institut du Corps des ingénieurs des voies de communication de Saint-Pétersbourg. Ils publient ensemble plusieurs travaux dont celui sur la statique des voûtes qui nous intéresse, mais aussi une contribution essentielle à la théorie de l'élasticité. Leurs carrières divergeront après leur retour en France. Clapeyron travaillera comme ingénieur dans les chemins de fer, et il semble que c'est dans l'optique dune application directe dans ce domaine qu'il a développé les contributions majeures qu'il a apporté à la thermodynamique. Gabriel Lamé a eu aussi une activité de praticien, mais a de plus enseigné à l'école Polytechnique, et obtenu divers résultats mathématiques importants, relatifs aux équations aux dérivées partielles et à l'arithmétique (Wikipedia, art. "Gabriel Lamé" et "Émile Clapeyron").

168 G. Lamé et É. Clapeyron, "Mémoire sur la stabilité des voûtes", *Journal du génie civil, des sciences et des arts à l'usage des ingénieurs...*, t. 5, pp. 68-85 (1829).

direction du joint. Cela était naturel pour eux, vue leur contribution importante à la mécanique des milieux continus. Ils fixent *a priori* cette fissure dans un plan vertical, et justifient ce choix par le fait qu'il ne peut conduire qu'à surévaluer la poussée : si on suit la règle ainsi obtenue, on peut être certain que les piédroits seront assez solides et c'est ce qui importe. En introduction de leur article, il exposent d'une façon remarquablement explicite le point de vue d'un ingénieur relativement à la théorie. Celle-ci est nécessairement simplifiée et donc inexacte, mais on peut l'utiliser pour établir un projet, à la condition que "si les données physiques sont insuffisantes, il faut alors leur en substituer d'autres qui exagèrent l'influence des causes de destruction". Ainsi, "des précautions capables de vaincre celle qu'indique le calcul, seront plus que suffisantes pour s'opposer à celle qui a lieu réellement"[169]. La théorie ainsi établie est considérée comme correcte parce qu'elle permet de construire en toute sécurité. Mais les conditions obtenues par le calcul ne sont pas des conditions nécessaires : la voûte peut être tout à fait solide sans qu'elles soient satisfaites. C'est une théorie conçue pour bâtir, et non pour expliquer pourquoi et comment ce qui a été construit sans l'utiliser tient debout.

En 1840, É. Méry[170] propose une construction géométrique qui fournit un critère de stabilité des voûtes à la fois suffisamment fiable et suffisamment simple pour pouvoir être utilisé par un architecte[171]. Méry suppose "que les voussoirs n'ont aucune adhérence entre eux", mais autorise les frottements : il exclut toute traction perpendiculaire à un joint. Il définit une courbe en considérant la résultante des efforts (dits "pressions") s'exerçant sur un joint donné. Si on appelle γ le point d'application de cette force, la courbe en question, appelée "courbe des pressions", est le lieu des points γ, en parcourant tous les joints[172] (Fig. 20[173]).

L'hypothèse d'absence de traction se traduit par le fait que ce point d'application γ doit toujours se situer toujours entre l'extrados et l'intrados[174]. En utilisant le fait que la poussée est uniforme et les conditions d'équilibre d'une section judicieusement choisie de la voûte, Méry trouve

---

169 Voici le texte : "L'emploi du calcul dans la discussion d'un projet n'est pas sans difficultés ; si l'on néglige quelques circonstances, on peut se tromper, plus encore qu'en se fondant sur des données purement pratiques, et si l'on veut tout compter, la complication de la question la rend souvent impossible à résoudre ; [...] Mais cette imperfection de la théorie n'est pas une raison de la rejeter. [...] si les données physiques sont insuffisantes, il faut alors leur en substituer d'autres qui exagèrent l'influence des causes de destruction.
Par exemple, dans la question qui va nous occuper, nous supposerons que les voussoirs des voûtes sont simplement juxtaposés, et non unis par des mortiers ; qu'un des joints des voussoirs est précisément celui auquel correspond la poussée la plus forte, et enfin que la poussée se fait au-delà de ce joint par un plan vertical ; ces trois hypothèses donnent pour la poussée un résultat trop fort ; on est donc sûr que des précautions capables de vaincre celle qu'indique le calcul, seront plus que suffisantes pour s'opposer à celle qui a lieu réellement" (Lamé et Clapeyron, art. cit. n. 169).

170 Édouard Henri François Méry de Bellegarde (1805-1866), fut ingénieur des ponts et chaussées de 1826 à 1865 (F.-P.-H Tarbe de Saint-Hardouin, *Notices biographiques sur les ingenieurs des ponts et chaussees depuis la creation du corps, en 1716, jusqu'a nos jours*, Paris, Baudry et Cie, 1884).

171 Édouard Méry, "Sur l'équilibre des voûtes en berceau", *Annales des ponts et chaussées. Mémoires et documents...*, 1840, n° CCCXCVII, pp. 50-70.

172 Il suppose les voussoirs infiniment minces.

173 É. Méry, art. cit. n. 171, pl. CLXXXIII, Fig. 4.

174 Si la force peut être localisée en un point. En supposant une répartition linéaire des forces, le point d'application γ doit se trouver entre deux courbes placées au tiers inférieur et supérieur de l'épaisseur de l'arc (*ibid.*).

une construction géométrique simple de cette courbe. On peut cependant, par ce procédé, construire toute une famille de courbes, dont il est impossible de savoir laquelle donne la solution de l'équilibre, sauf dans le cas limité appelé "équilibre mathématique" par l'auteur.

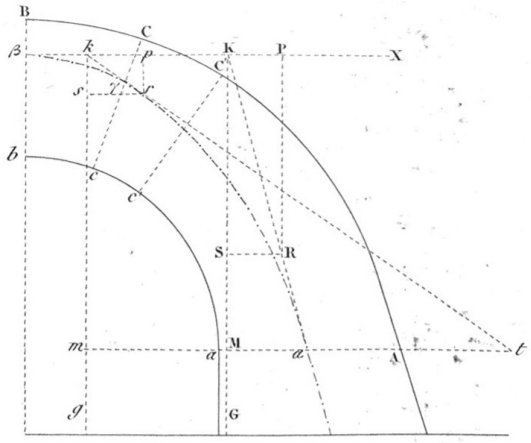


Figure 20. L'épure de Méry : la figure à partir de laquelle celui-ci établit la construction de la courbe des pressions[173].

À la fin de l'article, il établit l'équation de la courbe des pressions, puis montre que la force résultante n'est pas tangente à cette courbe, sauf dans le cas particulier où elle coïncide avec le lieu des centres de gravité des voussoirs. Malheureusement, certaines personnes de moindre compétence que Méry peuvent avoir tendance à oublier ce point, et à s'imaginer que la courbe des pressions, donne la direction de la force, quelquefois jusqu'à l'interpréter comme une sorte de trajectoire de la force.

On voit que Méry n'admet aucune traction sur le joint, alors qu'il sait que la résistance de la maçonnerie à la traction n'est pas nulle. Il suit en cela le précepte qu'on a vu ci-dessus exposé par Lamé et Clapeyron. De la même façon, parmi les assez nombreux exemples de tracés qu'il présente, quand les arcs sont surmontés d'une maçonnerie, celle-ci intervient par son poids seul, sa cohésion est négligée. L'ingénieur exige que l'arc qu'il construit puisse résister sans faire appel à celle-ci, ce qui est une mesure de prudence fort judicieuse, mais non une nécessité dictée par les lois de la statique.

Contrairement à Boistard, Méry présente des exemples d'arcs brisés. Il trouve en particulier que, dans un arc brisé dont le rayon est égal à l'ouverture, "la clef tend à se soulever, et les parties inférieures à se renverser en dedans ; le contraire a lieu dans la voûte en plein cintre". La même voûte, chargée d'une maçonnerie arasée au niveau de la clef, requiert une épaisseur plus grande, alors que si la charge a la forme d'un gâble, l'épaisseur doit être moindre, au contraire de ce qu'on observe dans la voûte en plein cintre[175].

175 É. Méry, art. cit. n. 171, pl. CLXXXIV, Figs. 11-12, 14-17, et plus spécialement Figs. 17, 12, et 15, et pp. 61-62.

4. Viollet-le-Duc

Une part importante du *Dictionnaire* de Viollet-le-Duc[176] est consacré aux voûtes et à la construction : les articles portant ces titres font respectivement 85 et 278 pages. Quel est donc leur contenu du point de vue de la mécanique ?

4.A. Modernisme et classicisme

Viollet-le-Duc n'est pas passéiste, l'architecture médiévale l'intéresse d'abord pour les leçons qu'elle peut donner à l'architecte contemporain. Il l'affirme explicitement : "la construction gothique [...] est l'initiation la plus sûre à cet art moderne qui n'existe pas et cherche sa voie"[177]. C'est tout un programme. Il s'oppose à la tradition néo-classique, parce qu'il pense que l'architecture contemporaine a davantage d'enseignements à tirer de l'art gothique que des antiques : "il y a plus à prendre, disons-nous, que dans la structure primitive et si simple du temple de Minerve d'Athènes"[178]. Ces enseignements sont d'abord techniques, et non esthétiques : "De ce que la foule ne voit dans l'architecture gothique que sa parure, et que cette parure n'est plus de notre temps, est-ce une preuve que la construction de ces édifices ne puisse trouver son application ?"[179]. S'agit-il d'une concession au goût dominant, qui oblige Viollet-le-Duc à se reporter sur un terrain où, la subjectivité ayant moins de part, il est davantage possible d'argumenter ? Ou au contraire est-il dès l'origine convaincu de ce primat de la technique ? Quoi qu'il en soit, un des intérêts essentiels qu'il voit à ces techniques issues de l'architecture médiévale est qu'elles peuvent se transposer dans des matériaux modernes, c'est-à-dire en premier lieu la fonte.

Il affirme que "si les constructeurs gothiques eussent eu à leur disposition la fonte de fer en grandes pièces, ils se seraient emparés avec empressement de ce moyen sûr d'obtenir des points d'appui aussi grêles que possible et rigides"[180], ce qui est d'ailleurs tout à fait vraisemblable. Mais l'expression de Viollet-le-Duc traduit clairement ses propres objectifs. Pour expliquer la structure de la nef de Notre-Dame de Dijon, il propose un modèle de cette structure, dans lequel les colonnettes en délit sont remplacées par de la fonte et l'arc-boutant par des pièces de charpente[181], qui montre bien qu'il la conçoit en vue de son application potentielle à l'architecture contemporaine, plus que pour la comprendre en elle-même. Le matériau moderne permettrait d'aller encore plus loin dans ce qui a été, ou plutôt dans ce que Viollet-le-Duc croit avoir été l'objectif des constructeurs du XIII^{e} siècle. En effet quand il expose son scénario de la ruine du chœur de la cathédrale de Beauvais, il affirme que l'emploi de fonte de fer aurait résolu le problème[182]. "On ne

176 Eugène Viollet-le-Duc, *Dictionnaire raisonné de l'architecture française du XI^{e} au XV^{ie} siècle* (Paris, B. Bance, puis A. Morel, 1854-1868). Mes remarques sont issues d'une étude détaillée des articles "arc-boutant", "chaînage", "construction", "coupole", "ogive", "travée", "triforium", et "voûte".

177 *Ibid.*, art. "construction", t. 4, p. 58.

178 *Ibid.*, t. 4, p. 146.

179 *Ibid.*, t. 4, p. 58.

180 *Ibid.*, t. 4, p. 57. Voir aussi *ibid.,* p. 146 : "Il est certain que si les constructeurs gothiques eussent eu à leur disposition de grandes pièces en fonte de fer, ils n'auraient pas manqué d'employer cette matière dans les bâtiments".

181 *Ibid.*, t. 4, p. 144.

182 "Il est certain cependant que cet énorme édifice aurait conservé une parfaite stabilité, si l'architecte eût

pouvait, en effet, aller au delà sans substituer le métal à la pierre"[183].

Viollet-le-Duc s'oppose à des préjugés néoclassiques qui vantent un modèle prétendument antique, mais très revu par les modernes, qu'il critique violemment. Il s'agit d'"amateurs éclairés", en fait sans compétence[184], mais aussi des architectes eux-mêmes. L'auteur dresse une liste de maladresses que l'on peut observer sur des palais contemporains ou modernes, dont les architectes ont fait passer l'ordonnance de la façade avant la commodité et la logique de l'aménagement intérieur[185]. Ce genre de sottises n'avaient pas lieu au Moyen Âge, bien sûr. Du point de vue technique, l'architecture médiévale est bien supérieure. Les berceaux à pénétration utilisés au XVII^{e} siècle sont "un pas en arrière, non un progrès. [...] ils sont très-lourds, [...] leur effet n'est pas heureux, et les pénétrations [...] produisent des courbes très-désagréables, que les Romains, avec juste raison, évitaient autant que faire se pouvait"[186].

Est-ce une concession faite au néoclassicisme, ou sa conviction personnelle, en tout cas il ne conteste pas l'excellence de l'art antique : "Personne n'admire plus que nous l'antiquité, personne plus que nous n'est disposé à reconnaître la supériorité des belles époques de l'art des Grecs et des Romains sur les arts modernes"[187]. Le haut Moyen Âge, et jusqu'au XI^{e} siècle, reste pour lui une période obscure. La période mérovingienne ne connaît que des constructions en bois[188]. Au sujet de l'architecture "carlovingienne", il écrit : "Ces essais, ces tâtonnements ne constituaient pas un art"[189]. "Il ne fallut pas moins de trois siècles pour instruire ces barbares"[190]. Les connaissances qu'avaient les anciens se sont perdues, "les effets des poussées des voûtes si parfaitement connus des Romains étaient à peu près ignorés des constructeurs romans"[191].

---

posé les colonnettes jumelles au-dessus du triforium plus fortes et plus résistantes, s'il eût pu les faire en fonte, par exemple" (*ibid.*, t. 4, p. 180). L'existence des deux colonnettes en délit jumelles en question a été contestée par R. Mark, *cf. infra* et n. 383.

183 Viollet-le-Duc, *op. cit.* n. 176, art. "construction", t. 4, p. 206. Sur l'ensemble des questions soulevées dans ce paragraphe, voir Jean-Baptiste Ache, "Viollet-le-Duc, théoricien du fer", dans *Actes du colloque... op. cit.* n. 5, pp. 49-62.

184 "Écoutons-les, si nous n'avons rien de mieux à faire, discourir sur notre art sans savoir comment se trace un panneau, se taille et se pose une pierre: il n'est point permis de professer la médecine et même la pharmacie sans être médecin ou apothicaire ; mais l'architecture ! c'est une autre affaire" (Viollet-le-Duc, *op. cit.* n. 176, art. "construction", t. 4, pp. 9-10).

185 *Ibid.*, t. 4, p. 213.

186 *Ibid.*, art. "voûte", t. 9, p. 544. Un peu plus haut, Viollet-le-Duc cite un passage de l'Architecture de Philibert de l'Orme, où celui-ci parle de voûtes d'ogives, qu'il qualifie de voûtes "à la mode française", et qu'il oppose à la "vraye architecture", tout en en soulignant les qualités techniques. Une telle autorité soutient bien le point de vue de Viollet-le-Duc qui prétend défendre l'art médiéval contre les *a priori* néo-classiques (*ibid.*, p. 543. La référence donnée là est : "*L'Architecture* de Philibert de l'Orme. Paris, 1576, livre IV, chap. viii").

187 Viollet-le-Duc, *op. cit.* n. 176, art. "construction", t. 4, p. 8. On peut citer aussi : "Nous admettons volontiers que l'architecture des Romains soit supérieure à l'architecture gothique" (*ibid.*, p. 163).

188 *Ibid.*, t. 4, p. 208.

189 *Ibid.*, t. 4, p. 5.

190 *Ibid.*, t. 4, p. 6. Le terme d'"artistes barbares" apparaît à nouveau plus loin (*ibid.*, p. 350, par exemple).

191 *Ibid.*, t. 4, p. 14. *Cf.* aussi : "Il va sans dire que pendant les premiers siècles du moyen âge, les dernières traces de ces traditions de la bonne époque romaine étaient effacées. On cherchait à reproduire sur de petites dimensions les formes apparentes des voûtes romaines, mais on n'en connaissait plus la véritable structure" (*ibid.*, art. "voûte", t. 9, pp. 478-479).

Mais il y a des limites à cette supériorité. D'abord elle est restreinte au domaine esthétique : "nous ne disputerons pas sur une affaire de goût"[192], d'autre part les conditions techniques, sociales et économiques ont changé. "Nous sommes nés au XIX^{e} siècle, et nous ne pouvons faire qu'entre l'antiquité et nous il n'y ait un travail considérable : des idées, des besoins, des moyens étrangers à ceux de l'antiquité"[187].

Viollet-le-Duc ne conteste donc pas l'esthétique néo-classique, peut-être parce qu'il n'espère convaincre personne, mais il veut montrer que, d'un point de vue technique, d'autres solutions peuvent être avantageuses. "L'architecture gothique peut déplaire dans sa forme ; mais, si l'on prétend qu'elle n'est que le produit du hasard et de l'ignorance, nous demanderons la permission de prouver le contraire, et, l'ayant prouvé, de l'étudier et de nous en servir si bon nous semble"[193]. D'ailleurs, les technologies de constructions les plus modernes ne s'opposent pas au modèle antique. "Dans nos grands travaux des voies ferrées, nous nous rapprochons aussi des Romains, et c'est ce que nous avons de mieux à faire"[192].

Cette attitude aurait d'importantes conséquences du point de vue économique, car les conditions ne sont plus les mêmes que dans l'Antiquité, de ce point de vue. Adopter les procédés médiévaux permettrait de diminuer les coûts de construction[194]. En effet, les constructeurs médiévaux savaient utiliser les matériaux à leur disposition[195]. Ils cherchaient à économiser la pierre, parce que la main d'œuvre était bon marché et la pierre chère[196]. Ils étaient fidèles en cela aux antiques, car "dans la construction de leurs voûtes, les Romains ont économisé, autant que faire se pouvait, la matière et le temps, par conséquent n'ont jamais fait de dépenses inutiles"[197]. La conception[198], aussi bien que le détail de la réalisation des voûtes romaines sont (toujours selon Viollet-le-Duc bien sûr) basés sur ce principe d'économie.

Par exemple, dans les voûtes en berceau des arènes d'Arles et de Nîmes, et du pont du Gard, "les claveaux de ces berceaux, lorsqu'ils sont appareillés en pierre, au lieu d'être reliés, sont juxtaposés," dans le but d'économiser les coûteux cintres de charpente[199]. Il est vraisemblable que Viollet-le-Duc avait tendance à projeter dans le passé des contraintes économiques de son temps.

En ce qui concerne le Moyen Âge, c'est pour des raisons économiques que les ateliers et écoles se développent au sein des monastères, parce que ceux-ci sont la source de la dite prospérité économique[200]. Les architectes médiévaux sont "économes de matériaux qui coûtaient alors, comparativement, plus cher qu'aujourd'hui"[201]. C'est cela qui motive les les évidements intérieurs des murs de l'église Notre-Dame de Dijon[202]. C'est aussi l'économie qui veut que l'on place les

192 Viollet-le-Duc, *op. cit.* n. 176, art. "construction", t. 4, p. 163.
193 *Ibid.*, t. 4, p. 111.
194 *Ibid.*, t. 4, pp. 52-53.
195 *Ibid.*, t. 4, p. 128.
196 *Ibid.*, t. 4, p. 129.
197 *Ibid.*, art. "voûte", t. 9, p. 477.
198 Par exemple : "les Romains évitaient autant que possible les pénétrations de berceaux de voûtes, comme présentant des difficultés et des pertes de temps pour le constructeur" (*ibid.*, t. 9, p. 487).
199 *Ibid.*, t. 9, pp. 488. On a du mal à concevoir un réel souci d'économie dans le gigantisme de ces ouvrages et l'utilisation de blocs énormes.
200 *Ibid.*, art. "construction", t. 4, pp.10-11.
201 *Ibid.*, t. 4, p. 209.
202 "On reconnaît d'ailleurs qu'il [l'architecte] a dû être limité dans ses dépenses, éviter les frais inutiles. Il ne prodigue pas les matériaux, il n'a pas voulu poser une pierre de trop" (*ibid.*, t. 4, p. 133). On voit

clefs des formerets au même niveau que celles des grandes voûtes[203].

C'est peut-être dans ces avantages économiques à développer dans une nouvelle architecture qu'il faut voir la motivation principale de son approche technique de l'art médiéval. C'est en tout état de cause celle qu'il fait valoir. C'est peut-être aussi là qu'il faut voir la cause de sa prédilection pour le grand art gothique. Pour Viollet-le-Duc en effet, la technique romane n'est qu'une technique romaine mal comprise, alors que celle des constructeurs gothiques, quoiqu'aboutissant à des résultats différents, suit la même logique que les antiques.

L'idée d'un cintrage permanent par exemple, est romaine. On la trouve dans des structures de voûtes en plein cintre, comprenant une assise de briques posées à plat sur les cintres, et des nervures de briques, entre lesquelles est posé un remplissage de moellons. Viollet-le-Duc décrit un dispositif analogue pour des voûtes d'arêtes, et y voit l'origine des caissons des voûtes et coupoles[204]. Le dôme du Panthéon est bâti sur une structure complexe en briques, que notre auteur reconstitue à partir d'observations rapportées par Piranesi[205]. Les doubleaux des "Bains de Diane" à Nîmes servaient de cintrage permanent, dans le but d'économiser les cintres[206]. Les arcs à plusieurs rouleaux extradossés étaient eux aussi bien-connus des Romains[207]. En ce qui concerne l'architecture civile, les dispositions générales des bâtiments médiévaux étaient conformes à celles des *villae* antiques[208]. Sans se prononcer sur la justesse de ces observations, on peut constater qu'elles montrent encore la volonté de Viollet-le-Duc de justifier l'architecture du Moyen Âge aux yeux des admirateurs de l'Antiquité comme plus conforme à celle-ci que le néo-classicisme lui-même.

Viollet-le-Duc peut donc "faire saisir certaines analogies entre ce système et celui adopté en France vers le milieu du XII^{e} siècle"[209]. Cependant ces analogies viennent peut-être en grande partie de son analyse.

Les sources antiques de l'architecture que prône Viollet-le-Duc seraient en fait (selon lui) plus grecques que romaines. Il oppose les Romains construisant des voûtes en béton, aux Grecs n'utilisant que des "plates-bandes" de pierre[210]. Le défaut majeur de l'architecture contemporaine

---

cependant mal comment ce souci d'économie se concilie avec l'emploi de colonnettes en délit de grandes dimensions. En effet, l'extraction et le transport de pièces de grandes dimensions sont souvent plus coûteux que ceux d'un volume de moellons plus considérable.

203 Il s'agit de "tenir les clefs de ces grandes voûtes,--clefs d'arcs ogives, clefs d'arcs-doubleaux et de formerets,--sur le même niveau. [...] Il est clair que plus les voûtes sont bombées, plus il est nécessaire d'élever les murs latéraux au-dessus des formerets pour porter les entraits de la charpente, lesquels doivent passer francs au-dessus de l'extrados de ces voûtes. Il résulte de cette disposition un emploi inutile de matériaux, une ordonnance lourde qu'il faut occuper par une claire-voie, si l'on prétend l'alléger ; mais alors aussi une dépense considérable pour un objet secondaire" (Viollet-le-Duc, *op. cit.* n. 176, art. "voûte", t. 9, p. 517).

204 *Ibid.*, art. "voûte", t. 9, pp. 465-466, 467-468, et 469-470.

205 *Ibid.*, t. 9, pp. 470-477, et Fig. 6, p. 478.

206 *Ibid.*, t. 9, p. 477 et Fig. 7, p. 479 : "L'économie des cintres préoccupait si fort les constructeurs romains, que [...] ils ont posé des arcs-doubleaux sur cintres, et ces arcs-doubleaux ont eux-mêmes servi de cintres."

207 *Ibid.*, art. "construction", t. 4, p. 23.

208 *Ibid.*, t. 4, p. 217.

209 *Ibid.*, art. "voûte", t. 9, p. 478.

210 *Ibid.*, art. "construction", t. 4, p. 2. Le terme "plates-bande" est pris ici dans le sens de linteau et non de voûte plate.

est que le décor, d'origine grecque, n'est pas en accord avec la structure, d'origine romaine. Cet accord ne se trouve pas non plus dans l'architecture romaine "de l'empire" (c'est-à-dire, de ce que Viollet-le-Duc a pu voir en France ou en Italie), mais apparaît dans celle de Syrie centrale. C'est là que les croisés auront appris à faire une architecture rationnelle[211]. Ainsi, la critique peut à nouveau tourner à la faveur des modèles antiques, tout en prenant une coloration orientale, qui semble chercher à concilier classicisme et romantisme[212]. C'est la basilique de Shaqqa en Syrie, qu'il date des II-III^{e} de notre ère, qui aurait servi de modèle aux architectes occidentaux à l'occasion des croisades[213]. Les principes fondamentaux de Viollet-le-Duc, en particulier le fait que seule la structure est mécaniquement efficace, alors que la masse "inerte" ne l'est pas, et l'idée que la structure doit être visible, qui a été abondamment reprise dans l'architecture postérieure à notre auteur, sont dus aux Grecs : "Si une voûte ne peut se soutenir que par un réseau de nerfs, ce réseau n'est pas destiné par l'art à être caché, il doit être apparent, d'autant plus apparent, qu'il est plus utile. Les Grecs ont admis cette loi, sans souffrir d'exceptions"[214]. Mais l'application des mêmes principes aboutit à des résultats différents, parce que les conditions sont différentes.

Dans l'art médiéval, c'est essentiellement celui des grandes cathédrales gothiques dont Viollet-le-Duc fait la promotion. Si l'on considère que les prouesses techniques et la monumentalité pourtant évidentes de cet art étaient déjà fortement contestées par l'idéologie néo-classique, on doit reconnaître qu'il aurait difficilement pu se permettre de ne pas faire ce choix. Quelles que soient la part de sa conviction profonde et celle de ses opinions politiques, sa préférence est en tout cas très marquée : "Ce qui prouve combien le système de voûtes admis dans la reconstruction de l'église abbatiale de Saint-Denis est radical, est nouveau, ce sont les monuments contemporains de celui-ci ou même un peu postérieurs, dans lesquels on aperçoit encore des hésitations, des restes de traditions romanes dont les architectes n'osent ou ne peuvent s'affranchir"[215]. L'art roman sert de repoussoir à l'art gothique. On conçoit que cet *a priori* tendra à renforcer tout ce qui pourra les opposer, et à négliger ce qui rapproche. Par exemple, Viollet-le-Duc condamne l'usage simultané de l'arc brisé et du plein cintre[216].

---

211 Viollet-le-Duc, *op. cit.* n. 176, art. "voûte", t. 9, p. 480.

212 Il y a aussi un aspect romantique dans son opposition au néo-classicisme, qui apparaît clairement quand il parle de l'accord du bâti avec l'environnement naturel, au sujet du Haut-Koenigsbourg : "L'aspect sauvage de ces constructions est en parfaite harmonie avec l'âpreté du lieu" (*ibid.*, art. "construction", t. 4, p. 239). La suite du texte, dans le même style, explique que l'on aimait beaucoup mieux la nature au Moyen Âge qu'au XI^{e} siècle. Sur les rapports entre Viollet-le-Duc et le romantisme, *cf.* Jerzy Frycz, "Viollet-le-Duc, Créateur romantique ou positiviste ?", dans *Actes du colloque... op. cit.* n. 5, pp. 21-28.

213 Il s'agit d'une structure à trois nef, couverte de dalles de pierre posées en linteaux sur des arcs "doubleaux", que notre auteur compare à celle d'une église romane à trois nefs, voûtée en berceau avec tribunes (Viollet-le-Duc, *op. cit.* n. 176, art. "voûte", t. 9, pp. 480-483. L'auteur utilise et cite l'ouvrage de Melchior de Vogüé, *Syrie centrale : architecture civile et religieuse du Ier au VIIe siècle* (Paris, Noblet et Baudry, 1865), pp. 55-56 et pl. 15-16. L'édifice était déjà ruiné à l'époque, et semble s'être considérablement dégradé depuis. Viollet-le-Duc, à la suite de Melchior de Vogüé, écrit "Chagga"). "Les Grecs, [car c'est à eux que Viollet-le-Duc attribue la basilique de Shaqqa] tant vantés comme artistes, avec raison, et si peu compris, s'il s'agit d'appliquer leurs principes, ont-ils fait autre chose, dans leur architecture, que de considérer la structure comme la raison déterminante de toute forme ?" (Viollet-le-Duc, *op. cit.* n. 176, art. "voûte", t. 9, p. 499).

214 *Ibid.*, t. 9, p. 500.

215 *Ibid.*, t. 9, p. 506.

216 *Cf.* la comparaison entre les collatéraux de la nef de la cathédrale de Sens et les constructions de Suger

Cette attitude était sans doute plus efficace vis-à-vis de ses contradicteurs, d'autant plus qu'elle permettait de faire apparaître l'évolution qui aboutit à l'art des grandes cathédrales du XIII[e] siècle sans rejeter complètement l'image d'un Moyen Âge noir et inculte, et même en s'appuyant sur celle-ci. Pour commencer, "les constructeurs n'avaient plus la recette de ces mortiers romains, agent principal de leurs grandes constructions"[217]. L'aspect des murs "ne laissait pas d'être froid, et les peintures dont on les décorait, vues obliquement, poudrées par le temps, perdaient bientôt leur éclat"[218].

Et, surtout, les voûtes romanes sont mal conçues et ne peuvent que s'effondrer. "Si quelques édifices ainsi voûtés résistèrent à la poussée des berceaux, un grand nombre s'écroulèrent quelque temps après leur construction"[219]. Un dessin du *Dictionnaire* (Fig. 21[220]) montre les désordres dus au déversement des murs et à l'affaissement des voûtes dans une église romane à trois nefs. Viollet-le-Duc présente ces déformations comme inévitables, inhérentes au fait que la voûte du XI[e] siècle est mal conçue, et présentes dans tous les édifices construits à cette époque un siècle et demi après.

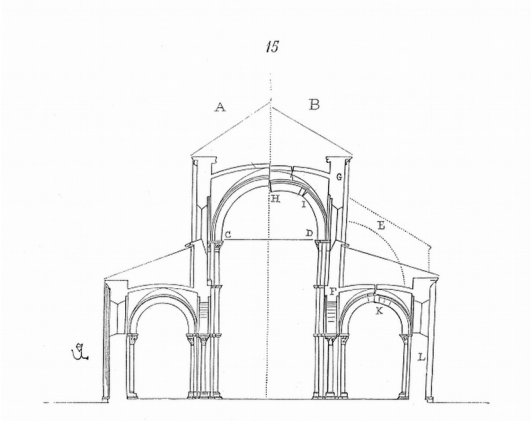


Figure 21. Coupe d'une église romane à trois nefs et les désordres de maçonnerie qui y apparaissent, selon Viollet-le-Duc[220].

Ces défauts de structure sont évidemment dus à l'incompétence des constructeurs : "Il est une grande quantité de constructions romanes qui indiquent, de la part des architectes, un défaut complet de prévoyance. Tel monument est commencé avec l'idée vague de le terminer d'une certaine façon, qui reste à moitié chemin, le constructeur ne sachant comment résoudre les problèmes qu'il s'est posés ; tel autre ne peut être terminé que par l'emploi de moyens évidemment étrangers à sa conception première"[221]. Outre le fait qu'il souligne l'incurie des architectes romans,

---

à Saint-Denis, dévavorable aux premiers (*ibid.*, t. 9, pp. 506-508). Dans le même esprit : "Mais lorsque, pendant le XIIe siècle, les constructeurs eurent introduit le système de voûtes en arcs d'ogive, ils voulurent naturellement l'appliquer partout, et ne pensèrent pas, avec raison, qu'il fût possible de conserver dans le même édifice le mode des voûtes d'arêtes romaines à côté du nouveau système" (Viollet-le-Duc, *op. cit.* n. 176, art. "construction", t. 4, pp. 67-68).

217 *Ibid.*, art. "construction", t. 4, p. 55. *Cf.* aussi "ces grands murs [...] n'étaient pas construits avec les excellents matériaux et mortiers qu'employaient les Romains", *ibid*., art. "travée", t. 9, p. 241.

218 *Ibid.*, art. "travée", t. 9, p. 241.

219 *Ibid.*, art. "construction", t. 4, p. 15.

220 *Ibid.*, t. 4, Fig. 15, p. 26.

221 *Ibid.*, t. 4, p. 41.

ce passage exprime un *a priori* essentiel de Viollet-le-Duc, c'est celui du "problème posé". Le voûtement de l'église est un problème à résoudre, les différentes constructions des solutions données à ce problème. Quand la construction s'arrête ou qu'un changement de parti intervient, au lieu d'expliquer cela par une changement dans la mode, les besoins, les exigences ou les moyens du commanditaire, c'est parce que le constructeur ne sait pas, ou ne peut pas "résoudre les problèmes qu'il s'est posé". Cette idée s'accorde parfaitement avec une approche "évolutionniste", et implique que l'on voie de façon assez négative la période initiale[222].

Mais "à cette époque ["la fin du XII^e^ siècle"] où l'on ne possédait guère que des monuments romans petits et assez mal construits, où les sciences exactes étaient à peine entrevues"[223], les constructeurs n'étaient pas responsables de leur ignorance, au contraire, elle ne fait qu'augmenter le mérite de ceux qui en sont sortis[224]. La valeur morale, civique et religieuse, de la société médiévale paraît décriée à tel point que Viollet-le-Duc ne peut en aucune façon s'appuyer sur celle-ci pour faire valoir son architecture[225]. Ce fait peut contribuer à justifier qu'il ne cherche d'arguments en faveur de l'art médiéval que dans son aspect technique.

L'évolution de l'art des grandes cathédrales, si elle se doit d'opposer celui-ci à ses prédécesseurs ignorants, se doit de même de l'opposer à ses successeurs décadents. On trouve donc tout naturellement des critiques du gothique tardif et de la Renaissance. L'art flamboyant, opposé à l'art antique par les artistes de la Renaissance eux-mêmes, ne peut être considéré que comme un aspect de l'art gothique, mais son aspect décadent[226].

---

222 C'est ainsi que les différences entre les collatéraux de la nef de la cathédrale de Sens et les constructions de Suger à Saint-Denis sont considérées comme des "hésitations, des restes de traditions romanes dont les architectes n'osent ou ne peuvent s'affranchir" (Viollet-le-Duc, *op. cit.* n. 176, art. "travée", t. 9, p. 506).

223 *Ibid.*, art. "construction", t. 4, p. 40. Ailleurs, constatant que l'arête d'une voûte d'arêtes en berceau est un arc d'ellipse, Viollet-le-Duc écrit : "Bien que fort simple, ce tracé géométrique parut trop compliqué aux constructeurs romans" (*ibid.*, art. "construction", t. 4, p. 17).

224 "Les premiers constructeurs gothiques, rebutés, non sans raison, par les tentatives des constructeurs romans, qui, la plupart, aboutissaient à des déceptions, ne s'effrayèrent pas des suites de leurs nouvelles méthodes, mais, au contraire, cherchèrent à profiter, avec une rare sagacité, de toutes les ressources qu'elles allaient leur offrir" (*ibid.*, art. "construction", t. 4, p. 35). Remarquons en passant que Viollet-le-Duc oppose ici les premiers constructeurs gothiques aux constructeurs romans, comme s'il s'agissait de deux catégories de personnes distinctes. Plus haut : "La somme de génie qu'il fallait alors [au XI^e^ siècle] à un constructeur pour élever une salle, une église, était certainement supérieure à ce que nous demandons à un architecte de notre temps, qui peut faire bâtir sans connaître les premiers éléments de son art, ainsi qu'il arrive trop souvent" (*ibid.*, pp. 6-7). Notre auteur en profite pour donner un coup de griffe à ses contemporains au passage.

225 Viollet-le-Duc explique assez longuement qu'on ne doit pas condamner les arts (et techniques) du Moyen Âge parce que les mœurs de cet époque étaient condamnables, les seigneurs tyranniques, le clergé corrompu, *etc.* (*ibid.*, art. "arc-boutant", t. 1, p. 79-80). Par ailleurs, je n'évalue l'opinion de ses contemporains de Viollet-le-Duc qu'à travers l'image que celui-ci en donne, ce qui est très probablement injuste. Mais n'est-ce pas sa perception subjective qui compte ici, davantage que la réalité objective ?

226 Viollet-le-Duc donne l'exemple des arcs-boutants de la nef de l'église Saint-Wulfrand d'Abbeville, du début du XVI^e^, où apparaissent courbes et contre-courbes, qui "ont produit et subi de graves désordres par suite de leur disposition vicieuse" (*ibid.*, art. "arc-boutant", t. 1, p. 79-80). Il écrit, à propos de voûtes du milieu du XVI^e^ siècle, à Saint-Florentin dans l'Yonne, ornées d'un motif de nervures en

La Renaissance est l'avènement de la mode antiquisante, et avec elle du dogmatisme, qui imprègne d'abord l'art gothique décadent. "Il était évident que tout ce qui pouvait tendre à discuter ce formulaire présenté en manière de dogme devait être repoussé par ce corps aristocratique des nouveaux maîtres, dont l'Académie des beaux-arts conserve aujourd'hui encore les doctrines avec plus de rigueur que jamais. C'est pourquoi, de temps à autre, nous voyons, du sein de ce corps et de ses adeptes les plus fervents, s'échapper une protestation contre l'étude de notre art français du moyen âge et les applications étendues qu'on en peut faire. C'est pourquoi aussi nous ne cessons pas et nous ne cesserons pas de tenter de développer cette étude, de faire entrevoir ses applications, bien convaincu de cette vérité affirmée par l'histoire : que les corps ne sont jamais plus exclusifs qu'aux jours où ils sentent leur pouvoir ébranlé"[227]. Ces quelques lignes expriment clairement la polémique qui oppose Viollet-le-Duc à ses confrères.

Mais "il convient même de rendre cette justice aux architectes de la renaissance française qu'ils surent employer avec une grande liberté les méthodes gothiques touchant la construction des voûtes, et qu'en s'affranchissant de la routine dans laquelle se tenaient les maîtres du XV^e^ siècle, ils appliquèrent aux formes nouvelles les ressources de l'art de la construction du moyen âge"[228]. Avec l'affirmation de la décadence de l'art au XV^e^ siècle, on voit notre auteur valoriser ici les artistes de la Renaissance, parce qu'il ont su utiliser la technique gothique dans leur propre art. C'est exactement ce qu'il prône à ses confrères[229].

Viollet-le-Duc apprécie aussi les voûtes en berceau à caisson de la Renaissance, qui conservent une structure de nervures et un remplissage, "mais les artistes de la renaissance oublièrent assez promptement ces traditions excellentes, et s'ils conservèrent encore longtemps ces formes dérivées d'un principe raisonné de construction, ils appareillèrent ces sortes de voûtes comme des berceaux ordinaires, ne considérant plus les arêtes comme des nerfs indépendants"[228].

4.B. Une doctrine constituée

Au-delà du mépris pour l'art roman et préroman qu'il affiche de façon à mettre en valeur l'évolution de la technique, comme on l'a vu, Viollet-le-Duc a tendance a négliger, voire à dénigrer, tout ce qui s'intègre mal dans le schéma qu'il veut promouvoir. Son système gothique apparaît comme un tout organisé dès l'abord, dont il ne reste qu'à trouver comment l'appliquer, opposé à un

---

étoile, et détruites par une restauration une vingtaine d'années auparavant : "On voit donc que déjà se manifestait cette tendance, si développée aujourd'hui en architecture, de sacrifier le vrai, le sage, le raisonné, à une forme issue du caprice de l'artiste" (*Viollet-le-Duc, op. cit. n. 176*, art. "voûte", t. 9, p. 545). "Si nous ajoutons à ces difficultés gratuitement accumulées le manque des connaissances du tracé géométrique, qui déjà se faisait sentir dans les chantiers, nous ne serons pas surpris du peu de durée de ces voûtes du XVI^e^ siècle." "Aussi ces voûtes du XVI^e^ siècle sont-elles, la plupart, proches de leur ruine, lorsqu'elles ne sont pas déjà tombées" (*ibid.*, pp. 548 et 549). Les sophistications qui mettent en valeur la virtuosité de l'artiste, dans l'art flamboyant comme dans celui de la Renaissance, sont évidemment de nature à fragiliser les structures. Cependant ce dénigrement du gothique tardif est trop systématique pour être impartial.

227 *Ibid.*, art. "voûte", t. 9, p. 550.

228 *Ibid.*, art. "construction", t. 4, p. 124.

229 Viollet-le-Duc peut donc qualifier de "jolies" les chapelles du XVI^e^ siècle de l'église de la Ferté-Bernard, à caissons plats reposant sur un système d'arcs. "Le système des voûtes gothiques devait en venir là, c'était nécessairement sa dernière expression" (*ibid.*, art. "construction", t. 4, p. 124). La relation entre ce dispositif et l'architecture du XIII^e^ siècle est à mon avis extrêmement ténue.

autre système clos, qui doit être éliminé. C'est sans doute une bonne image de la situation au XIX^e^ siècle : la théorie néo-gothique que Viollet-le-Duc veut développer s'oppose à une tradition et des usages néo-classiques bien établis. Mais les constructeurs du XII^e^ siècle pensaient plus vraisemblablement que leur façon de construire constituait un tout cohérent, en dépit du fait qu'il contenait des éléments que nous qualifions aujourd'hui de romans et d'autres de gothiques.

Le résultat de l'évolution est présenté comme un "problème à résoudre"[230] ; par exemple, dans le cas de l'arc-boutant : "Il dut y avoir, et il y eut en effet pendant près d'un demi-siècle, des tâtonnements, des hésitations, avant de trouver ce que l'on cherchait : l'arc-boutant réduit à sa véritable fonction"[231]. Cette fonction est "véritable", c'est-à-dire que de toutes les emplois qu'on peut lui donner, un seul est bon, et les autres doivent être considérés comme des erreurs[232].

Viollet-le-Duc présente les difficultés qu'éprouvaient les constructeurs à concilier les nouveaux "principes" avec les "vieilles traditions" dont "ils ne pouvaient se débarrasser totalement". "Loin de se décourager cependant, ils s'attachaient, après chaque tentative, à ces idées nouvelles avec l'ardeur et la persistance de gens convaincus"[233]. S'ils construisent des voûtes bombées, c'est parce que "les constructeurs n'osent pas encore tenir les clefs [...] sur le même niveau"[234]. Ces lignes donnent le sentiment que les constructeurs de la fin du XII^e^ siècle échouaient à atteindre leur but. Ne devrait-on pas plus justement imaginer que leurs intentions étaient conformes à leurs réalisations, dès lors qu'on leur en prête ? Ceux dont les œuvres correspondent bien au modèle, comme le déambulatoire de Notre-Dame de Paris, sont, suivant la même logique, traités très favorablement : "les premiers architectes qui les appliquèrent [les voûtes d'ogives] à leurs constructions surent immédiatement en tirer tout le parti possible"[235].

Parmi les techniques de construction qui sont quelque peu négligés par le dogmatisme de Viollet-le-Duc, il y en deux qui nous intéressent plus particulièrement : la voûte angevine et les chaînages de fer. Pour discuter son point de vue sur la voûte angevine, il nous faut partir de sa théorie sur l'origine de la voûte d'ogives. Il voit celle-ci dans une coupole hémisphérique plutôt que dans une voûte d'arêtes[236]. Il montre comment, à partir d'une coupole hémisphérique, on peut

230 Sans chercher à multiplier les exemples, on peut remarquer qu'on rencontre dans une même page les expressions : "les architectes occidentaux ne cessèrent de chercher la solution de ce problème depuis le commencement du XII^e^ siècle jusqu'à ce qu'ils l'aient résolu d'une manière complète à la fin de ce siècle", "les solutions approximatives plus ou moins heureuses du problème posé", "la solution définitive", "la complète solution du problème posé par eux-mêmes" (Viollet-le-Duc, *op. cit.* n. 176, art. "voûte", t. 9, p. 489).

231 *Ibid.*, art. "arc-boutant", t. 1, p. 74.

232 On retrouve la même idée au sujet d'autres dispositifs. Après avoir vanté les mérites d'un appareil d'assez petit module à la cathédrale de Noyon, notre auteur écrit : "Là où les constructeurs, moins pénétrés des nouveaux principes alors admis, cherchaient à reproduire les formes que les artistes laïques du XII^e^ siècle avaient adoptées, sans en connaître exactement la raison d'être, en employant des matériaux d'une grande dimension, il se produisait dans les constructions des déchirements tels que l'équilibre était bientôt rompu" (*ibid.*, art. "construction", t. 4, p. 70). Le bon art gothique une fois défini, si un constructeur s'en écarte, c'est qu'il ne l'a pas compris, et sa construction ne peut avoir aucune solidité.

233 *Ibid.*, art. "construction", t. 4, p. 70.

234 *Ibid.*, art. "voûte", t. 9, p. 517.

235 *Ibid.*, art. "construction", t. 4, p. 82.

236 Malgré la simple et pertinente observation : "Les premiers constructeurs de voûtes franchement

obtenir une voûte d'ogives sur plan carré, en remplaçant les arcs plein cintre latéraux par des arcs brisés, puis une voûte d'ogives sur plan barlong, et une voûte sexpartite[237]. Quand les ogives sont en arc brisé, Viollet-le-Duc fait encore dériver la voûte d'une coupole, mais dont le profil n'est plus un plein cintre[238].

À côté de cette première famille de voûtes, qu'il qualifie de "française", notre auteur en distingue une seconde, qu'il appelle "anglo-normande". Elle est issue de coupoles nervées qui apparaissent au XII^e^ siècle "sur toute la ligne qui se prolonge du Périgord à la Loire vers Angers"[239]. De là, la voûte évolue vers une croisée d'ogives dans laquelle les voûtains sont appareillés perpendiculairement aux nervures et non perpendiculairement aux doubleaux et formerets comme dans le "système français". Cet autre "système" se développe ensuite en Angleterre. Le dessin donné par Viollet-le-Duc correspond aux "voûtes du cloître de Fontfroide près Narbonne, des bas-côtés de la cathédrale d'Ély, du cloître de Westminster (Angleterre), des bas-côtés de l'église d'Eu"[240]. La généralisation de ce dessin à une vaste zone allant de la Normandie au Poitou est sans doute hâtive. Une représentation en perspective "fait bien voir que la voûte anglo-normande n'est autre chose qu'une coupole hémisphérique pénétrée par quatre arcs en tiers-point"[241]. Le dessin est assez convaincant, certes, à ceci près qu'on doit comprendre que la disposition de l'appareil détermine la géométrie du voûtain. Cela ne va pas autant de soi que semble le croire Viollet-le-Duc. La conséquence de cet appareil serait l'apparition des liernes Il mentionne une exception remarquable à ce système : les voûtes "pyramidales" de la nef de Saint-Ours de Loches[242], mais n'envisage pas une filiation de celle-ci. Il ne cite que fort peu de voûtes angevines[243], l'exemple de

---

gothiques font une chose en apparence bien simple ; au lieu de tracer le plein cintre sur le diamètre AB comme les constructeurs romans, ils le tracent sur le diamètre AD" (Viollet-le-Duc, *op. cit.* n. 176, art. "construction", t. 4, p. 35).

237 *Ibid.*, art. "ogive", t. 6, pp. 425-6, 427-429, et 436. C'est très ingénieux, quoique dans chaque cas, seules les deux ogives soient communes aux deux dispositifs. Au sujet des voûtes sexpartites de la nef de la cathédrale de Sens, il conclut "que les constructeurs n'osaient encore s'affranchir de la forme génératrice donnée par la coupole, quant au tracé" (*ibid.*, art. "voûte", t. 9, p. 510). Précisons que je n'ai vu nulle part Viollet-le-Duc employer le mot "sexpartite".

238 Dans la nef de la cathédrale de Reims, par exemple "la coupole génératrice des arcs ogives est tracée sur un [...] triangle dont la base est à la hauteur comme 13 est à 10" (*ibid.*, art. "ogive", t. 6, p. 437-438). L'auteur indique aussi que le même triangle est équilatéral (Les deux proportions sont appréciablement différentes, $\sqrt{3}/2 \simeq 0{,}7$ et $10/13 \simeq 0{,}77$), mais il semble que cette proportion se rapporte en fait aux doubleaux.

239 "Au XII^e^ siècle, on voit élever, sur toute la ligne qui se prolonge du Périgord à la Loire vers Angers et au delà, des voûtes qui, comme structure, sont de véritables coupoles, mais qui cherchent à se soumettre à l'apparence des voûtes d'arête" (*ibid.*, art. "construction", t. 4, p. 109).

240 *Ibid.*, art. "construction", t. 4, p. 110, Fig. 63 et n. 1.

241 *Ibid.*, t. 4, p. 112, et Fig. 65, p. 113.

242 "Sur les deux travées intermédiaires, au lieu de coupoles ou de voûtes d'arêtes, ce sont des pyramides creuses portées sur des encorbellements qui couvrent la nef" (*ibid.*, art. "coupole", t. 4, p. 364).

243 Les édifices d'Anjou mentionnés dans l'ouvrage sont, à Angers, la Cathédrale, la salle synodale, l'Hôpital Saint-Jean, l'hôtel Pincé, l'abbatiale de Fontevrault, la voûte de la nef de l'église de Mouliherne, le clocher de celle du Thoureil, les cuisines de Fontevrault et celles de Montreuil-Bellay, l'hôtel de ville de Saumur, le château (détruit) du Verger à Seiches, à quoi il faut ajouter des fonts à Thouveil, des pentures à Saint-Martin d'Angers, et quelques éléments isolés (une serrure, une statue d'angle, un poteau, une solive) et les noms sans aucun commentaire de quelques églises (portant les

la travée occidentale de la nef de l'église de Mouliherne, qu'il détaille assez longuement, est d'autant plus remarquable. Cette église "indique de la manière la plus évidente les incertitudes des constructeurs de l'Ouest entre les innovations des architectes du domaine royal et les traditions de l'Aquitaine"[244]. Mais sa description comporte plusieurs erreurs. L'une d'elles porte justement sur l'appareil des voûtains : il écrit "Les quatre triangles compris entre les points EGF sont fermés suivant la méthode d'Aquitaine ou anglo-normande, c'est-à-dire conformément au principe de la coupole ;" et exécute le plan (Fig. 22a)[245] et la vue en perspective[246] conformément à cela. Cependant les joints sont parallèles aux "ogives" RI, RK, comme on peut le vérifier sur l'état actuel (Fig. 22b)[247]. Deuxièmement, les deux branches d'ogives RD et RC sont brisées au niveau clefs I et K des arcs diagonaux EG et FG, formant un angle saillant vers le bas assez prononcé. Comme l'a déjà remarqué A. Rhein[248], il est difficile de continuer à considérer ces deux nervures comme les arcs principaux sur toute leur longueur dans ces conditions. Sur la coupe de Viollet-le-Duc[249], cet angle n'apparaît pas, et ces deux arcs se projettent sur la même ligne que la nervure axiale GR. Sa perspective[246] est conforme à ce dessin, ce qui résulte en une voûte beaucoup moins bombée qu'elle ne l'est en réalité.

Il semble donc que, sans doute faute d'une documentation suffisamment étendue et fiable (la documentation du *Dictionnaire* est déjà énorme et de grande qualité, surtout si l'on tient compte des moyens de l'époque), la structure de la voûte angevine a totalement échappé à Viollet-le-Duc. On peut regretter que son désir de fournir un exposé cohérent et systématique l'ait amené à quelques affirmations erronées à ce sujet, mais ce qui importe est de ne pas exagérer la portée de son système, qui, en tant que tel, n'est pas apte à rendre compte de tout.

On sait que pour Viollet-le-Duc, le voûtement, et plus particulièrement la croisée d'ogives, sont essentiels. "Toute la science des constructeurs d'églises consistait donc alors à établir un équilibre parfait entre la poussée des voûtes d'une part, et la poussée des arcs-boutants de l'autre"[250]. La méthode des constructeurs gothiques "consiste à faire dériver les plans par-terre de la structure projetée des voûtes"[251]. Il revient souvent sur la voûte sexpartite, qui serait issue de la coupole,

nombre total d'églises mentionnées à 19).

244 Viollet-le-Duc, *op. cit.* n. 176, art. "construction", t. 4, p. 114.

245 *Ibid.*, art. "construction", t. 4, Fig. 66, p. 114.

246 *Ibid.*, art. "construction", t. 4, Fig. 68, p. 116.

247 Il est envisageable que la différence observée résulte d'une restauration et non d'une erreur de Viollet-le-Duc, mais la forme et l'appareil de la voûte de Mouliherne sont sur ces points identiques à ce que l'on rencontre usuellement dans celles de ce type. J. Mallet, qui a étudié les restaurations subies par l'édifice en 1828 en 1869, ne remet pas en cause son authenticité, il la date du début du XIII^{e} siècle (Jacques Mallet, "L'église de Mouliherne", dans *Congrès Archéologique de France, CXXIIe session, 1964, Anjou* (Société Française d'Archéologie, 1964), pp. 116-137).

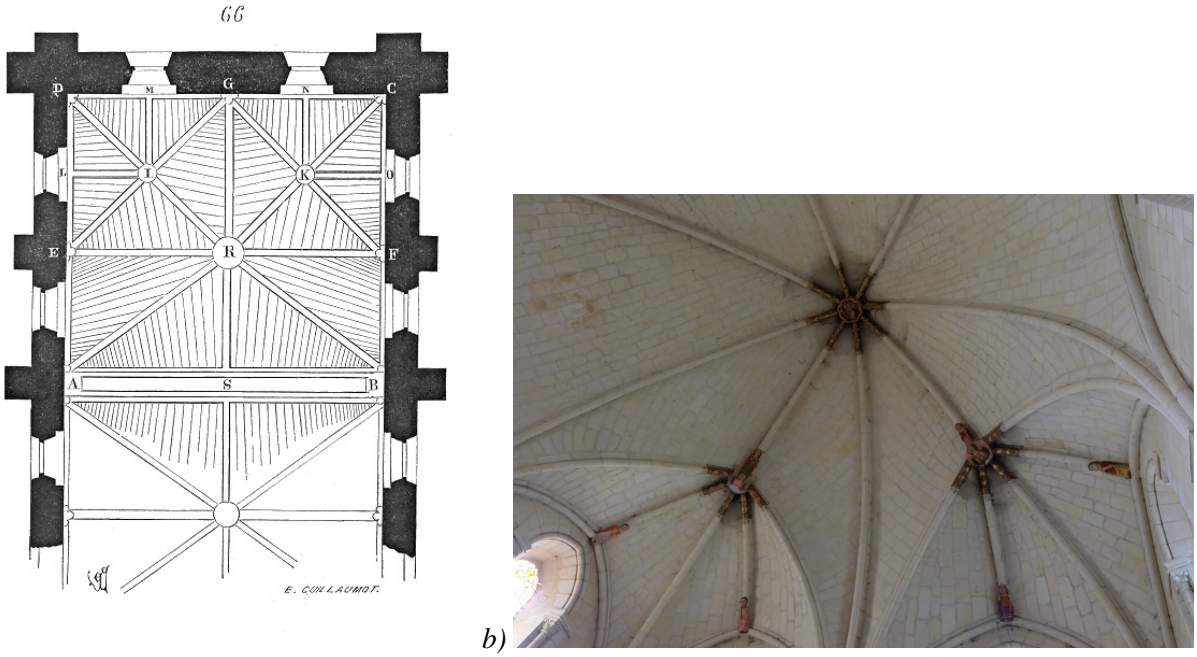
248 André Rhein, "Les voûtes de l'église de Mouliherne", *Congrès archéologique LXXVII, Angers et Saumur, 1910*, pp. 224-233.

249 Viollet-le-Duc, *op. cit.* n. 176, art. "construction", t. 4, Fig. 67, p. 115.

250 *Ibid.*, art. "arc-boutant", t. 1, p. 66. *Cf.* aussi "La construction des voûtes était donc la grande préoccupation des architectes du moyen âge" (*ibid.*, art. construction, t. 4, p. 25).

251 *Ibid.*, art. "construction", t. 4, p. 44. *Cf.* aussi : "D'où l'on doit conclure que, pour tracer définitivement un plan par-terre et procéder à l'exécution, il fallait, avant tout, faire l'épure des voûtes, de leurs rabattements, de leurs sommiers, connaître exactement la dimension et la forme des claveaux des divers arcs" (*ibid.*) ; "Pour qui connaît bien la structure de la voûte gothique, [...], toutes les autres parties de la

comme on l'a dit plus haut[252]. Viollet-le-Duc note ensuite avec justesse que si la voûte est bombée, une partie du "poids", c'est-à-dire en fait de la poussée, vient s'appliquer sur le mur, alors que si la clef du formeret est à la hauteur de celle de la voûte toute la poussée se reporte sur les colonnes[253].



a) *b)*

Figure 22. La voûte de la travée occidentale de la nef de l'église de Mouliherne.
a) Plan du Dictionnaire de Viollet-le-Duc[245], b) état actuel[247].

L'utilité des ogives est qu'elles forment un "cintre permanent de pierre"[254]. Déjà dans la construction romane, les arcs doubleaux sont des "sortes de cintres permanents élastiques"[255]. Viollet-le-Duc insiste sur le coût des cintres : "les causes de dépenses les plus importantes peut-être dans la construction des voûtes, ce sont les cintrages de bois qui sont nécessaires pour les porter"[256]. D'autre part, les voûtes d'arêtes présentaient "des arêtes saillantes (ces voûtes étant bâties de moellons irréguliers) maintenues seulement par l'adhérence des mortiers ; que, par conséquent, il y avait à bander sous ces arêtes un cintre permanent de pierre"[257]. Ceci est justifié par la mauvaise

---

maçonnerie s'en déduisent naturellement" (Viollet-le-Duc, *op. cit.* n. 176, art. "construction", t. 4, p. 85).

252 "Les constructeurs, cherchant à conserver de cette coupole deux tranches diagonales [...] ne pensaient pas que ces diagonales dussent ne point se couper suivant des angles très-rapprochés de l'angle droit, sinon droits" (*ibid.*, art. "ogive", t. 6, pp. 435-436), ce qui fait préférer d'abord la voûte sexpartite à une croisée d'ogives sur plan barlong.

253 *Ibid.*, art. "ogive", t. 6, p. 435.

254 *Ibid.*, art. "travée", t. 9, p. 248. Il s'agit plus particulièrement des voûtes des collatéraux du narthex de la basilique de Vézelay.

255 *Ibid.*, art. "construction", t. 4, p. 14.

256 *Ibid.*, art. "voûte", t. 9, p. 465.

257 *Ibid.*, art. "travée", t. 9, p. 248. L'exemple cité par l'auteur est ici celui des voûtes du narthex de la basilique de Vézelay.

qualité des mortiers[258]. De plus, certaines nervures, les liernes surtout, font office de couvre-joints[259].

Ce n'est pas tant de trouver et d'utiliser ces procédés qui est important, mais de les ériger en principe, de bâtir un système à partir d'eux : "Mais considérer ces nerfs, ressortis de la voûte, comme une membrure indépendante, et combiner, sur cette membrure, des successions de voûtes qui ne peuvent se soutenir que parce qu'elles portent sur cette membrure, c'est alors un nouveau principe qui s'établit, qui n'a plus de rapport avec le principe de la structure romaine ; c'est une découverte"[260].

En plus du voûtement, le deuxième objectif des architectes gothiques, selon Viollet-le-Duc, serait de réduire les supports[261]. On peut cependant se demander si ce ne serait pas davantage un objectif de la nouvelle architecture que voulait créer Viollet-le-Duc, que des constructeurs du Moyen Âge. De fait si on considère la grande architecture en fonte de la fin du XIX^{e} siècle, celle des gares et des grands magasins, la "ténuité des points d'appuis verticaux" est un objectif qui a été réalisé de façon remarquable.

On constate une forte insistance sur l'arc-boutant : "Demander une église gothique sans arc-boutants, c'est demander un navire sans quille"[262]. Cette insistance est exclusive de tout autre mode de contrebutement. L'utilisation de chaînages, en effet, est bien connue de Viollet-le-Duc, mais peu valorisée. Il consacre un très intéressant article de son *Dictionnaire* à l'utilisation de chaînages de bois ou de fer, permanents ou temporaires, pour contrebuter des voûtes. Il mentionne des chaînages en bois "dans presque toutes les constructions mérovingiennes et carlovingiennes"[263], ce qui est sans doute exagéré, d'autres dans les murs de la nef de l'abbatiale de Vézelay[264], dans la tour de

---

258 "Les mortiers employés généralement, pendant le XII^{e} siècle et le commencement du XIII^{e}, dans les églises et la plupart des constructions religieuses, sont mauvais, manquent de corps, sont inégalement mélangés, souvent même le sable fait défaut et paraît avoir été remplacé par de la poussière de pierre ; tandis que les mortiers employés dans les constructions militaires à cette époque, comme avant et après, sont excellents et valent souvent les mortiers romains" (Viollet-le-Duc, *op. cit.* n. 176, art. "construction", t. 4, p. 261). Cette opposition entre des constructions militaires de qualité et des constructions religieuses mal faites est pour le moins surprenante. Les observations de Viollet-le-Duc étaient sans doute biaisées du fait qu'il considérait d'un côté des châteaux royaux construits avec de grands moyens, de l'autre des bâtiments religieux beaucoup plus modestes, et il aura généralisé avec anticléricalisme.

259 En effet, Viollet-le-Duc écrit, au sujet de la voûte "de l'Aquitaine, de l'Anjou, du Maine et de l'Angleterre" qui, comme on l'a vu, étant issue de la coupole, a ses assises perpendiculaires aux ogives : "Mais comme ces rencontres AB des rangs de moellon produisaient un mauvais effet [...] on banda un nerf en pierre BF pour [...] cacher les sutures" (*ibid.*, t. 4, p. 111).

260 *Ibid.*, art. "voûte", t. 9, p. 502.

261 "Mais cependant les architectes, au XII^{e} siècle, sentaient déjà qu'il était nécessaire de réduire autant que possible les points d'appui dans les intérieurs des édifices." (*ibid.*, art. "voûte", t. 9, p. 514). "Pendant toute la période romane, les architectes avaient fait de vaines tentatives pour concilier deux principes qui semblaient inconciliables, savoir : la ténuité des points d'appui verticaux, l'économie de la matière et l'emploi de la voûte romaine plus ou moins altérée" (*ibid.*, art. "construction", t. 4, p. 41).

262 *Ibid.*, art. "arc-boutant", t. 1, p. 60.

263 *Ibid.*, art. "chaînage", t. 2, p. 397. Il s'agirait de pièces de bois noyées longitudinalement dans l'épaisseur des murs, qui ont disparu, ne laissant qu'un creux.

264 "Il existe un premier chaînage de bois au-dessus des archivoltes donnant dans les collatéraux, et un second chaînage, interrompu par les fenêtres hautes, au niveau du dessus des tailloirs des chapiteaux à

l'abbatiale de Saint-Denis, dans le donjon du château de Coucy. Il mentionne aussi des crampons de fer à Notre-Dame de Paris[265], des chaînes de fer à la Sainte Chapelle[266], des chaînages en fer plat dans la façade de la cathédrale de Strasbourg[267], et ailleurs, mais il conteste l'efficacité de ces dispositifs. En effet, les chaînages en bois ayant souvent brûlé ou pourri, sont de fait devenus inefficaces, et l'oxydation des chaînages et crampons de fer a entraîné des dégâts. Surtout, il désapprouve le procédé, comme s'il s'agissait dune tricherie dont on dût avoir honte. Par exemple, au sujet de emplois de tirants de fer pour compenser la poussée des voûtes en Italie : "Mais, en vérité, est-ce là un moyen de construction ? N'est-ce pas plutôt un aveu d'impuissance ?"[268]. Viollet-le-Duc défend une certaine logique constructive, qu'il veut voir appliquer à architecture contemporaine. Quoique son intérêt pour l'art médiéval et sa promotion soit tout à fait réel, c'est cet objectif qui prime pour lui. Il est naturel que les solutions qui sortent de cette logique lui déplaisent, *a fortiori* qu'il ne cherche pas à les promouvoir.

4.C. Viollet-le-Duc et les sciences

Viollet-le-Duc participe de la science triomphante du XIX^{e} siècle. En effet, pour lui, l'ignorance des constructeurs romans est celle des "sciences exactes"[269]. Les architectes médiévaux sont "rationalistes"[270]. Et même, "les architectes laïques [...] commencent, dans l'ère moderne, la grande lutte de l'homme intellectuel contre la matière brute"[271]. La construction des voûtes est présenté comme un problème à résoudre, ce qui fait aussi référence aux sciences exactes. Les mots logique, conséquence, nécessaire, loi, dans le sens qu'on leur donne en sciences exactes, reviennent fréquemment. Les divers éléments de la construction sont désignés par des lettres plutôt que par des noms. Il arrive même que Viollet-le-Duc donne des chiffres[272], qui ne semblent d'ailleurs pas reposer sur un calcul précis.

Viollet-le-Duc cherche donc à donner un aspect scientifique à ses affirmations. "L'emploi de l'arc-boutant dans les grands édifices exige une science approfondie de la poussée des voûtes"[273]. L'emploi du mot "science" n'est pas indifférent. La "méthode" qu'il propose à l'architecture contemporaine, est de s'appuyer sur des "principes" qui "deviennent une source féconde, nécessaire, fatale de déductions", qui "donnera les formes nécessaires et convenables"[274]. Tous les détails du dessin doivent avoir une cause technique[275].

---

la naissance des grandes voûtes. [...] il sert d'attache à des crampons en fer destinés à recevoir des tirants transversaux d'un mur de la nef à l'autre à la base des arcs doubleaux" (Viollet-le-Duc, *op. cit.* n. 176, art. "chaînage", t. 2, p. 397).

265 *Ibid.*, art. "chaînage", t. 2, pp. 398-399, et 400.

266 Il s'agit de chaînes "coulées en plomb", posées à trois niveaux différents. Le plomb n'a pas empêché l'éclatement des pierres (*ibid.*, art. "chaînage", t. 2, p. 401).

267 *Ibid.*, art. "chaînage", t. 2, p. 402.

268 *Ibid.*, art. "construction", t. 4, p. 242, note de bas de page.

269 *Cf.* l'extrait cité plus haut, et n. 223.

270 Viollet-le-Duc, *op. cit.* n. 176, art. "construction", t. 4, p. 196.

271 *Ibid.*, t. 4, p. 242.

272 *Ibid.*, t. 4, p. 56.

273 *Ibid.*, art. "arc-boutant", t. 1, p. 74.

274 *Ibid.*, art. "voûte", t. 9, p. 516.

275 Par exemple, l'affaissement d'un arc en plein cintre est donnée comme origine de l'arc brisé, en enlevant une partie "inutile" de l'arc (*ibid.*, art. "construction", t. 4, p. 28). La voûte "anglo-normande"

Viollet-le-Duc insiste sur le fait que les architectes gothiques sont "laïques"[276], et par là, supérieurs aux religieux : "Ces constructeurs ne sont plus des moines assujettis à la règle ou à la tradition : ce sont des laïques qui analysent toute chose, et ne reconnaissent d'autre loi que le raisonnement"[277]. Cette attitude antireligieuse se retrouve quand Viollet-le-Duc condamne des approches moins techniques de l'art médiéval. Au sujet des arcs brisés de forme aiguë ou au contraire très surbaissée utilisés en Angleterre, il fustige un certain nombre d'interprétations symboliques, "origines les plus saugrenues"[278]. Viollet-le-Duc insiste au passage sur le caractère rationnel, rigoureux, de sa propre approche. "Les derniers constructeurs romans, ceux qui après tant d'essais en viennent à repousser le plein cintre, ne sont pas des rêveurs : ils ne raisonnent point sur le sens mystique d'une courbe ; ils ne savent pas si l'arc en tiers-point est plus *religieux* que l'arc plein cintre ; ils bâtissent, ce qui est plus difficile que de songer creux"[279]. On a ici beaucoup plus que le choix d'une approche technique, c'est l'affirmation de la supériorité du point de vue pragmatique qu'il prête aux constructeurs médiévaux sur une attitude plus "religieuse".

Cependant, malgré cette profession de foi rationaliste, l'aspect "nécessaire" des déductions de Viollet-le-Duc n'est pas toujours clair. Quand, par exemple, il présente la pile cruciforme comme une conséquence de l'usage du doubleau, son raisonnement est certes élégant, mais il n'est pas vrai qu'"il est de toute nécessité que la pile donne exactement la section des claveaux de ces arcs"[280].

évolue vers les voûtes en éventail qui, quoiqu'exigeant "certains artifices", sont obtenues "par une suite de déductions, très-logiques d'ailleurs" (Viollet-le-Duc, *op. cit.* n. 176, art. "construction", pp. 121-122), à partir de la coupole.

276 On trouve par exemple le terme p. 42 (*ibid.*, t. 4). On peut citer aussi "les architectes laïques du XIII^{e} siècle" (*ibid.*, p. 156).

277 *Ibid.*, t. 4, p. 58. Dans la section "construction militaire", on lit : "On trouve, dans les forteresses du moyen âge, une égalité et une sûreté d'exécution, une marche régulière et une attention qui manquent dans beaucoup de nos édifices religieux" (*ibid.*, p. 262). Il est possible que Viollet-le-Duc ait effectivement constaté cela, mais plus probablement à cause du fait qu'il considère d'un côté des forteresses royales construites avec de gros moyens, et de l'autre des édifices religieux beaucoup plus modestes. On lit aussi : "Évidemment les seigneurs laïques, lorsqu'ils faisaient bâtir des forteresses, avaient conservé la méthode romaine de réquisitions et d'approvisionnements que les abbés ou les évêques ne voulaient ou ne pouvaient pas maintenir" (*ibid.*, t. 4, p. 261). On considère aujourd'hui ces changements de méthode de la part des seigneurs ecclésiastiques, quand ils sont avérés, comme l'expression de la qualité et de la modernité de leur administration. Cette affirmation assez surprenante de Viollet-le-Duc repose sur l'idée que les laïcs ont une supériorité fondamentale sur les religieux, parce que leur approche est rationnelle.

278 *Ibid.*, art. "voûte", t. 9, pp. 534-535. Un peu plus loin on lit : "ces rêvasseries de tant d'auteurs qui ont écrit sur l'architecture du moyen âge sans avoir à leur service les premiers éléments de la géométrie et de la statique. Il est clair que les artistes que tout raisonnement fatigue, et qui seraient aises qu'il fût interdit de raisonner, même en architecture, par une bonne loi bien faite, et surtout rigoureusement appliquée, s'empressent de répéter ces pauvretés à l'endroit de la structure gothique, et aiment bien mieux voir l'imitation d'un bonnet d'évêque dans une courbe qu'un principe de structure : le bonnet d'évêque, en ce cas, ou l'aspiration de l'âme dispense de toute étude et de toute discussion, et la voûte gothique passe ainsi au compte des niaiseries humaines ; ce qui simplifie la question".

279 *Ibid.*, art. "construction", t. 4, p. 30

280 *Ibid.*, art. "voûte", t. 9, p. 484. *Cf.* aussi *ibid.,* p. 514. Non seulement il n'est pas nécessaire d'évider l'angle, mais la base de l'arc pourrait aussi sans difficulté être établie en encorbellement, on en trouve de nombreux exemples dans le *Dictionnaire* lui-même (En particulier, Viollet-le-Duc explique qu'un encorbellement placé sous la naissance d'une voûte réduit la poussée de celle-ci - *ibid.*, art.

Ces déductions correspondent ici davantage à des règles plus ou moins arbitraires qui, si on s'impose de les respecter, amènent à choisir un dessin plutôt qu'un autre. La nécessité de respecter les lois de la mécanique est autre chose.

Au sujet de la claire-voie de Saint-Urbain de Troyes, composée de "dalles de champ ajourées", Viollet-le-Duc écrit que "ce singulier système de construction est appliqué partout avec cette logique rigoureuse qui caractérise l'architecture de la fin du XIII^{e} siècle". Les arcs en question sont cependant sculptés de façon à former des arcs surmontés de gâbles, dont la forme n'est que la copie de dispositifs analogues formés de nombreux éléments. Quoiqu'en dise notre auteur, aucune logique constructive ne peut rendre compte de ces détails.

Il se peut que, loin de chercher à nous abuser, Viollet-le-Duc ait simplement une conception très personnelle de ce qu'est une conséquence nécessaire. En effet, en partant d'un principe unique, et en suivant des déductions "nécessaires", on peut selon lui arriver à plusieurs résultat distincts. Ainsi, après avoir distingué les voûtes nervées anglaises des françaises, il écrit que "cette étude est intéressante, parce qu'elle fait voir comment, en partant d'un même point, d'un même principe, les deux systèmes anglais et français sont arrivés à des résultats très-différents, tout en demeurant rigoureusement fidèles l'un et l'autre à ce principe"[281]. On aurait donc tort de comprendre que, quand il qualifie une conséquence de nécessaire, il n'existe pas d'autre possibilité.

Il affirme de plus que l'intuition de l'architecte est supérieure aux sciences exactes : "Nous nous garderons bien de résoudre ces questions d'équilibre par des formules algébriques que la pratique modifie sans cesse, en raison de la nature des matériaux employés, de leur hauteur de banc, de la qualité des mortiers, de la résistance des sols, de l'action des agents extérieurs, du plus ou moins de soin apporté dans la construction. Les formules sont bonnes pour faire ressortir la science de celui qui les donne ; elles sont presque toujours inutiles au praticien : celui-ci se laisse diriger par son instinct, son expérience, ses observations et ce sentiment inné chez tout constructeur qui lui indique ce qu'il faut faire dans chaque cas particulier"[282]. Le mépris pour les sciences exactes affiché ici s'accorde mal avec l'impression générale que Viollet-le-Duc cherche à nous donner, que sa thèse en est l'expression[283].

La théorie fonctionnaliste de Viollet-le-Duc est radicale : "L'architecture et la construction du moyen âge ne peuvent se séparer, car cette architecture n'est autre chose qu'une forme commandée

---

"construction", t. 4, pp. 239-240, et Fig. 132 -. Il semble même exagérer l'efficacité du dispositif, qui ne peut pas dépasser celle d'un contrefort d'épaisseur égale à celle de l'encorbellement).

281 Viollet-le-Duc, *op. cit.* n. 176, art. "voûte", t. 9, p. 521. De même, après avoir présenté la composition des travées des diverses grandes églises de la fin du XII^{e} et du début du XIII^{e} siècles, il écrit : "Aucune autre architecture ne se prêterait à des formes et à des aspects aussi variés sans sortir des principes qui la dirigent" (*ibid.*, art. "travée", t. 9, p. 256).

282 *Ibid.*, art. "construction", t. 4, pp. 56-57.

283 On retrouve la même idée au sujet du contrebutement d'une nef à collatéraux avec arcs-boutant : "Mais toujours le sentiment humain, lorsqu'il est aiguisé, est plus subtil que le calcul ; de même qu'il n'est pas de machine, si parfaite qu'elle soit, qui atteigne la délicatesse de la main et la sûreté du coup d'œil" (*ibid.*, art. "construction", t. 4, pp. 64-65). On lit aussi dans l'article "arc-boutant" : "La théorie peut, en effet, démontrer que la poussée d'une voûte se résout en un seul point, mais la pratique fait bientôt reconnaître que cette poussée est diffuse" (*ibid.*, art. "arc-boutant", t. 1, p. 62). On aimerait savoir plus précisément quelle est la théorie critiquée ici, car la mécanique des milieux continus ne prétend pas cela. A côté de cela, le point qualifié deux fois de "point mathématique de la poussée", est appelé point "réel" de celle-ci un peu plus loin, ce qui suppose une grande confiance dans le modèle.

par cette construction même. Il n'est pas un membre, si infime qu'il soit, de l'architecture gothique, à l'époque où elle passe aux mains des laïques, qui ne soit imposé par une nécessité de la construction"[284]. On en vient à constater que "les architectes arrivaient à supprimer, dans la construction des voûtes, tout ce qui n'était pas absolument indispensable à leur solidité"[285]. Il y avait cependant bien des moulures sur ces arcs, et des sculptures sur ces clefs. On voit ainsi que Viollet-le-Duc rejette *a priori* l'éventualité que les choix des constructeurs médiévaux aient pu être motivés par des raisons esthétiques. Il en est de même des motifs liés à une utilité pratique autre que la fonction constructive.

Les tribunes latérales, que Viollet-le-Duc appelle le "triforium", quand elles ouvrent directement sous la charpente des bas-côtés, sont présentées comme malpratiques, froides, humidité et poussière pouvant pénétrer dans la nef[286]. Notre auteur n'envisage pas que la galerie puisse avoir une utilité pratique en dehors de sa fonction constructive[287]. Quand il compare les voûtes de la nef de la basilique de Vézelay avec celles de son narthex, plus proches du système gothique, il suit la même logique ; la présence de tribunes sur le narthex n'est pas une donnée imposée par des conditions pratiques, leur seule utilité est d'épauler la voûte[288]. Il est remarquable que Viollet-le-Duc n'envisage aucune fonctionnalité dans la liturgie, la vie ordinaire des moines, ou la réception des pèlerins et des autres fidèles, même pour la réfuter.

Viollet-le-Duc, qui cherche la filiation de l'arc-boutant dans les demi-berceaux élevés sur les tribunes qui contrebutent la nef de certaines églises romanes, remarque que "le solivage de bois incliné était remplacé par ce demi-berceau sur lequel on posait à cru la couverture de tuiles ou de dalles"[289]. Il n'envisage cependant pas que cette fonction, remplacer la charpente, ait pu motiver le

---

284 Viollet-le-Duc, *op. cit.* n. 176, art. "construction", t. 4, p. 245. Dans le détail, on voit par exemple que la saillie des chapiteaux romains est inutile, alors que celle des chapiteaux romans est porteuse. "Alors le chapiteau n'est pas seulement un ornement, c'est un membre utile de la construction" (*ibid.*, pp. 24-25). L'alternance piles fortes - piles faibles est justifiée par les voûtes sexpartites (*ibid.*, p. 48). Elle apparaît cependant dans des nefs non voûtées. Les liernes et tiercerons sont introduits pour des raisons de solidité, parce qu'"on craignait le relâchement" des voûtains (*ibid.*, art. "voûte", t. 9, p. 517). Une motivation esthétique n'est pas envisagée. Les gâbles serviraient à charger la clef des formerets, pour la stabiliser relativement à la poussée de la voûte. Viollet-le-Duc tient à justifier "l'utilité de ces gâbles, regardés généralement comme un motif de décoration" (*ibid.*, art. "construction", t. 4, p. 194).

285 *Ibid.*, art. "construction", t. 4, p. 88.

286 *Ibid.*, art. "triforium", t. 9, p. 290.

287 "Dès l'origine, sa fonction est déterminée plus encore par une nécessité de stabilité que par les besoins du service de l'église" (*ibid.*, art. "triforium", t. 9, p. 272).

288 *Ibid.*, art. "travée", t. 9, p. 247-248. En Normandie au XI^e^ siècle, et plus particulièrement à Saint-Étienne de Caen, on construisait des tribunes couvertes en charpente et une galerie au-dessus. La galerie supérieure aurait servi à accéder aux plafonds et à la charpente, ainsi qu'aux vitraux, pour les nettoyer et les entretenir, et à accéder aux toitures pour les réparation éventuelles (*ibid.* art. "triforium", t. 9, p. 303). Quand on construit des voûtes en quart de cercle sur les tribunes avec le voûtement de la nef, ces galeries ne pouvant plus servir à l'entretien de la charpente, leur utilité disparaît totalement et elles deviennent purement décoratives : "Ainsi, la raison d'utilité qui avait fait pratiquer les chemins de ronde sous les charpentes supérieures des églises normandes primitives devenait, lorsque ces églises furent voûtées, un motif de décoration qui persiste dans les monuments de cette province jusqu'à la fin du XIII^e^ siècle" (*ibid.*, p. 304). Leur persistance même n'est pas considérée comme un signe de leur utilité.

289 *Ibid.*, art. "triforium", t. 9, p. 272. L'auteur cite plusieurs églises d'Auvergne et Saint-Sernin de

choix de cette voûte et de sa forme.

Au sujet de l'utilité des arcs-boutants, il faut noter que Viollet-le-Duc leur refuse dès l'abord toute fonction esthétique. "Ce dont on peut être certain, c'est qu'à la fin du XII[e] siècle les constructeurs n'avaient adopté l'arc-boutant qu'en désespoir de cause"[290]. En conséquence, quand on constate que des arcs-boutants ont été ajouté sur des bâtiments existants, ou en ont remplacé de plus anciens, cela ne peut être justifié que par une nécessité technique, sans envisager d'autre cause comme une nouvelle mode, un changement d'esthétique par exemple[290]. Le seul fait que les arcs-boutants aient été ajoutés ou modifiés suffit à prouver que des désordres existaient auparavant dans les maçonneries.

Les considérations esthétiques, ne sont pourtant pas absentes du *Dictionnaire*. Viollet-le-Duc constate qu'il est impossible que, simultanément, les tailloirs des colonnes du rond-point soient rectangulaires et les arcs qui les relient cylindriques ; l'architecte de l'église Notre-Dame du Port à Clermont-Ferrand a choisi la première option, qui produit "des surfaces gauches désagréables pour l'œil", celui de la cathédrale de Langres a préféré la deuxième, avec laquelle "les tailloirs en forme de coins rendaient les chapiteaux disgracieux"[291]. On remarque que quoique, quand il s'agit de préférer l'art gothique à l'esthétique classique ou le contraire, Viollet-le-Duc prétende ne pas disputer des questions de goût, ses jugements esthétiques personnels sont tout aussi absolus que ceux du "bon goût" classique[292].

Il semble que certaines notions fondamentales de mécanique échappent à Viollet-le-Duc. Il ne paraît pas savoir, en particulier, que si un corps est soumis à deux forces seulement, une à chacune de ses extrémités par exemple, celles-ci doivent nécessairement avoir la même intensité[293]. Sur un encart de la Fig. 34 de l'article "construction", il prétend construire la résultante de trois forces,

---

Toulouse.

290 Viollet-le-Duc, *op. cit.* n. 176, art. "construction", t. 4, p. 49. Et aussi : "Évidemment ces *étais* à demeure étaient une accusation permanente du système général adopté dans la construction de leurs grandes églises ; ils s'évertuaient à les dissimuler" (*ibid.*, art. "arc-boutant", t. 1, p. 76).

291 *Ibid.*, art. "construction", t. 4, p. 72.

292 On le voit aussi introduire une sorte de "bon goût" dans l'architecture gothique quand il compare l'art français et l'art anglais : "Dans ces belles écoles de l'Île-de-France, de la Champagne, du Soissonnais, les architectes, gens de goût, avaient senti que la dernière limite d'aiguité de l'ogive était l'arc équilatéral ; que les centres des branches d'arc placés en dehors des naissances donnaient une brisure dont l'extrême aiguité était choquante, une proportion désagréable, [...]. Mais les Normands, les Anglo-Normands étaient moins délicats" et ont utilisé des arcs plus aigus (*ibid.*, art. "ogive", t. 6, p. 444).

293 Le sol du triforium de la nef de l'église Notre-Dame de Dijon est posé en encorbellement au dessus des colonnes des grandes arcades, sa face avant étant soutenue par une mince colonne, au sujet de laquelle Viollet-le-Duc écrit : "cette pile supporte une double action de compression : celle de haut en bas, par suite de la charge des voûtes, et celle de bas en haut, par l'effet de bascule produit par les contre-forts L sur la queue des pierres KI" (*ibid.*, art. "construction", t. 4, p. 143). Or, quelle que soit son origine, la force subie par la face inférieure de la pile est toujours exactement égale celle qui est appliquée au-dessus (plus le poids propre de la pile, que l'on peut éventuellement négliger ici). Quand il expose le principe de l'arc-boutant : "Si l'arc-boutant G oppose à la poussée CD une résistance égale à cette pression oblique et la neutralise complètement, [...] l'action oblique de l'arc-boutant sur le contre-fort extérieur [...] ne s'augmente pas de la totalité de la poussée CD, mais seulement d'une faible partie de cette poussée" (*ibid.*, p. 56). Ce n'est pas vrai, la force horizontale exercée par l'arc-boutant sur le contrefort est exactement égale à celle qu'il exerce sur les sommiers de la voûte.

mais longueur qu'il obtient est moins du tiers de ce qu'elle devrait être[294].

"Il n'est pas besoin d'être constructeur pour savoir qu'une pile prismatique ou cylindrique, composée d'assises superposées et ayant plus de douze fois son diamètre, ne pourra se maintenir debout, si elle n'est chargée à sa partie supérieure"[295]. Quoique Viollet-le-Duc crie à l'évidence, ce n'est pas correct[296]. Il affirme qu'une charge peut "annuler la poussée", mais une force verticale ne peut pas compenser une force horizontale. Ce qui est vrai est qu'une charge supplémentaire peut modifier les contraintes en présence d'un effort horizontal, de telle façon qu'il y ait compression dans toutes les directions. Dans ce cas, la maçonnerie pourra résister à cet effort, alors que ça ne serait pas le cas en l'absence de la charge. Ce n'est pas la charge qui compense la poussée, mais les forces de cohésion du matériau. Viollet-le-Duc sait dans quelle situation la structure va résister, mais ses explications mécaniques sont erronées[297].

Par ailleurs, pour lui, la poussée est oblique. Il ne décompose pas les actions exercées par les voûtes en une composante verticale, le poids, et une composante horizontale, la poussée, comme le fait Rondelet par exemple[298]. Il semblerait qu'en fait le concept même de la décomposition d'une force en la somme de deux composantes perpendiculaires (*a fortiori* toute décomposition plus générale) échappe à notre auteur. En effet, cette observation se confirme au cours de la description détaillée qu'il donne du chœur de l'église Notre-Dame de Dijon. Le mur est double, sa face interne réduite à des supports très minces, sa face externes, plus épaisse, soutenue par des contreforts assez épais mais de faible profondeur. Selon lui, "la poussée des arcs se reporte obliquement sur les

---

294 Viollet-le-Duc, *op. cit.* n. 176, art. "construction", t. 4, p. 65. Il écrit : "la résultante des trois pressions obliques BA, CA, DA, en plan, se résoudra en une ligne AE". La résultante des trois forces est donnée par leur somme vectorielle, on devrait donc avoir $\overrightarrow{AE} = \overrightarrow{BA} + \overrightarrow{CA} + \overrightarrow{DA}$, cependant la longueur AE est un peu moins du tiers de celle de cette somme.

295 *Ibid.*, art. "construction", t. 4, p. 55.

296 Il est vrai qu'une pile qui devra supporter des arcs, une charpente, une voûte, sera plus stable qu'une pile isolée, mais ce n'est pas le poids de ceux-ci qui la stabilise, mais le fait qu'elle sera maintenue horizontalement par ces éléments, qui la relient au reste du bâti. On a vu dans Rondelet (*cf.* plus haut et n. 97) que la charpente d'un bâtiment pouvait stabiliser ses murs.

297 Viollet-le-Duc, *op. cit.* n. 176, art. "construction", t. 4, p. 55. On trouve la même assertion en divers endroits : "Cette poussée ne peut être supprimée que par la charge verticale exercée par la construction" (*ibid.*, p. 65). "[...] et que nous placions un poids E en charge sur les sommiers des deux voûtes, nous réduisons les poussées obliques en une pesanteur verticale" (*ibid.*, pp. 73-74). "Ainsi la poussée de la grande voûte est fortement comprimée d'abord par la charge A, elle est neutralisée par cette pression" (*ibid.*, p. 138). "Or si vous bâtissez d'après un principe qui fait que toutes les actions de votre construction soient obliques, et si vous ne pouvez vous étendre, il faut bien suppléer par des pesanteurs verticales à l'espace qui vous manque en surface" (*ibid.*, p. 196). "Le poids de ce contre-fort n'agissant pas verticalement" (*ibid.*, art. "arc-boutant", t. 1, p. 63). "C'est une pesanteur inerte venant neutraliser une poussée oblique" (*ibid.,* p. 67).

298 Par exemple : "On vit qu'on pouvait [...] opposer à la poussée oblique une résistance oblique et non-seulement ne plus charger les piles A d'un surcroît de poids, mais même les soulager d'une partie du poids des voûtes" (*ibid.*, art. "arc-boutant", t. 1, p. 67). Les "arcs-boutants primitifs" en quart de cercle, épais, agissent par leur poids, "ils ajoutent sur les piles A une nouvelle charge à celle des voûtes ; c'est une pesanteur inerte venant neutraliser une poussée oblique" (*ibid.*). Dans ce cas, non seulement Viollet-le-Duc ne conçoit pas la poussée comme composante horizontale de la force exercée par la voûte, mais il veut que celle-ci soit compensée par une force verticale (et même dirigée vers le bas, c'est-à-dire dans le même sens que l'action de la voûte qu'elle est censée compenser).

contre-forts extérieurs". Cependant, ici, la composante verticale est vraisemblablement portée presque en entier par les colonnettes, et la composante horizontale par les contreforts[299].

La coupe représentant les arcs boutants du chœur de la cathédrale d'Amiens, selon lui, "fait assez voir que si la charge portant sur les piles C est considérable, celle portant sur les piles A est plus puissante encore, en ce qu'elle est active, produite non-seulement par le poids du contre-fort D, mais par la pression de l'arc-boutant"[300]. Il n'y a là aucune distinction entre l'effet de la poussée et celui du poids, alors que la première est une force horizontale, qui sollicite la culée en flexion et le second une force verticale qui la sollicite en compression.

Ailleurs, il oppose deux façons de contrebuter une voûte, l'une au moyen d'un arc-boutant, l'autre par la poussée de la voûte voisine[301]. L'arc-boutant exerce une force horizontale, qui compense la composante horizontale de la résultante des forces exercées par la voûte sur le pilier, exactement au même titre que la voûte du bas côté. Mais dans le deuxième cas, la voûte du bas-côté exerce en plus une force verticale sur le pilier, qui la soutient. Viollet-le-Duc distingue "deux méthodes", parce qu'il ne voit que la "poussée oblique" de cette voûte, au lieu de la décomposer en une composante horizontale et une composante verticale, ce qui lui donne le sentiment que les deux situations sont radicalement différentes.

Il n'est pas certain que cette différence de point de vue n'entraîne pas d'erreur d'appréciation de la part de l'architecte. En effet il écrit peut après "que l'arc-boutant est simplement un obstacle opposé, non point aux pressions obliques, mais à leurs effets, si l'équilibre venait à se déranger"[302], ce qui signifie que selon lui, l'arc-boutant ne commencera à intervenir que s'il y a déformation, c'est-à-dire tassement[303]. On peut craindre que sa grande insistance sur les effets de la stéréotomie sur la mécanique des voûtes ne soit en partie motivée par ce type de conclusion.

Il affirme aussi à plusieurs reprises que les arc-boutants agissent comme des étais, qui subissent une force oblique, mais d'autre part, que leur tête doit être appareillée de telle façon qu'elle puisse glisser verticalement le long du contrefort. Du point de vue de la mécanique, ces deux affirmations ne sont pas compatibles : si la tête de l'arc-boutant ou de l'étai peut glisser le long du contrefort vertical, la force qu'elle exerce sur celui-ci ne peut être qu'horizontale et non pas oblique[304]. De

299 De plus, Viollet-le-Duc écrit que les colonnettes verticales "par leur faible assiette," peuvent "au besoin s'incliner d'un côté ou de l'autre, en dehors ou en dedans, sans danger, s'il survient un tassement" (Viollet-le-Duc, *op. cit.* n. 176, art. "construction", t. 4, p. 133). C'est peu vraisemblable, ces supports minces étant fortement chargés, ils risquent de se briser si la charge cesse d'être parfaitement axiale, ce qui induirait une forte contrainte de flexion à laquelle ils auraient peu de chances de résister.

300 *Ibid.*, t. 4, p. 170, et Fig. 98, p. 172. C est la pile des grandes arcades, A celle qui soutient la culée intermédiaire de l'arc-boutant à double volée.

301 *Ibid.* t. 4, Figs. 40, p. 73 et 40bis, p. 74, respectivement.

302 *Ibid.*, t. 4, p. 74. Et : "2° qu'il [l'arc boutant] permet au constructeur de profiter de ces pressions obliques dans son système général, sans craindre de voir l'économie de ce système dérangée par un commencement d'action en dehors de l'équilibre" (*ibid.*).

303 La déformation décrite par la théorie de l'élasticité correspond à des variations relatives de longueur de la pierre tellement faibles qu'elle est très difficile à concevoir en dehors de cette théorie ; il est normal que Viollet-le-Duc ne l'envisage pas.

304 On ne doit cependant pas croire qu'il s'agit de deux situations différentes pour Viollet-le-Duc. Il écrit, par exemple, dans le cas des arcs-boutants à jours, "le caniveau qui couronne l'aqueduc devient un étai" et, à la fin du Moyen Âge, le système devient vicieux parce que les constructeurs "ne tenaient plus compte ainsi de cette condition essentielle du glissement des têtes d'arcs, dont nous avons expliqué plus haut l'utilité" (Viollet-le-Duc, *op. cit.* n. 176, art. "arc-boutant" t. 1, p. 79).

plus, Viollet-le-Duc en arrive à affirmer que les arcs-boutants portent une partie du poids des voûtes[305], et cette assertion a une importance notable dans son analyse de l'architecture gothique. Les observations techniques ci-dessus montrent qu'il ne faut pas se fier exagérément à celle-ci.

Viollet-le-Duc explique ce que "nous savons aujourd'hui, par la théorie", c'est-à-dire la définition de l'épure de Méry[306]. Cela peut laisser supposer que ses connaissances sur la théorie des voûtes ne vont guère plus loin. Puis, rappelant que celle-ci était ignorée au Moyen Âge, il mentionne une règle qui aurait été utilisée au XVI^{e} siècle[307] : "Nous divisons le demi-cercle ou le tiers-point en trois parties égales ADCB ; du point B, comme centre, nous décrivons une portion de cercle prenant BC pour rayon. Nous faisons passer une ligne prolongée par les points C et B ; son point de rencontre E avec la portion de cercle, dont B est le centre, donnera le parement extérieur de la pile dont l'épaisseur sera égale à GH". Cette règle n'est autre que celle du père Derand, tant décriée par Frézier et Rondelet[308].

Viollet-le-Duc croit que la courbe des pressions donne la direction de la résultante des forces intérieures à la maçonnerie. Cela apparaît sur la figure 33 de l'article "construction"[309]. Cette erreur courante que l'on a déjà mentionnée, de croire la force tangente à la courbe des pressions, créé à tort une analogie entre celle-ci et une ligne de courant au sein d'un fluide. De là à se figurer les efforts internes au sein de la maçonnerie comme s'il s'agissait d'un fluide, il n'y a pas loin. Par exemple, les architectes gothiques "comme s'ils eussent défini les lois des pressions des arcs, [ils] s'arrangèrent pour concentrer sur le parcours de ces lignes de pression les matériaux résistants, et, conduisant ainsi les poussées du sommet des voûtes sur le sol"[310].

Par ailleurs, il semble que Viollet-le-Duc croit que la position des joints modifie la répartition des efforts dans la maçonnerie, de telle façon qu'une force va toujours apparaître dans la direction perpendiculaire au joint. Ceci apparaît par exemple dans l'explication qu'il donne de désordres survenus dans les arcs-boutants de la nef de l'église Saint-Wulfrand d'Abbeville. Quoiqu'il prétende que "la poussée des voûtes qui agit de C en D charge l'arc A verticalement, en augmentant la pression des pieds-droits de l'aqueduc. Cette charge verticale, se reportant sur une construction élastique, pousse de A en B", il n'est pas vraisemblable que le petit arc AB redescendant du

305 Par exemple, Viollet-le-Duc observe que, dans les collatéraux de la nef de Notre-Dame de Paris, les piliers qui portaient les culées intermédiaires des arcs-boutants primitifs à double volée sont plus forts que les autres. À l'appui de cette remarque, il écrit qu'"une grande partie du poids des voûtes soutirée par les arcs-boutants vient peser sur la culée de ces arcs-boutants" (*ibid.*, art. "construction", t. 4, p. 165). Il est cependant plus vraisemblable que la culée de l'arc-boutant ne porte que le poids de celui-ci, et que le poids de la voûte porte en quasi-totalité sur les piles des grandes arcades, les arcs-boutants ne s'opposant qu'à la composante horizontale de l'action exercée par les voûtes.

306 "Si l'on cherche sur chaque lit de ces voussoirs le point de passage de la résultante des pressions qui s'y exercent, et que si l'on fait passer une ligne par tous ces points, on détermine une courbe nommée *courbe des pressions*" (*ibid.*, art. "construction", t. 4, pp. 62-63). Le terme "point de passage" pour "point d'application" est impropre.

307 "On se servait encore, au XVI^{e} siècle, d'une formule géométrique très-simple pour apprécier la force à donner aux culées" (*ibid.*, t. 4, p. 63). La formule est énoncé sur la même page.

308 F. Derand, *op. cit.* n. 28, p. 16 et figure p. 17.

309 Viollet-le-Duc, *op. cit.* n. 176, art. "construction", t. 4, p. 64. Le texte ne laisse aucune ambiguïté : "Soient AB la courbe de pression des voussoirs, BC la poussée". La figure 40bis (*ibid.,* p. 74) donne un dessin analogue.

310 *Ibid.*, t. 4, p. 64. Son emploi de l'expression "point de passage" au lieu de "point d'application" de la résultante dans la définition de l'épure de Méry[306], est significatif lui aussi.

somment de l'arc boutant vers la nef puisse rediriger la poussée de la voûte à l'opposé de sa direction initiale[311]. La notion de contrainte lui étant inconnue[312], la question difficile des relations entre celle-ci et les forces qui s'exercent sur une surface interne ou externe du matériau lui échappe.

Pour Viollet-le-Duc on ne peut parler de voûte que si "les lits des pierres" sont "normaux aux courbes"[313]. Les pendentifs des coupoles de Saint-Front de Périgueux, montés en encorbellement, ne sont pas de vrais pendentifs[314]. On sait cependant que les premières assises d'une voûte, jusqu'à un angle évalué à 30° par Rondelet[315], même en l'absence de mortier, tiendront en place comme un encorbellement, sans que reste de la voûte soit monté, et sans cintre. Cette grande importance donnée à l'appareil des voûtes paraît provenir de l'idée que la position des joints détermine la direction des forces dans la voûte[316]. Dans les voûtes de la nef de la cathédrale de Sens, "les rangs de moellons de ces remplissages sont posés parallèlement à la ligne M*g* des clefs, afin de reporter le poids de ces remplissages en entier sur les arcs-doubleaux et arcs ogives"[317].

Une des conséquences principales des détails de l'appareil vient du fait que les mouvements dans la voûte ont lieu pendant la prise du mortier, par tassement de celui-ci ou jeu dans les cintres[318], et que l'importance de ces tassements dépend fortement de l'appareil. Par exemple, le mur construit "au moyen de grandes pierres à l'extérieur et de pierres basses de banc ou de moellon à l'intérieur"[319] tend aussi à exercer une poussée vers l'intérieur parce que le nombre d'assises moindre est moins sujet à la compression. Les différences de tassement sont de nature à causer des

---

311 Viollet-le-Duc, *op. cit.* n. 176, art. "arc-boutant", t. 1, Fig. 69, p. 79, et l'explication page suivante. Au contraire, la façon dont est construit le sommier entre l'arc AB et la contre-courbe AC serait plutôt de nature à lui donner la rigidité nécessaire à ce que l'effort exercé par de l'arc-boutant puisse se répartir sur toute la hauteur CD. Cependant, il est possible que les désordres observés par Viollet-le-Duc soient quand même dus à la présence de ces courbes et contre-courbes, et de cette ornementation chargée, qui en cherchant à montrer la virtuosité du tailleur de pierre plus qu'à assurer la solidité du bâti, peuvent être de nature à le fragiliser.

312 Il faut dire qu'outre sa difficulté intrinsèque, cette notion de physique était assez récente. On peut en effet voir son origine dans un article de Lamé et Clapeyron de 1831 (G. Lamé, B. Clapeyron, "Mémoire sur l'équilibre intérieur des corps solides homogènes", *Journal für die reine und angewandte Mathematik* vol. 7, pp. 145-169, 237-252, et 381-413 (1831)).

313 Si les lits des pierres sont horizontaux, il faut parler d'encorbellement ; l'exemple donné est celui du trésor d'Atrée (Viollet-le-Duc, *op. cit.* n. 176, art. "ogive", t. 6, p. 421).

314 "Ainsi, par exemple, les pendentifs qui supportent les calottes de Saint-Front sont appareillés au moyen d'assises posées en encorbellement, dont les lits ne sont pas normaux à la courbe, mais sont horizontaux ; si ces pendentifs ne tombent pas en dedans, c'est qu'ils sont maintenus par les mortiers et adhèrent aux massifs devant lesquels ils moulent leur concavité" (*ibid.*, art. "construction", t. 4, p. 41), "mais ces pendentifs ne sont pas appareillés comme il convient : les lits des assises sont horizontaux, au lieu d'être normaux à leur courbe génératrice" (*ibid.*, art. "coupole", t. 4, p. 350).

315 *Cf.* ci-dessus et n. 100.

316 Ce pourrait être le cas dans l'hypothèse de voussoirs idéalement glissants, mais on sait que cette hypothèse n'est pas réaliste.

317 Viollet-le-Duc, *op. cit.* n. 176, art. "voûte", t. 9, p. 508. On retrouve la même idée dans sa description de l'appareil des voûtains du déambulatoire de Notre-Dame de Paris, les orientations assez variées des joints servant toujours à reporter le poids des voûtains sur les arcs (*ibid.*, pp. 512-513).

318 *Ibid.*, art. "voûte", t. 9, p. 470. Les maçonneries possèdent selon lui une certaine plasticité pendant leur mise en place et le séchage des mortier, et aucune élasticité ensuite.

319 *Ibid.*, art. "construction", t. 4, p. 229.

dommages à la maçonnerie, mais un choix judicieux de l'appareil permet de les contrôler, en particulier par l'indépendance des divers éléments[320]. Cependant certains raisonnements sophistiqués de Viollet-le-Duc sur cette question sont sujets à caution. Il a pu soutenir par exemple que la charge augmente quand le matériau est susceptible de se tasser, alors que, dans ce cas, la charge se reporte sur la partie plus rigide[321].

Viollet-le-Duc paraît donner beaucoup d'importance aux sciences exactes, loue tel architecte parce qu'il était mathématicien et présente la construction comme un problème de géométrie : "En architecture, le goût, le sentiment sont beaucoup ; mais pour les appuyer il faut nécessairement se servir du compas et de la géométrie"[322], mais il semble que pour lui, les sciences exactes se résument à des constructions à la règle et au compas. Dans l'article "ogive", Viollet-le-Duc s'intéresse aux proportions des arcs brisés, à partir de divers triangles[323]. On les retrouve dans divers édifices : la basilique de Vézelay, les cathédrales de Paris et de Reims[324]. Il disserte assez

320 "Si, dans ce système, on établit une solidarité complète entre ces points d'appui chargés et les remplissages, ceux-ci ne l'étant pas il faudra nécessairement qu'il y ait rupture. Mais si, au contraire, les constructeurs ont eu le soin de faire que tout ce qui porte charge conserve une fonction indépendante, puisse se mouvoir, tasser librement ; si les parties accessoires ne sont que des clôtures indépendantes des effets de pression ou de poussée, alors les ruptures ne peuvent se faire et les déliaisonnements sont favorables à la durée de la construction au lieu de lui être nuisibles" (Viollet-le-Duc, *op. cit.* n. 176, art. "construction", t. 4, p. 54).

321 Au sujet des contreforts du chœur de la cathédrale d'Amiens, Viollet-le-Duc écrit : "Toute la charge est ainsi reportée sur la pile I, d'abord parce que c'est sur cette pile que naissent les arcs des voûtes, puis parce que le contre-fort E, ainsi que la colonne H, étant composés de pierres en délit, le tassement et la charge, par conséquent, se produisent sur cette pile I" (*ibid.*, t. 4, p. 170). Il affirme donc que le fait que la pile I se tasse, et pas la colonne H, doit augmenter la charge de la pile I.

322 *Ibid.,* art. "ogive", t. 6, p. 444. Il ne faut cependant pas abuser : "L'homme qui a dirigé les constructions de l'église de Saint-Urbain de Troyes était certes beaucoup plus savant, meilleur mathématicien que ceux qui ont bâti les nefs de Chartres, de Reims ou d'Amiens, cependant ces derniers ont atteint le but et le premier l'a dépassé en voulant appliquer ses matériaux à des combinaisons géométriques qui sont en complet désaccord avec leur nature et leurs qualités ; en voulant donner à la pierre le rôle qui appartient au bois, en torturant la forme et l'art enfin, pour se donner la puérile satisfaction de les soumettre à la solution d'un problème de géométrie" (*ibid.*, art. "arc-boutant", t. 1, p. 77).

323 Les triangles utilisés par les "anciens" auraient été : "1º le triangle équilatéral ; 2º le triangle pris verticalement sur la diagonale d'une pyramide à base carrée, dont la section verticale, faite du sommet parallèlement à l'un des côtés de la base, est un triangle équilatéral ; 3º le triangle dont la base est quatre et la hauteur, prise perpendiculairement du milieu de cette base au sommet, est deux et demi" (*Ibid.,* art. "ogive", t. 6, p. 422). Les rapports de la hauteur à la base correspondants sont $\frac{\sqrt{3}}{3} \simeq 0{,}866$, $\frac{\sqrt{3}}{2\sqrt{2}} \simeq 0{,}612$, $\frac{5}{8} = 0{,}625$. En ce qui concerne le n° 3, la référence au *Traité d'Isis et d'Osiris* de Plutarque est erronée ; le seul triangle que celui-ci mentionne est le triangle rectangle de côtés 3, 4, et 5 (n° 56) (le seul triangle rectangle de côtés entiers).

324 Viollet-le-Duc donne une construction géométrique assez détaillée des voûtes hautes du porche de l'église abbatiale de Vézelay, basée sur un triangle dont le rapport de la hauteur à la base est $2{,}5/4$ (*op. cit.* n. 176, art. "ogive", t. 6, p. 429), puis une construction analogue des "hautes voûtes du chœur de la cathédrale de Paris" (*ibid.*, p. 432). Dans la cathédrale de Reims, les doubleaux sont tracés "sur un triangle équilatéral," et les ogives sur un "triangle dont la base est à la hauteur comme 13 est à 10" (*ibid.*, art. "ogive", t. 6, p. 437, et fig. 9, p. 438). (Il faut corriger le texte, "la coupole génératrice des

longuement sur le tiers-point de Villard de Honnecourt, sur le quint-point et la spirale qui l'accompagne, qu'il reproduit en les interprétant[325].

Par ailleurs, quand il explique que la voûte d'ogives permet de voûter un espace de forme quelconque, il n'en donne aucune autre justification qu'un moyen de dessiner les arcs. Il faut "disposer les arcs diagonaux ou ogives de telle façon que ces arcs se contre-buttent réciproquement à leur sommet"[326], mais il n'est question de de leur placement, ni de leurs propriétés mécaniques. Il semble que savoir faire le dessin, pour notre architecte, résolve entièrement le problème[327].

Un argument que Viollet-le-Duc avance pour justifier l'apparition de la voûte d'ogives apparaît à propos des voûtes d'arêtes sur plan barlong de la nef de la basilique de Vézelay : "Il a fallu tâtonner et chercher des formes d'ellipsoïdes qui ne sauraient être tracées géométriquement"[328]. Il s'agit d'un problème de construction géométrique. C'est l'existence d'une telle méthode de tracé qui caractérise la forme acceptable. Il est vraisemblable que les constructeurs du XII^{e} siècle ont pu avoir une attitude analogue. En employant le terme "ellipsoïde" pour désigner des surfaces qui n'en sont pas à proprement parler[329], l'architecte réduit les surfaces possibles à celles dont il connaît une construction géométrique. On peut raisonnablement conjecturer que les constructeurs du XII^{e} siècle ont fait de même, cependant leurs connaissances en géométrie étaient moins étendues, et l'ellipsoïde n'en faisait pas partie, et c'est en termes de cercles, de sphères et de cylindres qu'il ont décrit les courbes et les surfaces qui apparaissent dans leurs constructions.

En dehors de ces questions de tracé, Viollet-le-Duc donne en fait fort peu d'éléments

---

arcs ogives" est tracée sur un "triangle dont la base est à la hauteur comme 13 est à 10" et non "sur un "triangle équilatéral", en conformité avec la suite du texte et la fig. 9).

325 Viollet-le-Duc, *op. cit.* n. 176, art. "ogive", t. 6, p. 439-444 . La fig. 10, p. 439 est le n° 41h, fol. 21r, du *Carnet* de Villard de Honnecourt (BNF, Manuscrit, Fonds français, 19093), les figs. 11, p. 440, et 12, p. 442 montrent l'interprétation que Viollet-le-Duc donne des n^{os} 40e et 40f, fol 20v.

326 Viollet-le-Duc, *op. cit.* n. 176, art. "construction", t. 4, p. 97.

327 On peut multiplier les exemples : dans l'article "construction" du *Dictionnaire*, Viollet-le-Duc explique comment "obtenir la trace des sommiers sur les chapiteaux, car ce sera la trace de ces sommiers qui donnera la forme et dimension des tailloirs et chapiteaux, le nombre, la force et la place des supports verticaux". Il ne donne qu'un procédé pour tracer leur plan (*ibid.*, t. 4, pp. 45-47). De même, dans sa longue description des premières voûtes d'ogives sur plan barlong tracées avec un même rayon pour les ogives et les doubleaux, Viollet-le-Duc est principalement intéressé par la géométrie. Il donne le détail de la construction géométrique des ogives et doubleaux, puis des sommiers de ces arcs (*ibid.*, t. 4, pp. 89-92), mais sans justifier ses observations du point de vue archéologique, ni les discuter du point de vue mécanique. Dans l'article "ogive", il montre comment une abside gothique se déduit d'un cul-de-four, en conservant la partie de celui-ci qui coïncide avec les nervures, et en remplaçant les secteurs de sphère restants par des voûtains bombés (*ibid.*, art. "ogive", t. 6, pp. 434-437, Fig. 7, p. 435). Malgré l'intérêt de ce point de vue, il ne s'agit que de dessin, la mécanique de la voûte n'est pas considérée.

328 *Ibid.*, art "travée", t. 9, pp. 247-248.

329 Frézier (*op. cit.* n. 22, t. 2, p. 423) donne une définition de l'ellipsoïde, et en explique le tracé (*ibid.,* p. 429 *sq.*). Sa définition coïncide avec la terminologie actuelle (du moins celle de la p. 429, celle donnée p. 423 est plus exactement ce qu'on appelle "ellipsoïde de révolution" aujourd'hui). Par ailleurs, il est possible de former une voûte d'arêtes sur plan barlong par l'intersection de deux cylindres de section elliptique, mais ce n'est pas la solution utilisée à Vézelay : ce sont des arcs en plein cintre, dont les diamètres sont à des hauteurs différentes. Le même termes est utilisé ailleurs dans le *Dictionnaire* : "Le résultat de ces tâtonnements fut que les voûtes d'arêtes n'étaient plus des pénétrations de cylindres ou de cônes, mais d'ellipsoïdes." (Viollet-le-Duc, *op. cit.* n. 176, art. "construction", t. 4, pp. 18-19)

techniques. Il décrit cependant la construction d'un voûtain : le bas se monte "comme un mur", plus haut on utilise la "cerce", gabarit courbe de longueur réglable[330]. Selon l'Encyclopédie de Diderot et d'Alembert, la "Cerce" ou "Cherche" désigne une sorte de gabarit, mais qui ne semble pas articulé. La "cherche r'alongée" est tout autre chose. On a toutes les raisons de croire que le dispositif décrit par Viollet-le-Duc est une invention à lui[331]. Il l'a fait utiliser avec succès par ses maçons[332], preuve s'il en était besoin de sa connaissance du métier, et de ses capacité d'innovation. Mais on voit encore à l'œuvre une tendance à projeter dans le passé une technique contemporaine.

4.D. D'autres architectes

En résumé, la logique de Viollet-le-Duc est un cheminement qui amène à dessiner des formes, bien éloigné d'une approche scientifique fondée sur la mécanique et les propriétés de la matière. On aurait tort de se laisser abuser dans ce sens par certaines de ses expressions. Doit on imaginer que les constructeurs médiévaux suivaient un cheminement analogue, parce qu'il avaient de façon comparable une formation fondée sur la "géométrie", c'est-à-dire plus proprement le dessin aux instruments ? Nous avons avons relevé quelques faiblesses scientifiques dans le *Dictionnaire*, d'autres l'avaient déjà fait, et il faut citer ici Pol Abraham, qui attaque la doctrine de Viollet-le-Duc dès 1934[333].

Les thèses de Viollet-le-Duc ont fait couler beaucoup d'encre, et nous ne saurions passer en revue l'ensemble de ses contradicteurs et de ses adeptes. Par ailleurs, il est loin d'être le seul architecte à avoir écrit sur l'art médiéval au XIX^{e} siècle. En France, Henri Révoil[334] est l'auteur d'un ouvrage fort épais consacré à l'architecture romane de la Provence et du Bas-Languedoc[335]. Il s'agit d'une suite de monographies assez brèves décrivant les monuments, principalement religieux. Ces notices, quoique remarquablement illustrées et soigneusement documentées, se limitent souvent à une description rapide du monument. Édouard Corroyer[336], en revanche, prétend embrasser tout l'art de l'Europe médiévale, et propose sa propre théorie sur l'évolution de celui-ci. Il voit, à la suite

---

330 Viollet-le-Duc, *op. cit.* n. 176, art. "construction", t. 4, pp. 105-107, et fig. 58, p. 106.

331 "La cerce extensible est une invention de Viollet-le-Duc et ne semble jamais avoir été employée au Moyen-Âge" (Yoshio Abé, "Viollet-le-Duc et le Japon", dans *Actes du colloque... op. cit.* n. 5, pp. 13-19, plus particulièrement p. 16).

332 "Nous n'avons jamais éprouvé de difficulté à faire adopter cette méthode dans la pratique" (Viollet-le-Duc, *op. cit.* n. 176, art. "construction", t. 4, p. 108).

333 Pol Abraham (1891-1966). *Viollet-le-Duc et le rationalisme médiéval*,..(Paris, Vincent, Fréal, 1934).

334 Henry Révoil (1822-1900) fut architecte diocésain dans le sud-est de la France (diocèses d'Aix, Montpellier et Fréjus en 1852, de Nîmes en 1870, de Marseille en 1874). On lui doit un grand nombre de restaurations et de constructions nouvelles dans cette aire géographique (http://elec.enc.sorbonne.fr/architectes/431).

335 Henry Révoil, *Architecture romane du midi de la France, dessinée, mesurée et décrite par Henry Révoil* (Paris, V^{ve} A. Morel et C^{ie}, 1873), 3 volumes.

336 L'architecte Édouard Corroyer (1835-1904) est principalement connu pour avoir été responsable de la restauration du Mont-Saint-Michel de 1874 à 1888, date à laquelle il fut démis de ses fonctions pour des raisons de politique locale. Il est l'auteur de plusieurs écrits sur le Mont-Saint-Michel, et d'un ouvrage de synthèse en deux parties, *L'Architecture romane* (Paris, Quantin, 1888) et *L'Architecture gothique* (*ibid.*, 1891). *Cf.* les notices biographiques http://www.inha.fr/fr/ressources/publications/publications-numeriques/dictionnaire-critique-des-historiens-de-l-art/corroyer-edouard.html, http://elec.enc.sorbonne.fr/architectes/140.

de Viollet-le-Duc, l'origine des structures voûtées utilisées par les architectes médiévaux dans les édifices de l'antiquité tardive de Syrie, citant longuement les travaux de Melchior de Vogüé (*cf.* n. 213), puis dans l'art de Byzance. Il présente Saint-Front de Périgueux comme un édifice-clef : "C'est le berceau de l'architecture nationale, car dans sa forme symbolique, la coupole de Saint-Front est l'œuf d'où est sorti un système architectonique qui a causé une révolution des plus fécondes dans le domaine de l'art"[337].

En effet, pour lui, c'est de la coupole à pendentifs appareillés qu'est issue la croisée d'ogives : "Les pendentifs des coupoles de Saint-Front, appareillés normalement à la courbe en passant du plan carré de la naissance des arcs au plan circulaire couronnant leurs clefs, sont les embryons de l'*arc ogif* ou *croisée d'ogives*"[338]. Cette édifice est construit sur le modèle d'une église byzantine, sans doute celle des Saints-Apôtres à Constantinople, mais sa construction, par l'usage judicieux de l'appareil, en fait la source d'un art nouveau : "Ce n'est plus une agglomération de matériaux disposés dans des mortiers [...] formant une sorte de concrétion moulée sur des cintres" mais "au contraire, une savante composition dont chaque partie a sa place marquée d'avance par un appareil normal à chaque membre d'architecture et dans laquelle les arcs, conservant leur force élastique, forment, par leur jonction combinée sur des points déterminés, un ensemble d'une solidité et d'une stabilité parfaites"[339]. Corroyer reprend ainsi la notion d'élasticité chère à Viollet-le-duc, et attache lui aussi une grande importance à l'appareil. Un détail cependant est fort fâcheux pour sa théorie, c'est que les pendentifs de Saint-Front étaient bâtis en tas de charge, et n'ont reçu leur appareil normal à l'intrados que vers 1860, lorsque Abadie les reconsrtuisit. L'appareil en tas de charge de Saint-Front était connu, entre autres par le *Dictionnaire* de Viollet-le-Duc[340], et on peut douter de la bonne foi de Corroyer quand il l'oublie[341].

Les différences entre les deux doctrines apparaissent principalement dans le processus d'évolution. Pour Corroyer, après la coupole à pendentifs de type "byzantin", dans laquelle le plan diamétral de la coupole repose sur le sommet des pendentifs, vient la coupole à pendentifs non distincts (c'est-à-dire dans laquelle pendentifs et coupoles font partie d'une même sphère). C'est la coupole de croisée de l'abbatiale de Fontevrault qui retient son attention : "Ce n'est plus une coupole proprement dite ; c'est une voûte sphérique coupée par les quatre doubleaux des arcs de la croisée ; c'est, en un mot, une voûte annulaire dont les poussées sont moins énergiques que la coupole, en raison de sa moins grande pesanteur"[342]. L'étape suivante est marquée en particulier par la "voûte d'arête sans nervure" de la nef de la cathédrale de Spire dont "les arêtes diagonales [...] forment un plein cintre" ce qui "donne à la voûte l'aspect d'une partie de coupole"[343]. Les nervures, et même la voûte sexpartite, apparaîtraient ensuite dans les églises angevines[344].

---

337 É. Corroyer, *L'Architecture romane*[336], p. 262.

338 *Ibid*., p. 262., *cf.* aussi : "les fonctions de pendentifs, appareillés normalement, et celles des croisées d'ogives, appareillées de même, sont identiques, puisque dans tous les cas elles reportent, avec les arcs-doubleaux, leurs poussées et les charges des remplissages des voûtes sur les piles" (*ibid*., p. 264).

339 É. Corroyer, *L'Architecture romane*[336], p. 261.

340 Viollet-le-Duc, *op. cit.* n. 176, art. "coupole", t. 4, p. 352 et Fig. 6, p. 353.

341 *Cf.* Marie Gloc, "Édouard-Jules Corroyer (1835-1904) : la construction romane, moment décisif dans l'histoire de l'architecture médiévale", *Livraisons d'histoire de l'architecture*, n° 9, pp. 99-111 (2005).

342 É. Corroyer, *L'Architecture romane*[336], p. 287.

343 *Ibid.*, pp. 299-301.

344 "Les premières applications du système de construction des voûtes sur croisée d'ogives apparaissent dans les grandes églises d'Angers et de Laval" (É. Corroyer, *L'Architecture gothique*[336], p. 26). Il s'agit

Enfin apparaît l'arc boutant, à l'abbaye-aux-Dames de Caen, Corroyer est en accord sur ce point avec Viollet-le-Duc. Mais l'arc-boutant n'est pas pour lui un élément aussi essentiel que pour son prédécesseur[345], et il fait une bonne place aux constructeurs qui ont préféré se passer de cette technique, notamment ceux du Langedoc : "La cathédrale de Sainte-Cécile à Albi est le monument type des grandes églises à une seule nef"[346]. Donner aux édifices "une nef unique, large et haute, dont les voûtes, également sur croisées d'ogives, étaient maintenues par des contreforts puissants construits en dedans du vaisseau" est un "système de construction, d'un grande sagesse, parce qu'il est d'une solidité parfaite [...] et il semble être une protestation contre les miracles d'équilibre si fort en faveur alors dans les pays du Nord"[347]. On comprend que ces lignes aient pu paraître iconoclastes à ceux qui, comme Viollet-le-Duc, promouvaient activement ces "miracles d'équilibre". En effet, si certains ont apprécié cette théorie, qui répondait sans doute à un besoin, d'autres l'ont violemment contestée, allant jusqu'à la qualifier d'"antipatriotique"[348]

Malgré une certain nombre d'erreurs[349] et une systématisation abusive, cette thèse ingénieuse n'est pas dénuée de mérites, au moins parce que, étant beaucoup moins centrée sur les grandes cathédrales gothiques du domaine royal que celle de Viollet-le-Duc, elle laisse davantage de place à d'autres formes de l'architecture médiévale, comme celles développées dans la vallée du Rhin, en Anjou, ou en Languedoc.

D'autre part, ce schéma d'évolution n'est pas autant dépourvu de pertinence que ses détracteurs ont pu le prétendre, et s'il rend moins bien compte de l'art des "grandes cathédrales" que celui proposé par Viollet-le-Duc, il reste relativement convaincant quand il s'agit d'interpréter les formes développées à Spire ou à Angers. Il est toujours intéressant de mettre en évidence un mécanisme, et illusoire de prétendre que celui-ci expliquera la totalité des faits.

Auguste Choisy, quoique faisant partie des détracteurs de Corroyer, dans la partie de son Histoire de l'architecture consacrée à la période médiévale, tient compte de son ouvrage, et consacre un minimum de place aux édifices auxquels celui-ci accorde le l'importance, comme les cathédrales d'Angers et de Laval[350]. On peut encore penser que c'est à Corroyer qu'il a pris l'idée

principalement des nefs des cathédrales de ces deux villes, alors que la voûte sexpartite apparaîtrait à la Trinité d'Angers ; Corroyer souligne "l'importance du perfectionnement réalisé à la Sainte-Trinité d'Angers ; car il faut en constater l'application dans les églises ou cathédrales de Noyon, de Laon, de Notre-Dame de Paris, de Sens et de Bourges" (É. Corroyer, *L'Architecture gothique*[336], pp. 37-38).

345 "La croisée d'ogives étant le caractère essentiel de l'architecture dite gothique et l'arc-boutant l'une de ses manifestations les plus intéressantes" (*ibid.*, p. 12).

346 *Ibid.*, p. 104. Cette appréciation est accompagné d'un plan, d'une coupe, de deux autres dessins, et d'un texte fort laudatif.

347 *Ibid.*, p. 10.

348 *Cf.* la notice de Marie Gloc sur le site de l'INHA[336].

349 Outre le cas de Saint-Front de Périgueux cité plus haut, Corroyer a, dans l'ensemble, tendance à prendre certaines modifications tardives pour des dispositions primitives ; par exemple, il croit que les voûtes de Saint-Avit Sénieur sont de la fin du XI^e^ siècle (*L'Architecture romane*[336], p. 275), et il pense que les arcs en brique du cloître de Moissac sont contemporaines de la colonnade de pierre (*ibid.*, pp. 198-199). Par contre il attribue la nef de Saint-Sernin de Toulouse au XV^e^ siècle (*ibid.*, p. 238).

350 Auguste Choisy (1841-1909), *Histoire de l'architecture* (Paris, Gauthier-Villars, 1899). Il présente ces deux édifices comme "les plus remarquables monuments" de l'architecture angevine (t. II, p. 506), mais ne semble avoir observé lui-même la cathédrale de Laval, car quoiqu'il en dise (*ibid.,* p. 277), les voûtes de la nef de celle-ci ne présentent pas de liernes. De plus, on voit mal comment il aurait pu observer

que Saint-Front de Périgueux est la source de tous les édifices à nef unique, ainsi que de leur caractère byzantin ou vénitien[351]. Les voûtes d'arêtes fortement bombées, dont les arêtes forment des demi-cercles et non des arcs d'ellipse, que Choisy attribue à une "école clunisienne" avant même la région rhénane[352], et qu'il présente comme la forme la plus courante de voûte d'arêtes romane, pourraient bien elles aussi provenir de Corroyer.

Cependant Choisy est loin de se contenter de recopier Viollet-le-Duc et de réfuter Corroyer. Il sait proposer des explications simples qui rendent compte de l'apparition de certaines formes, sans recourir de façon systématique à une doctrine du voûtement. Par exemple, il justifie ainsi la petite taille des fenêtres romanes : "Leur disposition se subordonnait à cette absence de vitrage : pour empêcher le froid de pénétrer, il fallait réduire les ouvertures ; il fallait placer les appuis aussi haut que possible, afin de rendre inoffensifs les courants d'air"[353]. Il développe plusieurs points de vue sur les voûtes en berceau. Notamment, que "les berceaux romans diffèrent des berceaux byzantins par cette circonstance capitale, qu'ils sont exécutés sur un cintrage". De plus, ils "ne sont jamais disposés par tranches verticales". L'usage des arcs doubleaux est une conséquence du cintrage, leur fonction est en effet de rendre les cintres rigides[354]. Par ailleurs, certaines voûtes d'arêtes sont conçues comme des berceaux à pénétrations. Cela est particulièrement clair quand le plan de la travée est très éloigné d'un carré ; quand il en est plus proche, cela peut expliquer la forme prise par les pénétrations qui s'inclinent de façon à se prolonger jusqu'à la clef du berceau[355]. Nous avons des exemples de voûtes en berceau à pénétrations en Anjou, à Blou, à Cunault, à Brion par exemple[356]. Cependant, quand Choisy aborde la question de l'art angevin, certaines de ses affirmations sont contestables. Il semble que, sans doute faute d'une observation personnelle, il tende à confondre la voûte angevine à nervures du type de celles du chœur de Saint-Serge avec la voûte à liernes et tiercerons qui apparaît un peu plus tardivement dans le gothique "français"[357]. Il présente en effet

---

leur appareil alors qu'elles apparaissent enduites sur les photos de Mieusement conservées à la Médiathèque de l'architecture et du patrimoine (n° MH0013842, 1878, et n° MH0005309, 1877), et le sont encore aujourd'hui. Ce n'est donc pas pour faire état de ses propres observations mais bien pour rendre compte de l'ouvrage de son prédécesseur qu'il mentionne cet édifice.

351 "Nef unique [...] L'architecture angevine, profitant des traditions byzantines qu'elle tenait du Périgord, fut au 12e siècle la seule qui adoptât ce parti simple et large" (A. Choisy, *op. cit* n. 350, p. 466). "L'architecture angevine n'est réellement gothique que par les détails ; dans ses partis généraux, elle est byzantine" (*ibid*., p. 505). Si Choisy reprend de Corroyer la filiation par Saint-Front du gothique angevin, il ne reprend pas, par contre, la haute idée que ce dernier ce fait de l'originalité de cet art.

352 *Ibid.*, pp. 152-154.

353 *Ibid.*, p. 176.

354 *Ibid.*, p. 150-151.

355 *Ibid.*, p. 154, et Fig. 9. L'auteur qualifie ce type de voûte de "voûte d'arêtes normande".

356 Il s'agit dans les trois cas de la voûte du chœur, et les pénétrations sont moins importantes que dans la situation précise présentée par Choisy, mais le principe est le même. Pour Blou, *cf.* Jacques Mallet, *L'art roman de l'ancien Anjou* (Paris, Picard, 1984), p. 197 et Fig. 203 ; pour Cunault, *cf.* Fig. 24, et pour Brion, *cf.* ci-après, section 2. 1 et Fig. 34 de la 2e partie.

357 Il s'agit de la Fig. 10A, p. 278 de l'*op. cit.* n. 350, Choisy écrit, au sujet de la "voûte angevine", que "la façon dont elle s'appareille va nous fournir l'explication des nerfs multiples qui la divisent" (*ibid*., p. 276). La Fig. 8, p. 276, de l'*Histoire de l'Architecture* (t. II) présente, selon lui, l'appareil de la voûte angevine, qui "va nous fournir l'explication des nerfs multiples qui la divisent". Elle montre les assises tendant à l'horizontale. Cependant, dans les voûtes angevines, les assises sont ordinairement sont parallèles à la ligne de faîte, et s'inclinent par conséquent souvent le long de la ligne de plus grand

une voûte de ce dernier type, en affirmant que “le réseau est presque angevin”, alors qu’il n’a guère de rapport avec les voûtes angevines. Il apprécie fort justement le caractère décoratif des ces voûtes : “À ce moment, les nervures sont considérées comme ornements : elles se ramifient, sans qu’il faille chercher à ces complications d’autre raison qu’une fantaisie décorative. C’est aux écoles de la région parisienne qu’appartient le principe de la voûte gothique : seules elles gardent dans l’application une irréprochable logique”[358]. Choisy affirme ici en même temps la supériorité de l’art du domaine royal et le point de vue rationaliste.

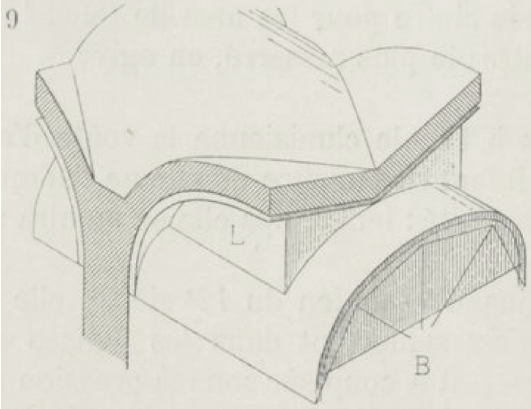


Figure 23 : Cintrage d’une voûte en berceau à pénétrations, selon Auguste Choisy[355].

Figure 24: Église priorale de Cunault : la voûte en berceau à pénétrations du chœur.

Hors de France, il me semble important de mentionner l’ouvrage de l’architecte allemand Ungewitter[359], qui publia un “manuel de construction gothique”[360] vers 1860. L’ouvrage est un recueil de formes existantes, et de méthodes de construction, et paraît vouloir fournir à l’architecte toutes les connaissances formelles et techniques utiles à l’édification d’un bâtiment néogothique.

Les conditions de stabilité mécanique de l’édifice sont étudiées dans le livre. L’auteur présente l’épure de Méry, d’un point de vue très pratique : il en explique la construction, sans justification. L’ouvrage apparaît clairement comme destiné au praticien. Les conséquences mécaniques que l’on peut tirer de cette constructions sont exposées, avec la dislocation d’un arc ou d’une voûte en 4 ou 6 morceaux. L’épure de Méry est appliquée plus loin à l’étude du comportement mécanique des arcs-boutants[361].

L’auteur examine la poussée des voûtains et l’équilibre des forces sur les nervures. Des conditions d’équilibre, telles que l’annulation de la somme des moments des forces, sont utilisées

pente. C’est le cas par exemple à Saint-Maurice d’Angers, c’est aussi le cas du faux appareil de Pontigné. La Fig. 9B, p. 277, qui montre un angle du chœur de Saint-Serge présente elle aussi des erreurs : l’ogive (par laquelle passe le plan de section) est en plein cintre sur le dessin, alors qu’elle est en fait brisée. La deuxième ogive, celle qui passe par l’angle du chœur, présente un angle marqué, à la clef de l’arc diagonal secondaire : cet angle n’apparaît pas sur le dessin. Choisy, n’ayant vraisemblablement pas eu le loisir de venir observer l’édifice par lui-même, n’a pas compris que les deux ogives ont des profils très différents l’un de l’autre, et que par conséquent, les clefs des trois arcs diagonaux secondaires ne sont pas toutes au même niveau.

358 A. Choisy, *op. cit.* n. 350, p. 277-278.

359 Georg Gottlob Ungewitter (1820-1864), *cf.* https://en.wikipedia.org/wiki/Georg_Gottlob_Ungewitter.

360 Georg Gottlob Ungewitter, *Lehrbuch der Gotischen Constructionen* (Weigel, Leipzig, 1859-1864). J’utiliserai la 4e édition revue par K. Mohrmann (Tauchnitz, Leipzig, 1901 - t. 1 -, 1903 - t 2 -).

361 *Ibid.*, t. 1, p. 53 *sq.*, et p. 164.

pour établir la stabilité d'un contrefort[362]. Des tables précisent les dimensions à attribuer aux divers membres de l'architecture, ou des données physiques permettant de déterminer celles-ci, par exemple la poussée et le poids de diverses voûtes, ou la hauteur que l'on peut donner à un montant de fenêtre sans risquer de flambage, suivant le matériau et la section de ce montant[363]. L'effet de la poussée des vents n'est pas négligé, et traité à l'aide de courbes de pression[364]. L'auteur étudie les problèmes constructifs liés à l'appareil ; il pose le problème de la résistance des sommiers[365], mais les solutions qu'il y apporte ne sont pas nécessairement médiévales. L'appareil des voûtains est décrit, mais l'auteur ne croit pas qu'il ait un effet sur la mécanique[366].

L'ouvrage a sans doute une certaine prétention à l'exhaustivité, il est en tout cas assez complet. On y rencontre une section sur les proportions, où on trouve la "quadrature" et le nombre d'or[367], avec de nombreuses autres séries. L'éventail des formes considérés est grand, avec des voûtes d'ogives d'Allemagne du nord dont les voûtains en coupole ont leur sommet hors de la clef des ogives, et les églises halles[368].

L'ouvrage est donc considérable, mais s'il est une source incontournable sur l'art néogothique et contient sans doute des informations précieuses sur l'art médiéval spécialement en Allemagne, sa contribution à la théorie des voûtes semble suffisamment peu originale pour que l'on puisse s'en tenir là.

5. La science contemporaine appliquée à l'analyse des monuments

5.A. Robert Mark et la photoélasticimétrie

Dans les années 1960, l'ingénieur Robert Mark[369], réalisa plusieurs études de la mécanique des voûtes de grandes cathédrales gothiques de France. Sa première étude en 1967 portait sur la cathédrale de Chartres[370]. Il s'agit d'une étude de la répartition des contraintes dans les piliers de la nef, qui utilise la photoélasticimétrie dans un modèle en plastique à l'échelle 1/120 d'un pilier. Quoique le détail de la procédure utilisée pour rapporter les charges à l'échelle du modèle ne soit pas donnée dans l'article, c'est une méthode qui était bien établie à l'époque, et on a toutes les raisons de penser que l'auteur a respecté les règles de l'art. Une première limitation majeure du modèle est qu'il est à deux dimensions seulement. Les charges appliquées sont le poids de la voûte,

362 G.G. Ungewitter, *op. cit*. n. 360, t. 1, p. 59 *sq.*, pl. XVII, et p. 141.

363 *Ibid.*, t. 1, p. 139, et t. 2, p. 504.

364 *Ibid.*, t. 1, p 167 *sq.,* section "Dachlast und Winddruck", et la fig. 411, pl. XLII, qui présente des courbes des pressions avec et sans vent dans une coupe de la cathédrale de Strasbourg.

365 *Ibid.*, t. 1, p. 87 *sq.*

366 L'appareil reste cependant d'une grande importance pour la mise en œuvre. "Dürfen wir annehmen, dass die Schichtenanordnung für die Druckübertragung meist ohne Einfluss bleibt, so ist sie desto wichtiger für die Bequemlichkeit der Ausführung" (*ibid.*, t. 1, p. 110).

367 *Ibid.*, t. 1, pp. 329 et 328.

368 *Ibid.*. On rencontre les premières dans le t.1, p. 111 par exemple ; les églises-halles sont traitées dans le t. 2, y compris l'évaluation de leur poussée (t. 2, p. 380).

369 Robert Mark est présenté comme "Professor of Architecture and Civil Engineering at Princeton University" sur la 4e de couverture de son ouvrage *Light, Wind and Structure: the Mystery of Master Builders* (MIT Press, Cambridge, Massachusetts, 1994).

370 Thomas M. Rauch Jr. et Robert Mark, "Model study of buttressing the piers in Chartres cathedral", *Gesta*, vol. 6, pp. 21-24 (1967).

représentée par sa projection dans le plan de la coupe transversale de la nef, réparti sur trois points, et l'effort exercé par l'arc-boutants double, décrits par des charges horizontales appliquées en deux points à l'aide de poids reliés au modèle par des fils. Les auteurs mesurent la charge appliquée pour laquelle la plus grande contrainte dans le matériau est verticale.

Le fait de remplacer les forces en volumes auxquelles est soumise la maçonnerie réelle par des charges extérieures appliquées localement est le point le plus contestable de cette modélisation. La voûte n'exerce plus à proprement parler de poussée, mais exerce un moment de flexion sur le pilier, ce qui est assez différent. L'étude prouve que ces efforts peut être compensés de façon à se que le pilier se trouve soumis à une pure compression verticale, mais la question de savoir si les arcs-boutants existants exercent effectivement la force requise n'est pas vraiment considérée.

La même approche est utilisée pour étudier le rôle des arcs-boutants à Amiens[371], Paris[372], Bourges[373]. Les modèles utilisés pour l'analyse par photoélasticimétrie sont des coupes des vaisseaux. Celui de la cathédrale d'Amiens, à l'échelle 1:108, mesure 15 pouces (38 cm) de haut, et 3/8 pouces (9,5 mm) d'épaisseur. Seules les charges sur les voûtes et arcs-boutants sont pris en compte, localisées en 4 points sur la voûte du bas-côté, 2 points sur chaque arc-boutant, 3 points sur la demi-voûte de la nef.

Des tensions sont observées en certains points des modèles. L'observation des édifices fait apparaître des traces de réfections au voisinage de ces points, qui confirment les résultats obtenus par photoélasticimétrie. Il y a cependant bien d'autres réparations dans les édifices, et d'autres causes pourraient être envisagées pour celles-ci, ce qui rend cette confirmation quelque peu fragile. En particulier à Amiens, une tension qui apparaît dans le haut du contrefort est compensée par le poids du pinacle, ce qui prouve que celui-ci est bien placé, et que Viollet-le-Duc avait raison[374]. À Bourges, on voit apparaître une tension au niveau du passage qui surmonte le mur du bas coté intérieur[375]. Dans les deux cas cependant, les détails de la structure où ces tensions sont observés sont assez petits. Les points où s'appliquent les charges localisées qui représentent le poids de la maçonnerie sont en revanche assez espacés, la distance qui les sépare est plus grande que la dimension de ces détails.

D'autres études concernant la cathédrale d'Amiens, l'abbatiale Saint-Ouen de Rouen[376], et la cathédrale de Chartres[377], mettent en évidence une fonction des arcs-boutants, et plus particulièrement de leur volée supérieure : contrebuter le vaisseau contre les effets du vent. En fait, la partie décisive de la justification n'est pas la modélisation et les mesures par photoélasticimétrie, mais l'évaluation des charges dues au vent. Il est en effet à peu près évident, sans modélisation ni aucun calcul, que dès lors que les forces exercées par le vent ont une grandeur comparable à la

371 Robert Mark et Richard Alan Prentke, "Model analysis of Gothic structure", *Journal of the Society of Architectural Historians*, vol. 27, n° 1, pp. 44-48 (1968).

372 William W. Clark et Robert Mark, "The first flying buttresses: A new reconstruction of the nave of Notre-Dame de Paris", *The Art Bulletin*, vol. 66, n° 1, pp. 47-65 (1984).

373 Robert Mark, *Experiments in Gothic structure* (MIT Press, Cambridge, Massachusetts, 1982), pp. 41-47.

374 R. Mark, art. cit. n. 371, et *Experiments..., op. cit.* n. 373, p. 52 *sq.*

375 *Ibid.*, pp. 45-47.

376 Robert Mark et Ronald S. Jonash, "Wind loading on Gothic structure", *Journal of the Society of Architectural Historians*, vol. 29, n° 3, pp. 222-230 (1970).

377 Alan Borg et Robert Mark, "Chartres cathedral: a reinterpretation of its structure", *The Art Bulletin*, vol. 55, n° 3, pp. 367-372 (1973).

poussée de la voûte, elles occasionnent des efforts de même nature dans la maçonnerie.

Pour évaluer l'effet du vent, R. Mark utilise les procédés mis au point, dans la construction contemporaine, pour des bâtiments de grande taille[378]. Il suit ici le point de vue exprimé par Lamé et Clapeyron, exagérer l'influence des causes de destruction[379] : les vents que l'on considère sont les plus violents, supposé agir "in their most critical direction", enfin tout ce qui pourrait diminuer la charge, comme le fait que les vents dominants viennent de l'ouest, que l'abbatiale de Saint-Ouen est abritée par les hauteurs qui dominent la ville, ou le profil spécifique des édifices considérés, est écarté dès que l'on ignore son ampleur exacte. Cette attitude dictée par la prudence est très judicieuse lorsqu'il s'agit de construire un bâtiment, mais majore intentionnellement les effets. Cela reste-t-il adéquat quand il s'agit comme ici d'analyser le fonctionnement effectif de la construction ? Cependant, l'analyse du modèle de la cathédrale de Chartres[380] montre que des tensions apparaissent dans les contreforts pour des vents de 70 km/h sans les arcs-boutants supérieurs, et de 90 km/h avec ceux-ci. Les valeurs sont vraisemblables : avec les arcs-boutants, des tensions n'apparaissent qu'en cas de tempête.

Avant de poursuivre ma discussion des travaux de R. Mark, il me paraît opportun de mentionner une autre étude de l'effet des vents sur les superstructures d'une grande cathédrale gothique, due à A. Coste et ses collaborateurs[381] : le vent peut exciter des oscillations de certaines structures, comme les contreforts médians des arcs-boutants à double volée de la cathédrale de Beauvais. L'analyse, par une résolution numérique des équations de l'élasticité, de ces oscillations et les observations archéologiques ont montré que celles-ci peuvent dans certains cas entraîner des dégâts importants. Des tirants de fer existant entre les contreforts ont été déposés, du côté nord de l'édifice, à partir de 1967 : leur fonction semble bien avoir été de réduire l'amplitude des oscillations, et le fait de les avoir déposés pourrait être responsable d'une partie des désordres observés dans l'édifice.

5.B. Robert Mark et le "modèle gothique"

L'article qui analyse les arcs-boutants de la cathédrale de Chartres[377] se termine par une discussion sur le rôle de ceux-ci et la maîtrise de l'architecte : "Whether or not they actually fulfill these functions is immaterial, since they reveal that the architect was thinking in a conservative way". La construction est romane et conservatrice. Quoique R. Mark souligne le rôle de l'esthétique dans le développement du système des arcs-boutants, l'évolution vers un gothique idéal semble être pour lui la question primordiale ; il rejoint en cela l'optique de Viollet-le-Duc. Les architectes sont timides ou audacieux, la cathédrale de Beauvais est une folie[382].

---

378 R. Mark s'en explique assez clairement dans son ouvrage *Light, wind ...*, *op. cit.* n. 369, p. 29.

379 *Cf.* ci-dessus et n. 169.

380 R. Mark, *Experiments..., op. cit.* n. 373, p. 40.

381 Anne Coste, *L'architecture gothique, lectures et interprétations d'un modèle* (Publications de l'Université de Saint-Étienne, 1997), pp. 200-218.

382 "Had the designers of northern France followed the trail blazed by Bourges, the folly of Beauvais would have been avoided" (James H. Acland, *Medieval Structure: The Gothic Vault*, Toronto: University of Toronto Press, 1972, p 103, cité par Robert Mark dans son analyse de l'ouvrage, *Journal of the Society of Architectural Historians*, vol. 32, n° 4, 1973, pp. 334-335). Quoique critiquant violemment Ackland, Mark partage avec lui ces *a priori* : "the choir of Bourges is the most daring structure of the entire age and that the second master, in charge of the building of the nave, was too timid even to follow the original design" (R. Mark, art. cit.).

Dans son analyse du contrebutement des voûtes de la cathédrale de Beauvais[383], R. Mark s'oppose directement à la doctrine de Viollet-le-Duc. Quand il discute les théories existantes au sujet de l'effondrement des voûtes de cet édifice, il remet particulièrement en cause celle de l'architecte du XIX^{e} siècle, qui est fondée sur des subtilités d'appareil. Elle fait intervenir des colonnettes formant les angles extérieurs des contreforts, sous le départ des arcs boutants. Ces colonnettes, trop minces pour supporter la charge, auraient cédé, à la suite de quoi, le tassement différentiel aurait déséquilibré les supports de la voûte et entraîné la chute de celle-ci[384]. R. Mark remet en cause l'existence même de ces colonnettes.

Il présente ensuite une modélisation "photoélastique" du même type que celles que nous avons déjà mentionnées. Les tensions qui apparaissent juste au-dessous de l'arc-boutant inférieur par grand vent seraient à l'origine de l'effondrement. Selon Viollet-le-Duc, le contrefort central est décalé vers l'intérieur, ce qui l'incline vers l'intérieur, et permet à ce contrefort de contrebuter efficacement la voûte. R.Mark affirme le contraire : "Actually, the buttress does not lean inward under its dead weight because, as Viollet-le-Duc himself states, its center of gravity is still over the support". Ceci est vrai dans le cas de solides indéformables, mais dans le cadre de la théorie de l'élasticité, le bloc en porte-à-faux tend effectivement à s'incliner vers l'intérieur[385]. La modélisation de Mark, du fait qu'elle traite le poids propre de la maçonnerie comme une charge extérieure appliquée, ne peut pas rendre compte de ce fait. Rappelons que le procédé consistant à placer un support en porte-à-faux pour contrebuter une voûte est relevé et approuvé par Rondelet[386].

Dans un autre texte où il fait un parallèle entre architecture gothique et architecture moderne, R. Mark critique de façon radicale l'opposition entre architecte et ingénieur, selon laquelle le premier serait concerné uniquement par les aspects esthétiques, le second exclusivement par les aspects techniques[387]. Il attribue l'attitude "romantique" qui oppose esthétique et utilité à une influence des écrits de Viollet-le-Duc, mal interprétés par ses concitoyens[388], et cite ses propres travaux sur la cathédrale d'Amiens comme justification de la théorie fonctionnaliste de l'architecte.

Une étude postérieure des arcs-boutants à jours de ce même édifice[389] utilisant une résolution numérique à deux dimensions des équations de l'élasticité (l'article omet malheureusement la plupart des détails techniques) montre que ces arcs-boutants ne sont pas conçus pour un maximum d'efficacité, quoiqu'ils fournissent effectivement un contrebutement. Le faible écartement de leur deux volées les rendent un peu trop élastiques mais, surtout, les meneaux sont sollicités en flexion,

---

383 Maury I. Wolfe and Robert Mark, "The Collapse of the Vaults of Beauvais Cathedral in 1284", *Speculum*, vol. 51, n° 3, pp. 462-476 (1976).

384 Viollet-le-Duc, *op. cit.* n. 176, art. "construction", t. 4, p. 177.

385 Ayant à notre disposition un logiciel qui permet de résoudre numériquement les équations de l'élasticité sans grand effort, il nous est facile de le vérifier. Il s'agit d'un déplacement à peine mesurable, mais pouvant correspondre à des contraintes importantes, comme presque toujours en élasticité.

386 *Cf.* ci-dessus et n. 107.

387 David P. Billington et Robert Mark, "The cathedral and the bridge: structure and symbol", *Technology and Culture*, vol. 25, n° 1, pp. 37-52 (1984).

388 Au sujet de la réception des travaux de Viollet-le-Duc aux USA, voir aussi Daniel D. Reiff, "L'influence de Viollet-le-Duc aux États-Unis après la traduction des entretiens par Henry van Brunt en 1875", dans *Actes du colloque... op. cit.* n. 5, pp. 39-48.

389 Robert Bork, Robert Mark et Stephen Murray, "The openwork flying buttresses of Amiens cathedral: "postmodern Gothic" and the limits of structural rationalism", *Journal of the Society of Architectural Historians*, vol. 56, n° 4, pp. 478-493 (1997).

ce qui vue leur faible section, a engendré des détériorations dont témoignent des modifications ultérieures. Cette analyse permet aux auteurs de conclure que le "structural rationalism", c'est-à-dire la doctrine fonctionnaliste de Viollet-le-Duc trouve là ses limites, par sa faible aptitude à apprécier la recherche esthétique opposée aux nécessités techniques, que l'on observe dans le gothique tardif.

R. Mark s'est intéressé à un autre problème qui a beaucoup préoccupé Viollet-le-Duc, celui du passage du voûtement sexpartite au voûtement quadripartite[390]. Des modèles numériques, dont la teneur exacte n'est pas spécifiée, ont d'abord montré que la voûte sexpartite est plus légère, puis que sa poussée longitudinale est le double de ce que produit l'autre configuration. Le choix de la première aurait donc été initialement motivé par son poids, puis la seconde lui aurait été préférée parce qu'elle rendait plus aisé le contrebutement de la dernière travée achevée, pendant l'érection de la nef. Pour Viollet-le-Duc, ces choix étaient justifiés par la géométrie, la préférence pour un angle droit, puis l'égalité des supports[391]. R. Mark surenchérit dans le rationalisme constructif, en trouvant de raisons mécaniques à ces choix.

Mais c'est bien à Viollet-le-Duc qu'il attribue le mérite d'avoir introduit l'idée que les formes nouvelles proviennent d'une réponse à un problème constructif[392]. Son *Dictionnaire* "remains even today probably the single most important published work on medieval building technology"[393]. L'attitude qui oppose architecte et ingénieur, déjà évoquée, serait issue d'une réaction contre ses écrits.

Le rôle des nervures a été étudié à la fois à l'aide de l'approche photoélastique, mais avec un modèle tridimensionnel, et par un modèle numérique, de deux travées du chœur de la cathédrale de Cologne[394]. Malgré leurs limitations[395], ces deux modèles sont en bon accord. La poussée de la voûte est calculée et comparée à son poids, dans plusieurs configurations : avec ou sans nervures, avec ou sans remplissage des reins. On constate que cette dernière charge, même sans aucune rigidité, diminue considérablement la valeur relative de la poussée, alors que l'effet des nervures reste faible. L'auteur conclut que le rôle principal des nervures serait d'augmenter la section de la voûte à sa base. Dans cette partie de son analyse, les conclusions de R. Mark s'opposent franchement aux vues de Viollet-le-Duc.

R. Mark s'est aussi intéressé aux grandes coupoles, celles du Panthéon de Rome et de Sainte-Sophie de Constantinople en particulier[396]. Une modélisation numérique de la coupole du Panthéon

---

390 William Taylor et Robert Mark, "The Technology of Transition: Sexpartite to Quadripartite Vaulting in High Gothic Architecture", *The Art Bulletin*, vol. 64, n° 4, pp. 579-587 (1982). *Cf.* aussi R. Mark, *Experiments..., op. cit.* n. 373, chap. 8, pp. 102-117.

391 *Cf.* ci-dessus et n. 252.

392 Plus précisément, Viollet-le-Duc aurait introduit dans ses *Entretiens sur l'architecture* (Paris, 1863, 1872) l'idée que "innovation in visual form springs from appropriate response to structural demands in terms of the materials of construction" (Robert Mark et David P. Billington, "Structural Imperative and the Origin of New Form", *Technology and Culture*, vol. 30, n° 2, Special Issue: Essays in Honor of Carl W. Condit, pp. 300-329 (1989)).

393 R. Mark et D.P. Billington, art. cit. n. 392.

394 R. Mark, *Experiments..., op. cit.* n. 373, pp 106-113.

395 Dans le modèle photoélastique, les forces en volume remplacées par des charges localisées, comme précédemment. Le modèle numérique est un modèle de coque, qui néglige donc l'épaisseur et la rigidité de la voûte.

396 R. Mark, *Light, wind ...*, *op. cit.* n. 369, chap. 3, pp. 48-89.

par un modèle élastique homogène à trois dimensions[397] montre que les "marches" qui entourent celle-ci augmentent les tensions, au lieu de les réduire, comme on le croyait. Un second modèle supposant que le matériau n'a aucune résistance à la tension fait apparaître des fissures radiales, analogues à ceux qui ont été observés sur l'édifice. Les "marches", une fois ces fissures formées, favorisent la stabilité de la coupole, qui fonctionne dans cas comme une suite d'arcs indépendants, rayonnant autour d'un axe central. R. Mark en arrive à la conclusion que le béton romain était de bien moins bonne qualité que ce que l'on prétend, et ne pouvait supporter aucun effort de traction. Cette conclusion inhabituelle mériterait plus ample discussion.

Les fenêtres situées à la base de la coupole de Sainte-Sophie seraient destinées à éviter la formation de fissures radiales comme celles de la coupole du Panthéon. L'expression est quelque peu abusive, puisqu'il s'agit en quelque sorte d'agrandir *a priori* les fissures qui ne manqueraient pas de s'ouvrir spontanément. Mais c'est sans doute bien la constatation que la résistance à la tension du matériau ne leur serait d'aucun secours qui a permis aux architectes d'ouvrir ces fenêtres.

Un problème analogue a été analysé par Anne Coste, avec les coupoles de l'église de Givry[398], œuvre d'Émiland Gauthey[84]. Les deux coupoles sont décrites par un modèle numérique élastique, qui néglige leur épaisseur et donc la rigidité de la maçonnerie, mais ce n'est que pour la coupole hémisphérique de la nef que l'auteur donne des résultats de calculs en l'absence d'oculi. On constate que les tractions sont ici considérablement accrues par ceux-ci, on observe une zone de tractions de l'ordre de 25 à 30 kPa immédiatement au dessus du niveau des oculi, et une concentration de contraintes jusqu'à 80 kPa environ au sommet de ceux-ci, alors que la tension maximale dans la coupole non percée ne dépasse pas 13,5 kPa. Des fissures sont effectivement observées juste au-dessus des oculi, dans l'état actuel de l'édifice. Il est donc clair qu'à Givry, le percement d'ouvertures n'a pas été un succès du point de vue constructif.

R. Mark a aussi effectué une analyse par une modèle numérique élastique de la coupole de Sainte-Sophie, qui visait à voir l'efficacité de son contrebutement. La poussée de la coupole ne serait pas contenue par les culs-de fours, mais essentiellement par les piliers. Mais ce modèle de coque (shell) néglige l'épaisseur et par conséquent la rigidité de la maçonnerie, et sa géométrie[399] a été drastiquement simplifiée, relativement à celle de l'édifice réel.

En conclusion, les travaux de R. Mark semblent avoir trouvé un bon accueil de la part des historiens de l'art[400]. C.F. Barnes, ayant à rapporter simultanément un ouvrage de R. Mark et un recueil d'extraits de Viollet-le-Duc[401], résume ainsi leur point de vue, et exprime le lien entre eux : "When I had finished both, it became clear: both Viollet-le-Duc and Mark are ardent structural rationalists, and these two books complement one another".

En conclusion d'un de ses articles, R. Mark écrit que ses études ont montré que les bâtisseurs ont toujours cherché à réduire les coûts de construction, et apprécié les avantages qu'il y a à réduire le poids des structures. L'étude historique montre que la contrainte de réduire les matériaux et le

397 Il s'agit plutôt en fait d'une modélisation à deux dimensions, étendue à trois en prenant en compte la symétrie de révolution de l'édifice.

398 A. Coste, *op. cit.* n. 381, pp. 160-173.

399 R. Mark, *Light, wind ...*, *op. cit.* n. 369, Fig. 3.27, p. 86.

400 *Cf.* les analyses de John James (*Speculum*, vol. 59, n° 3, 1984, pp. 677-681), Otto von Simson et August J. Durelli (*Journal of the Society of Architectural Historians*, vol. 44, n° 3, 1985, pp. 292-295).

401 Robert Mark, *Light, wind ...*, *op. cit.* n. 369, et Eugène-Emmanuel Viollet-le-Duc, *The Architectural Theory of Viollet-le-Duc: Readings and Commentary*, éd. par M. F. Hearn. (Cambridge, Mass.: MIT Press, 1990), analyse par Carl F. Barnes Jr., *Isis*, vol. 82, n° 4 (1991), pp. 732-733.

coût stimule la création de formes d'une grande élégance[402]. Ces affirmations sont certes vraisemblables, mais la lecture des ouvrages de leur auteur donne l'impression que ce sont là davantage ses points de départ que d'arrivée.

5.C. Quelques mots sur les tendances actuelles

Il est impossible de présenter ici de façon exhaustive tous les travaux ayant trait à la mécanique des voûtes. Plusieurs auteurs ont présenté le développement de la théorie dans une perspective historique, comme par exemple Bernard Collette[5] et Anne Coste[403], déjà cités. Ces analyses on pu être davantage approfondies du point de vue de l'histoire des sciences, citons par exemple F. Foce, qui discute de la position de la "courbe des pressions", depuis Coulomb jusqu'à Méry[404]. D'autres se sont engagés dans la défense de telle ou telle approche, par exemple le point de vue géométrique, en conséquence duquel les proportions d'un édifice ne dépendent pas de sa dimension[405]. Ce point de vue est valable tant qu'aucune traction n'apparaît dans la maçonnerie, et que les compressions restent au-dessous des valeurs maximales que le matériau peut supporter. Des chercheurs de l'université de Pise ont récemment vérifié expérimentalement la théorie mathématique développée dans l'hypothèse des joints parfaitement glissants, tout en constatant qu'il est extrêmement difficile de réaliser cette hypothèse en pratique[406]. D'autres chercheurs encore se sont intéressés aux propriétés mécaniques des maçonneries et de leur constituants[407]. Pour l'étude des monuments de l'Anjou, ce sont les travaux consacrés au tuffeau qui nous intéresseront plus particulièrement[408].

De nombreuses analyses sont effectuées, dans le but de comprendre les causes de désordres subis par un édifice et d'y remédier[409]. Malgré la grande qualité et l'intérêt intrinsèque de ces travaux, ils relèvent d'une problématique différente de la nôtre. Nous cherchons en effet à expliquer le fonctionnement d'édifices qui ne présentent pas de désordres particuliers, ce qui est essentiellement différent, quoique l'analyse des dysfonctionnements non seulement aide à remédier

402 "Builders have always taken a keen interest in minimizing costs of construction [...] The early designers also appreciated the technical advantages of reducing structural weight". "Historical study shows the constraints of minimizing materials and costs to have been a spur to imaginative designs of great elegance" (R. Mark et D. P. Billington, art. cit. n. 392).

403 Anne Coste, *op. cit.* n. 381, livre 1, en particulier pp. 56-67 et 90-99.

404 F. Foce et A. Sinopoli, "Sull'analisi limite dell'arco murario errori e insegnamenti dalla storia della meccanica strutturale", dans *Atti del XVI Congresso AIMETA di Meccanica Teorica e Applicata,* Ferrare, 9-12 septembre 2003.

405 Voir par exemple Santiago Huerta Fernández, Ricardo Aroca Hernández-Roz, "Masonry domes: A study on proportion and similarity", dans F. del Pozo and A. de las Casas (éd.), *10 years of progress in shell and spatial structures: 30th anniversary of IASS, 11-15 September, 1989, Madrid,* (Madrid, CEDEX-Laboratorio Central de Estructuras y Materiales, 1989).

406 Danila Aita, Maurizio Froli, "Tra stereotomia, statica e cinematica: indagine teorico-sperimentale sull'equilibrio allo scorrimento di archi tozzi a conci rigidi", dans *Atti del XVI Congresso AIMETA di Meccanica Teorica e Applicata,* Ferrare, 9-12 septembre 2003.

407 Une thèse récente propose dans son introduction une synthèse intéressante de l'ensemble de ces travaux (Robert Perales, *Modélisation du comportement dynamique par éléments discrets des ouvrages maçonnés tridimensionnels. Contribution à la définition d'éléments de contacts surfaciques*, Thèse de doctorat, université Montpellier II, 2007).

408 Kevin Beck, *Étude des propriétés hydriques et des mécanismes d'altération de pierres calcaires à forte porosité*, Thèse de doctorat, université d'Orléans, 2006.

409 *Cf.* les exemples présenté par A Coste, *op. cit.* n. 381, pp. 131-137.

à ceux-ci, mais est d'une très grande utilité au constructeur qui veut les éviter dans un nouvel édifice.

Saint-Venant[410] a écrit au sujet de l'épure de Méry qu'une théorie des voûtes saine "doit déterminer les limites des pressions, mais qu'il n'est pas nécessaire qu'elle détermine ce qui sont probablement les pressions elles mêmes"[411]. Ce point de vue est celui de Jacques Heyman[412], selon qui il serait impossible et illusoire de déterminer les contraintes présentes effectivement dans la maçonnerie, alors qu'il est possible de déterminer des conditions de stabilité géométriques sûres. Ces conditions sont fondées sur l'hypothèse selon laquelle la maçonnerie ne possède aucune résistance à la traction. Cependant cette assertion n'est pas présentée par l'auteur comme une approximation permettant de simplifier l'approche de la façon la plus prudente pour le constructeur, mais comme la réalité même. Heyman cite un article de Villarceau[413] à l'appui de cette thèse, mais la position de ce dernier est considérablement plus modérée ; pour lui, "la théorie de la déformation des corps solides" est "trop peu avancée" pour qu'il puisse y fonder ses développements théoriques[414]. On peut espérer comme lui que les développements de cette théorie, ne serait-ce que celui des méthodes numériques de résolution des équations de l'élasticité linéaire, permettent aujourd'hui de donner des réponses que Saint-Venant ne pouvait pas espérer obtenir.

J. Heyman propose une description des voûtes d'ogives au moyen d'une membrane sans rigidité[415]. La théorie des coques est un développement de la théorie de l'élasticité pour des volumes dont l'étendue est grande et l'épaisseur faible, qui permet de réduire considérablement les calculs en considérant ces volumes comme des objets à deux dimensions au lieu de trois. L'approche de J. Heyman ajoute à l'utilisation de ces modèles une hypothèse qui revient à dire, pour parler simplement, que la coque ou membrane peut être courbée sans effort dès que cela ne modifie pas ses dimensions. On sait qu'un arc ou une voûte en berceau, dans ces conditions, est nécessairement

---

410 Adhémar-Jean-Claude Barré de Saint-Venant (1797-1886), ingénieur des ponts-et-chaussées, a contribué de façon essentielle à la théorie de l'élasticité, par l'étude du comportement des poutres en torsion et en flexion notamment ; *cf.* Wikipédia, art. "Adhémar Barré de Saint-Venant".

411 A.-J.-C. Barré de Saint-Venant, Lettre à Méry, Paris, fevrier 1838, Bibliothèque de l'École polytechnique, Fonds Saint-Venant. Cité dans Federico Foce, "Heyman *ante litteram*: un inedito Saint-Venant sulla teoria dell'arco in muratura", *Atti del XX Congresso AIMETA di Meccanica Teorica e Applicata,* Bologne, 12 septembre 2011.

412 Jacques Heyman, "The stone skeleton", *International Journal of Solids and Structures*, vol. 2, pp. 249-279 (1966), et *The stone skeleton, structural engineering of masonry architecture* (Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni, 1995).

413 Antoine François Joseph Yvon Villarceau (1813-1883), fut essentiellement un astronome et un géomètre (*cf.* http://www.cosmovisions.com/Villarceau.htm).

414 Antoine Yvon Villarceau, "Mémoire sur l'établissement des arches de pont", *Mémoires présentés par divers savans à l'Académie royale des sciences de l'Institut de France*, vol. 12, pp. 503-822, 2 pl. (1854). Il écrit : "L'indétermination du problème des voûtes en berceau [...] ne peut être levée qu'en ayant égard à la compressibilité de la matière des voussoirs ; mais la théorie de la déformation des corps solides d'une structure analogue à celle des pierres à bâtir nous a paru trop peu avancée pour tenter utilement d'en faire la base d'une théorie de l'équilibre des voûtes" (p. 506). Villarceau base son approche sur une structure de voûte fictive, "une construction purement idéale, dont on peut soumettre toutes les circonstances au calcul, sans craindre d'y rencontrer l'indétermination dont nous venons de parler" ; c'est là le type de problématique qui est de nature à intéresser le mathématicien qu'il est.

415 J. Heyman, art. cit. n. 412.

un chaînette[416], il n'en est pas de même pour une surface gauche, c'est-à-dire courbée dans deux directions[417].

La recherche actuelle semble s'orienter vers des modélisations réalistes de structures complexes, rendant compte individuellement de chaque bloc de la maçonnerie, c'est l'approche que l'on appelle "modélisation par éléments discrets"[418]. Ces méthode sont bien plus adaptée à des constructions utilisant des pierres de grande taille, qu'aux constructions médiévales en moyen appareil et blocage de moellons.

Nous avons donc parcouru les diverses théories qui ont été proposées pour décrire la stabilité des voûtes, en nous efforçant de comprendre dans chaque cas ce qui pouvait motiver les approximations utilisées par divers auteurs, et justifier leur point de vue. Certaines de ces hypothèses, comme celle des joints parfaitement glissants, ont d'abord été introduites parce qu'elles facilitaient le travail de celui qui développait la théorie, pour se transformer par la suite en un objectif scientifique et technologique. D'autres, comme l'absence de résistance à la traction de la maçonnerie, sont dictées par la prudence des constructeurs. Certaines approches enfin, comme l'épure de Méry, ont connu un grand succès, mais doivent tout de même être utilisées avec précaution, car ce succès peut être en partie dû à une certaine commodité d'exécution, alors que leur application ne se fait pas toujours sans erreur.

Après tous les travaux que nous avons pu citer, dont certains impressionnent par leur profondeur et la difficulté de leur contenu, et bien d'autres qui nous ont échappé, la question de la stabilité des voûtes pourrait sembler résolue. Cependant la complexité du problème est telle, que l'on pourra encore y travailler longtemps.

---

416 *Cf.* ci-dessus et n. 13 et 14.

417 Selon Heyman lui-même cependant (du moins dans l'article, dans l'ouvrage il a changé de point de vue), une coupole fonctionne comme un ensemble d'arcs indépendants rayonnants. D'après les calculs de R. Mark, c'est bien le cas en ce qui concerne celle du Panthéon de Rome[396]. Ainsi, la rigidité de chaque arc importe plus que les efforts transversaux qui les relient. Il est difficile d'accepter un point de vue radicalement différent pour une voûte d'arêtes (car, quoique l'auteur parle de voûte d'ogives, il ne tient pas compte des nervures, du moins explicitement). Ses calculs, assez difficiles à suivre car ils sont fort peu détaillés, ne sont pas convaincants.

418 La "modélisation par éléments discrets", ou du moins une contribution à celle-ci, fait l'objet de la thèse citée n. 407.

Deuxième partie. Monographie de l'église de Brion

1. Présentation générale

L'église Saint-Gervais-et-Saint-Protais, au milieu du petit village de Brion, domine le Val d'Anjou de la masse de son clocher. Derrière une façade néo-romane dont la porte est copiée sur celle de la salle capitulaire de Saint-Aubin d'Angers, s'ouvre une nef unique de deux travées voûtées d'ogives. Ce choix d'une large nef unique, la forme bombée des voûtes, l'importance donnée aux surfaces murales, sont autant de traits caractéristiques du style qui s'est développé dans l'ouest de la France et plus particulièrement en Anjou, dans la deuxième moitié du XII^{e} siècle et au début du XIII^{e}, et qu'on a qualifié de style Plantagenêt. La haute croisée de transept, surmontée d'une coupole nervée, est encadrée de bras de transept carrés couverts de voûtes d'ogives primitives. Ils sont éclairés par de larges fenêtres en plein cintre, dont les ébrasements forment un décor qui couvre la plus grande partie du mur. Cette heureuse disposition est en partie le fruit de la campagne de restaurations dont l'église a été l'objet entre 1855 et 1871. Sur ce transept vient se greffer un chœur profond voûté en berceau, et largement éclairé par de hautes fenêtres en plein cintre. L'ensemble impressionne par son allure monumentale. La qualité du tuffeau local utilisé, qui apparaît presque partout dans un appareil très soigné, quoique de moyen module, est sans doute en grande partie responsable de l'impression produite, ainsi que la qualité des travaux de de restauration du XIX^{e} siècle.

Figure 25. L'église de Brion vue de l'est.

Si le décor sculpté, quoique purement décoratif, est en grande partie conservé, on regrette l'absence totale de décor peint, totalement disparu, à moins qu'il n'ait jamais réalisé, car l'église n'avait pas été complètement achevée au XIII^{e} siècle : des sculptures restent encore épannelées dans le clocher, d'autres ont été complétées au XIX^{e} siècle ; la façade occidentale, enfin, devait être plus tardive, ce qui a conduit les restaurateurs à en refaire intégralement l'ornementation, dans une recherche d'homogénéité de style.

1. Apports des sources textuelles

L'église de Brion était un prieuré de Saint-Aubin d'Angers, ce qui a favorisé la conservation de nombreuses chartes le concernant, qui faisaient partie du cartulaire de cette abbaye, qui a été publié[1]. Les archives du Maine-et-Loire conservent en outre deux cartons, qui contiennent l'un (cote H 224) une copie moderne (XVII^{e}) de 40 chartes concernant le prieuré, la plus ancienne datant des environs de 1040, et la plus récente de 1466, et l'autre (cote H 225) 16 chartes originales, dont l'une remonte à 1100. Les chartes antérieures à 1200 ont été publiées avec le cartulaire.

Il faut aussi prendre en compte les études XIX^{e} siècle sur Brion, qui sont plutôt des "histoires de Brion" que des études archéologiques du prieuré :

La notice du *Dictionnair*e de C. Port[2] résume l'essentiel des sources anciennes, et apporte un témoignage important sur plusieurs points, en particulier des observations archéologiques faites au XIXe siècle. La *Notice sur Brion* de R. Russon[3] contient aussi des informations, surtout sur l'ensemble de la paroisse à l'époque moderne. Par ailleurs, les archives diocésaines conservent plusieurs documents très intéressants, à commencer par les comptes et le registre des délibérations de la fabrique, pour la quasi-totalité du XIX^{e} siècle. On y trouve aussi un ouvrage intitulé "*Archives de Brion*"[4], en deux volumes manuscrits fort épais. Quoique la plus grande partie de cet ouvrage soit une compilation d'histoire de France et d'histoire de l'Anjou, il contient aussi de nombreuses pages consacrées à l'histoire locale, à celle du prieuré et de l'église en particulier. Malgré un certain nombre d'erreurs, cet ouvrage a au moins le mérite d'être la plus ancienne étude détaillée de ce sujet. Par ailleurs il contient la version la plus développée de l'histoire, véridique ou non, des fortifications de l'église au cours de la guerre de Cent Ans, ainsi que de nombreuses informations concernant divers travaux effectués au prieuré à partir de 1767. Il recopie aussi un grand nombre de documents retraçant en détail l'histoire de l'église entre le milieu du XVIII^{e} siècle est les premières années du XX^{e}. Si l'auteur a parfois un peu malmené la lettre de ces documents, il semble que l'essentiel de leur teneur soit conservé. De larges extraits de ces documents ont donnés en annexe.

Le dossier de l'ensemble des travaux de restaurations effectués sur l'église entre 1851 et 1871 sous la direction de l'architecte Duvêtre[5], ainsi que les quelques documents graphiques anciens dont nous disposons, sera détaillé un peu plus loin.

1.A. Partie historique

1.A.1. Occupation primitive et fondation du prieuré

C. Port affirme que "La *villa*, même le bourg, *vicus*, existe dès les temps mérovingiens", et que "La paroisse remonte au IX^{e} siècle sans doute"[6]. Il appuie cette affirmation sur la découverte en

---

1 *Cartulaire de l'abbaye de Saint-Aubin d'Angers*. Publ. par le comte Bertrand de Broussillon ; avec une table des noms de personnes et de lieux par Eugène Lelong (Angers, Germain et Grassin, 1903). Accessible sur http://gallica.bnf.fr.

2 Célestin Port, *Dictionnaire historique, géographique et biographique de Maine-et-Loire* (J.-B. Dumoulin, Paris, et P. Lachèse, Belleuvre et Dolbeau, Angers, 1874 - t. 1 -, 1876 - t. 2 - 1878 - t. 3 -).

3 René de Russon, *Notice sur Brion* (Baugé, Daloux, 1889).

4 Archives diocésaines d'Angers, P 215.

5 Archives du Maine-et-Loire, 4T38.

6 *Cf.* C. Port, *Dictionnaire...*, t. 1, p. 507.

1861 d'une sépulture d'époque carolingienne derrière le chevet de l'église[7]. Il mentionne aussi des sépultures dans des sarcophages de calcaire et d'ardoise sur le "tertre de Brion", c'est-à-dire le sommet de la butte qui domine immédiatement l'église[8]. Ces vestiges ayant disparu, il est impossible de dater ce cimetière[9]. Selon P. Calendini[10], "La paroisse de Brion existait longtemps avant le prieuré. Un précepte de Charlemagne, de 775, à Saint-Martin de Tours, cite le "*vicus Brionnus*".

Le plus ancien document en notre possession est une charte des environs de 1055[11] selon laquelle deux chevaliers (*milites*) de Sablé, *Rannulfus* et *Willelmus,* donnent le tiers de l'église ; *tertiam partem ecclesie sanctorum martyrum Gervasii et Protasii de Brionio*, avec un certain nombre de dîmes et redevances, pour y soient installer deux moines, *ita ut post dedicationem ecclesie sint ibi duo monachi constituti.* L'église existait donc déjà sous son vocable actuel[12], ce qui confirme l'occupation du site de Brion, et l'existence d'une église, et d'une paroisse antérieurement à la donation. Les circonstances de l'invention des reliques de Gervais et Protais par saint Ambroise[13], qui voulut faire de ces martyrs les défenseurs de son église contre les soldats de l'impératrice Justine et de l'arien Auxence, les rattachent à la défense des biens de l'église contre les abus des laïcs (accaparement de dîmes, ici). Cependant il est possible, voire probable, que le vocable soit largement antérieur.

Les deux donateurs, dont le premier donateur, Ranulfe, était le seigneur de Brion, avaient

---

7 "En la dégageant [l'église] vers l'E. des terres qui encombraient le chevet, on y a trouvé (1861) un cercueil en tuffeau de Doué, contenant 18 monnaies de Louis le Débonnaire et de Charles le Chauve" (C. Port, *Dictionnaire...*, t. 1, p. 507).

8 *Ibid.*, t. 1, p. 507 : "Tout près et au sommet du tertre, *in podio Brionis*, s'élevait dès au moins le XII^e^ s. *une chapelle de St-Michel*, détruite dès avant le XVIII^e^ s. et dont l'emplacement porte un moulin, centre d'un ancien cimetière. Les tombes en pierre coquillière de Doué, quelques-unes en ardoise, couvrent le plateau à fleur de terre. Des fouilles, suivies le 27 avril 1872 avec MM. Lebeuf et Couscher, ne nous ont fourni aucun autre débris que des ossements".

9 *Cf.* Daniel Prigent, Émile Bernard, "Les nécropoles à sarcophages des Pays de la Loire", *Revue archéologique de l'ouest*, tome 2, pp. 101-106 (1985). http://www.persee.fr/web/revues/home/prescript/article/rao_0767-709x_1985_num_2_1_875

10 *Dictionnaire d'histoire et de géographie ecclésiastiques* (Letouzey et Ané, Paris, 1938), vol. 10, col. 751-753.

11 *Cart. de Saint-Aubin* t. I, p. 436, n° 376. Voici la partie du texte de la charte qui contient les informations sur l'institution :
Notum igitur sit cunctis qui nunc sunt ct futuris, quod duo milites de Sabluliaco, Rannulfus nomine et Willelmus, dederunt Deo et sancto Albino ejusque monachis, pro redemptione animarum suarum et parentum suorum atque pro adipiscenda eterne remunerationis corona, tertiam partem ecclesie sanctorum martyrum Gervasii et Protasii de Brionio, id est rerum decimandarum totius parroechie Sancti Gervasii et Protasii, et tertiam partem sepulture et totius oblationis, ita ut post dedicationem ecclesie sint ibi duo monachi constituti. Et quodcumquo donatione vel emptione monachi inibi adquirere potuerint, similiter concesserunt ad edificationem loci et ad necessitatem monachorum.

12 Certains auteurs ont soutenu que cette église était très récente, puisque la *dedicatio* n'avait pas encore eu lieu. Cependant ce terme désigne l'anniversaire de la dédicace et non celle-ci (*encaenium*) (*cf.* Niermeyer, *Mediae Latinitatis Lexicon Minus,* Leiden, E. J. Brill, 1976), et ne remet pas ce point en cause.

13 On les connaît par les lettres de saint Ambroise, résumées par Dom Guéranger, *l'Année Liturgique, Le temps après la Pentecôte, T III, Le XIX juin. Les Saints Gervais et Protais, martyrs.*

vraisemblablement reçu leurs biens dans ce lieu du seigneur de Sablé, Robert le Bourguignon. La donation a d'abord été faite au chapitre de Saint Aubin, puis confirmée à Sablé par Robert, le suzerain de Ranulfe. L'abbé a changé entre les deux parties de la charte, d'abord Gautier (1039-1055), puis Théodoric (1055-1060). Il est peu vraisemblable que la confirmation ait été très postérieure à la donation initiale, ce qui en fixe la date à 1055 à très peu près.

1.A.2. La formation du temporel du prieuré

1.A.2.1. Les donations seigneuriales

Ranulfe de Brion, chevalier de Sablé, est, après son fils Geoffroy, celui qui apparaît le plus dans les chartes ; il est l'un des deux fondateurs et les seigneur de Brion : lui-même, puis ses descendants directs, en porteront le titre jusqu'à la fin du XII^{e} siècle au moins. Après 1082, un contentieux se développe entre Saint-Aubin et Geoffroy, successeur de son père Ranulfe comme seigneur de Brion, au sujet des redevances correspondant aux terres achetées par les moines, dont ceux-ci veulent être exemptés. Elles leur ont concédées en partie[14], puis certaines ont été réclamées par le seigneur, puis concédées aux moines, en particulier les taxes perçues sur l'église et certaines terres des moines[15]. Geoffroy paraît tout de même vouloir favoriser le prieuré puisqu'il lui donne encore la dîme des vignes et du bétail, et certaines corvée, sur les terres des moines. Cependant les moines doivent payer la somme appréciable de 8 livres pour que Hadvisa, l'épouse de Geoffroy, et son fils Salomon acceptent la donation[16]. Un fait confirme les bonnes dispositions de Geoffroy, c'est que deux des ses chevaliers, Hugues et Ranulfe Bernoin, qui sont présent comme témoins dans tous ses actes, font aussi des dons au prieuré[17].

Raoul Toaredus, héritier de Guillaume Havard, l'autre fondateur du prieuré, après diverses querelles fort intéressantes en elles-mêmes, mais sans conséquence pour l'histoire du prieuré[18], finit par donner des dîmes de Brion à Saint Aubin en 1095[19]. Le prieuré doit à cette date en avoir avoir la plus grande partie, cependant les querelles persistent, et finalement, le 4 février 1107 à Mazé, puis le 15 à Brion, Geoffroy de Brion tente de les régler une fois pour toutes. Pour cela, il fixe et précise le montant total de toutes les redevances que lui devront les moines : sept sous et 2 deniers, plus 9 deniers à sa femme pour un certain pré[20]. L'opération semble efficace, puisque ce type de dispute disparaît pour quelques années.

---

14 *Cart. de Saint-Aubin*, t. I, p. 441, n° 382.

15 *Ibid.*, t. I, p. 442, n° 383.

16 *Ibid.*, t. I, p. 443, n° 384 et t. II, p. 127, n° 637.

17 Vers 1100 selon Bertrand de Broussillon ; *ibid.*, t. I, p 444, n°385 et p. 445, n° 386.

18 *Ibid.*, t. I, p. 438, n°378, p. 445, n° 387, t. II, p. 130, n° 640. Dans la deuxième de ces chartes, les moines n'acceptant pas certaines exigences de Raoul, un duel judiciaire est proposé, puis on préfère s'en remettre à un accommodement. *Cf.* à ce sujet, Stephen D. White, "Proposing the ordeal and avoiding it: strategy and power in western French litigation, 1050-1110", dans Thomas N. Bisson, *Cultures of power: lordship, status, and process in twelfth-century Europe,* chap 5, p. 89.

19 *Cart. de Saint-Aubin*, t. I, p. 449, n°391.

20 *Ibid.*, t. II, p. 131, n° 641. Une note de Bertrand de Broussillon dit qu'il y aurait une erreur de date parce que Robert le Bourguignon était parti à la croisade depuis 1097. Cependant, c'est justement son épouse Berthe qui est citée comme témoin. On peut penser qu'elle était là pour le représenter, justement parce qu'il était à la croisade.

1.A.2.2. Les abbés de Saint-Aubin

La plupart des chartes ne sont pas datées. La date est essentiellement déterminée par celles des abbés de Saint-Aubin, qui sont bien connues[21]. Comme on l'a vu, la première donation est faite entre les mains de l'abbé Gautier (1036 ou déc. 1038-1055), puis autorisée par Robert le Bourguignon, mais là l'abbé est Théodoric (1056-...), ce qui nous a permis de dater la donation de 1055 à très peu près. Le successeur de Théodoric est Otbran (1081), sous lequel Renaud de Craon confirme toutes les donations de son père. Ensuite il y a Gérard II (1081-1109), dont datent les divers actes de Geoffroy de Brion, et l'affaire de Raoul Toaredus[22]. Ce dernier revient à la charge sous l'abbé Archambaud (1106-1119), puis rien ne se passe sous Hamelin (1119-1127), et on a à nouveau quelques chartes sous l'abbatiat de Robert de la Tour-Landry (1127-1154)[23] : la contestation de Pierre I de Brion, et deux donations. Rien sous l'abbé Hugues (1154-1157), mais à nouveau sous Guillaume (I[er]) (1157-1189)[24] quelques donations, dont le moulin de Monnet. La conclusion est que la période qui présente à la fois le plus de contestations et le plus de donations, et où s'est donc formé le temporel du prieuré, est celle de l'abbatiat de Gérard (1081-1109).

1.A.2.3. Prieurs de Brion

C. Port[25] donne une liste de prieurs : *Aldulfus*, 1107, *Peregrinus*, 1120-1135, *Ernaldus*, 1140, Lucas de la Taille, 1178, *Radulfus*, 1210, Emery Marteau, 1300, et des prieurs postérieurs. Cette liste est reprise par Russon[3]. En utilisant le cartulaire de Saint-Aubin[26], on peut établir une liste un peu plus précise.

Le premier prieur est bien cité en 1107, mais il semble que C. Port ait fait une erreur : il ne s'appelle pas *Aldulfus*, mais Robert[27]. Le suivant est sans doute Pérégrin, comme l'indique C. Port ; il apparaît dans un charte datée de l'abbatiat de Robert (1127-1154)[28]. *Ernaldus* apparaît en 1140[29]. Il faut rajouter deux personnages à la liste de C. Port : Isembart, qui apparaît lui aussi dans une charte datée de l'abbatiat de Robert[30], et Jean. Ce dernier est cité en 1175[31], le prieur est à ce moment là "*Lucas de Jallia*", de la Taille pour C. Port[32]. Mais la charte parle aussi d'un four qui a été déplacé par le prieur Jean. On a du mal à imaginer que le prieur de Saint Aubin soit venu lui-

21 Une liste des abbés de Saint-Aubin est donnée dans *Wikipédia*. Les dates ne sont pas toujours identiques à celles retenues par Bertrand de Broussillon pour la datation des chartes, à un an près. Je n'ai pas cherché à préciser ce point.

22 C'est-à dire les n° 382, 383, 384, 387, 388, 391, 637, et 640 du *Cartulaire*.

23 Les n° 645, 646, 647.

24 Chartes n° 648, 649, 650, et 651 du *Cartulaire de Saint-Aubin*.

25 *Cf.* C. Port, *Dictionnaire...*, t. 1, p. 507.

26 Y compris son 3[e] tome de tables dû à E. Lelong.

27 *Cart. de Saint-Aubin*, t. II, p. 131, n° 641. Il y est mentionné comme "*Robertus prior Brionii*". La charte semble être celle considérée par C. Port, mais Aldulfus y est mentionné comme prieur tout court. On doit comprendre, comme l'a fait Bertrand de Broussillon, qu'il est le prieur de l'abbaye-mère, qui apparaît par ailleurs en plusieurs occasions.

28 *Ibid.*, t. II, p. 136, n° 647. Il est dit "*tunc prior obedientiae illius*".

29 *Ibid.*, t. II, p. 134, n° 644. Il est cité comme "*Ernaldus monachus obedientie de Brione*", c'est-à-dire "moine responsable de Brion".

30 *Ibid.*, t. II, p. 137, n° 649. Il y est dit "*tunc prior Brionii*", sans aucune ambiguïté.

31 *Ibid.*, t. II, p. 138, n° 650.

32 La charte porte explicitement "*prior Brionii*".

même s'occuper de ce genre de choses, de plus le seul prieur claustral à s'appeler Jean apparaît en 1192[33]. Le plus vraisemblable est que Jean est un des prédécesseurs de Lucas. Celui-ci est le dernier qui apparaisse dans le cartulaire.

On a donc une liste des prieurs de Brion, bien fournie et peut-être exhaustive, pour le XII^e^ siècle, mais personne avant 1107, malgré le grand nombre de chartes. Il apparaît donc que le prieuré, initialement réduit à deux moines, ce qui justifie mal que l'un prenne le titre de prieur, s'est ensuite développé, et a eu davantage de moines et un prieur, à partir d'une date peu antérieure à 1107.

Les trois discussions ci-dessus nous ramènent à la même période chronologique pour la formation du temporel du prieuré, partant de sa fondation en 1055 à l'arrangement entre Geoffroy de Brion et les moines de 1107. Les querelles au sujet des dîmes sont cependant loin d'être achevées à cette date : le prieur Hemeri Marteau achètera pour 12 livres à un certain Raoul de Veye un douzième des dîmes en 1300[34].

1.A.3. Le tertre : moulins à vent, chapelle Saint-Michel et cimetière

On a cité plus haut une mention de C. Port, d'une chapelle Saint-Michel, située sur le tertre, qui existait au moins au XII^e^ siècle, et avait disparu au plus tard au XVIII^e^. Une charte datée d'entre 1067 et 1097[35], indique que Robert le Bourguignon a reçu en fief le *podium de Brione*, et il conteste aux moines d'y avoir contruit, "*calumpniatus est Rotbertus monachis Sancti Alhini terram que in illo podio ad censum solvendum habebant edificatam et edificandam*." Les moines le satisfont *ad dampnum illorum* moyennant 7 livres. Doit-on comprendre ici que *podium* désigne spécifiquement le tertre, où une construction était mal venue, peut-être pour des raisons militaires, ou qu'il s'agit de manière plus vague de l'ensemble de la colline où est construit le village, et que Robert le Bourguignon aurait extorqué de l'argent aux moines sans prétexte bien fondé ? Robert était certes quelqu'un d'important, fils du Comte de Nevers et seigneur de Sablé, mais l'abbé de Saint-Aubin lui-même était un grand seigneur, et a cependant dû composer.

Le 24 octobre 1182[36], l'abbé de Saint-Aubin Guillaume présente un accommodement "*de reclamatione decimae quam in vineas prioris [Sancti] Michaelis de Monte, domnus Petrus, Brioni dominus, cum Johanne Gervasio et Himerico Quoslen reclamabat, asserens eam sui juris fuisse*". Il laisse à Jean Gervais la propriété de la terre, moyennant 8 deniers annuels au prieur de Saint-Michel. En cas de vente, l'abbé aura la *venditio*, et Jean Gervais paiera à Pierre de Brion "*duas carleatas vini annuatim*". Cette charte mentionne donc un prieuré de Saint-Michel, sur lequel Pierre de Brion a des droits en tant que seigneur : il ne peut s'agir que de l'église dédiée à saint Michel située sur le tertre. On peut penser qu'elle n'a pas existé longtemps comme prieuré indépendant, mais très vite été rattachée au prieuré de Saint-Gervais-et-Saint-Protais, puisque c'est la seule mention qu'on en a.

On conserve une charte de 1285[37], qui fait état d'un échange entre "Girart chaboz chevalier

33 *Cart. de Saint-Aubin*, t. II, p. 415, n° 936.

34 Archives du Maine-et-Loire, H 224 n° 31.

35 *Cart. de Saint-Aubin*, t. I, p. 440, n° 381. Ces dates données par Bertrand de Broussillon correspondent, pour la première, à la date où Foulques le Réchin devient comte d'Anjou, et pour la seconde, au départ de Robert le Bourguignon pour la Terre Sainte.

36 *Ibid.*, t. II, p. 140, n° 651.

37 Archives du Maine-et-Loire, H 224, n°30 et H 225, n° 6.

seignor de Rays et de maichecol"[38], qui était apparemment aussi le seigneur de Brion à cette époque, et Nicolas, abbé de Saint-Aubin. L'abbé et le couvent donnent "quatre arpenz e demi de terres que il aueyent poy valens et neant a eus profitables en celui temps seanz en notre tertre de Brion pres de nos molins a vent", contre "quatre arpenz e demi de de noz terres que nous auions ou dit tertre jouste le clos dou priour et dou prioure de Brion qui est appele grignelent sicomne il poursieuent et comne il sunt mesurez entre dous chemins e enclos". Le prieur est tenu de payer la même redevance pour cette terre qu'il devait pour l'autre, c'est-à-dire "deux foilles et ung jalon de vin es chacune festes anan". Le tertre n'est donc plus d'aucune utilité à l'abbaye, mais le seigneur reçoit toujours une redevance pour celui-ci. Son intérêt semble plutôt lié aux moulins à vent.

Il a en effet existé des moulins à vent, sur le tertre. La carte d'état major de 1839[39] en montre cinq (Fig. 26), la carte de Cassini[40], trois. On peut en identifier quatre sur le plan cadastral napoléonien[41], et les localiser assez précisément, *cf.* Fig 27.

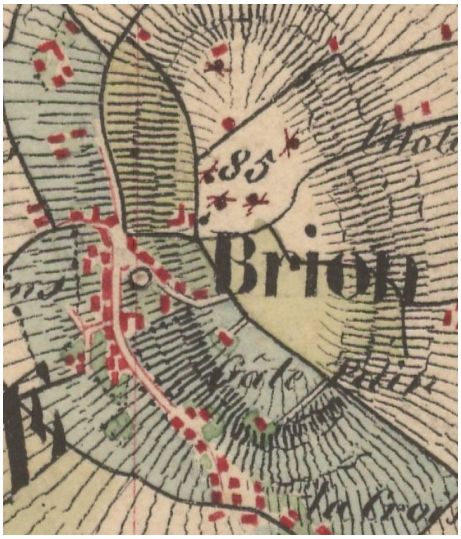


Figure 26. Le tertre de Brion, carte d'état-major de 1839. Les moulins à vent sont indiqués par le symbole ●╳.

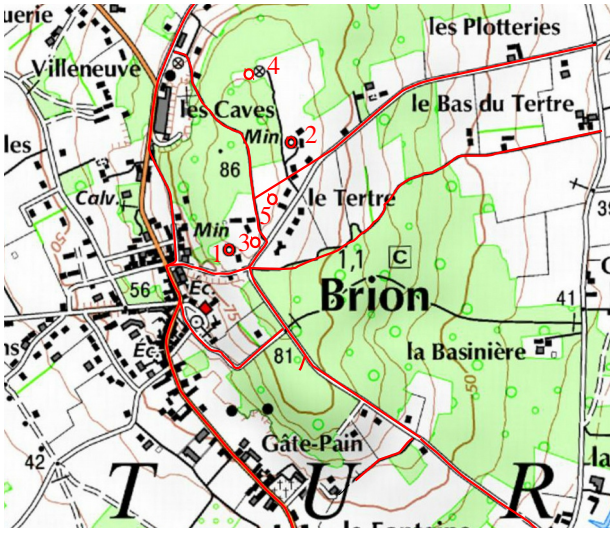


Figure 27. Les moulins à vent du tertre, d'après les vestiges existants et le cadastre napoléonien. En rouge, la voirie indiquée sur le plan de 1839, dont la position est précisée à l'aide du cadastre. Carte IGN 1:25 000.

Il en reste deux (n^{os} 1[42] et 2 sur la Fig. 27), du type moulins à tour[43], qui dans leur état actuel paraissent à première vue remonter au XIX^{e} siècle, mais l'un d'eux porte des traces de

38 C'est-à-dire Gérard II Chabot (1245-1298) baron de Retz et seigneur de Machecoul.

39 Il s'agit du dessin-minute original de la carte d'état-major, disponible sur http://www.geoportail.gouv.fr. La feuille d'Angers est datée de 1839.

40 La feuille qui nous intéresse est la feuille n° 65, de Tours, levée entre 1760 et 1762, disponible sur http://www.geoportail.gouv.f.

41 Archives départementales du Maine-et-Loire ; plan du cadastre napoléonien, Brion - C 2 du Bourg, année 1825.

42 C'est sans doute celui qui est mentionné par C. Port, qui le dit à l'emplacement de la chapelle Saint-Michel, *cf.* n. 8.

43 Cependant, le dessin de la carte de Cassini évoque plutôt des moulins-pivot, ou caviers. Il s'agit vraisemblablement du représentation schématique, sans intention de spécifier le type de moulin rencontré.

remaniement, qui laissent penser qu'il peut être plus ancien. Deux sont détruits mais apparaissent sur le plan de 1825 (nos 3 et 4). L'identification du n° 5 est moins certaine[44]. Malheureusement, rien ne permet de savoir si ces moulins, qui sont modernes, ont remplacé de moulins médiévaux, et *a fortiori* quand ceux-ci auraient été établis pour la première fois. On ne sait pas davantage s'ils ont appartenu au seigneur ou au prieuré. S'agit-il des moulins de Saint-Aubin mentionnés par la charte que l'on a citée un peu plus haut ?

Figure 28. Les moulins à vent du tertre de Brion (à gauche, no 1, à droite, n° 2, cf. Fig. 27).

Cependant le tertre, avec la chapelle Saint-Michel avait une autre fonction : selon C. Port, en effet, elle était le "centre d'un ancien cimetière. Les tombes en pierre coquillière de Doué quelques-unes en ardoise, couvrent le plateau à fleur de terre. Des fouilles suivies le 27 avril 1872 avec MM. Lebeuf et Couscher, ne nous ont fourni aucun débris que des ossements"[45]. Le vocable de Saint Michel est tout à fait adapté à une chapelle de cimetière. Était-ce le principal, voire le seul, cimetière de la paroisse et, si c'est le cas, quand a-t-il cessé de l'être ? On a peu de renseignements à ce sujet. Le cimetière actuel se trouve à environ 500 m au sud-est de l'église. Il existait déjà à cet emplacement en 1825, comme en témoigne le plan cadastral napoléonien[41]. On lit dans le *Dictionnaire* de C. Port que ce cimetière "a vu reconstruire en 1849 sa vieille chapelle à demi-ruinée, enfeu des curés", ce qui laisse supposer une antériorité bien plus grande, mais de combien ?

Quelques sépultures dans l'église sont mentionnées par R. de Russon[46]. Celui-ci ajoute plus loin que "des tombes qui sont également en pierre de Doué ou d'ardoise ont été trouvée autour de l'ancienne église, de la chapelle St Michel qui existait sur le tertre et enfin dans une sapinière près les petites Boisselières". Cependant, quand il parle des fouilles effectuées tant au sud qu'au nord de l'église, dans le but d'y mettre en évidence les traces d'un rôle militaire qu'aurait joué l'édifice

44 L'édifice indiqué par le n° 5 sur la Fig. 27 est un bâtiment circulaire, qui remonte vraisemblablement au XIXe siècle, et comporte actuellement un seul niveau mais provient sans aucun doute de l'arasement d'un bâtiment de plus grande hauteur. L'identification avec un moulin n'est pas certaine. Il n'apparaît pas sur le cadastre de 1825. Si cet édifice est l'un des moulins représentés sur la carte de 1839, il donc été construit entre ces deux dates.

45 *Cf.* C. Port, *Dictionnaire...*, t. 1, p. 507.

46 R. de Russon, *op. cit.* n. 3, p. 30.

pendant la guerre de Cent Ans, R. de Russon ne dit pas qu'on y ait trouvé de tombeaux ni d'ossements. On peut craindre que les mentions précédentes ne soient qu'une amplification de celles de C. Port, du moins pour les deux premières. Les traces d'un cimetière qui aurait avoisiné immédiatement l'église se limitent donc essentiellement au sarcophage carolingien découvert en 1861, cité plus haut[7]. C'est bien peu.

C. Port mentionne aussi des sépultures à la Rouillardière, à 5 km à l'est du bourg, qui seraient liées à la présence de la route antique et médiévale. Russon en mentionne d'autres a la petite Boisselière, à 2 km au sud. On sait par ailleurs que la paroisse de Sobs possédait son propre cimetière (*cf. infra*). On a donc quelques mentions de sépultures d'époque indéterminée entre l'antiquité et le Moyen Âge, le long de la route à une assez grande distance du bourg, et au voisinage immédiat de l'église, qui ne suffisent pas à localiser un cimetière à proprement parler.

Un scénario possible, voire probable, est que le cimetière original de la paroisse se soit trouvé sur le tertre au voisinage de l'église Saint-Michel, puis que ce cimetière ait été délaissé, ainsi que son église, au profit d'un nouveau cimetière établi à son emplacement actuel, et peut-être déjà accompagné de sa propre chapelle. La date à laquelle le cimetière a été déplacé n'est pas connue, elle se situe entre 1182 et 1825. On a cependant vu qu'en 1285, l'abbé semblait ne plus attacher un grand prix au tertre, sauf pour la présence de moulins. Peut-être faut-il voir là le signe de ce que le cimetière du tertre et l'église de Saint-Michel avaient déjà été abandonnés ?

1.A.4. Temporel et moulins à eau

Les donations et ventes soit de dîmes, soient de terre mentionnées dans les chartes indiquent soit des cultures céréalières[47], mais surtout des vignes (*vineas*)[48], dont certaines sur le tertre même[49]. Quelques détails soulignent l'importance de la culture de la vigne : Vers 1100, les moines concèdent une demi arpent de terre à un certain chevalier Hugues, "*tali pacto ut ibi vineam plantaret*"[50]. Raoul Toaredus avait des cuves, dont ils se disputait l'usage avec les moines[51]. Du bétail et de la charcuterie apparaissent aussi, mais leur importance est clairement moindre. Une charte datant d'entre 1082 et 1106 mentionne la grange de moines, plus spécifiquement "*terrulam que est juxta grangiam eorum*"[52]. Leur fournil est mentionné, au sujet de la violente contestation qu'en fait Pierre de Brion (*cf. infra*, et n. 65). On peut penser que c'est alors un nouveauté, qui fait une concurrence à celui de Pierre, à laquelle il ne s'attendait pas.

Le prieuré possède aussi quelques terres un peu plus éloignées, par exemple "*apud*

---

47 *Cart. de Saint-Aubin*, t. I, p 438, n°378 : "*decima quadrugarum et mediaturarum*" ; p. 450, n° 391 :, "*decimam annone, que exibat de propria carruca monachorum*" ; t. II, p. 127, n° 637 : "*de dominica carruca monachorum*".

48 *Ibid.*, t. I, p. 438 n° 378 "[*decima*] *vinearum*", "*dimidium arpennum vinee juxta monachorum curtem*" ; p. 443, n° 383 : "*decimam illam vini quam Radulfus* [...] *abbati et monachis vendiderat*" ; p. 447, n° 388 : "*vineam*" ; p. 450, n° 391 : "*totam decimam vini, quam habebat in vineis monachorum apud Brionum*" ; t. II, p. 128, n° 637 : "*quicquid de cetero solitus erat habere de vineis monachorum*" ; p. 128, n° 639 : "*vineas*".

49 *Ibid.,* t. II, p. 141, n° 651 : "*in vineis prioris Sancti Michaelis*".

50 *Ibid.,* t. I, p. 444, n° 385.

51 *Ibid.,* t. I, p. 450, n° 391 : "*Preterea in curte monachorum habebat per consuetudinem dolia sua, que vulgus vocat cuvas, unde sepissime procuratores rerum illius monachis molestiam faciebant*".

52 *Ibid.,* t. I, p. 442, n° 383.

Colongiacum, duos arpennos terre"[53], c'est-à-dire actuellement à Coulonger, dans la commune de Longué-Jumelles, à 6 km, ou "*terram* [...] *apud Parriniachum*"[54], c'est-à-dire à Parigné, commune de Lasse, à 24 km (*cf.* la carte de la Fig. 31 ci-après).

Un peu plus tard apparaissent des moulins. Une certaine Hildegarde a donné vers 1100 "*quadam parte cujusdam molendini nominati Fossart*"[55]. En 1175, Pierre de Brion (le fils de celui qui avait démoli le fournil des moines), donne aux moines le moulin de Monnet "*molendinum de Monnat*", qui a été transféré dans un autre lieu, "*id est ad alloliam*"[56]. Le ruisseau de Brené, qui traverse le territoire de Brion (dit ruisseau de Cuon sur la carte de 1839), semble avoir été le siège d'une exploitation appréciable. Celle-ci rappelle les moulins de l'abbaye Saint-Serge d'Angers étudiés par Y. Chauvin[57].

Ce ruisseau portait en effet 3 moulins, indiqués sur la carte de Cassini et sur la carte de 1839 comme sur la carte actuelle, d'aval en amont : le moulin de l'Ailleraie (1839 : Laillerais), le moulin Neuf, le moulin de la Rivière. De plus, le plan cadastral ainsi que la carte d'état major montrent les biefs de ces moulins, en partie conservés. Il faut y ajouter un quatrième moulin, détruit avant 1175, le moulin de Monnet. Celui-ci existait et appartenait au prieuré depuis longtemps. Le site de Monnet est en effet une ancienne villa carolingienne donnée à Saint-Aubin par Pépin[58], qui aurait appartenu à Saint-Aubin, et était déjà détruite, sauf ce moulin, au XII^{e} siècle. Une charte qui remonte vraisemblablement aux premières années du XII^{e} siècle mentionne le cens du moulin[59]. L'emplacement exact de celui-ci est inconnu, mais il devait être proche du domaine du même nom, dont l'emplacement est marqué par l'actuel château de Monnet.

La charte de Pierre de Brion de 1175 mentionnée plus haut expose les démêlés de celui-ci avec les moines, consécutifs à un déplacement du moulin : "*Propter hoc autem de molendino isto cum monachis ligabat, quia de feodo suo ad alium feodum, id est ad Alloliam, translatum esse a monachum*[...]". Le nouvel emplacement doit être celui du moulin de l'Ailleraie, dont les vestiges actuels datent du début du XX^{e} siècle.

La même charte mentionne un moulin d'Hildegarde, *molendinum Hildegardis,* qui selon le texte doit se trouver sur ce même ruisseau de Brené, en amont. On a déjà vu la donation par Hildegarde vers 1100 une part d'un certain moulin dit Fossart. Il est vraisemblable qu'il s'agit de la même personne et du même moulin[60]. Hildegarde n'en a donné qu'une partie et la charte de Pierre

53 *Cart. de Saint-Aubin*, t. I, p. 445, n° 386.

54 *Ibid.,* t. II, p. 136, n° 646.

55 *Ibid.,* t. I, p. 302, n° 260 et t. II, p. 127, n° 638.

56 *Ibid.,* t. II, p. 138, n° 650.

57 Yves Chauvin, "À propos des moulins du temporel de Saint-Serge d'Angers aux XI^{e} et XII^{e} siècles", dans *La construction en Anjou au moyen Age. Actes de la table ronde d'Angers des 29 et 30 mars 1996*, éd. par D. Prigent et N.Y. Tonnerre, (Presses de l'Université d'Angers, 1998), pp. 217-231.

58 Donation confirmée par Charlemagne en 769, *cf.* C. Port, *Dictionnaire...*, t. 2, p. 693. "L'abbaye n'y possédait plus qu'un moulin aux XII^{e} et XIII^{e} s, qui a disparu même au XIV^{e} s."

59 *Cart. de Saint-Aubin* t. I, p. 448 n° 389 : "*census de molendino de Mulnac*". L'identification de Mulnac à Monnet est faite par C. Port, *Dictionnaire...*, t. 2, p. 693. La charte n'est pas datée mais elle apparaît dans le cartulaire entre des chartes datées l'une 1082-1106 (n° 388) et l'autre de 1095 (n° 391 ; la charte n° 390 n'est pas datée non plus). Un des témoins, *Albertus prepositus*, apparaît aussi dans la charte n° 387, datée de 1082-1106. Il est donc vraisemblable que la charte n° 389 date elle aussi du début du XII^{e} siècle, voire de l'extrême fin du XI^{e}.

60 Cependant, selon C. Port, *Dictionnaire...*, t. 2, p. 179, Fossart est le "nom ancien du Moulin de Chartrené". Celui-ci est visible sut la carte de 1839, il est immédiatement à côté du prieuré de

de Brion de 1175 nous dit qui est l'autre propriétaire : le moulin en effet "*commune est cum Harduino de Marineio*". Or Marigné est le nom du hameau qui se trouve immédiatement au nord du moulin de la Rivière, sur le territoire de la commune de Fontaine Guérin, et le ruisseau, en amont dans cette direction, s'appelle "ruisseau de Marigné". Je pense donc pouvoir identifier le moulin d'Hildegarde au moulin de la rivière.

La même charte de 1175 stipule que Pierre de Brion "*Concessit quoque totam aquam cum cursu suo, et utram ripam quantum potest sufficere ad reficiendum bezum suum et curandum ab illo molendino de Allolia usque ad molendinum Hildegardis*" : ce n'est pas seulement le bâtiment et la machine du moulin qui importent, mais aussi le droit d'eau et le bief. La contestation qui se règle ainsi en 1175 est due au déplacement du moulin, de Monnet à l'Ailleraie : Pierre perdait ses droits sur le moulin au cours de ce déplacement, et ne voulait pas se laisser faire. L'objectif des moines n'était sans doute pas de le priver de ce revenu, mais d'augmenter la longueur du bief. On constate des acquisitions de terres, ou plus exactement des revenus de celles-ci, entre l'ancien et le nouvel emplacement : "*tres solidos census de terra, pratis et ortis, a molendino de Monat usque ad terram de Allolia sitis*"[61], "*census [de terra] et pratis ad molendinum de Monet [usque ad terram de Allolia] sitis*"[62]. Les chartes (la première du moins) mentionnent la *terram de Allolia* et non le moulin : quoi qu'il puisse s'agir de deux lieux différents (c'est le cas aujourd'hui), j'y vois plutôt l'indice de ce que ces chartes sont antérieures au déplacement du moulin. Mentionneraient-elles d'ailleurs encore le moulin de Monnet si celui-ci n'existait plus ? Ces acquisitions de terres ont sans doute fourni le terrain nécessaire au creusement du nouveau bief.

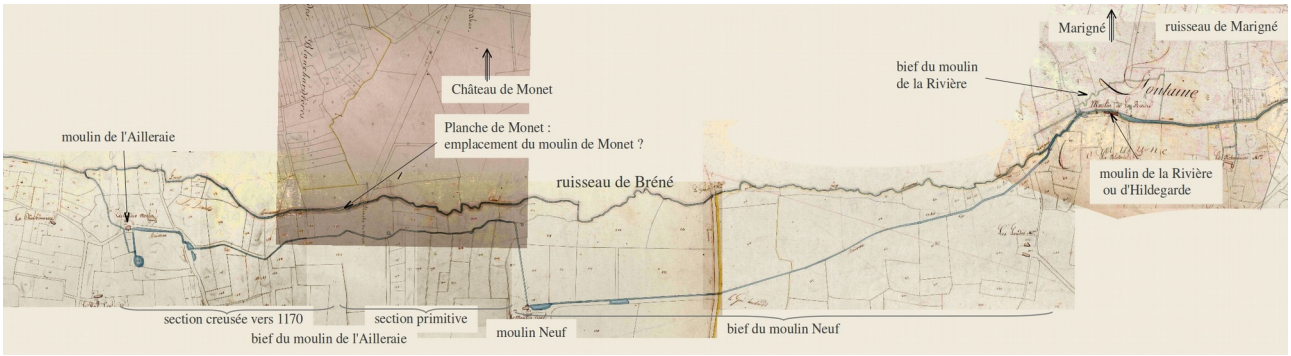


Figure 29. Les moulins à eau de Brion et leurs biefs, d'après le cadastre napoléonien de 1825 (Archives du Maine-et-Loire).

Un montage des plans du cadastre de 1825 conservés aux archives du Maine-et-Loire permet d'observer précisément la topographie des biefs (Fig. 29). On observe un canal perpendiculaire au ruisseau au niveau du moulin Neuf, qui rejoint le ruisseau en amont. Ces sections du bief sont remarquablement rectilignes. En aval du moulin Neuf, une autre section de bief serpente sur environ 300 m (cette partie est conservée), puis rejoint le moulin de l'Ailleraie par une succession de courts tronçons rectilignes. On est tenté de voir l'emplacement du moulin de Monnet primitif à l'extrémité de la section la moins régulière, qui serait aussi la plus ancienne. Un élargissement du cours d'eau dit "planche de Monnet" existe à moins de 100 m en aval, réuni au château par une route, et pourrait être liée elle aussi au moulin. Au XII[e] siècle, comme on l'a vu, le prieuré a acquis des terres le long

Chartrené. Il est donc plus probable qu'il ait appartenu à ce dernier. Le moulin Fossart dont il s'agit ici n'aurait alors aucun rapport avec lui.

61 *Cart. de Saint-Aubin*, t. II, p. 137, n° 648 ; 1157-1189.

62 *Ibid.,* t. II, p. 137, n° 649 ; 1157-1189.

du ruisseau en aval de son moulin, fait creuser un canal, qui n'est pas rectiligne mais déjà plus régulier que le canal antérieur, et déplacé le moulin au bas de ce canal. Cette modification permettait d'accroître la longueur du bief, donc la hauteur de chute, et par conséquent la puissance du moulin.

Ultérieurement, le creusement d'un deuxième bief en amont permettra de construire un nouveau moulin, au voisinage de l'emplacement de l'ancien moulin de Monnet, mais en allant chercher l'eau beaucoup plus haut, juste en aval du moulin amont qui appartenait en partie à l'occupant de l'autre rive (c'était Hardouin de Marigné en 1175). Ce bief est indiqué comme souterrain sur la carte IGN actuelle. Le moulin neuf n'a peut-être pas beaucoup tardé à succéder au précédent, en effet C. Port signale qu'"un *Guill. de Molendino Novo* figure en 1282 dans une charte sur Cuon"[63]. De plus, le bâtiment actuel du moulin Neuf possède des parties du XVI[e] siècle, selon la base Mérimée.

On constate que le bief du moulin de la Rivière se trouve sur l'autre rive, sur le territoire de la commune de Fontaine-Guérin. C'est naturel dans la mesure où ce moulin appartenait justement au "seigneur" de Marigné. Cependant le moulin actuel n'est pas sur le bief mais sur le ruisseau lui-même : a-t-il été déplacé, ou le canal avait-il une autre fonction ? À ces trois moulins s'en ajoute un quatrième, plus en amont sur le même ruisseau, actuellement sur la commune de Cuon, dit moulin de Brené, d'âge indéterminé. Quand Hubert de Soz proposa à l'abbé de Saint Aubin de construire une chapelle sur ses terres, il lui promit entre autres "*decimam molendinorum meorum*"[64]. Il possédait donc des moulins. Il ne reste aucune trace de ceux-ci, ni mention sur les cartes anciennes, à moins qu'il ne s'agisse de ce moulin de Brené.

1.A.5. Sobs

Sous l'abbatiat de Robert (1127-1154), une nouvelle querelle oppose le seigneur de Brion, Pierre, à l'abbaye[65]. Les moines ont dû créer un marché à Brion, sur lequel il prélèvent des taxes, il

63 C. Port, *Dictionnaire...*, t. 2, p. 762. Il donne la référence G 336, fol. 248.

64 *Cart. de Saint-Aubin*, t. II, p. 134, n° 645 ; 1127-1154.

65 *Ibid.*. Voici le texte complet :
Petrus siquidem ille vendas nostri burgi nobis violenter auferebat, furnile nostrum apud Brionium situm precipitaverat, res nostras hominumque nostrorum pro posse inquietabat. Cumque de Gaufrido comite et Ulgerio episcopo clamorem soepissime feceremus, Gaufridi comitis minas sive praecepta justiciamque ecclesiae penitus contemnebat.
Audita autem tanta injuria, Hucbertus de Soz, vir potens et nobilis, domnum Robertum abbatem ut ad se venire dignaretur per internuncios flagitavit. Ad quem eum abbas perrexisset, dixit ei Hucbertus : "Domne abbas, si in vico isto meo oratorium et altare michi edificare permitteritis et voluntate domni Ulgerii episcopi monachum unum qui ibi deserviat, posu erilis, pro certo sciatis quod ego duas domos in quibus habitet monachus et tantum de meis rebus unde unus vel duo monachi convenienter cum suis servientibus vivere possint, in elemosina dabo, scilicet unam oscam prope vicum ipsum, decimam molendinorum meorum, decimam furnilis mei, decimam censuum meorum, decimam ortorum meorum et proprium ortum monachorum usui aptum."
Abbas vero, audiens non modicum ecclesiae suae augmentum et Petri de Brionio detrimentum se petitioni Hucberli adquieturum, sed prius cum fratribus in communi capitulo super hac re consilium habiturum respondit. Quod cum audisset Petrus de Brionio, amens effectus, Andegavum venit, domnum Rotbertum abbatem eum furore adiit. Cui etiam terribili vultu ait : "Domne abbas, cur me vultis exheredare ? Si capellam apud vicum qui dicitur Soz edificari permiseritis, cuncta mala quae potero vobis et monachis vestris me invito inferre compelletis. Mallem ad tempus exheredari quam in prefato vico patiar capellam vel altare consecrari ! Si autem ab hac nostra injuria cessaveritis, ego vobis et

ont en tout cas construit un fournil, qui doit faire concurrence à celui du seigneur. Pierre n'admet ni l'un ni l'autre, et a d'abord essayé de faire valoir ses droits (ou ce qu'il croit l'être) par la violence. Cette fois il est question que le comte et l'évêque s'en mêlent. Alors intervient Hubert de Sobs, qui propose aux moines de déplacer l'église de la paroisse et le prieuré dans ce hameau[66]. Cette menace semble très grave pour Pierre : "*Domne abbas, cur me vultis exheredare ?*", dit-il. Il se voit obligé d'accepter les conditions des moines, contre la promesse qu'aucune autre église ne sera construite sur la paroisse. Cependant, cette promesse n'a pas été tenue, car la paroisse de Sobs est mentionnée dès 1232, où Geoffroy de Champeaux vendu aux prieurs de Brion et de Chartrené le fruit de toutes les dîmes qu'il percevait dans les paroisses de Soz et de Brion[67]. Il concédera gratuitement la pleine propriété de ces dîmes à Saint-Aubin deux ans plus tard[68]. En 1233, les paroissiens de Sobs reconnaissent devant l'official que les dîmes reviennent au prieuré, "*quod dicta parrochia de souz infra finis parrochiae de brion sita est et locata*"[69]. La charte porte les noms de 39 paroissiens.

Figure 30. La chapelle Saint-Jacques de Sobs.

Elle prospérera jusqu'à la fin du XVIII[e] siècle : "La paroisse, en 1790, comptait 37 feux, 205 habitants"[70]. La métairie et la chapelle de Sobs sont "vendu[es] nationalement le 2 thermidor an 4

---

hominibus vestris res vestras restituam ; furnile quod destruxi reedificabo, obedientiam vestram augmentabo ; augmentatam conservabo." Abbas autem et totus conventus concesserunt ibi quod, si in hac permissione ipse vel heredes sui perseveraverint, in parrochia sanctorum martyrum Gervasii et Prothasii nullum umquam oratorium vel altare construi permittant.

66 Sobs, commune de Brion, *cf.* C. Port, *Dictionnaire...*, t. 3, p. 530-531.

67 Archives du Maine-et-Loire, H 224, n° 24.

68 Archives du Maine-et-Loire, H 224, n° 25 ; confirmation par l'évêque : n° 26 et original H 225, n° 4. Le n° 25 porte la date de 1204, mais le texte est trop proche de celui de la confirmation pour qu'une telle différence de dates soit vraisemblable, compte tenu de la vente de l'usufruit des mêmes bien entre les deux. Qu'une lettre ait été omise par le copiste est plus probable.

69 Archives du Maine-et-Loire, H 224, n° 39.

70 *Cf.* C. Port, *Dictionnaire...*, t. 3, p. 530, article "Sobs".

(20juillet 1796) au Citoyen Jean Julien Béconnais de la ville de Beaufort"[71]. C'est aujourd'hui un hameau de 3 ou 4 maisons, dont l'une occupe les vestiges de l'église. C. Port donne la description suivante de cet édifice : "La chapelle, dédiée à Saint Jacques, son cimetière, le petit préau antérieur et la métairie y attenant furent vendus nat[t] le 2 thermidor an IV [...] Le petit édifice [...] ne paraît avoir jamais compris qu'une nef (12 mèt. sur 8), sans transept, avec un chœur, démoli après la vente. La façade (10 mèt. sur 11 de hauteur), à pignon surmonté autrefois d'un campanile, conserve sa grande porte ogivale (2 mèt. sur 2 mèt. 80). La décoration rappelle celle de l'église de Brion et forme avant-corps, dont la saillie s'éteint à hauteur de l'étroite croisée plein cintre qui le surmonte. Deux autres portes plein cintre à double archivolte s'ouvrent dans les murs latéraux, contrebuttés chacun de trois contreforts. Un bel arceau ogival, porté sur des colonnettes à chapiteaux mutilés, indique l'ancienne ouverture du chœur, autrefois voûté en pierre"[70]. Seule la façade est visible actuellement. Des vestiges des murs gouttereaux subsistent sans doute dans les murs de l'habitation et du hangar qui en ont pris la place, mais rien ne peut être observé en l'état actuel.

Pierre de Brion disait que la construction de cette église le ruinerait, et elle a été construite. Pierre avait-il raison, et y aurait-il dans là la cause d'une récession du bourg ? On constate en effet que l'église de Brion est restée inachevée, au moins dans ses sculptures et peut-être dans sa façade, au XIII[e] siècle.

1.A.6. Conclusion : Prieuré cure ou prieuré simple ?

Ainsi, avant 1055 existait à Brion une église consacrée à saint Gervais et saint Protais. Ranulfe, seigneur de Brion, a donné celle-ci à Saint-Aubin. Au début, il s'agit d'un tout petit établissement, comprenant deux moines, et sans doute deux ou trois serviteurs. Très vite, les moines se sont arrangés pour accroître leur patrimoine, en achetant des terres, ou en incitant le seigneur à leur faire de nouvelles donations, éventuellement par des moyen peu recommandables. Vers 1107, on a affaire à un véritable prieuré, puisqu'il y a un prieur en titre, sans doute davantage de moines, et que la plus grande partie des redevances du territoire de Brion revenait aux moines.

C'est de plus un prieuré-cure. C. Port, dans l'article de son *Dictionnaire* sur l'abbaye de Saint-Aubin, donne la liste de ses prieurés[72]. Dans celle-ci, le prieuré de Brion est mentionné comme un prieuré simple, d'ailleurs les renseignements supplémentaires qu'ils donnent sur les droits et obligations respectives du prieur et du curé le montrent bien que c'était le cas à l'époque moderne. En 1790, le titulaire du prieuré est un "chanoine de l'Eglise Collégiale de St Thugal de Laval"[73], le prieuré était donc, juste avant la Révolution, réduit à un simple bénéfice. Il semble cependant que la situation était différente aux XII[e] et XIII[e] siècles.

Dans les diverses chartes concernant des cessions de dîmes, aucune part n'est jamais réservée pour le curé. Dès la donation de Geoffroy de Brion (entre 1082 et 1106), c'est en principe la totalité des dîmes qui est attribuée à l'abbaye[74].Quand Geoffroy renonce aux réclamations qu'il a faites contre les moines, il leur concède en particulier le sacerdoce de l'église, *presbiteratum ecclesie*[75]. Il s'agit là de donner la cure à l'abbaye. Par ailleurs, aucun curé n'est mentionné dans la charte.

Le cartulaire cite fort peu de prêtres (*presbiter*) : Haimeric, cité vers 1060 comme témoin des

71 *Archives de Brion*[4], p. 591.
72 C. Port, *Dictionnaire...*, t. 1, p. 62.
73 *Archives de Brion*[4], p. 596.
74 *Cart. de Saint-Aubin*, t. I, p. 443, n° 384.
75 *Ibid.*, t. I, p. 442, n° 383 ; entre 1082 et 1106.

moines pour deux achats de terre[76], pourrait être curé de Brion. Dans la donation des cens du moulin de Monet[77] est cité "*M... presbiter de Brionio*" parmi les témoins des moines, à côté d'un certain *Radulfus presbiter*. La donation a eu lieu au chapitre de Saint-Aubin, et tous les témoins semblent en être des religieux, ce qui inciterait à conclure que le prêtre de Brion faisait partie de ceux-ci. Les seuls autres prêtres cités dans le cartulaire de Brion sont celui de Cuon, Durand, dans la donation de Dreux de Cuon[78], et Rainald, dans une charte faite à Baugé[79], juste après l'archidiacre Hubert de Baugé, il s'agit vraisemblablement du curé de ce lieu.

Quand Hubert de Sobs propose à l'abbé de Saint-Aubin de venir s'installer chez lui[65], la chapelle à construire à Sobs doit être desservie par un moine, "*monachum unum qui ibi desserviat*", ce qui laisse entendre que c'est déjà le cas à Brion. L'abbé concède au seigneur qu'on ne construise aucune chapelle dans la paroisse, ce qui n'aurait pas grand sens si la paroisse ne relevait pas du prieuré. De plus, l'évêque est mentionné 6 fois dans le cartulaire de Brion, toujours pour défendre les intérêts du prieuré contre le seigneur (ou autre laïc). Je n'ai trouvé aucune trace d'un curé ou d'un changement de statut du prieuré dans les chartes du XIII^{e} siècles, celles-ci concernent d'ailleurs essentiellement la paroisse de Sobs, dont la cure semble avoir aussi été très vite rattachée au prieuré, puisque celui-ci en a récolté toutes les dîmes, comme on l'a vu plus haut.

On peut conclure que Brion est un prieuré-cure de la donation de 1055 jusqu'à la fin du XIII^{e} siècle au moins. Cependant, selon P. Calendini[10], il devait quelque chose au curé de Brion, un accord est signalé en 1460. Le premier curé cité par C. Port l'est en 1460[80]. La cure a dû échapper au prieuré dans l'intervalle.

Le prieuré est à ce point essentiel à l'économie du village que, quand Pierre de Brion a contesté aux moines les taxes sur les ventes et le fournil, il leur a suffi de le menacer de déplacer le prieuré. La plus grande partie de la construction de l'église actuelle remonte sans doute à cette période florissante. Les renseignements concernant directement l'édifice sont par contre à peu près inexistants. Cependant, à l'occasion de l'accord passé en 1082 entre Geoffroy de Brion et les moines, on apprend l'existence d'une sorte de crypte : "*rocha que intra ecclesiam aperitur*"[81], dont il ne reste aucune trace à notre connaissance.

1.B. Sources du XIX^{e} siècle, et études

L'église Saint-Gervais-et-Saint-Protais a été l'objet d'une restauration extensive entre 1849 et 1871. Les principaux documents relatifs à l'histoire de ces restaurations se trouvent aux archives du Maine-et-Loire, sous la cote 4T38. Les "*Archives de Brion*" déjà mentionnées[4] relatent aussi ces travaux de restauration, et les comptes et le registre des délibérations de la fabrique[82] permettent de cerner les travaux dus à celle-ci, qui sont somme toute assez limités. Des travaux de restaurations avaient déjà eu lieu en 1832 (devis A, Riobé), mais d'autres étaient nécessaires, en particulier au

---

76 *Cart. de Saint-Aubin*, t. I, p. 439, n° 379 et p. 440, n° 380.
77 *Ibid.*, t. II, p. 137, n° 649 ; entre 1157 et 1189.
78 *Ibid.*, t. II, p. 128, n° 639 ; vers 1100.
79 *Ibid.*, t. II, p. 130, n° 640 ; datée de 1106.
80 Il se nommait Jean Louet. *Cf.* C. Port, *Dictionnaire*..., t. 1, p. 507.
81 *Cf.* n. 15. Sur le mot *rocha, cf.* du Cange, 2. *Roca : Rocha, Mansio, cella in rupe excisa ; unde nostris Roche, pro Cella vinaria, vulgo* Cave.
82 Archives diocésaines d'Angers, P 228 et P 251.

clocher. Des réparations ont effectuées entre 1846 et 1848[83]. Celles-ci, d'ailleurs peu étendues à en juger par leur coût modéré, n'étant pas suffisantes, un premier devis pour une restauration générale de l'église a été établi par l'architecte Louis Duvêtre en 1849[84]. Le montant du devis, de 50 103,31 F, excédait le budget de la commune, cependant celle-ci était désireuse de faire les travaux. Ceux-ci ont donc été divisés en plusieurs tranches, puis effectués aux frais de la commune[85], sauf une partie de l'intérieur dont s'est chargée la fabrique. Il n'y a eu aucune participation de l'état, d'autant plus que l'édifice n'a été classé qu'en 1910. L'architecte Louis Duvêtre était quelqu'un de très soigneux, qui nous a laissé des devis très détaillés. Nous avons de plus la chance de posséder, en plus des devis, la plupart des documents de réception des travaux. La plupart de cees documents sont donnés en annexe. Ils étaient accompagnés de quelques dessins, dont voici la liste :

- Un plan.
- Une élévation latérale nord.
- Une coupe longitudinale vers le nord.
- Une élévation vue de l'ouest.
- Une coupe transversale, au niveau du transept vers l'ouest.

Ces dessins sont asses petits (de l'ordre de 30×40 cm, le dessin lui-même n'occupant que la moitié de la feuille dans chaque direction).

Voici la liste des devis et documents de réception conservés dans la liasse 4T38 :

A. Devis pour le clocher, 1832, de L. Riobé.

Tous les documents suivants sont de Duvêtre.

B. Devis supplémentaire pour la restauration du clocher, 1852.

C. Réception des travaux du clocher, 1853. Ce document comporte une copie du devis de 1852 en regard des travaux effectués.

D. Devis pour la restauration du chœur, 1855.

E. Réception du chœur 1857.

F. Devis pour la restauration du transept sud, 1861.

G. Réception du transept sud, 1863.

H. Devis pour la restauration du transept nord, 1862.

I. Réception du transept nord, 1863.

---

83 Le devis approuvé par le préfet le 28 novembre 1846 (lettres du sous-préfet au préfet des 24 novembre 1846 et 9 septembre 1848) se montait à 663,94 F. La réception des travaux de "réparations à la cloche et au plancher du beffroi" dressée par l'agent voyer de l'arrondissement, pour 1110,72 F, a été soldée en septembre 1848 (Délibération du conseil municipal du 4 septembre 1848, et lettre du sous-préfet au préfet du 9 septembre 1848). Archives du Maine-et-Loire, 4T38. Le devis et le document de réception du 30 juillet 1848, y sont eux aussi conservés, sous la cote 65 AC 1 M 4. Je n'ai pas pu étudier ces derniers en détail.

84 Ce document, conservé aux archives départementales du Maine-et-Loire (cote 65 AC 1 M 4), a été recopié (c'est du moins ce que dit Duvêtre) dans les documents ultérieurs conservés, et un exemplaire des dessins qui lui étaient adjoints sont conservés avec ces derniers.

85 Le 27 mars 1850, le conseil municipal "prie donc M^{r} le Préfet de vouloir bien solliciter du gouvernement un secours en proportion" du devis de Duvêtre. Cependant "aucun secours [n'est] accordé par le Gouvernement" (lettre du maire au préfet du 3 juillet 1851). La commune semble avoir renoncé à toute demande de subvention ensuite, comme le remarque Godard-Faultrier dans son rapport à la Commission du 1r mai 1855. Archives du Maine-et-Loire, 4T38.

J. Devis pour la restauration intérieure de la nef, 1868.

K. Devis pour la restauration extérieure de la nef, 1868.

L. Réception des travaux de la nef, 1871.

À ces pièces s'ajoute la correspondance administrative, dont quelques pièces intéressantes relatives notamment au projet de restauration de 1855, le rapport de Godard-Faultrier à la Commission, avec la réponse de Duvêtre et des lettres de soutien de l'évêque et du maire, ou à un projet de réfection de l'absidiole nord par Mme de la Motte Rouge en 1856.

Il faut aussi mentionner les documents conservés dans la liasse 65 AC 1 M 4, qui contient, outre un 2e et parfois même un 3e exemplaire de la plupart des documents mentionnés ci-dessus, les pièces suivantes :

- Devis de réparations à faire aux beffroi de l'église de Brion, mis en paiement le 7 décembre 1846.
- Réception définitive des travaux exécutés au clocher, daté de Baugé, le 30 Juillet 1848.
- Devis général de restauration de l'église de Duvêtre de 1849, et le métré correspondant.
- Devis extrait du précédent et portant la même date.
- Réception des travaux du chœur à la charge de la fabrique, du 15 juin 1857.

Ces pièces sont accompagnées de quelques documents graphiques dessinés par Duvêtre :

- Une élévation sud montrant le projet de restauration du croisillon, avec les coupes de sa charpente et de celle de la nef.
- Un projet de restauration de la façade ouest,
- Un projet de restauration de la façade sud de la nef.

Les archives du Maine-et Loire conservent de plus quelques documents iconographiques, en particulier quelques dessins du comte de Galembert[86] :

1 - Plan[87].

2 - Ensemble des élévation intérieures et coupes de l'église[88].

3- Vue du chevet[89].

4- Vue de la façade ouest[90].

---

86 Louis-Marie-Charles de Bodin, comte de Galembert, "archéologue érudit, ardent défenseur du patrimoine médiéval de la Touraine et fondateur de la Société de Saint-Grégoire, petite confrérie dont la vocation était de contribuer au renouveau de la foi en décorant les édifices religieux de peintures murales", a réalisé le décor de l'église paroissiale Saint-André de Villaines-les-Rochers, dans le canton d'Azay-le-Rideau (Indre-et-Loire) (article sur cet édifice dans la base Mérimée). Il est l'auteur de plusieurs études archéologiques, on peut citer un *Mémoire sur les peintures murales de l'église Saint-Mesme de Chinon*, une *Description architectonique de l'église de Bocé, projet de restauration,* un ouvrage intitulé *Sculpture et peinture en Touraine, de l'an 1000 à l'an 1250 environ*, par exemple. Les Archives du Maine-et-Loire conservent des dessins qu'il a réalisés du château d'Avoir à Longué, de celui de la Lande-Chasles, du manoir de la Boulaye à Bocé, de l'église de Pontigné, et d'autres édifices voisins. Il a sans doute réalisé un plus grand nombre de dessins d'édifices de Touraine, mais ceux-ci sont d'un accès moins facile. Il a aussi publiés quelques ouvrages à caractère politique, dont un sur le suffrage universel.

87 Cote : 11 Fi 3068. Église paroissiale : plan au sol, par le comte de Galembert. Encre et plume - NB - 32,8 × 48,2 cm - 1873.

88 Cote : 11 Fi 3069. Église paroissiale : coupes de la nef, des transepts et du chœur, par le comte de Galembert . Encre et plume - NB - 45,2 × 64,5 cm - 1873 .

89 Cote : 11 Fi 3070. L'église, côté abside, par le comte de Galembert. Crayon - NB - 25 × 25,2 - 1873.

90 Cote : 11 Fi 3071. L'église, façade occidentale, par le comte de Galembert. Crayon - NB - 27,8 × 26,5

5 et 6- Deux vues du chœur[91].

7- Divers détails de sculptures[92].

8- Peinture murale[93].

Quoique datés postérieurement à la restauration, certains de ces dessins, en particulier la vue de la façade occidentale et les vues intérieures, mais aussi le dessin de certaines des sculptures, semblent bien donner l'état avant les travaux. Les archives du Maine-et Loire conservent aussi quelques cartes postales anciennes[94] et une photo[95].

La médiathèque de l'Architecture et du Patrimoine en conserve quelques autres ; la base Mérimée donne :

-trois photos d'Eugène Lefèvre Pontalis (donc antérieures à 1923), dont deux représentent la voûte du croisillon sud, et la troisième l'extérieur du clocher ;

- deux photos de Médéric Mieusement (actif jusqu'en 1893), l'intérieur de la nef, et l'extérieur de l'abside ;

- cinq photos de Georges Estève. datées d'avant 1932 : l'élévation sud, le chevet vu du nord-est et vu du sud-est, une vue intérieure du transept nord, et un vue de la nef vers le chœur.

Aucun de ces documents graphiques ne donne l'état avant la restauration de Duvêtre. Cependant un tableau d'Achille Chanciergues Dubord, conservé au Musée Joseph-Denais à Beaufort-en-Vallée[96] montre la façade sud de l'église en 1846, donc avant cette restauration.

1.B.1. À propos de l'architecte Duvêtre

"Duvestre ou Duvètre était architecte conservateur des édifices du diocèse d'Angers, avec Joly-Leterme, en 1850. Il l'était encore en 1854, mais il avait cessé en 1855. son nom ne figure pas sur les annuaires de 1885 (Almanachs du Bâtiment de 1850 à 1854)"[97].

Cet architecte angevin était très actif, et en fort bonne relations avec les religieux. Il a notamment dirigé la construction de la plupart des couvents d'Angers du XIX^{e} siècle[98], de la

---

cm - 1873.

91 Cote : 11 Fi 3072. Église paroissiale : le chœur, par le comte de Galembert, don en décembre 1890. Crayon - NB - 45,8 × 31,4 cm - 1873 . Cote : 11 Fi 3073. Même titre et caractéristiques, sauf les dimensions : 44 × 32,8 cm.

92 Cote : 11 Fi 3074. Décorations des chapiteaux et voussures de l'église, par le comte de Galembert. Crayon - NB - 35,5 × 25,5 cm - 1873.

93 Cote : 11 Fi 3075. Saint Gervais et saint Protais, fresque murale retrouvée sur la première travée de la nef, à l'entrée dans le transept à droite, lors des travaux de restauration, par le comte de Galembert, don en décembre 1890. Aquarelle - Couleur - 14,3 × 22,2 cm - 1890.

94 Cotes 6Fi 1773 : L'église ; 6Fi 1774 : L'abside de l'église ; 6Fi 1775 : Intérieur de l'église ; 6Fi 1777 : Route de Beaufort.

95 Coll. C. Port, cote 11 Fi 3076 : La rue de L'église. 11,8 × 16,8 cm, fin XIX^{e} s.

96 Achille Chanciergues Dubord (Paris 1780 - Beaufort-en-Vallée 1877), l'église de Brion, huile sur toile, 1846, inv. BF 2982, Musée Joseph-Denais, Beaufort-en-Vallée.

97 Charles Bauchal, *Nouveau dictionnaire biographique et critique des architectes français*, (Paris, André, Daly fils & C^{ie}, 1887), http://archive.org/stream/nouveaudictionna00baucuoft#page/n5/mode/2up, p. 650.

98 La base Mérimée mentionne à son actif les couvents des sœurs de la Sainte-Famille ou de l'Espérance, du Bon Pasteur, des Sœurs Saint-Charles, des Petites Sœurs des Pauvres (ce dernier semble avoir été récemment détruit), des Augustines du Sacré cœur de Marie, des Filles de la Charité de Sainte-Marie,

construction de diverses églises néo-gothiques[99], ainsi que de l'agrandissement ou la reconstructions partielles de quelques églises anciennes[100]. Il a aussi construit des bâtiments profanes, dont sans doute un grand nombre de maison angevines[101], et participé à quelques grandes opérations de restauration : l'évêché d'Angers, la montée Saint Maurice, l'abbaye de Solesmes[102]. L'essentiel de son activité se situe à Angers, et il s'en éloigne assez peu[103].

Cette assiduité sur les travaux du diocèse était fort du goût de l'évêque. Le 30 mai 1849 le Directeur des cultes écrivit à l'évêque d'Angers pour lui recommander Joly-Leterme pour l'emploi d'architecte diocésain. L'évêque répondit à cette lettre : "Je ne conteste point les talents de M. Joly, mais il est à 12 lieues de distance [...][104] j'ai tout à craindre que nous n'ayons à regretter le zèle et l'activité de M. Duvêtre [...]. Je ne sais si des rapports de M. Mérimée et autres savants archéologues auraient assez rendu justice à M. Duvêtre, mais pour moi qui suis sur les lieux et plus à même peut-être de l'apprécier, je regretterai beaucoup qu'il ne soit continué dans ces fonctions"[105]. Cependant Mérimée ne veut pas tenir compte de cet avis, il écrit à Joly-Leterme pour lui annoncer officieusement qu'il sera nommé responsable de la restauration de Saint-Maurice quoiqu'en pense l'évêque[106]. Après une nomination de Duvêtre en 1853, il intervient pour l'éliminer et le faire remplacer par Joly-Leterme. Il n'est pas évident que Mérimée ait d'autre raison de maltraiter Duvêtre comme il le fait, que l'amitié qui le lie à son rival. Voici ce qu'il écrit à ce dernier :

"Mon cher ami [...] Si Duvêtre vous embête, envoyez-le promener. Il est bon que M^r^ Reynaud sache et voie cet affreux gâchis"[107].

"Mon cher ami, je crains fort qu'on ne vous ait joué un vilain tour en l'absence des inspecteurs. M^r^ de Contencin m'a dit hier que la résidence était obligatoire pour les travaux ordinaires et qu'il avait été obligé de nommer M^r^ Duvêtre [...] s'il est possible de revenir sur cette bêtise"[108].

"Chez nous, je n'ai pas besoin de vous dire que nous ne connaissons pas M^r^ Duvêtre et que nous n'en tenons pas plus de compte que d'un cornichon"[109].

Enfin, dans une lettre du 30 août 1853, Mérimée explique à Joly-Leterme comment, avec Viollet-le-Duc, il est allé voir le ministre pour obtenir la destitution de Duvêtre et son remplacement

---

des bénédictines du Calvaire.

99 On peut citer les églises paroissiales Saint-Martin de Noyant, Sainte-Madeleine de Pouancé, Saint-Jean-Baptiste de Saint-Jean-des-Mauvrets, Saint-Saturnin de Saint-Saturnin sur-Loire, Saint-Pierre de Vihiers (base Mérimée).

100 Citons les églises paroissiales Saint-Marcel de Briollay, Saint-Michel du May-sur-Evre, Saint-Aubin de Seiches-sur-le-Loir (base Mérimée).

101 Celles-ci n'étant pas inscrites à l'Inventaire, à une exception près, déterminer l'importance de ce groupe est plus délicat. La base Mérimée nous permet de mentionner l'hôtel de ville de Beaufort-en-Vallée et la maison de maître de la Chambre-aux-Deniers à Angers.

102 Source : base Mérimée.

103 Sur 23 monuments mentionnés à son nom par la base Mérimée, 15 se trouvent à Angers même, et le plus éloigné se situe à environ 60 km (Pouancé).

104 Joly-Leterme habitait alors à Saumur.

105 *Correspondance générale de Prosper Mérimée*, Maurice Parturier, Pierre Josserand, Jean Mallion (Paris, Le Divan, 1946), t. V, p. 458, note 1.

106 *Ibid.*, t. V, p. 478, lettre 1491, du 14 juillet 1849.

107 *Ibid.*, t. VII, p. 85, lettre 1993, à Joly-Leterme, du 30 juin 1853.

108 *Ibid.*, t. VII, p.98, lettre 2001, à Joly-Leterme, du 9 juillet 1853.

109 *Ibid.*, t. VII, p. 104-105, lettre 2006, à Joly-Leterme, du 12 juillet 1853.

par Joly-Leterme, “lui reprochant [au ministre] de dégoûter et de renvoyer les gens habiles et honnêtes et d’introduire la canaille”[110]. C’est dans ce contexte que se place la restauration de l’église de Brion. Que les restaurations aient été entièrement financées par la commune sans aucune aide de l’État s’accordent bien avec le fait que l’architecte était mal vu des autorités parisiennes. D’autre part, le fait que la commission cherche des défauts au projet de Duvêtre dans un domaine qui ne concerne ni l’art ni l’architecture, mais uniquement l’organisation du culte, pourrait s’éclairer par ces disputes, Si en effet le projet devait être jugé excellent selon les critères archéologiques de la commission, mais qu’on répugnait à trop approuver un architecte extérieur à la coterie, il devenait naturel de trouver des critiques où l’on pouvait.

1.B.2. La réception des travaux du XIX^e^ siècle par les contemporains

Le cahier des délibération du conseil de fabrique[111] conserve la mention des visite pastorales de l’évêque. En particulier, le 9 mars 1873, la visite de Monseigneur Freppel qui “félicite les habitants sur les magnifiques restaurations”. La visite de Monseigneur Mathieu à Brion le 20 mai 1893 est mentionnée quelques pages plus loin, “il félicite l’Administration de la grande œuvre de la réparation de l’Eglise qu’il invite à poursuivre”. Enfin le conseil de fabrique écrit en 1898 :

“La restauration de l’Eglise est digne et complète à l’intérieur. Des bienfaiteurs promettent leur concours pour le rétablissement de la chapelle St Joseph et la construction de la sacristie, sachons donc persévérer dans nos efforts la Providence nous secondera.”

Des témoignages analogues sont donnés par les *Archives de Brion*, qui de plus affichent un jugement extrêmement positif sur toutes les restaurations, y compris la façade néo-Romane de Duvêtre, et son portail qui serait la partie qui suscitait le plus l’admiration des visiteurs[112]. Ces témoignages nous montrent que les restaurations ont été très appréciées par le public du XIX^e^ siècle.

1.B.3. Le début du XX^e^ siècle

L’élise a été classée monument historique le 8 juillet 1910, bien après les principaux travaux de restauration, qui furent conduits à l’initiative de la commune et de la paroisse. En 1912, des dégâts sont constatés sur l’église : “Les tempêtes de décembre et janvier dernier ont détérioré assez sérieusement la toiture de l’église et entièrement brisé l’une des fenêtres du chœur”[113]. En mai des réparations urgentes sont effectuées[114], puis un devis est établi par J. Hardion en 1914. Celui-ci prévoit la “reprise de la grande lézarde du chevet” sur 12 m de hauteur. D’autres reprises sont prévues, dans les parties exposées, contreforts, arêtiers, piédroits, glacis. Une réfection complète des toitures du clocher du chœur et des absidioles est envisagée, “les transepts et la nef feront l’objet d’une proposition ultérieure”[115]. Le 29 juin 1914, tout est prêt pour que les travaux puissent commencer[116], mais la guerre arrive. À celle-ci s’ajoutent des inondations, et les travaux sont

110 *Correspondance générale de Prosper Mérimée*[105], t. VII, p. 153, lettre 2041.

111 Archives diocésaines d’Angers, P 251.

112 *Archives de Brion*[4], p. 296.

113 Délibération du conseil municipal du 3 mars 1912. Archives du Maine-et-Loire, 4T38.

114 Les travaux sont effectués sous la direction de M. Dussauze, architecte adjoint des Monuments Historiques, pour un montant de 450 F environ. Lettre du préfet du Maine-et-Loire du 23 mai 1912, Archives du Maine-et-Loire, 4T38.

115 Devis de J. Hardion de mars 1914, montant 9891,40 F. Archives du Maine-et-Loire, 4T38.

116 On conserve le document par lequel le préfet transmet au sous secrétaire d’État des Beaux-Arts l’accord

reportés *sine die*.

En février 1935, une tempête endommage la tour du clocher de l'église paroissiale[117]. L'état accepte de réduire la part de la commune à 30% de la dépense, mais elle n'a toujours pas les moyens d'y faire face. Ceci jusqu'en août 1936, date de la dernière pièce du dossier. La lézarde en question a été réparée depuis cette date, les restaurations de cette dernière campagne ont été faites de façon très visible.

1.C. Historiographie l'édifice

C'est l'ouvrage manuscrit intitulé *Archives de Brion* qui contient la première étude de l'église du point de vue de l'histoire de l'art[118]. Cette monographie contient beaucoup d'informations, mais aussi beaucoup d'*a priori* des plus douteux. La charte de donation est citée, mais l'auteur tient absolument à ce que l'église actuelle ait été construite par un seigneur, et de préférence par le comte. La seconde notice est celle du chanoine Urseau, dans son ouvrage *Églises et chapelles d'Anjou*[119] qui a récemment fait l'objet d'une édition. La seule étude détaillée est l'article de J. Mallet dans le *Congrès Archéologique* de 1964[120], reprise dans l'ouvrage sur l'art roman en Anjou de cet auteur[121]. M. Deyres dans son *Anjou Roman*[122], et plus récemment Y. Blomme dans son *Anjou Gothique*[123] reprennent essentiellement ses conclusions.

Enfin A. Mussat, dans son ouvrage sur le style gothique de l'Ouest[124], revient à plusieurs reprises sur l'église de Brion, d'abord au sujet des voûtes d'ogives primitives du transept[125] puis au sujet de la nef[126], enfin à propos de la remarquable voûte de l'étage du clocher[127].

1.C.1. Édifices antérieurs et apport des sources

Les édifices existant antérieurement à l'église actuelle ont fort peu été considérés. L'ancienneté de l'occupation du site, on l'a vu, a été établie par C. Port sur la base de la documentation et de quelques trouvailles qu'il mentionne. Les auteurs postérieurs ne font que reprendre ses conclusions, ainsi J. Mallet écrit qu' "une présence humaine est attestée à Brion dès les VIIe et VIIIe siècles"[128]. Si les auteurs les plus anciens pensaient que l'église actuelle remontait à la donation de 1055, les travaux récents (J. Mallet et Y. Blomme notamment) s'accordent pour dater celle-ci du XII^{e} siècle pour l'essentiel. Cependant l'édifice, ou plus vraisemblablement les édifices successifs, qui l'ont précédée, n'ont été pris en compte par aucun commentateur. Seul R. de Russon semble attribuer à

de la commune pour sa participation au frais. Archives du Maine-et-Loire, 4T38.

117 Lettre du maire du 25 février 1935. Archives du Maine-et-Loire, 4T38.

118 *Archives de Brion*[4], en particulier p. 174 et suivantes.

119 Chanoine Charles Urseau (1860-1940), *Églises et chapelles d'Anjou* (manuscrit édité en 2011 par les Archives diocésaines), pp. 63-64.

120 Jacques Mallet, "L'église de Brion", dans *Congrès Archéologique de France, CXXIIe session, 1964, Anjou* (Société Française d'Archéologie, 1964), pp. 138-154.

121 Jacques Mallet, *L'art roman de l'ancien Anjou* (Paris, Picard, 1984), pp. 200-203.

122 Marcel Deyres, Jean Porcher, *Anjou Roman* (2^{e} éd., Zodiaque, 1987), pp. 218-219.

123 Yves Blomme, *Anjou gothique* (Paris, Picard, 1998), pp. 118-122.

124 André Mussat, *Le style gothique de l'Ouest de la France (XIIe-XIIIe siècles)* (Paris, Picard, 1963).

125 *Ibid.*, pp. 41-42.

126 *Ibid.*, pp. 296-297.

127 *Ibid.*, pp. 352-353.

128 J. Mallet, art. cit. n. 120, p. 138.

l'un d'eux des fragments de sculpture remployés comme matériaux de remplissage et retrouvés au cours des travaux de restauration. Curieusement, J. Mallet envisage que les fragments de sculpture "mérovingiens" en question Russon remontent au XI^e^ siècle, mais pas qu'il aient appartenu à un édifice de cet époque disparu. J. Mallet voit dans la réconciliation de Pierre de Brion[129] le point de départ de la construction, le chantage étant "peu vraisemblable après l'achèvement du bâtiment"[128]. Les autres auteurs qui abordent la question reprennent ses conclusions.

L'église aurait été transformée en forteresse durant la guerre de Cent Ans. C. Port mentionne (trop brièvement) des éléments très caractéristiques : fenêtres "disposées en cheminées avec meurtrières", "fours établis pour la fonte du plomb et des projectiles" ; Russon donne quelques informations analogues. J. Mallet mentionne une ces observations, en paraissant douter de l'existence des fourneaux, mais pas de celle des créneaux. Les *Archives de Brion* racontent en détail une histoire de ces fortifications[130], en relation d'abord avec des événements des années 1360 (liés à la fin de la guerre de succession de Bretagne). "Les murs sont exhaucés [*sic*] tout autour et percés de meurtrières. Les fenêtres sont fermées par de la maçonnerie, on y établit des cheminées et des fourneaux. Le vaisseau de l'Église reçoit un plancher qui reçoit les minages des défenseurs et le rez de chaussée se remplit de bestiaux et de fourrages. La façade et toute la partie méridionale est protégée par un fossé large de quatre mètres et profond de deux. On ne procède pas à ce travail dans la partie nord adossée à la butte". Puis, après un récit de la bataille de Vieil-Baugé de 1421, et par analogie avec des opérations militaires qui auraient eu lieu à cette occasion, il explique que le pignon du croisillon nord a été démoli à cette occasion, et resta simplement obturé par un bâti de charpente par la suite.

Il est évident que l'auteur tient absolument à rattacher les événements locaux à ce qu'il sait de la "grande histoire". Si la cause qu'il attribue à ces dégradations est sujette à caution, les informations que nous donne l'auteur des *Archives de Brion* sur l'état de l'église avant les restaurations du XIX^e^ sont beaucoup plus fiables, et précieuses.

1.C.2. Restaurations et chronologie

J. Mallet a étudié le dossier de restauration, il semble que les autres auteurs ne font que reprendre ses conclusions. Il juge la restauration radicale, "à l'extérieur, il semble que seul l'angle nord-est du chevet possède un nombre notable de pierres et même de modillons anciens". Il admet "l'authenticité (atténuée) de la plupart des grands chapiteaux et de la moitié des petits" dans le transept et le chevet, mais considère tout le reste comme neuf.

Au sujet des fenêtres du transept, il écrit "seule la fenêtre ouest du croisillon sud réalisait, peut-être autrefois, ce type harmonieux"[131]. On verra que cette analyse est sans doute pessimiste, et que vraisemblablement deux des quatre fenêtres, et une partie importante de la structure des deux autres, sont, sinon authentiques, du moins restituées dans un état conforme à leur structure originelle.

J. Mallet note que le devis du 22 mai 1862[132] pour le transept nord prévoit "le rétablissement

129 *Cf.* note 65. Cette charte est datée 1127-1154 par Bertrand de Broussillon. J. Mallet donne comme dates 1129-1149 sans justification.

130 *Archives de Brion*[4], pp. 180-183.

131 *Congrès Archéologique* de 1964, p. 145.

132 J. Mallet attribue par erreur à Dussauze les dessins conservés aux archives du Maine-et-Loire, qui sont signés Duvêtre, et accompagnaient le devis réalisé par celui-ci en 1849. Dussauze est l'auteur d'un devis de réparations urgents en 1912. D'ailleurs il est né en 1851 (http://elec.enc.sorbonne.fr/architectes/196), et n'a pas pu établir de plans avant 1870 environ.

des croisées dans leur état primitif", et conclut à une transformation radicale de ces fenêtres suivant la fantaisie du restaurateur. Il n'est pas exact que "les dessins indiquent des fenêtres jumelées au nord comme à l'ouest". Certes, l'élévation du pignon nord de Duvêtre montre une fenêtre double, mais son témoignage écrit affirme l'authenticité des autres ouvertures. Il semble que J. Mallet donne beaucoup plus de poids au document graphique qu'au texte. De plus, une éventuelle hétérogénéité des fenêtres avant la restauration, dont certaines auraient correspondu au modèle après restauration, et d'autres non, en particulier une absence éventuelle de symétrie entre le nord et le sud, n'est pas vraiment envisagée, peut-être faute de place. En effet, tous les dessins montrent l'élévation nord, et elle seule (sauf, en ce qui concerne la nef, l'indication d'une colonnette unique à l'intérieur sur le plan de Duvêtre, *cf.* dossier, Fig. 123). J. Mallet, quoiqu'il n'envisage pas l'éventualité d'un dissymétrie entre le nord et le sud, établit cependant la différence originelle entre les deux travées de la nef : les fenêtres "de la travée ouest étaient primitivement en arc brisé et la colonnette du milieu leur était commune", alors qu'il y a quatre colonnettes sur chacune des fenêtres de la travée est, et que ce parti a été reproduit par les restaurateurs dans celle de l'ouest. Il relève aussi les différences de hauteur et de forme des corniches entre les deux bras du transept, et entre ceux-ci et la nef. A. Mussat ne pense pas non plus que la nef soit homogène. Il écrit en effet qu'"on entreprit de voûter une nef plus ancienne", mais sans davantage de précision[133].

La chronologie proposée par J. Mallet est la suivante : il place le transept et le sanctuaire entre 1130 et 1160, vers 1170-1180 "la fin des travaux de décoration de la porte du croisillon sud et de la coupole", et la travée orientale de la nef immédiatement ensuite. Le clocher a été construit au XIII^{e} siècle et la travée et la façade occidentales à une date indéterminée. Cette datation a le défaut de supposer *a priori* le monument construit par tranches verticales, et a de plus tendance à le décomposer en deux parties, une partie "romane" supposée plus ou moins homogène, qui comprend le transept et le chevet, et une partie "gothique" largement postérieure, qui comprend la nef, du moins sa travée occidentale et ses voûtes, et les parties hautes du clocher. C'est l'image que voulaient donner les restaurateurs, comme en témoigne l'exposé du devis de Duvêtre de 1868 pour l'extérieur de la nef : "les deux transepts et la nef appartiennent à la plus belle époque du style roman, la travée de la nef la plus rapprochée des transepts est moins pure, celle vers la porte rajoutée depuis, se rapproche du 14e siècle ; enfin la façade est composée d'éléments divers, de plusieurs époques Il nous a semblé que la restauration de cette façade devait se rapporter au style roman qui est le plus suivi dans la décoration de l'édifice". Tout en critiquant Duvêtre, J. Mallet n'est il pas influencé dans son analyse par cette image d'édifice homogène du XII^{e} siècle que celui-ci a voulu donner de l'église ?

Ainsi, quand J. Mallet observe que les colonnes d'angle de la croisée sont "un procédé fréquent en Anjou, déjà employé à Saint-Martin un siècle plus tôt", et que "comme les ogives massives des croisillons, à clef carrée appareillée, la coupole nervée de la croisée est un exemple des recherches faites par les architectes angevins, en s'inspirant des tentatives antérieures du midi de la France (clochers-porches de Moissac et de Poitiers, par exemple, pour les ogives primitives)", on aimerait comprendre pourquoi la modénature et même les procédés constructifs employés pour les deux types de voûtes sont si différents. Le chanoine Urseau[134] compare les voûtes du transept à celles du croisillon sud de Mouliherne. La voûte du croisillon nord de Mouliherne est d'ogives, les voûtains sont assez comparables à ceux de Brion, mais les nervures appréciablement moins épaisses. Dans le

133 A. Mussat, *op. cit*. n. 124, p. 296.
134 *Op. cit.* n. 119.

croisillon sud, on a de grosses ogives carrées rappelant assez clairement celles de Brion, mais la voûte de Mouliherne est en arc de cloître. On peut voir le système d'ogives primitif du croisillon sud de Mouliherne comme précurseur de celui de Brion, et sa voûte nord comme l'étape suivant immédiatement celles des bras de transept de Brion dans l'évolution du voûtement.

J. Mallet mentionne le clocher commet la partie "la moins abîmée au XIXe siècle", ce qui est bien dur pour les restaurateurs. "Le plus curieux est de trouver, couvrant la chambre du beffroi, une voûte angevine à nervures multiples, admirable de légèreté, dont on voit mal l'usage"[135]. Y. Blomme ajoute que "la tour de Brion a d'ailleurs dû être armée d'énormes tirants de fer"[136], sans préciser leur âge.

L'ouvrage de Russon apporte peu d'informations au sujet des restaurations[137]. Cependant il mentionne des sculptures de diverses époques, soit trouvées, soit enlevées pendant les travaux. Citons ces passages : "Dans la masse de maçonnerie de blocage placée au-dessus des voûtes, il a été découvert des fragments de fûts de colonne et un chapiteau qui semble avoir été peint à la colle" que Russon date de "la période mérovingienne", ainsi qu'un "buste d'évêque [...] revêtu de ses habits sacerdotaux". Si on ne peut pas se ne peut pas se fier à Russon pour la datation, et si celui-ci ne précise pas où ces trouvailles ont été faites, cette mention atteste cependant la présence de matériaux de remploi dans ce blocage. Ces matériaux proviennent nécessairement d'un édifice ou partie d'édifice antérieur à la construction de la voûte, ce qui indique non seulement que l'église actuelle n'est pas la première à avoir occupé cet emplacement (ce qui est assez clair par ailleurs d'après la documentation, comme on l'a vu), mais aussi que cet édifice ou partie édifice a pu être d'une architecture relativement recherchée et non dépourvue d'ornements.

Russon cite aussi "un grand nombre de statues de saints, les douze apôtres, la vierge de l'autel", "une statue de saint jean Baptiste", "un groupe de descente de croix", faisant partie d'un décor sculpté qui a été supprimé lors des restaurations du XIX^{e}. La réalisation de ces sculptures doit *a priori* s'étendre du XI^{e} au XVIII^{e} siècle.

"Enfin en démolissant la porte qui fut pratiquée en 1788 à l'ouest du transept Nord, on a trouvé une pierre de tuffeau sur laquelle étaient sculptés deux personnages et une partie de sujet qui paraît être une scène de la résurrection de notre Sauveur, cette pierre doit avoir appartenu à la chapelle de la Passion qui fut supprimée à vers la même époque"[138]. On voit au passage que la porte en question est moderne.

1.C.3. Sculpture

Ce qui intéresse surtout J. Mallet est la sculpture, c'est peut-être la raison pour laquelle il rejette comme neufs des éléments qui pourraient avoir été refaits à l'identique : si cette situation présente un intérêt pour l'étude de l'architecture et de la construction, elle n'en a aucun pour l'étude de la sculpture. Les chapiteaux de la nef sont laissés de côté parce que "postérieurs à 1873". Cette affirmation est faite sur la base de l'élévation intérieure de Galembert (*cf.* dossier, Fig. 129), qui

135 J. Mallet, art. cit. n. 120, p. 153.

136 Y. Blomme, *op. cit.* n. 123, p. 122.

137 *Cf.* note 7. Dans sa description de l'église (p. 28), Russon dit que "l'une des portes est très ornée" : il n'a manifestement pas vu que le portail occidental est l'œuvre de la restauration récente, ce qui discrédite l'ensemble de ses observations.

138 Je pense qu'il faut voir dans la "chapelle de la Passion" un autel accompagné d'un décor sculpté, comme un retable, et d'époque indéterminée entre le XII^{e} siècle et le début du XVIII^{e}. Cette chapelle est mentionnée dans les "sept chapelles de l'Eglise de Brion" des *Archives de Brion*[4], pp. 611 *sq.*

porte cette date et ne montre aucune sculpture des chapiteaux. On constate là un *a priori* de l'historien, qui ajoute foi aux documents graphiques, en admettant sans discussion qu'ils représentent l'état de l'édifice à la date donnée pour leur réalisation. Ici ça n'est clairement pas le cas puisque le dessin de Galembert daté de 1873 présente l'état de la façade avant la restauration de Duvêtre, dont le document de réception porte la date de 1871. Ceci dit, le témoignage des *Archives de Brion* confirme l'opinion de J. Mallet sur ces chapiteaux[139]. La sculpture extérieure du chevet, quoique J. Mallet ne conteste pas son authenticité, est aussi laissée de côté, ainsi que celle de l'intérieur de l'abside. Il précise seulement qu'à l'extérieur, "quelques chapiteaux peuvent être anciens", par exemple le "chapiteau est de la fenêtre nord du croisillon", rapproché de Chênehutte. Dans le chevet, "nombre de modillons paraissent authentiques". C'est la sculpture de l'intérieur du chœur et des bras du transept qui est étudiée.

Voici un bref compte-rendu de cette analyse, utilisant la numérotation de la présente étude. J. Mallet distingue plusieurs groupes de chapiteaux. "Une première [famille] comprend les chapiteaux du croisillon nord, ceux du pilier nord-ouest de la croisée et le chapiteau nord-ouest[140] du croisillon sud", c'est-à-dire les n^{os} 4, 7, 10, 11, 1, 3, 45 (ou plutôt 38), caractérisée par "la tradition des grandes surfaces des chapiteaux à feuilles d'eau".

Un deuxième groupe contiendrait "les chapiteaux du nord-ouest et sud-est du croisillon sud" (n^{os} 45, 39), "ceux du sud-ouest du croisillon sud et pilier nord-est de la croisée", (n^{os} 42, 12, 14), "ceux des nervures de la coupole" (n^{os} 2, 13, 36, 47), comparés respectivement à des chapiteaux du Ronceray, de la salle synodale de l'évêché d'Angers,et du chœur de Saint-Pierre de Saumur.

Une troisième série serait composée d'un chapiteau du pilier sud-ouest de la croisée (n° 48g), rapproché de Sainte-Eutrope de Saintes de même que les voisins (n^{o} 46).

Un 4^{e} groupe comprend "certains chapiteaux réduits au jeu des caulicoles" (n^{o} 35 ?), "ceux des piliers sud-est de la croisée et du doubleau du chœur voisin" (n^{os} 37, 35, 32, 15)". Certains caractères de ceux-ci se retrouvent sur le chapiteau de l'arcade décorative de la base du clocher de Trèves, daté du milieu du XII^{e} siècle par l'auteur.

Enfin, les "chapiteau à monstres" du chœur (n^{os} 18, 29), "plus fouillés, plus maigres que ceux du pilier nord-ouest de la croisée". J. Mallet ne voit pas d'évolution chronologique dans cette sculpture, et la daterait des années 1040 à 1060. Il a remarqué cependant que "les quatre chapiteaux de chaque pilier de la croisée appartenaient au même groupe".

2. Description analytique

2.A. Situation

L'église de Brion est voisine d'une hauteur (le tertre de Brion, *podium Brionis*) de laquelle on a une vue sur l'ensemble de la vallée. Cette hauteur a potentiellement un intérêt stratégique, mais il ne semble pas qu'elle ait eu effectivement une importance militaire. Cependant le site du tertre a fait l'objet de disputes (*cf.* section 1.A.3 ci-dessus). Une tradition qui, au vu des maçonneries, semble peu fondée, veut que l'église ait été fortifiée pendant la guerre de Cent Ans. Quoique le conflit n'ait pas épargné la région, avec en particulier l'occupation de l'abbaye de Louroux à partir de 1355 par

139 *Archives de Brion*[4], p. 296 : "Le sculpteur qui a fait les modillons de la façade et les chapiteaux de l'intérieur est Mr Bariller (la plupart de ces chapiteaux étaient restés simplement taillés)".

140 Il y a sans nul doute une coquille, puisque le même chapiteau est mentionné dans la 2^{e} série. Je pense qu'il s'agit ici du chapiteau nord-est, n° 38, à feuilles lisses.

“un corps de soudards Anglais”[141], à 20 km de Brion, puis la bataille du Vieil-Baugé en 1421, à 12 km. aucun événement ne semble attesté à Brion même.

Il semble cependant que le seigneur ait conservé la partie du tertre qui domine immédiatement l’église jusqu’à la fin du XIII^e siècle. En effet, on a cité plus haut[142] l’échange, en 1285, entre Girard Chabot de Retz et Machecoul, et Nicolas, abbé de Saint-Aubin. Le prieuré reçoit là 4 arpents et demi situés sur le tertre et jouxtant le clos du prieuré. Il semble s’agir du terrain situé immédiatement au nord de l’église, sur l’emplacement actuel de la mairie et de la maison voisine. Ce terrain n’aurait donc appartenu au prieuré qu’après 1285.

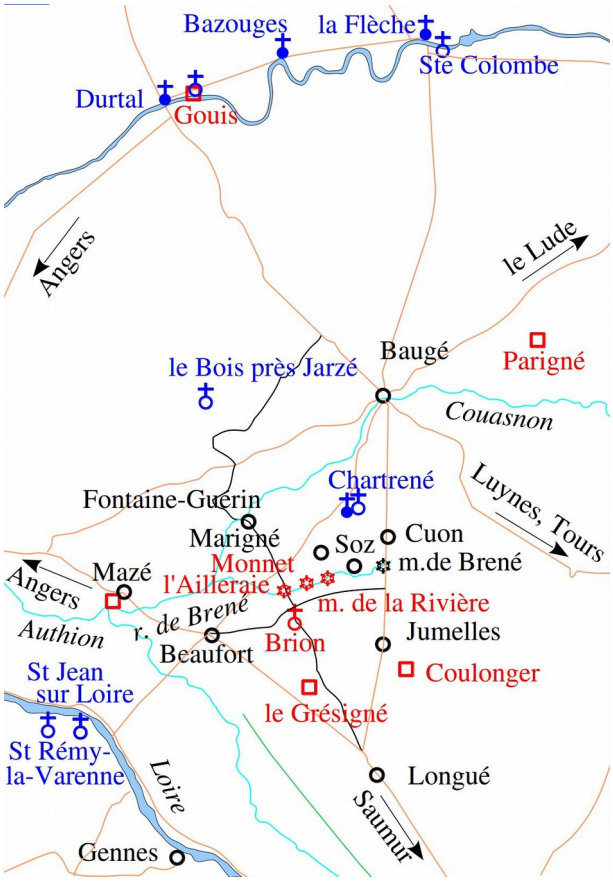


Figure 31. Situation de Brion.

* *moulin,*
Prieuré, cure, de Saint-Aubin d’Angers,
possession du prieuré de Brion,
Voie romaine,
routes mentionnée par la carte de Cassini,
voies mentionnées par C. Port à Brion.

Le peuplement médiéval est mal connu mais le site paraît avoir été occupé anciennement, on l’a vu. Aux XI^e et XII^e siècles, la viticulture semble avoir tenu une grande place dans les activités. Les références à des vignes sont très nombreuses dans le cartulaire : dons de vignes, redevances dues ou contestées pour des vignes, terres repérées par rapport à une vigne, et même une cession de terre

141 C. Port, *Dictionnaire...*, art. “Le Louroux”, t. 2, p. 552.
142 *Cf. supra* et n. 37 et 38.

avec obligation de planter une vigne[143]. Il est aussi question, dans une donation faire par Radulfus Toaredus en 1095 des "*dolia sua, que vulgus vocat cuvas*", qui semblent bien être des cuves destinées à la vinification[144].

Deux routes relativement importantes passent actuellement près de Brion, la D347 Angers-Saumur, c'est à dire la route qui longe la Loire immédiatement au nord des zones inondables, récemment doublée par l'autoroute A85, et la D938 Saumur-Baugé, c'est à-dire l'axe nord-sud qui traverse la Loire à Saumur. Le bourg de Brion ne se trouve cependant pas immédiatement sur ces routes (l'axe nord-sud se trouve 5 km à l'est, l'axe est-ouest à 3,5 km au sud). Les principales voies de communication traversant le village étaient, au XIX^{e} siècle, "le chemin d'intérêt commun de Longué à Cheviré le Rouge" et "la route départementale de Baugé à la Loire"[145] (*cf.* la carte de la Fig. 31, en noir), les destinations indiquées sur le cadastre napoléonien, Jumelles, Montigné, Baugé et Beaufort[146], confirment confirment l'identification de la première de ces routes avec l'actuelle D211, alors que la seconde coïncide avec l'actuelle D7 depuis la Ménitré, en passant par Beaufort, jusqu'à à l'axe nord-sud D938 déjà mentionné, qui rejoint Baugé. Elle ne traverse donc pas exactement le bourg, mais contourne le tertre au nord. Les voies en question sont d'intérêt purement local et l'étaient sans doute déjà au XVIII^{e} siècle[147]. En effet, elles n'apparaissent pas sur la carte de Cassini[148].

En l'absence d'information relative à une voirie antérieure il est difficile de se faire une idée de l'importance que ces routes peuvent avoir eu au Moyen Âge. On peut cependant préciser quelques points au sujet des deux grands axes situés plus haut. Peu de chose en ce qui concerne l'axe nord-sud : la carte de Cassini présente la route actuelle, rectiligne et bordée d'arbres, doublée d'une voie plus sinueuse. La carte en couleur ne présente que cette dernière. Il semble donc que la route rectiligne actuelle ait été tracée au XVIII^{e} siècle. L'axe est-ouest, quant à lui, ne serait autre que la voie romaine de *Juliomagus* (Angers) à *Caesarodunum* (Tours) mentionnée par la table de Peutinger, passant par une certaine station *Robrica*[149]. L'identification de *Robrica* est incertaine. Cette station devrait se trouver à 17 lieues gauloises, soient 37,8 km, de *Juliomagus*, et à 29 lieues, soient 64,5 km, de *Caesarodunum*. Plusieurs lieux ont été proposés : Beaufort, Longué, ou des localités voisines, le Gué d'Arcis (ou d'Arcy, entre Saint-Martin de la Place et Vivy), le Vieux-Vivy, mais aussi Saumur, Bagneux (au sud de Saumur), et jusqu'à Saint-Just-sur-Dive à une dizaine de kilomètres au sud de Saumur[150]. Les spécialistes semblent aujourd'hui préférer l'oppidum de

---

143 *Cart. de Saint-Aubin*, t. I, p. 444, n° 385, vers 1100.

144 *Ibid.*, t. I, p. 449, n° 391, de 1095. Ces cuves se trouvaient d'ailleurs "*in curte monachorum*", ce qui créait des conflits.

145 C. Port, *Dictionnaire*..., t. 1, p. 506.

146 Archives du Maine-et-Loire, plan napoléonien de 1825, tableau d'assemblage. http://www.archives49.fr/acces-directs/archives-en-ligne/plans-cadastraux-napoleoniens/

147 Le cadastre napoléonien indique la "grande route de Saumur à Baugé" à son emplacement actuel.

148 Il s'agit de la carte de Cassini en couleur (feuilles gravées et aquarellées), issue de l'exemplaire dit de "Marie-Antoinette", daté des années 1780, et conservé à la BNF, qui est accessible sur http://cassini.ehess.fr/cassini/fr/html/ et http://www.geoportail.gouv.fr/accueil. On observe quelques variantes entre cet exemplaire et les gravures en noir et blanc diffusées par l'IGN.

149 *Cf.* http://peutinger.atlantides.org/map-a/. Le texte exact donné par le document, le long de cette route, est : "*Iuliomago xvii Robrica xxviiii Casaroduno*".

150 Victor Godard-Faultrier, *Monuments antiques de l'Anjou ou Mémoire sur la topographie Gallo-Romaine du département de Maine-et-Loire* (Angers, Cosnier, 1864), pp. 196, 212.

Chênehutte, sur la rive gauche de la Loire en face de Saint-Martin de la Place, des traces d'un pont qui traversait la Loire à cet endroit ayant été identifiées[151]. Une partie de la voie romaine a été reconnue par J.F. Bodin au début du XIX^{e} et est encore visible (tracé en vert sur la carte de la Fig. 31). Près de Beaufort cette voie "est pavée en pierres non taillées qu'on a prises, ainsi que l'indique la nature de la pierre, sur le côteau de Brion"[152]. Cette route traversait les marais de la vallée de l'Authion, qui quoique asséchés au XX^{e} siècle sont encore souvent inondés par les crues de la Loire. Son tracé actuel est un peu plus au nord à la limite de la zone inondable et des marais.

"Mais il est possible que le chemin protohistorique traversait la région plus au nord, de butte-témoin en butte-témoin dans ce val d'Anjou, peut-être par Blou et Brion"[153]. Les témoins de cela sont quelques vestiges de voie empierrées à Blou, la mention par C. Port de la découverte vers 1873 de sépultures en pierres coquillière de Doué et de tuiles à rebord et une monnaie de Néron au hameau de Rouillardière, près d'une ancienne voie[154], c'est à dire sur la ligne qui joint le tertre à Mouliherne, et de deux mentions d'une *via publica* par une charte des environs de 1060[155]. Ce texte rapport la vente par Rannulfus aux moines de plusieurs parcelles situées en deux endroits à Brion, l'une "*in Valle, a parte una juxta vinea Sancti Albini, ex altera jungitur vie publice*", et l'autre "*in monte secus viam, sinistra parte usque ad silvam*". En admettant qu'il s'agisse bien de deux points de la même route, celle-ci, après cette donation, traversait donc les terres du prieuré dans la vallée, puis montait jusqu'au haut du tertre où se trouvait une forêt. Il peut s'agit du chemin pavé dénommé "voie romaine" qui existe actuellement. Les traces mentionnées ensuite, la Rouillardière, et Blou, permettent de supposer que la route se poursuivait en direction de Tours.

Deux textes cités par E. Mabille montrent qu'une route couramment utilisée pour aller d'Angers à Tours existait un peu au nord des levées aux XIII^{e}-XIV^{e} siècles[156]. Peut-être Brion a-t-il formé une étape sur cette route. Ça a au moins été le cas en 1291, quand le nouvel évêque d'Angers, Guillaume Lemaire, s'en alla à Tours faire confirmer son élection, il passa le nuit dans au prieuré[157].

---

151 Yves Cadou, "Le pont de saint-Martin de la place (Maine-et-Loire) le uicus de Chênehutte les communications et Robrica", *Caesarodunum*, XXXIII-XXXIV, 1999-2000, pp. 73-85, dans *La Loire et les fleuves de la Gaule romaine et des régions voisines*, publié par Robert Bedon, Alain Malissard (Presses Univ. Limoges, 2001).

152 Jean-François Bodin, *Recherches historiques sur la ville de Saumur, ses monuments et ceux de son arrondissement*, t. I (Saumur, Degouy, 1812) p. 56 *sq.*

153 Michel Provost, *le Val de Loire dans l'Antiquité* (Paris, CNRS éditions, 1993), p. 157.

154 Michel Provost, *Carte archéologique de la Gaule. 49. Maine-et-Loire* (Paris, Académie des inscriptions et belles-lettres, 1988), p. 81, n° 124, et C. Port, *Dictionnaire*..., t. 3, p. 311.

155 *Cart. de Saint-Aubin* t. I, p 439, n° 379.

156 Émile Mabille ("Notice sur les divisions territoriales et la topographie de l'ancienne province de Touraine [deuxième article]", *Bibliothèque de l'école des chartes,* vol. 24, n° 24, pp. 388-428 (1863)), mentionne une charte charte de Henri II d'Angleterre portant les mots "*viam Andegavensem*", et cite une charte sur les turcies du cartulaire de Bourgueil, de 1365 : "Et comme les habitans de ladite turcie, espécialement des villes et paroisses de Rosiers, de Saint-Martin de la Place, de Saint-Lambert de Villebernier, de Varennes, de Chozé, de la Chapelle-Blanche, et des autres paroisses, villages et estagiers, appartenanz et habitanz à ladite turcie, entre Loire et le grand chemin, ou chemin comme l'en va de Tours à Angers, et dès le port de Sourges jusques à la Flannière, nous aient monstré que, combien qu'ils tiennent ladite turcie en état[...]" (Cartul. de Bourgueil, extr. de Gaig., page 73, charte de 1365). Rapppelons que "turcies" désigne les levées de la Loire.

157 Le texte est cité dans Claude Robin, *Le Mont-Glonne ou recherches historiques sur l'origine des Celtes, angevins etc ... et sur la retraite du 1er solitaire... au Mont-Glonne* (Paris, Valade, 1774), p. 99 :

Il reste possible que cette étape ait été exceptionnelle.

À 4 km au nord de Brion se trouve le château de Monnet "Anc. villa gallo-romaine établie au cœur de la forêt de Beaufort et faisant partie jusqu'au VIIIe s du domaine royal. Pépin en fit don à l'abbaye St Aubin d'Angers, à qui Charlemagne confirme cette propriété en 769. L'abbaye n'y possédait plus qu'un moulin aux XIIe et XIIIe s, qui a disparu même au XIVe s"[158]. Une charte de 1175, rapporte l'issue d'une contestation entre Pierre de Brion et les moines, au sujet d'un "*molendinum de Monnat*", "*Propter hoc autem de molendino isto cum monachis litigabat, quia de feodo suo ad alium feodum, id est ad Alloliam, translatum est a monachis conquerebatur*"[159]. Le moulin prend par la suite le nom de *Allolia*. Il existe un moulin de l'Ailleraie, mentionné très brièvement par C. Port au sujet du "ruisseau des moulins" qui le porte[160]. Le bâtiment actuellement conservé sous ce nom, qui date du début du XX^{e} siècle, marque-t-il l'emplacement de celui qui existait au XII^{e} ?

2.B. Bâtiments prioraux

L'église se trouve placée un peu au-dessous du sommet du tertre[161]. La situation de ce dernier lui permettait de contrôler les deux routes, l'une traversant le village, l'autre le longeant au nord, mais il a suffi que l'essentiel du trafic passe à quelques kilomètres de là pour lui ôter toute importance stratégique. Il n'y a de fait aucun vestige ni mention de construction militaire.

Les bâtiments conventuels ont été, comme partout ailleurs en France, vendus comme biens nationaux. Rachetés par la municipalité en 1803, ils ont été détruits pour établir une rue au sud de l'église, qui permet le passage de la route que C. Port appelle "le chemin d'intérêt commun de Longué à Cheviré-le Rouge" (actuelle D211). Les *Archives de Brion* reproduisent de nombreux documents qui permettent de retracer avec assez de détail les vicissitudes de ces bâtiments de la Révolution jusqu'en 1870.

Suite à la confiscation du prieuré comme bien national, l'état de ses revenus et charges a été établi en 1790[162]. Y sont mentionnés le prieur, "Louis Levêque, Prêtre, chanoine de St Tugal de Laval, [...] y demeurant", et son fermier, "Jean Baptiste Biteau, négociant demeurant au Puy Notre Dame". Le "prieuré" comprend une maison, bois, dîmes, moulins, etc. ; on reconnaît biens des éléments qui apparaissent dans les donations du XII^{e} siècle. On y trouve une description des bâtiments :

"Une maison comprenant quatre chambres basses dont une avec four et cheminée ; quatre chambres hautes dont deux à cheminées, grenier au-dessus, pressoir à côté, le tout couvert en

---

"*Viam nostram versus Turonis dirigentes apud brion accessimus, ibidemque in domo rectoris comedimus & per noctavimus, & sequenti die Parasceves, dictis loco & domo remanentes & comedentes dormivimus. Die autem sabbati in vigila Paschae, & in die Paschae apud Burgulium festivantes, die Paschae postprandium apud Langès accessimus, & ibidem pernoctaviume ; die lunae sequenti Turonis devenimus*" (Stat. Syn E2). C. Robin précise de plus que "les levées n'étoient pas encore praticables".

158 C. Port, *Dictionnaire...*, t. 2, p. 693.

159 *Cart. de Saint-Aubin* t. II, p. 138, n° 650.

160 *Cf.* C. Port, *Dictionnaire...*, t. 2, p. 762.

161 Quoique C. Port écrive "Il n'y a pas 30 ans qu'aucune voie praticable n'abordait la côte" (*Dictionnaire...*, t. 1, p. 506), les deux rues qui montent du bourg au tertre sont présentes sur le plan napoléonien de 1825.

162 Celui-ci est recopié dans les *Archives de Brion*[4], p. 595 et suivantes.

ardoises ; Deux caveaux sous plancher ; une grange couverte en ardoises ; Ecurie, grenier au-dessus couvert en tuiles ; un toit à porcs couvert en ardoises, cour, jardin, le tout contenant environ six boisselées".

Figure 32. Photo satellite de Brion et cadastre napoléonien : les bâtiments du prieuré en avant leur démolition.

En 1790, le "Conseil général de la Commune" décide de louer "la chambre haute du prieuré ayant vue sur la place" à "M Bréchet Notaire, fermier du prieuré", pour y établir ses séances[163]. Le presbytère occupait tout ou partie du restant des bâtiments, mais en 1794, en conséquence de la suppression du budget de l'église constitutionnelle, il doit laisser la place à un particulier[164]. La municipalité parvient cependant à conserver son local[165]. On a une copie du bail[166] : l'ensemble du prieuré, nommé par le document "maison cy devant Presbytérale", a été affermé au "Citoyen Sébastien Peschard, boulanger en cette commune" pour la somme de cent livres. Sont mentionnés, outre les "chambres et cabinets par bas", des "greniers au-dessus des chambres hautes occupées par la Municipalité, cour, hangard, grange, latrines puits, cave et jardin, le tout en un même tenant, situé au Bourg et joignant la cy devant Eglise de Brion". En 1796, un certain Chalopin devient propriétaire des bâtiments[167], qu'il revend à Peschard en 1798, lequel enfin revend une partie des bâtiments à la municipalité en 1803, pour servir de presbytère[168]. Le document recopié par les

163 *Archives de Brion*[4]*,* p. 474. Je n'ai pas d'explication du changement d'identité du fermier par rapport au document précédemment cité.

164 Les *Archives de Brion*[4]*,* p. 587, expliquent comment le curé Chalopin, chassé de l'Eglise en février 1794, l'est du presbytère en novembre.

165 *Ibid.,* p. 532.

166 *Ibid.,* pp. 533-535.

167 Il y a une contradiction dans les *Archives de Brion*[4] sur ce point : il s'agirait soit du curé lui-même (p. 588), soit d'un certain Jean Baptiste Barthélemy Chalopin. Ce dernier devrait être un autre personnage puisque selon C. Port (*Dictionnaire...*, t. 1, p. 507), le curé se prénommait Mathieu-Louis-Olivier.

168 *Ibid.,* p. 263.

Archives de Brion comprend une description assez précise du lot acheté par la municipalité[169]. En comparant ce texte à la description donnée par le bail de 1794, il semble que Peschard ait déjà effectué des modification assez importantes, en particulier ajouté un étage, ou du moins aménagé une partie du grenier[170]. Un autre document de 1803[171] mentionne des réparations à faire au presbytère et à l'église, mais sans en donner le détail.

En 1870, la municipalité entreprend l'achat d'un nouveau presbytère, situé à environ 300 m de l'église[172], "pour remplacer le presbytère actuel fort insuffisant et nuisant à l'Eglise."

Les bâtiments du prieuré, tels qu'il existaient juste avant la Révolution, et où logeait le curé jusqu'en 1870, se trouvaient donc immédiatement au sud de l'église. Le devis de 1832 mentionne des réparations à "un éperon du côté de la cure", "un pilier dans la cour de M^r^ le curé" et "à la petite porte pour entrer de la cour à M^r^ le curé dans l'église". Il s'agit donc du côté sud et cette petite porte était donc celle du croisillon sud, par opposition à la grande porte à l'ouest. Le cadastre napoléonien[173], réduit à un calque monochrome, peut être superposé à une photo satellite[174] (*cf.* Fig. 32). On voit très nettement la position des deux parcelles correspondant aux anciens bâtiments prioraux décrits ci-dessus, relativement au bâti actuel.

2.C. Les matériaux et l'approvisionnement

Le tuffeau employé lors des restaurations était "pris dans les carrières de Brion"[175], depuis les réparations du clocher par Riobé en 1832 jusqu'aux derniers travaux dirigés par Duvêtre en 1871. Ce dernier mentionne explicitement le "tuffeau blanc de Brion", ou les "tuffeaux du pays" dans ses devis et documents de réception, de 1852 à 1871. Selon Célestin Port, "l'*Industrie* locale exploite des carrières de tuffeau (environ 30 ouvriers)"[176]. Son *Dictionnaire* est paru entre 1874 et 1878, le témoignage de C. Port est donc tout à fait contemporain des travaux de Duvêtre. Il est vraisemblable que la pierre utilisée au Moyen Âge, d'aspect très voisin, provenait déjà de carrières locales. C. Port ajoute que "sous le bourg entier plongent les embranchements de caves sans fin"[177]. Celles-ci proviennent de l'extraction souterraine du tuffeau et ont servi de refuge à plusieurs reprises aux époques troublées. Elles pourraient se prolonger fort près de l'église.

On ignore si la "*rocha que intra ecclesiam aperitur*" mentionnée dans une charte datée de 1082-1106[178], crypte aujourd'hui disparue, a pu elle-même résulter d'une extraction de tuffeau.

---

169 *Archives de Brion*[4], p. 265-266.

170 Il est question, dans le document de 1803, d'un "escalier nouvellement construit", ainsi que d'une fruiterie et d'une chambre au 2^e^ étage, qui n'existaient pas en 1790.

171 *Archives de Brion*[4], p. 268.

172 Cet achat est abondamment documenté. Citons en particulier une lettre de Riobé, maire, à l'évêque du 20 décembre 1878, et l'approbation de l'évêque, le 2 avril 1879 (Archives diocésaines d'Angers, OP41). Le cahier des délibérations de la fabrique (même cote), à la date du 14 juillet 1878, donne une description détaillée du nouveau presbytère, qui ne laisse aucune ambiguïté sur l'identification de ce bâtiment (ce texte, un peu modifié, est recopié dans les *Archives de Brion*[4], p. 302).

173 Téléchargé sur le site des Archives du Maine-et-Loire, http://www.archives49.fr/acces-directs/archives-en-ligne/plans-cadastraux-napoleoniens/.

174 http://www.geoportail.gouv.fr/accueil.

175 Devis de Riobé de 1832 pour le clocher.

176 C. Port, *Dictionnaire...*, t. 1, p. 506.

177 *Ibid.*, t. 1, p. 507.

178 *Cart. de Saint-Aubin* t. I, p. 442, n° 383.

L'origine des matériaux de tout venant est moins claire ; en 1832 les moellons étaient "pris sur la lande de cuon", le village voisin ; il n'est pas vraisemblable qu'on soit aller les chercher plus loin au Moyen Âge, mais cela reste fort imprécis. L'examen de la carte géologique[179] montre qu'en dehors des bancs de tuffeau, le sous-sol est essentiellement sableux. Ainsi, l'approvisionnement en sable ne posait pas de difficulté.

179 http://infoterre.brgm.fr/viewer/MainTileForward.do

2. Analyse détaillée

1. Le chœur et l'abside

1.A. Généralités-Introduction

L'église de Brion comprend un chœur assez profond, voûté en berceau brisé, qui s'ouvre directement sur l'abside voûtée en cul-de-four. Cet espace, de proportions élancées, est largement éclairé par de très hautes fenêtres. Un décors sculpté assez soigné complète cet ensemble (Figs. 33 et 34).

Figure 33. L'intérieur de l'abside.

Figure 34. Vue d'ensemble du chœur

En 1855, on s'intéresse à la "restauration intérieure du chœur de l'église paroissiale"[1], les travaux seront terminés fin 1857[2]. La participation financière de la fabrique aux réparations de l'église était de 5100 F, qui correspondaient à ses économies sur les exercices de la décennie précédente, selon son budget de 1856[3]. Il est prévu de déplacer le maître autel, pour des raisons d'accessibilité et de visibilité du service religieux. La Commission des Bâtiments Civils s'y oppose, pour des raisons de service religieux aussi[4] : Il faudra que l'évêque la ramène dans les limites de ses compétences[5]. En plus de cela, le devis prévoit le "rétablissement des tambours des anciennes

1 Devis de Duvêtre, daté du 2 mars 1855, pour un montant de 8161,39 F.
2 Le document de réception des travaux est daté du 14 février 1858.
3 Archives diocésaines d'Angers, P 228.
4 De plus la commission veut un carrelage plus luxueux, une Sainte table (en fer forgé) polygonale et non circulaire (rapport de Godard-Faultrier à la commission, 1r mai 1855, Archives du Maine-et-Loire, 4T38, et rapport de la commission, séance du 2 mai 1855, Archives diocésaines d'Angers, OP 41).
5 Une "commission laïque d'architecture et d'archéologie" n'a pas à se mêler des convenances liturgiques et de la position de l'autel, attribuée à l'évêque par de "saints canons". Lettre de l'évêque au préfet du 6 juin 1855, Archives du Maine-et-Loire, 4T38.

colonnes des piliers du chœur, mutilées autrefois par suite de placement de bancs", et le "nettoyage et débadigeonnage des murs"[6]. Sur les deux dessins du comte de Galembert qui représentent l'intérieur du chœur[7], les stalles ne s'étendent pas au-delà de l'abside. Ces dessins donnent donc bien l'état après les travaux[8]. Le document de réception des travaux[9] nous apprend que les piliers d'angle de la nef "ont été réparés d'urgence".

Ces travaux, en particulier le déplacement de l'autel, visent à la suppression de modifications de la fin du XVIII[e] siècle. Le grand autel est mis "à la Romaine" en 1779[10]. Il s'agissait d'une imitation en plus simple du nouveau grand autel de la cathédrale (1757). Il était placé à l'entrée de l'abside, et est nettement visible sur le plan de Duvêtre. Une petite table en menuiserie occupe actuellement son emplacement. Selon l'auteur des *Archives de Brion*, l'autel aurait, avant cette modification, été situé "au croisement du chœur et des transepts", et les paroissiens auraient été fort réticents[11].

Le débadigeonnage serait lui aussi un retour en arrière sur des travaux effectués en 1789[12]. Par contre les fenêtres auraient été murées, et rouvertes au cours des travaux du XVIII[e] siècle[13].

Au nord de l'église s'élève le tertre : le jardin de la maison la plus à l'est domine le terrain qui environ l'église de près d'1,5 m. Immédiatement au nord du transept, une terrasse jouxtant la mairie s'élève à environ 3,5 m au dessus de ce sol. Il est vraisemblable que le terrain descendait à l'origine en pente régulière jusqu'à l'église : "La Mairie [...]. construite en 1839-1840 [...] est [...] étouffée entre le chevet de l'église et la masse de la butte dont on a dû raser le pied pour lui faire place"[14]. Les *Archives de Brion* mentionnent, parmi divers travaux ordonnés par le vicaire général de l'église d'Angers, "le déblai[e]ment des terres du côté du prieuré adjacentes à l'Eglise afin de dessécher les murs humides et verts du côté du Nord à la hauteur de douze pieds"[15].

1.B. Toitures

Les devis de Duvêtre ne prévoient rien pour l'extérieur du chevet. On peut vérifier que celui-ci n'a pas été touché par les restaurations sur les photos de la base Mérimée. Quelques détails qu'une restauration aurait fait disparaître y apparaissent en effet : la plus haute des fenêtres de la tour

---

6 Rapport de Godard-Faultrier à la commission, 1[r] mai 1855, Archives du Maine-et-Loire, 4T38.

7 Archives du Maine-et-Loire, Coll. Iconographique C. Port, n[os] 11 Fi 3072 et 11 Fi 3073.

8 Conformément à leur date de 1873.

9 Signé par Duvêtre le 14 février 1858.

10 La décision d'entreprendre ces travaux est prise en 1779, le contrat avec l'entrepreneur est passé le 7 mars 1780 (*Archives de Brion*[4], p. 199). Le devis est conservé aux archives du Maine-et-Loire, cote 65 AC 1 M 2. Il contient une description détaillée de l'autel.projeté.

11 *Ibid.*, p. 199.

12 En 1789, "comme complément de ces tristes arlequinades on fit procéder au blanchiment à la chaux de toute l'église" (*ibid.*, p. 209).

13 Au cours de travaux de 1789, "la réouverture des deux hautes croisées du chœur restées fermées depuis la guerre avec les Anglais eut lieu sans difficulté" (*ibid.*, p. 208-209). S'il est douteux que ce soit pendant la guerre de Cent Ans et pour des raisons militaires que les fenêtre aient été murées, on n'a pas de raison de croire que le fait qu'elles l'aient été, et leur réouverture, soient une invention de l'auteur des *Archives de Brion*.

14 C. Port, *Dictionnaire...*, t. 1, p. 506.

15 *Archives de Brion*[4], p. 204. Sur la page suivante, dans la copie d'un document de la fabrique du 19 octobre 1788, est dit "Que le déblai des terres qui dominent au Nord de la dite Eglise sera fait au meilleur compte possible".

d'escalier a été agrandie de façon très peu soignée. Plusieurs pierres manquent au muret qui surmonte la corniche du chœur, juste sous les ouvertures. Des trous existent dans les arcs et le parement au-dessus des fenêtres sud du chœur. Tous ces détails apparaissent dès les photos de Mieusement[16], et sont encore visibles sur celles d'Estève. Ils ont été repris depuis de façon très visible, la couleur du tuffeau utilisé alors, gris, étant très différente. On a donc l'assurance qu'en dehors des reprises visibles du XX^{e} siècle, l'extérieur du chœur est encore dans sont état d'avant 1849.

Sur le chœur et l'abside, une charpente comprenant des fermes triangulaires, avec des entraits placés au bas de celles-ci, a été mise en place beaucoup plus tôt, peut-être dès la fin du Moyen Âge. C'est cette modification de charpente qui a motivé la surélévation des murs, du moins sa partie supérieure en moellons. Cette dernière disposition, et peut-être même une partie des bois anciens, a été conservée et se retrouve dans l'état actuel.

La charpente qui couvre le chœur et l'abside est remarquable, et selon toute vraisemblance antérieure aux restaurations du XIX^{e} siècle. C'est une charpente à chevrons portant ferme qui a la particularité de ne posséder aucune panne autre que la faîtière. Elle présente une alternance de fermes fortes, avec entrait et faux-entrait, et faibles, ayant seulement un entrait retroussé au niveau de ces faux-entraits, à raison d'une ferme forte toutes les cinq fermes. Il n'y a de poinçons que sur les fermes fortes. Un sous-faîtage relie ceux-ci, il est raccordé d'une part à la panne faîtière par des croix de saint André, d'autre part à la partie inférieure des poinçons (Fig. 35).

Figure 35. Charpente du chœur, vue vers le nord-ouest.

Figure 36. Charpente du chœur et de l'abside, vue vers l'est.

Dans la croupe, on est surpris par le contraste entre la grande complexité de l'enrayure haute et le caractère plutôt sommaire de l'enrayure basse. Dans la première (Fig. 36), deux embranchements viennent s'ajouter, sur chaque gousset, de part et d'autre des coyers. Ces pièces sont à nouveau reliées par d'autres goussets, sur chacun desquels viennent se fixer deux embranchements supplémentaires, ce qui permet de relier la totalité des chevrons à l'enrayure[17]. L'enrayure basse ne comprend, outre l'entrait et le demi-entrait, que deux coyers fixés directement sur l'entrait, sans gousset (Fig. 39).

Un détail surprend dans l'organisation de cette charpente, c'est l'absence de liaison entre

16 Sauf le dernier : nous ne disposons pas de photo prise au XIX^{e} siècle du côté sud.

17 Plus exactement, car on n'aurait ainsi que 17 chevrons au lieu des 19 que comprend la croupe, il faut encore ajouter deux embranchements, fixés directement sur ceux des précédents situés les plus à l'est.

l'enrayure haute et l'enrayure basse d'une part, la ferme forte qui la précède à l'ouest d'autre part. En effet, le poinçon ne descend pas jusqu'à l'enrayure basse, mais s'arrête à celle du haut. De plus, la sous-faîtière s'interrompt entre le poinçon de la ferme et l'enrayure, si bien qu'un entrait retroussé situé dans l'intervalle n'est relié à aucune autre pièce de la charpente que les chevrons-arbalétriers.

1.C. Le surélèvement du chœur et de l'abside

Les doubleaux du chœur semblent conçus différemment des chapiteaux qui les portent : le doubleau ouest est un peu étroit par rapport à ceux-ci, le doubleau ouest l'est franchement et, de plus, est décentré. Ce peut être l'indice d'un changement de parti intervenu au moment de voûter l'abside. Le bouchage de la fenêtre semble être lui aussi la trace d'un repentir, peut-être le même. De plus, comme on l'a vu, les murs de l'abside et du chœur on été surhaussés deux fois par rapport à la corniche, une première fois dans un bel appareil de tuffeau, une deuxième fois en moellons (de tuffeau aussi), ces exhaussements ayant été pris pour un appareil défensif au XIX^{e} siècle (Fig. 37). Le deuxième exhaussement, dont il n'est pas impossible qu'il date de la fin du Moyen Âge comme le voudrait la thèse romantique de l'église fortifiée, est plus vraisemblablement dû à une réfection de la charpente. Le chanoine Urseau[18] prétend que les ouvertures dans la partie supérieure du mur sont des "archères" ; celles qui existent actuellement sont bien trop larges pour cela, cependant on peut voir deux ouvertures plus étroites sur le dessin de Galembert (*cf.* dossier, Fig. 130). les traces de ces ouvertures, qui ont été bouchées depuis, sont encore visibles (Fig. 38).

Figure 37. La double surélévation de l'abside, prétendue être un aménagement défensif.

Figure 38. Exhaussement de l'abside, côté nord.

Le comble du chœur est accessible depuis l'étage de la tour, ce qui permet d'observer la face intérieure du muret, du moins danse sa partie supérieure (Fig. 39). L'espace compris entre l'extrados de la voûte et le mur extérieur est rempli jusqu'en haut de la première surélévation à peu près, les entraits de la charpente passent à peu de distance au dessus du sommet de l'extrados, et reposent sur le dessus de la seconde surélévation. La hauteur de celle-ci est de l'ordre 70 à 80 cm, ce qui, à moins que l'on puisse montrer que le remplissage est postérieur au XV^{e} siècle, exclut son usage comme chemin de ronde : les entraits ne permettent pas le passage d'un homme debout. C'est exhaussement s'explique par le remplacement de la charpente originelle, vraisemblablement à

18 *Op. cit.* n. 119, p. 63-64.

entrait retroussé, par une charpente possédant de véritables entraits, à une époque indéterminée.

Les charpentes à entraits retroussés étaient en effet d'usage courant au XII^e^ et XIII^e^ siècles, on en trouve par exemple de nombreuses en Berry, pour fort peu de véritables entraits[19]. Notons que, dans ces exemples berrichons, aucun poteau vertical reposant sur la voûte n'a été observé, alors qu'à Brion on en voit dans la nef, et des traces dans le croisillon sud.

Figure 39. Exhaussement de l'abside, vu du comble du chœur.

Le premier exhaussement par contre, est contemporain de la construction du clocher : à la jonction entre le chœur et le croisillon sud, les assises du muret de la première surélévation, qui court sur la corniche du chœur sont bien liées au mur du clocher et du transept. Du côté nord, on n'a pas de liaison entre ce muret et la tour d'escalier, qui autant qu'on puisse en juger vu la proportion importante d'appareil refait, faisait pourtant corps aussi bien avec la maçonnerie du chœur qu'avec celle du transept au niveau immédiatement inférieur. Le changement de parti pour le chœur viendrait donc s'intercaler entre la construction de la tourelle d'escalier et celle des parties hautes du croisillon sud, et de l'étage de la tour lui-même. Il est à mettre en relation avec le changement de niveau du sol de cette tour, lié à un changement de parti dans le voûtement de la croisée.

La corniche à modillons qui court sous la surélévation devait normalement se trouver au sommet du mur quand elle a été construite, et doit donc correspondre à un projet (ou une intention) primitive, qui envisageait une voûte plus basse, voire un chœur seulement charpenté. Le choix d'une voûte en berceau brisé a augmenté la hauteur de la base du toit, la modification a été effectuée à l'aide d'un surhaussement du mur au-dessus de la corniche.

---

19 *Cf.* Daniel Bontemps, Patrice Calvel, Arnaud de Saint-Jouan, *Charpentes de la région centre du XII^e^ au XIII^e^ siècle* (Monum, Éditions du Patrimoine, 2002). Cet ouvrage contient des relevés des charpentes des églises de Chabris, Allouis, Cour-Cheverny, Monthou-sur-cher, Saint-Symphorien de Tours, Saint-Pierre de Chartres, Saint-Loup-sur-Cher, Saint-Maurice de Chinon, Puiseaux, Mennetou-sur-Cher, de la chapelle Saint-Hilaire des Noyers à Saint-Denis-d'Authou, de la salle des états généraux du château de Blois, du dortoir des convers et de l'abbatiale de Noirlac, des nefs des cathédrales de Bourges et de Tours, de la salle de justice de Chartres.
Les pieds des fermes sont raidis par jambettes et blochets, et il n'y a que des entraits retroussés, dans la plupart des cas. Par exemple, à Saint-Maurice de Chinon, on ne trouve de ferme avec entrait que de part et d'autre de la travée voûtée.

1.D. Sculptures et décor

1.D.1. Les chapiteaux

Le devis de 1855 prévoyait la reprise en sous-œuvre des piles de la croisée, sur 5 assises de 30 cm soit 1,5 m. La reprise des colonnes engagées du chœur est prévue sur 15 assises, c'est-à-dire leur hauteur totale[20]. Le double de volume de tuffeau a été utilisé, à cause de la reprise des piles de la nef. Le devis mentionnait 10 assises, à répartir entre 2 piles, soit une hauteur de 1,5 m, et l'entrepreneur a compris (ou fait semblant de comprendre) qu'il s'agissait de 10 assises sur chaque pile, soit 3 m. Ont été consommés 105 m^3 de tuffeau de plus que prévu, ce qui correspond, en comptant 3,15 m^3 par assise de 30 cm, soit un peu plus d'un m^3 par m, à 10 m de hauteur. Si on répartit cette hauteur supplémentaire également entre les piliers, on trouve qu'ils ont été repris chacun sur 4 m de hauteur au lieu de 1,5 m.

Le devis prévoyait aussi la sculpture de 30 chapiteaux à 5 F et de 24 à 2 F, plus 30 m de frise au pourtour du chœur et 20 m autour de ses fenêtres. Ce total a été appréciablement réduit : seulement 11 chapiteaux aux croisées, 2 grands chapiteaux (mais bien plus chers qu'au devis), 8,9 m de frise et 5,95 m de dents de scie. Il semble que l'augmentation des tarifs du sculpteur, par rapport à ce qu'avait prévu l'architecte, ait sauvé une grande partie de la sculpture. Ceci, comme l'écrit J. Mallet[21] garantit l'authenticité de tous les grands chapiteaux de la croisée, de l'abside, et du chœur, sauf deux[22].

De plus, le devis précise que les chapiteaux sont "à nettoyer, refouiller à nouveau et gratter", et que "toute partie détériorée [est] à remplacer sans addition au prix ci-dessus", ce qui signifie que le nombre de chapiteaux figurant soit sur le devis soit sur la facture, ne comprend pas que des chapiteaux neufs mais aussi des chapiteaux restaurés. Finalement, plus de la moitié des chapiteaux des fenêtres du chœur seraient donc authentiques, et une partie de ceux qui restent seulement regrattés. La quasi-totalité de ceux des colonnes des arcatures du chœur, des doubleaux et de la croisée seraient même authentiques.

Un des dessins de Galembert montre plusieurs de ces chapiteaux (*cf.* dossier, Fig. 134). Ils peuvent tous être identifiés, sauf les chapiteaux à corbeilles lisses, qui n'existent plus (Fig. 40). On peut lire dans l'introduction du devis de Duvêtre de 1868 pour la restauration intérieure de la nef qu'"il y a lieu [...] de nettoyer les sculptures et compléter celles qui sont restées inachevées". Ce texte paraît provenir du devis initial (celui de 1849), et on doit penser que Duvêtre a considéré ces corbeilles lisses comme inachevées et voulu les terminer. Si on en croit le dessin, ce serait un gros bloc comprenant deux chapiteaux de colonnes jumelées. Deux chapiteaux doubles (ou paires de chapiteaux) sont ainsi réalisés en un seul bloc : il s'agit du n° 1[23], représentant des quadrupèdes barbus et un chapiteau double de l'arcature du chœur, le n° 22. Le tailloir de ce dernier est très proche de celui du dessin, quoique sa facture donne à croire qu'il date du XII^{e} siècle. Le n° 1 est

20 Cette hauteur est comptée 3 fois pour 2 piles. Si ce n'est une erreur, il peut s'agir d'un surplus destiné à la partie tournante de l'abside.

21 J. Mallet, art. cit. n. 120, p. 141.

22 Il est difficile d'identifier quels sont les "grands" et les "petits" chapiteaux. Il est clair que les chapiteaux des fenêtres sont "petits", ceux des colonnes engagées "grands", et que les chapiteaux doubles comptent pour deux. Mais il est moins clair de savoir comment Duvêtre a décompté les chapiteaux de la colonnade de l'abside.

23 Des photos de toutes les sculptures, ainsi qu'un plan schématique précisant la numérotation, sont donnés en annexe.

beaucoup moins convaincant à première vue. Ses têtes barbues sont visiblement copiées sur le n° 3. Je penche donc à croire que les 2 chapiteaux refaits sont ceux du n° 1.

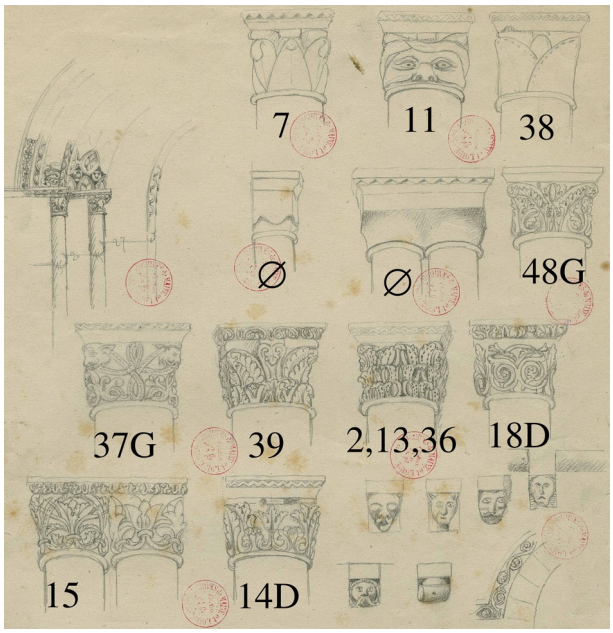


Figure 40. Les quelques chapiteaux dessinés par le comte de Galembert (Fig. 134, dossier), avec leur repérage dans l'église. Les n^os^ des chapiteaux sont ceux donnés dans l'annexe, avec la mention G (gauche) ou D (droite) quand un chapiteau d'une paire à été représenté comme seul, et le symbole ∅ pour les chapiteaux qui n'existent plus.

Parmi les chapiteaux des fenêtres, il y en a quelques-uns dont l'authenticité est particulièrement peu vraisemblable : les deux chapiteaux n° 20 "font trop neuf", celui de gauche est une copie du n° 27 gauche. les têtes représentées sur les n^os^ 23 et 24 gauches, ainsi que sur le n° 34 droit ont un dessin pour le moins inhabituel dans l'art roman, qui incite à les dater du XIX^e^ siècle. Il semble que les deux chapiteaux d'une paire sont taillés dans un même bloc dans la plupart des cas. Ainsi, si l'un est refait, son voisin l'est aussi. Un autre motif peu convaincant est celui des dragon du n° 26 droit, qui s'ils étaient médiévaux, seraient sûrement postérieurs au XII^e^ siècle (ce qui est peu vraisemblable ici). L'ancienneté des autres paraît beaucoup plus défendable, eu égard à leur style et à l'état de la pierre[24]. Quelques chapiteaux (n^os^ 22 et 33) paraissent conserver des traces de badigeon. Ces badigeons étant *a priori* antérieurs à la restauration, ce serait une preuve d'authenticité. Les chapiteaux considérés comme dus aux restaurateurs dans cette analyse fruste du style (n^os^ 20, 23, 24, 26, 34) sont au nombre de 10. Le compte de réception annonçant 11 chapiteaux refaits, il n'y en aurait donc qu'un qui ne soit pas authentique parmi ceux qui restent, mais lequel ?

L'épannelage le plus fréquent se compose d'un astragale, d'un tronc de cône amorti en pyramide et d'une tablette, qui contient le plus souvent un abaque médiocrement échancré, mais

24 Cependant sur le n° 30, le dessin du montre ailé de gauche est possible, la présence devant lui, dans l'angle, d'un personnage à peine dégrossi, tombant tête vers le bas, indique plus le XII^e^ siècle que le XIX^e^, mais les rinceaux qui couvrent le chapiteau de droite sont d'un dessin très original, qui laisse perplexe.

aussi les volutes des chapiteaux corinthiens, ou les têtes des animaux ou monstres figurés[25]. L'épaisseur de la celle-ci est très variable : la proportion la plus fréquente est d'environ la moitié du chapiteau, mais cela représente moins de la moitié des cas (30 occurrences sur 70 pièces, dans l'intérieur du transept, du chœur et de l'abside), et elle est parfois très fine (moins d'un cinquième du total), en particulier quand elle se réduit à l'abaque seul (15 occurrences sur 70). Dans un cas (no 3), c'est même la tablette qui prend les deux tiers du chapiteau. La répartition de ces variations ne paraît pas significative.

La plupart des chapiteaux montrent des feuillages, des rinceaux ou des palmettes. Les animaux sont plus rares. On voit une paire de lions (n° 18 gauche), un lion et une chimère-oiseau (n° 29 droit), deux paires d'oiseaux (nos 31 droit et 33 gauche). Deux chapiteaux portent des motifs de boudins emmêlés qui pourraient représenter des serpents -(nos 33 droit, 16 droit). On trouve aussi le motif de l'engoulant (n° 27 gauche)[26], et un masque crachant des rinceaux (n° 28). Achevons enfin la liste par une paire de dragons et trois têtes cornues, déjà mentionnées et datant probablement du XIXe siècle.

1.D.2. La frise

Une frise sculptée entoure le chœur et l'abside, au niveau du tailloir des chapiteaux du chœur et de ces fenêtres, englobant ceux-ci. Ce niveau est aussi celui de la base du cul-de-four. Comme on l'a vu le devis de restauration prévoyait le remplacement de 30 m de frise, ce qui correspond à son développé complet tout autour du chœur et de l'abside, tailloirs des chapiteaux inclus. Seul un tiers de la frise a été refait[27], et de telle façon qu'il est à peu près impossible de dire quelles sont les parties anciennes et quelles sont les parties neuves. Il s'agit pour l'essentiel d'un motif de palmettes assez grasses d'un bel effet plastique.

Le principal motif de cette frise se compose de petites palmettes pointant vers le bas, alternant avec des motifs ovales fortement marqués en creux. De la partie inférieure des branches qui limitent ces ovales sont issues des demi-palmettes, qui viennent entourer les premières palmettes en s'épanouissant, elles, de bas en haut. Un examen attentif révèle plusieurs variantes de ce motif. Il peut s'agir de petits détails, la palmette pouvant avoir trois ou cinq lobes, ou ressembler à une feuille de lierre, ou la largeur des demi palmettes diminue considérablement par rapport au motif précédent[28], mais on rencontre aussi des différences plus conséquentes : dans l'une la palmette descendante est supprimée, et le nombre de feuilles des demi-palmettes (réunies alors en une seule palmette) est augmente de trois à cinq. Dans une autre c'est la demi-palmette qui disparaît, et l'ovale devient un hexagone allongé. Dans une troisième, l'ovale disparaît, et le motif de palmettes

---

25 Les variantes sont limitées : dans certains cas le tronc de cône n'est pas amorti en pyramide, et les coins de la tablette saillent à angle droit. Un exemplaire (un chapiteau double monobloc, n° 22) ne présente pas de tablette, deux présentent en outre un rang de feuille marqué dans l'épannelage par une collerette.

26 Comme on l'a dit, il apparaît aussi sur le n° 20, mais le celui-ci est probablement moderne.

27 Le document de réception de 1857 n'indique que 8,90 m de frise, mais le prix a crû jusqu'à 15 F au lieu de 3 F, prix prévu au devis. C'est peut-être la raison pour laquelle la quantité a été réduite.

28 La palmette à trois lobes se rencontre à l'entrée de l'abside, *cf.* Figs. 168a, 178c, et 180 (c'est-à-dire le chapiteau n° 29. Ces figures se trouvent dans le dossier photographique). La palmette à cinq lobes se voit dans l'abside (Figs. 168c, 173, et 178b). La feuille de lierre apparaît sur un seul bloc du côté gauche de l'abside (Fig. 168b). On voit nettement les transitions le long d'un joint et au milieu de la palmette de part et d'autre de ce bloc. Le motif utilisant une demi-palmettes étroite se trouve sur le mur nord de travée occidentale du chœur, à l'extrémité est de celui-ci (Fig. 162).

se rapproche d'un rinceau. Enfin un motif complètement différent, un ruban enroulé en hélice, apparaît aussi[29]. Bien sûr, une de ces variantes au moins appartient au XIX^{e} siècle. On peut d'ailleurs penser que la restauration a eu tendance à uniformiser le dessin de la frise. Sur le mur nord du chœur, la façon dont les motifs différents se suivent sans se raccorder proprement fait penser à un remploi.

Les variantes les plus importantes hormis celles-là appartiennent aux tailloirs des chapiteaux ; on peut penser que la sculpture de ces tailloirs n'a pas été confiée au même sculpteur que celle de la partie droite de la frise, éventuellement à celui chargé du chapiteau lui-même. Cela a pu causer certaines des variations observées. En ce qui concerne la partie droite de la frise, on constate que les joints qui séparent les blocs sont placés le plus souvent entre les deux demi-palmettes (et donc au milieu de la palmette descendante), plus rarement juste à côté du motif ovale en creux. Le passage d'une variante du motif à l'autre se fait sur ces joints[30]. Il faut cependant noter une exception : le sculpteur du chapiteau n° 32 est passé du motif de rinceaux sur la face latérale de celui-ci, au motif de palmette sur sa face principale. Le changement de motif, à l'angle du chapiteau, est ici de façon évidente pure fantaisie du sculpteur.

On peut penser que les sculpteurs avaient initialement décidé de raccorder les motifs juste à côté des ovales, de façon à éviter de fragiliser le bloc en plaçant le joint sur une partie saillante, mais qu'ils ont rapidement constaté que cela ne facilitait pas le raccordement des blocs, et opté alors pour la coupure en milieu de palmette. Ceci reste très conjectural, en effet la date relative des différents blocs ne peut être déterminée, et leur authenticité est loin d'être garantie. Une conclusion est cependant assurée, c'est la sculpture de cette frise a été effectuée avant la pose des blocs, et par plusieurs artisans.

Ces éléments de décor subsistant sont essentiellement décoratifs. Ils étaient vraisemblablement complétés par un décor peint dont il ne reste rien.

1.D.3. Extérieur

La restauration de 1855-1857 n'a pas touché à l'extérieur du chevet (chœur et abside), comme le montrent le devis et le document de réception. Les restaurations du XX^{e} siècle, quand elles ont remplacé des modillons sculptés, l'ont fait par des blocs parallélépipédiques. La plupart des sculptures sont donc authentiques. Le type d'épannelage utilisé est le même qu'à l'intérieur, avec des variantes analogues[31].

Les modillons figurent pour la plupart des têtes, souvent humaines, parfois monstrueuses : l'une évoque une tête de mort par sa forme, sa bouche et ses narines creuses, mais possède de gros yeux

29 La grande palmette montante est présente sur les tailloirs du chapiteau sud du doubleau et des chapiteaux est de l'arc aveugle (chap. n^{os} 32 et 33, Figs. 183 et 184). Les rinceaux s'observent sur le tailloir des chapiteaux de droite de la fenêtre sud (chap. 31, Fig. 185). Les hexagones allongés se trouvent sur le mur nord du chœur, au centre, et l'hélice immédiatement à gauche de celui-ci (Fig. 162).

30 C'est au sud de l'abside qu'on voit des joints placés immédiatement à côté des ovales (Figs. 178bc). L'un de ces joints sépare le motif avec la palmette à trois lobes de celui à cinq lobes. Les joints placés au centre des ovales coïncident avec ceux qui séparent des chapiteaux doubles (Fig. 163, chap. n° 15, et Fig. 166, chap. n° 18). La transition de la palmette à cinq lobes vers celle à trois apparaît sur le chapiteau n° 15. Les joints en milieu de palmette règnent partout ailleurs (Figs. 168b, 173, 178a). On voit nettement les transitions de motif de part et d'autre du bloc montrant le motif de feuille de lierre (Fig. 168b).

31 À une exception près, le n° 48', où la tablette est absente.

saillants (n° 41'), plus rarement animales, par exemple un sanglier (n° 43'). On voit aussi un tonneau, mais certains motifs ne sont pas identifiables. L'état de conservation de ces sculptures est en effet mauvais dans l'ensemble. La facture des modillons est assez fruste, et contraste étrangement avec le raffinement de la frise de rinceaux délicats qui surmonte les fenêtres et entoure l'abside.

Seules les fenêtre du côté sud et celle de l'axe de l'abside sont ornées de chapiteaux (n^os^ 35', 39', 45', 48', 54', 55', 59', 61'). Les n^os^ 39' et 61' rappellent les "chapiteaux réduits au jeu des caulicoles"[32]. Les deux chapiteau à grandes feuilles des fenêtres sud du chœur (dont l'une est murée ; n^os^ 61' et 55'), dont l'un présente un modelé de surface délicat et l'autre des feuilles lisses, ont des formes très voisines : feuilles latérales triangulaire et feuilles d'angle terminées par des boules. L'engoulant de la fenêtre d'axe (n° 35') est très proche de ceux de l'intérieur (n^os^ 11, 20g, 27, 48d), à ceci près que sa mâchoire est armée d'une rangée de dents respectables (à l'intérieur, seul le n° 48d a des dents).

Un larmier orné d'un rinceau sinueux garni de feuilles fait le tour de l'abside au niveau des sommiers des arcs des fenêtres, en contournant l'extrados de celles-ci. Il règne aussi tout autour des contreforts. Le raccordement des différents blocs sculptés est plus difficile à étudier qu'à l'intérieur, en raison de la dégradation de ces sculptures exposées aux intempéries. Les raccords s'effectuent, dans tous les cas où l'état de conservation des sculptures permet d'en juger, de telle façon que le joint coupe une branche, entre une feuille ouverte et une feuille enroulée. La branche coupée se trouve soit en bas (ou vers l'intrados), soit en haut (ou vers l'extrados) de la frise, sans aucune régularité[33]. Certains raccords sont très réguliers, mais à d'autres endroits, la branche présente un angle assez marqué au niveau du joint[34]. La longueur des enroulements peut varier selon la dimension des blocs[35]. Chaque bloc a donc été sculpté en fonction de son emplacement précis et du dessin de la frise sur le bloc voisin. Mais les blocs ont dû être taillés indépendamment les uns des autres (et donc avant leur pose), puisqu'une palmette n'est jamais coupée, quitte à déformer le motif, et que les raccords sont parfois imparfaits.

1.D.4. Structure mécanique des éléments sculptés.

On compte en général un bloc par chapiteau ; cependant une des paires de chapiteaux doubles de l'abside est taillée dans un seul bloc (n° 22). L'authenticité de celle-ci est confirmée par la présence de traces de badigeon dans les creux des sculptures. Sa facture différente de celle des autres chapiteaux laisse penser qu'il pourrait s'agir d'un remploi d'une version antérieure de l'édifice.

Les chapiteaux doubles des colonnes engagées sont pour la plupart encastrés dans le mur vers l'arrière. Le bloc dans lequel ils sont taillés est dans la plupart des cas coupé à la verticale de l'angle supérieur de la corbeille. Dans quelques cas cependant, le dessin du bloc suit l'angle de la corbeille. (n^os^ 22d, 29d).

Dans la plupart des cas, les faces en vis-à-vis des deux chapiteaux formant paires sont traités

---

32 Le n° 35 en particulier. *Cf.* J. Mallet, art. cit. n. 120, p. 149.

33 *Cf.* par exemple, les Figs. 267a, 278a.

34 Il suffit de comparer les Figs. 257a et 257b (par exemple).

35 À gauche de la fenêtre orientale (Fig. 266a), par exemple, un bloc assez long a conduit le sculpteur à allonger particulièrement un rinceau, ce qui a abouti à un raccord anguleux. Même quand le motif est régulier, la longueur des vagues de rinceaux est très variable (*cf.* par exemple la Fig. 267a).

comme pour des chapiteaux isolés. Le chapiteau de gauche de la paire qui soutient le doubleau central au nord (n° 15g) fait nettement exception : en effet, il a été scié du côté droit après son achèvement, pour être accolé au deuxième chapiteau de la paire. Celui-ci (celui de droite), qui en est une copie inachevée, présente une certaine dissymétrie, pour s'adapter au premier : sa face latérale externe est inclinée alors que celle qui fait face à l'autre chapiteau est presque verticale. Par contre, le dé se trouve bien au centre de l'abaque, il n'est donc pas aligné avec l'axe du pilier. Outre un exemple de duplication d'une sculpture, on a ici un témoignage sur la façon dont la symétrie pouvait être appréhendée au XII^{e} siècle. Une raison technique empêchait ce chapiteau d'être parfaitement symétrique, l'écart entre les deux colonnes n'était pas suffisant pour cela. Au lieu de respecter le plan de symétrie fourni par le pilier sur toute la hauteur du chapiteau, quitte à rogner la partie qui sort de ce cadre, comme nous nous y serions attendus, le sculpteur médiéval a préféré réaliser un abaque symétrique en lui-même, et sculpté l'ensemble de biais à cette fin.

La paire qui fait face à celle que nous venons de considérer (n° 32) ne montre pas la même trace de remploi, mais le désaccord entre la taille des abaques et l'entraxe des fûts est évidemment le même, il se traduit autrement : les deux blocs sont séparés par une fente évasée vers le bas. Il semble que les faces en vis-à-vis ne soient pas sculptées.

Les chapiteaux des baies forment console, étant engagés dans le mur latéral sur une longueur qui peut aller de la moitié la longueur du chapiteau à un peu plus de celle-ci, alors qu'ils sont simplement adossés vers l'arrière. Les deux chapiteaux des colonnes qui soutiennent les extrémités de l'arcature de l'abside (n^{os} 19 et 28) sont eux aussi appareillés de telle façon qu'ils forment console dans la direction parallèle au mur, mais, vers l'arrière, ils sont encastrés.

On a vu qu'une élégante frise de palmettes court tout autour du chœur, englobant les tailloirs des chapiteaux des colonnes qui supportent les doubleaux et des colonnettes qui encadrent les fenêtres dans son parcours. Un motif de ruban enroulé en hélice remplace ces palmettes sur la moitié ouest de la première travée, côté nord. La frise de palmettes se prolonge dans l'abside, sur l'extrados de l'arcature, à la naissance du cul-de-four. Deux autres cordons courent dans l'abside : l'un, composé d'un cavet et de dents d'engrenage, prolonge les tailloirs des chapiteaux de l'arcature et des baies, et l'autre, orné d'un zigzag et d' un cavet, souligne l'appui des fenêtres.

Les tailloirs des baies du chœur sont composés de grandes dalles, qui recouvrent l'ensemble des deux chapiteaux, se prolongent largement vers l'arrière dans l'ébrasement, et le long du mur vers l'extérieur de la baie jusqu'à l'élément architectonique suivant. Le rôle mécanique est clair, il s'agit de renforcer l'angle supérieur du piédroit et d'utiliser la rigidité du bloc pour répartir dans l'intérieur du mur le surcroît de charge que l'ouverture de la fenêtre crée sur le piédroit. L'appareil en console des chapiteaux a la même fonction.

On constate que les tailloirs des chapiteaux des colonnes engagées sont en général en deux parties. Les blocs de la frise proprement dite sont un peu plus minces que ceux des assises ordinaires, et d'une longueur comparable aux plus grands de ceux ci. Ainsi la fonction de raidissement des tailloirs constatée au niveau des baies n'existe plus à ce niveau. Cependant, dans l'abside, la longueur de ces blocs, de l'ordre de celle des pierres d'appareil dans la partie droite, devient typiquement le double dans la partie tournante. Un raidissement semble à nouveau requis à la base du cul-de-four.

Le cordon d'appui, qui existe aussi dans le chœur, est de même composé de dalles de module comparable à celui des blocs d'appareil courant, alors que le cordon qui souligne les chapiteaux des baies de l'abside est assez mince, et sculpté dans une saillie des blocs de parement courants. Ce cordon s'épaissit au niveau des colonnes qui soutiennent l'arcature de l'abside, en formant les

tailloirs de leurs chapiteaux. Ces derniers tailloirs n'ont pas le même rôle architectonique que ceux des fenêtres du chœur, puisqu'ils sont pris dans les mêmes blocs que les chapiteaux. On a vu, cependant, que la forme des blocs contenant les chapiteaux leur permettait de tenir eux-même le rôle de consoles.

Un tore orne le rouleau externe de la fenêtre centrale, il est pris dans les blocs de l'arc. Cet élément de décor est parfaitement régulier, davantage que l'arc lui-même, ce qui incite à penser qu'il a été sculpté après la pose des blocs. Rien cependant ne garantit son ancienneté.

À l'extérieur, on a vu qu'un larmier orné contourne l'abside et ses fenêtres. L'épaisseur de celui-ci est plus faible que celle de la frise de palmettes intérieure, de l'ordre de la moitié de celle-ci. On compte typiquement un bloc de larmier pour deux voussoirs. Les angles droits formés par le larmier au bas des arcs des fenêtres ne correspondent jamais au raccord entre deux blocs. Au contraire, des pierres en L comportant une longueur comparable de larmier de part et d'autre de l'angle ont été taillées et sculptées. Ces pierres se présentent donc comme des équerres, qui assureraient l'orthogonalité entre les assises du mur et le départ de l'arc. Le larmier du chœur, aussi bien au nord qu'au sud, quoique d'un dessin beaucoup plus simple, de doubles dents de scie, a la même structure.

La corniche à modillons a plusieurs points en communs avec ces larmiers. Elle présente deux profils différents sur le chœur et sur l'abside : un boudin et un filet séparés par une gorge sur le chœur, et le même motif de doubles dents de scie sur l'abside, que le larmier des fenêtres du chœur. Le module des dalles est sensiblement le même. Comme le larmier, la corniche fait le tour des contreforts (ceux de l'arc d'entrée de l'abside, en effet les autres s'arrêtent au-dessous de la corniche). On constate donc une parenté aussi bien esthétique que mécanique, entre larmier et corniche.

La structure des chapiteaux n'est pas la même à l'extérieur qu'à l'intérieur. Les chapiteaux des fenêtres du chœur forment console latéralement mais, contrairement à ceux de l'intérieur, ils ne paraissent ne pas être encastrés vers l'arrière. Dans l'abside, ils sont simplement adossés latéralement, quoique encastrés vers l'arrière, sauf un de ceux de la fenêtre d'axe (n° 39'), adossé de part et d'autre. Quant aux tailloirs, ils sont presque toujours pris dans le même bloc que le chapiteau : seul un de ceux d'une fenêtre de l'abside (le n° 35') fait peut-être exception.

1.E. Baies

Le chœur est éclairé par deux hautes fenêtres à double rouleau dans sa travée orientale, l'abside par 3 fenêtres beaucoup plus basses. Le sommet de l'arc des fenêtres du chœur dépasse le niveau des sommiers de la voûte, à laquelle elles se rattachent par des pénétrations Dans la travée ouest, une fenêtre analogue du côté sud est murée à l'aide d'un appareil de tuffeau très soigné, et dont les assises se raccordent parfaitement à celles du mur (Fig. 41). On peut penser qu'il s'agit d'une disposition ancienne et que la fenêtre a été, sinon dès le début de sa construction, du moins avant l'achèvement du chœur, transformée en baie aveugle. Ce dispositif n'existe pas au nord, sans doute à cause de la tourelle d'escalier.

Selon les *Archives de Brion*, ces deux fenêtres auraient été murées dans le cadre des fortifications de l'église de la guerre de Cent Ans, et rouvertes vers 1789[36]. Il faut noter par ailleurs une différence notable dans les fenêtres nord et sud à l'extérieur : le rouleau extérieur de l'arc

36 *Archives de Brion*[4], p. 209 : "La réouverture des deux hautes croisées du chœur restées fermées depuis la guerre avec les Anglais eut lieu sans difficulté, il n'en fut pas de même pour la croisée de la façade."

retombe sur des colonnettes engagées ornée de chapiteaux sculptés au sud, alors qu'au nord il n'y a que l'angle vif du piédroit, un peu saillant par rapport à l'arc lui-même. On peut observer que les colonnes des baies sud sont prises dans les angles des pierres de parement. À cet effet, des blocs particulièrement longs ont été utilisés, de façon à ce que la partie de ces blocs qui se trouve hors de la colonne ait à elle seule la longueur que l'on donnerait naturellement à une pierre d'angle. Les piédroits de la fenêtre nord ne possèdent pas cette longueur supplémentaire, et si on y taillait des colonnettes, les plus étroits des blocs en déborderaient à peine. Ce détail montre que l'absence de sculptures et de colonnettes au nord n'est pas la conséquence d'un travail inachevé, mais bien un choix délibéré. Il s'explique sans doute par le fait que les bâtiments du prieuré étaient situés au sud, le nord ne pouvant être vu que d'un lieu peu accessible. On a noté que la présence d'un cimetière à cet endroit était peu probable.

Figure 41. Élévation latérale sud du chœur.

L'entrée de l'escalier du clocher aurait été déplacée du chœur vers l'absidiole nord (chapelle de la vierge) en 1789, en relation avec la démolition de l'autel de celle-ci[37]. C'est cet accès à l'escalier, et non l'entrée actuelle, qui est indiquée sur le plan de Duvêtre. L'élévation intérieure montre la porte actuelle, murée. L'accès à l'escalier porte de nombreuses traces de remaniement. Les plus évidentes sont celles qui correspondent à la pose d'une deuxième porte, au niveau de la troisième marche, dans la première moitié du XX^{e} siècle : reprise des marches (sans doute pour agrandir l'espace de façon à pouvoir ouvrir la porte), pose de la menuiserie et maçonnerie grossière autour de celle-ci, reprise des parements des murs à droite (en bas) et à gauche (en haut), le tout au ciment gris.

La partie inférieure du mur de gauche, bien appareillée sur 3 assises, est construite avec un tuffeau crème de couleur bien différente de celui du noyau de l'escalier. C'est clairement une restauration. Selon les *Archives de Brion*, comme on l'a vu, et le plan de Duvêtre, l'accès se trouvait au delà de ce mur, dans l'absidiole, avant la restauration de 1855. Ce mur date donc au plus tôt de cette époque. Le mur de droite, contrairement à l'ensemble des restaurations du XIX^{e} siècle, n'est pas soigneusement appareillé. À la limite entre ce mur et l'escalier proprement dit, dans la partie inférieure, un parement de mur cylindrique en tuffeau existe encore. Il est recoupé pour former le mur droit du passage. Un parement droit en tuffeau existe au dessus de celui-ci, parallèlement au

37 *Archives de Brion*[4], p. 208 : "La tourelle donnant accès par une porte à l'escalier du clocher vit cette porte prendre une autre place que celle du chœur, on la dissimula dans l'absidiole fermée dont le restant fut abandonné aux pompes funèbres."

passage. Si on suppose que ces deux maçonneries appartiennent à un même état de la tourelle, la partie supérieure pourrait être le piédroit d'une ouverture ou d'une niche de faible hauteur, pratiquée dans le mur continu de l'escalier. La hauteur de cette une ouverture n'étant pas suffisante pour former une porte, sa présence doit exclure celle d'un accès à cet endroit. Il est cependant possible que la partie tournante dont on voit les vestiges corresponde à une restauration, qui pourrait être celle de 1789. À l'intérieur du chœur, la maçonnerie ancienne se reconnaît à droite de la porte, et on voit aisément que le piédroit droit a été refait. Du côté gauche, on observe aussi une variation de couleur et des tuffeaux en mauvais état, mais ceci semble provenir d'une dégradation des tuffeaux posés au XIX[e] par suite d'infiltration d'eau, plutôt qu'être un signe d'ancienneté. Il est difficile de restituer de l'état de cet accès avant 1855 et a fortiori avant 1789. Duvêtre a cru restituer l'accès originel, et a certainement restauré une baie médiévale. Il est cependant douteux que celle-ci ait jamais donné accès à l'escalier. Si ce n'est pas le cas, quelle pouvait être sa fonction originelle ?

De la même façon, on peut se demander si la porte de la sacristie, située dans le chœur en face de celle du clocher, est ancienne. Ce détail n'est pas précisé sur le plan de Duvêtre, qui se situe au niveau de la fenêtre, pour cette partie de l'édifice. Aucun des dessins en élévation ne présente ce mur non plus[38]. Cette porte est mentionnée par Duvêtre dans une lettre à l'évêque d'Angers en 1855[39] : "Je dois tout d'abord relever une erreur de la Commission au sujet de la porte de la sacristie, cette porte existe dans l'entrepied de la croisée, près le pilier d'angle et non au-delà près l'ancien autel." Elle et donc antérieure à 1855. Il est cependant clair que cette porte ne peut pas avoir été crée, telle qu'elle est actuellement, au moment de la construction de la sacristie, vers 1780[40] : on lui aurait alors donné une forme néoclassique, et non en plein cintre à double rouleau. Rappelons que la construction de la sacristie s'accompagne de la destruction de l'absidiole sud du transept, et est accompagné par l'installation d'un nouvel autel à l'imitation de celui de la cathédrale[41] : on n'a pas affaire à des constructeurs désireux de conserver les formes anciennes. Les maçonneries ont été fortement reprises lors des restaurations du XIX[e] siècle, et présentent diverses altérations postérieures[42]. Cependant, le devis de 1855 ne mentionne rien au sujet de cette porte, pas plus qu'au sujet de celle du clocher. Le document de réception mentionne uniquement la "Pose de 1m.95 de vieilles marches pour le clocher et la sacristie à 1F50c l'un". Qu'un nouveau percement, ou même un changement radical de la forme de l'ouverture n'ait fait l'objet d'aucune mention explicite est peu vraisemblable. Il semble donc que les rouleaux des arcs soient médiévaux.

Par contre, l'ébrasement de la porte du côté de la sacristie évoque davantage une ouverture moderne. On peut imaginer qu'un nouveau percement a été effectué en 1780, mais que celui-ci réutilisait des arcs antérieurs ayant eu une autre fonction, comme celle d'une niche encadrant un lavabo liturgique, un enfeu, ou un arc purement décoratif. Ainsi, si l'ancienneté des arcs reste

38 Cette porte est par contre figurée sur le plan de Galembert, mais celui-ci montre aussi la porte du clocher. Il s'agit, soit de la restitution d'un état médiéval hypothétique, soit de l'état de l'édifice entre la restauration du chœur (1855) et celle de la nef (1870), et ne témoigne donc pas de l'état avant 1855.

39 Archives du Maine-et-Loire, 4T38, cf. dossier, section 5.B.

40 *Archives de Brion*[4], p. 202.

41 *Ibid.*, p. 200.

42 Dans les maçonneries de cette porte, il est difficile d'identifier des pierres antérieures aux restaurations de 1855, à l'exception éventuellement de quelques claveaux du rouleau interne. Ceux-ci sont en effet réalisés dans une pierre de couleur légèrement différente de celle qui les environnent, et présentent de fines layures parallèles, sur l'intrados de l'arc, qu'on peut peut-être interpréter comme des traces de taillant. Ceci n'est pas suffisant pour confirmer formellement ce que l'on déduit des documents.

vraisemblable, elle n'implique pas l'existence d'une porte en ce lieu avant la construction de la sacristie en 1780.

1.F. Murs et voûte

1.F.1. Les bases des colonnes

Les colonnes engagées du chœur reposent sur des bases composées d'une plinthe carrée surmontée de deux deux tores inégaux séparés par une large scotie. Ces bases reposent elles-mêmes sur des socles assez larges, amortis en talus (Fig. 42).

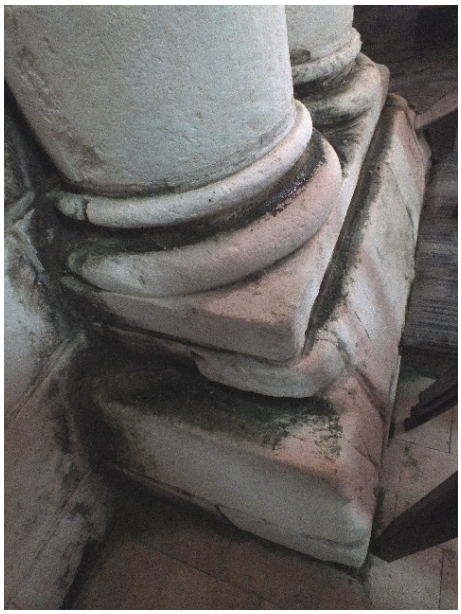


Figure 42. Socle et base de la colonne engagée à l'entrée de l'abside, au nord.

On doit s'attendre à ce que bases et socles aient été refaits, puisque, ainsi que le mentionne le devis de 1855, les tambours des colonnes "mutilés pour la pose de bancs sans aucun style", ont été repris sur une assez grande hauteur. Il faut cependant noter que, si le même devis prévoit 2 m^3 de tuffeau "pour base des colonnes des fenêtres et en recherche", il ne dit pas un mot ni des bases ni des socles des colonnes engagées qui soutiennent les doubleaux. Si on les examine plus soigneusement, on constate qu'à l'entrée de l'abside des deux côtés, le socle est retaillé d'un méplat, qui du côté de l'abside se place au niveau du plancher qui court entre les stalles. Le même méplat est présent du côté du chœur, répondant au plancher des stalles qui ont été démontées en 1855[43]. On voit le même méplat sur la face est des socles du doubleau central, au nord comme au sud[44] Les éléments modifiés pour le passage des stalles datent à coup sûr d'avant la suppression de celles-ci, c'est-à-dire avant la restauration de 1855. L'authenticité des socles étant assurée, au moins dans leur volume global, on doit remarquer que celui-ci commande l'emprise des bases. Ainsi,

43 Ces stalles apparaissent sur les dessins de Galembert, Figs. 132 et 133 du dossier.

44 Les entailles sont cependant un peu moins profondes au sud. Il en est de même à l'entrée de l'abside, du côté sud, où le socle est entaillé assez faiblement à l'ouest, ce niveau correspondant exactement à celui du plancher courant devant les stalles.

quoiqu'il soit vraisemblable que celles-ci aient été refaites au moins en partie (l'observation ne permet ni de le confirmer ni de l'infirmer), on peut être assuré que leur volume actuel est très voisin de ce qu'il était avant la restauration.

1.F.2. Restauration du chœur

Dans le chœur, le transept et l'abside, tous les arcs, portes, fenêtres, doubleaux, sont extradossés, de telle manière qu'il n'y a aucune liaison entre l'arc et la maçonnerie qui se trouve au-dessus, hormis la pression sur l'extrados. Cependant, les deux ou trois assises inférieures des doubleaux sont liées aux assises correspondantes de la voûte. L'arc nord de l'arcature aveugle de l'abside a été retaillé en place : l'intrados de l'arc qui vient en avant du mur n'est pas dans le prolongement de la partie de cet intrados qui y est engagée, mais se trouve quelques centimètres plus haut. J'ignore de quand date cette "modification". De façon analogue, le rouleau extérieur de la fenêtre d'axe est moulurée d'un tore. Celui-ci semble avoir été taillé en place, car sa taille est plus régulière que celle des claveaux eux-mêmes.

Les colonnettes des fenêtres et des autre arcatures sont construites d'une façon totalement opposée aux arcs qu'elles supportent. En effet si ces arcs sont indépendants aussi bien du mur qui est au-dessus que de la lunette que de l'arc qui est au-dessous, les colonnettes, elles, sont appareillées avec le mur, et en font partie intégrante. Elles ne sont pas vraiment un élément constructif, mais plutôt un décor sculpté ; mécaniquement, il n'y a qu'un volume mural, qui contient celui des colonnettes. Ceci est fort différent de la colonnette en délit gothique. De la même façon, les assises des colonnes engagées sont dans la continuité de celles du mur, sauf en ce qui concerne leurs chapiteaux.

Les colonnes engagées du chœur présentent des joints de façade ; ceux-ci sont en général très fins, sans la couche de mortier usuelle. On en trouve aussi, quoique moins systématiquement, sur toute la hauteur des colonnes de la croisée. Dans le croisillon sud, il n'y en a que dans la partie inférieure (jusqu'à la 8^{e} assise environ, soit le tiers de la hauteur), et seulement deux des assises de la colonne sud-est en présentent. Les joints de façade disparaissent presque totalement dans le croisillon nord, et dans la nef, sauf pour le tiers inférieur du doubleau central de celle-ci, qui en présente aussi. Si on admet que ce type de joint est un signe d'ancienneté, il confirmerait que la partie inférieure des murs de la nef est une des parties les plus anciennes, avec le chœur et la croisée, et que les bras du transept, sud puis nord, ont été élevés seulement ensuite.

1.F.3. Existence d'un chœur antérieur

L'absidiole sud a été détruite en 1780 pour construire la sacristie[45]. Selon les *Archives de Brion*, le curé était en désaccord avec les paroissiens pour cela comme pour le déplacement de l'autel. Les aménagements intérieurs de la sacristie (placard, plafond et badigeons) interdisent toute observation des maçonneries. À l'extérieur, on peut observer quelques vestiges.

Les assises horizontales sont continues, du raccord entre le mur sud de la nef et le transept, jusqu'au départ de l'absidiole sud. Cependant, on constate que l'absidiole sud, détruite pour faire place à la sacristie moderne, existait antérieurement à la construction du transept. En effet, une partie du mur de l'absidiole romane est conservée dans le mur de la sacristie. 5 assises sont conservées en bas, 4 ou 5 plus haut, entre deux, une maçonnerie en silex et morceaux de tuffeau,

45 L'adjudication des travaux eut lieu le 7 novembre 1779 (*Archives de Brion*[4], p. 201). Le devis est conservé aux archives du Maine-et-Loire, cote 65 AC 1 M 2.

dont on ne peut dire si c'est un reste de mur en blocage ou une réparation (Fig. 43). Le mur du transept est plaqué latéralement sur ce reste de mur de l'absidiole, qui lui est donc antérieure. Un décrochement d'une assise s'aperçoit juste au-dessus du toit, mais une partie appréciable de la maçonnerie est invisible (intérieurement, la sacristie est enduite, aménagée avec de nombreux placards, et plafonnée, sans accès au comble). Cependant, à l'intérieur du transept, les assises sont régulières et continues, sur l'ensemble du chœur et des deux croisillons (à quelques rapiéçages près).

Figure 43. Arrachement de l'ancienne absidiole orientée sud, actuellement sacristie.

On note la parfaite liaison entre le mur de la sacristie et celui de l'abside, à l'est. Le mur oriental de la sacristie remonterait donc au XII^{e} siècle, il est conservé sur 1,07 à 1,25 m de long et 13 assises, soit environ 3,7 m de haut. Ceci indique la présence d'une sacristie en ce lieu dès le XII^{e} siècle.

La seconde travée du chœur présente une fenêtre de part et d'autre, mais celles-ci ne sont pas identiques (Figs. 44 et 45). En effet, les piédroits de la fenêtre nord du chœur sont lisses, contrairement à ceux de la fenêtre sud. Détail curieux, ils ne sont pas exactement dans le prolongement du rouleau de l'arc, mais plus à l'intérieur. Un reste d'arc muré est visible au-dessous de cette fenêtre, mais rien ne lui correspond, ni plus bas, ni de l'autre côté du mur. Un autre signe d'une différence entre les deux côtés du chœur est la hauteur des bases des colonnes engagées, qui sont environ 9 cm plus haut au nord qu'au sud.

La première travée du chœur présente une une baie aveugle, au sud seulement. Cette dissymétrie peut être justifiée par la présence de la tour d'escalier. Quoique la limite entre remplissage et piédroits apparaisse très nettement, la hauteur des assises du remplissage correspond exactement à celles des piédroits, tant à l'intérieur qu'à l'extérieur. Il n'y a pas non plus de différence dans la couleur des tuffeaux. Ceci laisse penser qu'il ne s'agit pas d'une fenêtre murée tardivement, mais d'un changement de parti d'une fenêtre vers une arcade aveugle, intervenu tôt dans la construction.

Figure 44. Élévation sud du chœur.

Figure 45. Fenêtre nord du chœur.

1.G. Analyse des dimensions

Le premier point à établir est la manière dont les constructeurs pouvaient définir des quantités telles que la longueur et la largeur des travées. Les mesures peuvent en effet être prises entre les axes des murs ou des colonnes, au nu des murs, où à la surface des colonnes, au niveau soit du socle, soit de la base, soit du fût. Il est impossible de déterminer quelle est la définition choisie par les constructeurs sans définir *a priori* un critère qui permette de caractériser celle-ci. Je pense qu'il est raisonnable ici d'admettre *a priori* que la longueur des travées est définie de façon à ce qu'elle soit la même pour les deux travées du chœur. L'analyse des mesures[46] montre que la longueur de la travée doit s'entendre d'une base à l'autre. On cherche ensuite à établir quelle est la définition de la largeur du chœur. Ici encore, une hypothèse *a priori* est nécessaire. Nous admettrons que largeur et longueur doivent se trouver dans un rapport simple.

Si l'on considère la largeur entre murs, le rapport est 2 avec une précision de 1,5%[47]. On remarque cependant que le rapport entre longueur entre plinthes et largeur entre plinthes est voisin

---

46 Les résultats des mesures sont résumés dans le tableau suivant :

mesurée entre	socles	plinthes	tores inférieurs	tores supérieurs	fûts
longueur de la 1e travée (mm)	2 868 ± 8	3 039 ± 8	3 056	3 099 ± 2	3 120 ± 6
longueur de la 2e travée (mm)	2 660	3 020	3 020 (estimé)	3,118 (estimé)	3 184 ± 8
différence (cm)	20	2	4	2	7

(les mesures sont prises au nord et au sud, la précision donnée est l'écart-type, qui se réduit pour deux valeurs à la valeur absolue de leur différence divisée par $\sqrt{2}$. Aucune précision n'est affichée quand une seule mesure était accessible).

L'écart minimal est obtenu au niveau des bases, sans qu'il soit possible de décider si les plinthes, les tores inférieurs ou les tores supérieurs ont servi de référence. D'ailleurs, les bases ayant été en grande partie refaites en 1855, seule la position de leur plinthe est assurée. On retiendra la longueur de 3,03 m.

47 Dans les mêmes conditions que pour la n. 121, on obtient le tableau :

de $\sqrt{3}$ avec une précision de 1%. La différence de précision n'est pas significative, et l'on constate que l'on aurait obtenu un résultat différent avec une autre hypothèse *a priori*. Un schéma directeur de type "modulaire" implique, du point de vue de nombreux auteurs du moins, que le module soit un nombre entier d'une unité établie, un pied en général, contrairement au schéma "géométrique"[48].

Les unités attestées en Anjou par les tables de conversion sont celles du royaume : la toise de 1,949 m, qui vaut 6 pieds de Roi de 32,48 cm, et l'aune de 1,188 m, qui vaut 4 pieds romains de 29,7 cm (*cf.* annexe). Toutes nos mesures, exprimées dans l'une ou l'autre de ces unités, nous donnent de 15 à 21 pieds pour la largeur, et de 8 à 11 pieds pour la longueur, suivant la définition de la longueur et le choix du pied. La longueur de travée de 3,03 m vaut 9,33 pieds de Roi et 10,20 pieds romains. Il est donc clair que si elle vaut un nombre entier de pieds, ce nombre est nécessairement 10, et la longueur du pied de 30,3 cm environ. Or le pied anglais a justement une valeur proche de celle-ci, 30,48 cm. L'origine de cette unité, quoiqu'incertaine, semble être liée à la Normandie, proche de l'Anjou (*cf.* annexe). Quoiqu'il en soit, notre analyse montre que, si la longueur et la largeur de ces deux travées de chœur a une valeur déterminée en pieds, et dans un rapport simple, ces longueurs ne peuvent être que 10 pieds anglais sur 20. Il faut cependant rappeler que l'existence d'un module est ici admise *a priori*. Notons qu'on pourrait alors considérer le chœur comme un carré de 20 pied sur 20, puisqu'il est formé de la juxtaposition de 2 rectangles de 10 pieds sur 10, malgré l'épaisseur d'un doubleau qui les sépare. La mesure en pieds de ces travées est déterminée sans ambiguïté.

Il est plus difficile d'obtenir des mesures en élévation[49]. La hauteur des fûts des colonnes engagées qui portent les doubleaux du chœur peut être évaluée par un procédé de triangulation à 7,319 ± 0,01 m, ce qui fait 24 pieds anglais (ou 22,5 pieds de Roi ?). La hauteur des chapiteaux est plus difficile à évaluer avec précision, j'obtiens 64 ± 4 cm, soient 2 pieds. La hauteur totale des bases, socles compris, est 70 ± 4 cm[50], ce qui fait environ 39,3 pieds anglais. On n'a pas là un nombre entier de modules de 10 pieds, mais il suffit, pour obtenir cela, d'imaginer que le sol a été exhaussé de quelques dizaines de centimètres depuis la construction du chœur. Ceci est tout à fait possible mais invérifiable. On se contentera donc de constater que les mesures verticales ne contredisent pas sérieusement l'existence d'une structure modulaire, et on se permettra d'interpréter les proportions globales, arrondies, de l'élévation transversale du chœur. Celles-ci sont, globalement, de 3:2 si on ne compte pas l'élévation de la voûte, de 2:1 si on compte celle-ci. On

mesurée entre	socles	plinthes	tores inférieurs	tores supérieurs	fûts	murs
largeur du chœur (mm)	4 962 ± 4	5 289 ± 5	5 290 ± 4	5 388 ± 5	5 439 ± 8	6 139 ± 30
largeur / 3 030	1,64	1,75	1,75	1,78	1,80	2,03

48 En ce qui concerne la distinction entre systèmes "géométrique" et "arithmétique" ou modulaire, *cf.* Eric C. Fernie, Chap. 1, "Introduction", dans *Ad Quadratum* (*op. cit.* n. 80, p. 25 de notre première partie), pp. 110, et notre section 2.A.2.

49 Je n'ai pu mesurer directement que la hauteur de la moulure qui souligne les appuis des fenêtres, depuis le sol. Elle est de 3,236 ± 0,03 m. Cette valeur coïncide avec 10 pieds de Roi avec un écart inférieur à la précision de la mesure, alors qu'elle est loin d'un nombre entier de pieds romains ou de pieds anglais. Cependant il est raisonnable de penser que la coïncidence est fortuite.

50 La précision est la variance. La hauteur est plus grande de 6 cm au nord qu'au sud. Cette variation a toutes les chances d'être liée à des variations modernes du niveau du sol.

reste dans les proportions simples, de type “musical”, quinte et octave[51].

Un quadrillage en pieds anglais, superposé à une photographie redressée de l’élévation nord de la travée orientale de chœur, est visible sur la Fig. 46.

Figure 46. Élévation nord du chœur, et modules en pieds.

On voit que la largeur est rythmée par le module de pieds : 3 de part et d’autre de la fenêtre, 4 pour celle-ci, le total étant 10 d’après le début de l’analyse. L’ébrasement rétrécit d’un demi-pied de chaque côté[52], et l’ouverture n’est que de 3 pieds. Les limites correspondent aux arêtes de murs ou à l’enveloppe, base incluse des colonnettes. Cependant, le rayons de la lunette qui marque la pénétration de la fenêtre dans la voûte, et celui du rouleau de l’arc de la fenêtre qui la souligne, sont respectivement de 4 et 3 pieds de Roi. On observe un changement d’unité, qui peut correspondre à une interruption dans le chantier, un changement de parti, ou de maître d’œuvre, ou à la combinaison de plusieurs de ces événements ou d’autres de même nature. On fait les mêmes observations sur la fenêtre nord et la baie aveugle, à l’intérieur, par contre, la construction extérieure des fenêtres ne répond pas au même schéma (même avec une grille en pieds de Roi). Les difficultés qu’il y a à obtenir une précision suffisante à distance interdisent de poursuivre l’étude pour l’élévation extérieure.

Cette procédure permet une précision d’environ 2%, ce qui, quoique assez grossier, reste comparable à ce que l’on peut espérer pour la précision avec laquelle les mesures de la maçonnerie

---

51 *Cf.* Edgar de Bruyne, *Etudes d’esthétique Médiévale* (Slatkine Reprints, Genève, 1975), en particulier t. I, pp. 19, 254.

52 La parallaxe, assez importante sur la Fig. 46, interdit d’évaluer des distances entre objets ne se trouvant pas dans un même plan vertical.

ont pu être réalisées[53]. Sur une longueur de 6 m, une erreur de 2% vaut 12 cm : il est donc possible, si l'unité (le pied) est déterminé, d'évaluer la mesure en pieds, mais en aucune façon une discussion sur la précision de cette mesure ne permet de décider si cette valeur a été voulue ou non.

Le rayon des arcs doubleaux et de la voûte est obtenu par le même procédé photographique simple. Les diamètres obtenus sont, pour l'intrados du doubleau, 20 pieds anglais ou 19 pieds de Roi, pour celui du voûtain ; 23 pieds anglais ou 21 pieds de Roi. On voit que tous les rayons ne seront pas entiers, et qu'on ne peut trancher à ce niveau entre les deux unités. Cependant, on obtient ainsi pour l'épaisseur du doubleau une valeur théorique, soit de 3/2 pied anglais, qui valent 45,7 cm, soit de 1 pied de Roi, qui vaut 32,5 cm. Or la mesure est 42 cm (avec une précision théorique de 2%, soit 8 mm). Cette observation tranche en faveur du pied anglais. La distance entre les centres est d'environ 60 cm, soit 2 pieds.

On retrouve ici le même module de 10 pieds, qui est la longueur de travée. De plus, la mesure significative est encore une mesure interne : l'intrados du doubleau, comme la longueur de travée se mesurait entre les bases des colonnes. Enfin, on peut proposer un principe de dessin de l'arc brisé : il s'obtient ici en reportant à l'intérieur des support le module précédemment mesuré à l'extérieur de ceux-ci. Ceci permet de réaliser l'idéal d'égalité[54], puisque le diamètre de l'arc reste égal à la largeur de la travée, comme pour l'arc en plein cintre.

On a encore admis *a priori* que la mesure du diamètre est un nombre entier de l'un des deux pieds considérés. Ainsi, en acceptant comme acquis l'existence d'un schéma modulaire, basé sur des mesures dans une unité identifiable, on a pu caractériser ce schéma d'une façon raisonnablement fiable. Une réserve est cependant nécessaire : si cette analyse permet de caractériser le schéma modulaire de façon sûre, ayant admis comme postulat qu'il existe, elle ne permet pas de prouver son existence : une telle analyse aboutira toujours, quelles que soient les données.

Nous n'analyserons pas en détail les dimensions de l'abside. Une observation de J. Mallet mérite cependant d'être rappelée : il relève que les colonnes de l'arcature de l'abside sont placées en dehors de la largeur de celui-ci, 6,30 m, alors que celles du chœur sont à l'intérieur, "une disposition ingénieuse [...] qui agrandit légèrement l'abside"[55]. On voit ici comment l'architecte médiéval peut jouer entre les différentes façons de définir la largeur de l'espace considéré, abside ou chœur, de façon à ce qu'il puissent avoir même largeur "nominale", tout en modulant leurs

---

53 Rappelons ici que la précision métrologique des unités de longueur - celle avec laquelle les unités sont définies, bien plus précise que la réalisation des mesures - était au Moyen Âge de l'ordre de 1‰, et n'a pu être améliorée qu'à partir de la fin du XVIII^{e} siècle, par suite de l'application de divers progrès scientifiques et technologiques. *Cf.* Armand Machabey (Jr), *La métrologie dans les musées de province et sa contribution à l'histoire des poids et mesures en France depuis le treizième siècle*, Thèse pour le doctorat de l'Université soutenue en Sorbonne le 19 juin 1959, publiée avec le concours du CNRS. La reconstitution des anciennes unités par l'archéologie parvient à la même conclusion (*cf.* Hervé Leblond, "Recherches métrologiques sur des plans de bastides médiévales", *Histoire & Mesure*, vol. 2, n°3-4, pp. 55-87 (1987)). De plus, à titre de comparaison, on peut remarquer que l'écart relatif entre les valeurs du pied de Roi données en fonction du mètre provisoire de 1793 et du mètre définitif de 1799 est de 0,3‰ : seule la définition mètre définitif permet de porter la précision avec laquelle les mesures sont définies à un niveau qui dépasse celle des mesures anciennes.

54 *Cf.*, dans le Chap. VI. (t. 3, livre IV) de l'ouvrage de E. de Bruyne cité n. 51, consacré à l'esthétique de saint Bonaventure, la section 3 : "*Aequalitas numerosa*", p. 199 et suivantes.

55 J. Mallet, art. cit. n. 120, p. 144.

dimensions dans un sens plus concret. Je pense que ce procédé, étranger à notre façon cartésienne de relier mesure et espace physique, n'était pas rare au Moyen-Âge.

1.H. Analyse mécanique

Le chœur est couvert d'une voûte en berceau brisé sur doubleau avec pénétrations, contrebuté par des contreforts d'assez médiocres dimensions, alors que ses murs sont largement évidés par des fenêtres simples en plein cintre. Les reins des voûtes sont remplis d'un remblai.

Figure 47. L'extrados du berceau qui recouvre le chœur, et du cul-de-four de l'abside (ce dernier est à droite).

Figure 48. L'éperon qui contrebute le cul-de-four recouvrant l'abside vers l'est.

On peut relever quelques différences entre l'appareil du berceau et celui du cul-de-four. À l'intrados, le berceau est en parfait état alors que le cul-de-four présente des fissures verticales. D'autres fissures sont mentionnées dans la documentation et ont été réparées depuis, en particulier la "grande lézarde du chevet" mentionnée en dans le devis de Hardion de 1914[115]. Celle- ci est déjà mentionnée par les *Archives de Brion*[56], mais ne l'est pas dans le devis de Duvêtre de 1855, ni n'apparaît dans les dessins du XIX^{e} siècle. Elle semble donc s'être produite postérieurement. On mettrait volontiers la formation de cette lézarde sur le compte du déblaiement de terres situées au nord de l'église sur près de 2 m d'épaisseur. Cependant on a tout lieu de croire que ces déblaiements ont été effectués entre 1788 et 1839[14,15], ce qui est bien tôt pour ne produire d'effet qu'après 1870.

Les claveaux du cul-de-four ont sensiblement la même dimension que ceux du berceau[57]. La dimension moyenne des blocs peut être évaluée grossièrement à 20 × 30 cm. L'épaisseur de la voûte ne peut pas être mesurée, on supposera qu'elle est identique à cette longueur moyenne. Les blocs des murs sont plus gros, la hauteur d'assise est de 25-27 cm en moyenne, pour une longueur variant largement autour de 40 cm.

À l'extrados, on observe aussi des différences appréciables entre ces deux parties (Fig. 47). L'extrados du berceau montre, sinon un appareil régulier à proprement parler, du moins des moellons de dimensions homogènes, disposés en assises régulières et séparés par des joints

56 *Archives de Brion*[4], p. 324, au sujet des travaux projetés en 1873 pour le rétablissement de l'absidiole sud et la construction d'une nouvelle sacristie.

57 Je compte 51 assises dans chacune des travées du chœur, pour 53 dans le cul-de-four, et un développement identique : la différence n'est pas significative.

relativement minces. On peut observer les moellons de l'extrados du cul-de-four aux quelques endroits où l'épais enduit de mortier qui les recouvre a disparu, ce sont des moellons carrés de petits module ; les joints qui les séparent, autant qu'on puisse en juger, sont irréguliers et parfois épais. Un enduit est encore présent sur une partie de la voûte en berceau, mais il s'est moins bien conservé là que sur le cul-de-four ; peut-être était-il moins épais. Il faut aussi mentionner un mur formant une sorte d'éperon, qui vient contrebuter le cul-de-four vers l'est (Fig. 48).

On étudie le comportement mécanique d'une travée de chœur par une modélisation élastique, suivant les méthodes développées dans l'annexe. Je renvoie à celle-ci pour les valeurs des paramètres (source des mesures et justification des choix). Dans mes calcul, étant données les conditions aux limites utilisées et la modélisation choisie, je néglige en particulier le poids de la toiture, et les efforts exercés par la travée voisine et par le cul-de four de l'abside.

La résistance à la compression est de l'ordre de 12 MPa. À titre de comparaison, on peut évaluer sommairement la masse de la travée de chœur, entre les contreforts, à 92 m^3[358]. Avec une masse volumique de 1400 kg/m^3, on obtient un poids de $1{,}26 \times 10^6$ N, à répartir sur une surface murale de 6 m^2, soit une contrainte de -0,21 MPa. C'est $1/50$ de la limite de compression : une ruine par écrasement n'est pas à craindre, de très loin. Ce sont donc uniquement les efforts de traction sur la maçonnerie et les joints dont dépend la résistance de la structure.

Considérons d'abord un modèle à peu près complet de la travée, incluant les charges de la voûte, contreforts, doubleaux et fenêtres. Les résultats sont présentés sur la figure 49. La coloration montre les valeurs prises par les contraintes normales principales $\sigma_1<\sigma_2<\sigma_3$. σ_1, qui est le presque toujours négative, représente la plus grande compression, σ_3, positif, la plus grande traction, au point considéré, suivant la direction dans laquelle on détermine les forces internes.

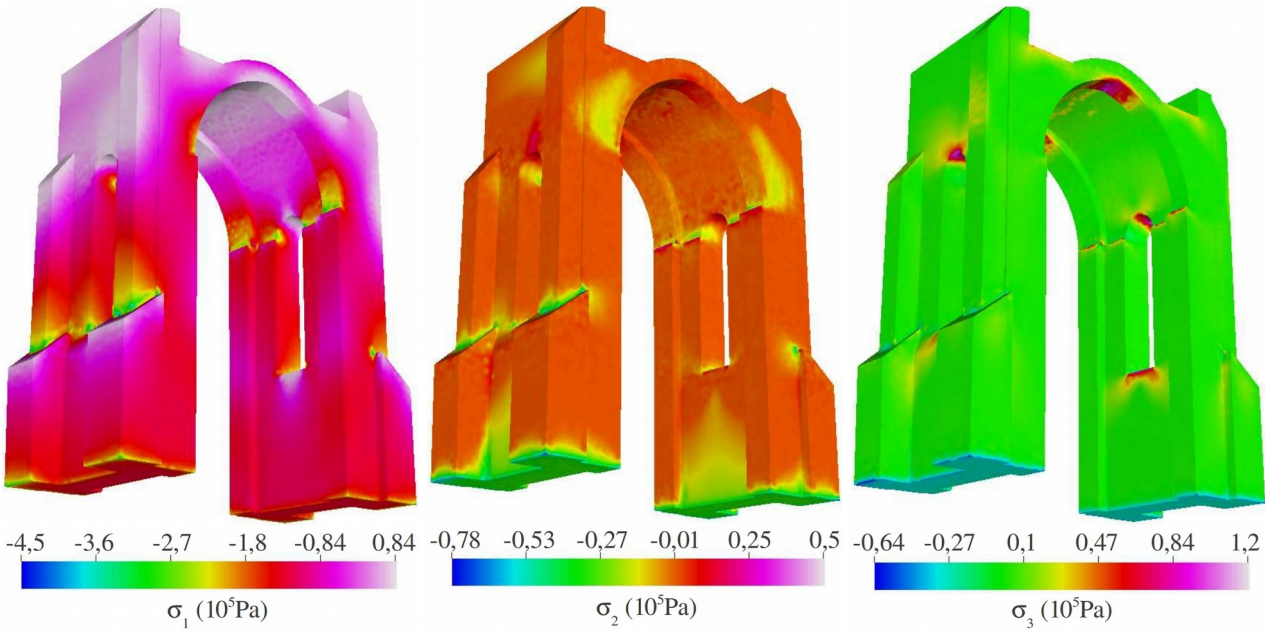


Figure 49. Comportement mécanique de la travée orientale du chœur : modèle élastique. Les figures donnent la valeur des contraintes normales principales $\sigma_1<\sigma_2<\sigma_3$.

Si on excepte quelques effets de concentration de contrainte d'importance secondaire, et qui

58 On fait les approximations suivantes : la toiture et les remblais ne sont pas décomptés, mais les vides laissés par les fenêtres ne sont pas déduits.

sont très vraisemblablement dépendants de la modélisation, la compression est à peu près uniforme, de l'ordre de 0,2 MPa, ce qui correspond au poids total de la structure, réparti sur sa surface de base. Les valeurs extrêmes obtenues dans les calcul ne dépassent pas les 0,5 MPa, vingt fois moins que la résistance à la compression du tuffeau. Comme on l'a déjà dit, seuls les efforts de traction doivent être pris en compte dans l'étude de la stabilité du bâti. Ils restent élevés au voisinage de l'intrados des arcs. La valeur obtenue est sans doute un peu surévaluée du fait que la plasticité des joints pendant le séchage du mortier n'a pas été prise en compte. Les valeurs extrêmes atteintes très localement dépendent aussi du maillage. Le maximum de cette traction est de l'ordre de 0,1 MPa, et apparaît au voisinage de la clef des arcs, à l'intrados. On avait retenu comme maximum admissible pour cette traction, une valeur de 0,11 MPa : les valeurs obtenues restent inférieures à cette limite, mais peuvent l'atteindre. Ce type de traction est bien connu, et outre que, comme on l'a dit, la plasticité des joints pendant le séchage en absorbe une partie, il peut mener à une fissuration de la voûte à l'intrados, qui est sans conséquence sur la stabilité de celle-ci.

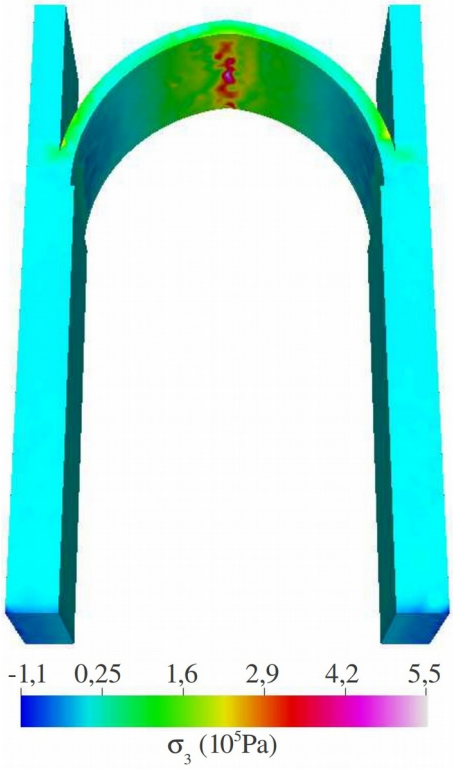


Figure 50. Les tractions dans la voûte, en l'absence des remplissages des reins, des doubleaux et des contreforts.

Figure 51. Les tractions dans la voûte, comme sur la Fig. 50, mais en supposant une voûte en plein cintre.

Dans le but de déterminer l'efficacité des différents éléments de la structure, j'ai réalisé plusieurs modèles incomplets, dans lesquels doubleaux, contreforts, etc. on été retirés. La figure 50 montre les efforts de traction (c'est à dire la plus grande des contraintes normales principales, σ_3), dans l'hypothèse où le voûtain serait seul, sans aucun autre contrebutement que l'épaisseur des murs. On observe des tractions bien plus élevées, de 0,15 à 0,2 MPa à l'extrados comme à l'intrados, jusque vers le milieu de l'épaisseur de la voûte, les valeurs extrêmes étant de l'ordre de 0,4 MPa. Une rupture consécutive à l'ouverture de fissures à l'intrados, vers la clef, et à l'extrados,

vers les sommiers, aurait été à attendre. Si on considère un berceau en plein cintre de même épaisseur et de même portée (Fig. 51), on constate que les tractions sont du même ordre, voire même légèrement inférieures : le passage du plein cintre à l'arc brisé ne présente ici aucun avantage du point de vue mécanique.

L'utilisation des doubleaux est par contre tout à fait efficace. En effet, si on modélise la travée de berceau brisé, au quel on adjoint les deux doubleaux (Fig. 52), on constate que les tractions qui apparaissent à l'intrados sont maintenant limitées au doubleaux. Ceci montre que les poussées de la voûte vont effectivement se concentrer sur les doubleaux. Un autre élément dont l'importance a peu été soulignée jusqu'ici, et qui participe efficacement à la stabilité de la structure, est le remplissage des reins de la voûte. Si on modélise celui-ci par un matériau élastique ayant les mêmes propriétés que la maçonneries elle-même, on constate que les tractions qui apparaissent à l'intrados sont réduites à moins de la moitié de leur valeur, et que les tractions disparaissent totalement à l'extrados (Fig. 53).

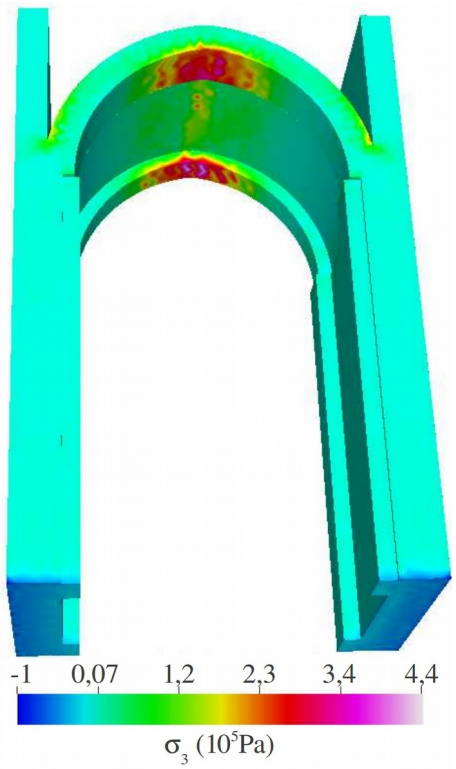


Figure 52. Les tractions dans la voûte : effet des doubleaux.

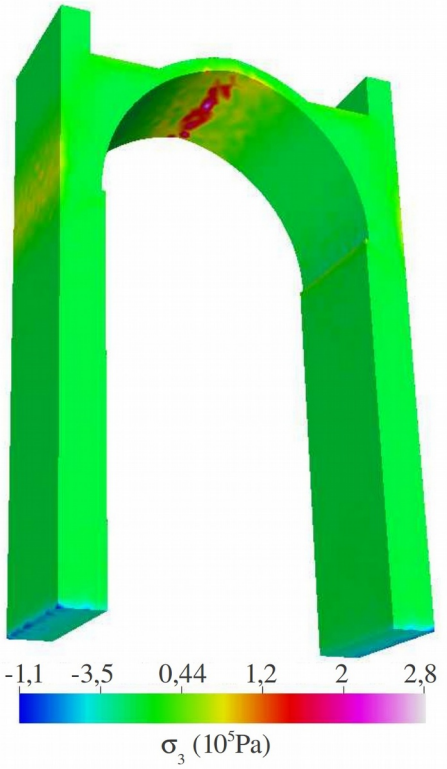


Figure 53. Les tractions dans la voûte : effet du chargement des reins de celle-ci.

La présence de contreforts derrière les doubleaux réduit l'effet de la poussée sur ceux-ci, ce qui finit de stabiliser l'ensemble. Un modèle élastique identique à celui de la figure 49, mais ne montrant pas le percement des fenêtres, permet de mettre en évidence l'efficacité du dispositif (Fig. 54).

On constate en effet que les contraintes sont particulièrement faibles dans la zone située entre les deux contreforts, en particulier, la compression s'annule sur la face intérieure, alors que la traction s'annule sur la face extérieure. C'est ce qui a permis d'ouvrir largement les fenêtres. L'absence de fenêtre dans la travée occidentale n'est sans doute pas justifiée par des raisons

mécaniques : au nord, elle est due à la présence de l'escalier, au sud, on sait que la baie a été murée, mais il est impossible de déterminer l'âge de cette disposition.

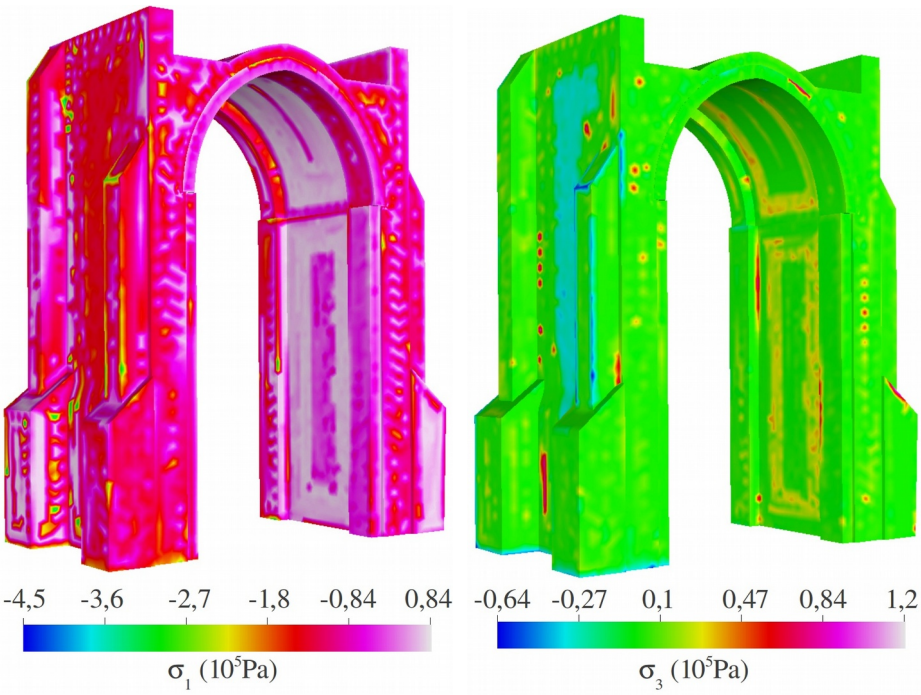


Figure 54. Modèle de la travée de chœur incluant tout le système de contrebutement, sans le percement des fenêtres. À gauche, compression maximale σ_1*, à droite, traction maximale* σ_3*.*

2. Croisillon Sud

2.A. Généralités - Introduction

Le croisillon sud (Fig. 55) se compose d'une travée carrée, voûtée d'une croisée d'ogives primitive. Il est percé d'une porte à voussures sculptées vers l'ouest, de deux fenêtres en plein cintre dont le très large ébrasement forme un remarquable décor mural, l'une au-dessus de la porte ouest, l'autre dans le pignon sud. Enfin une absidiole s'ouvrait vers l'est, on a déjà vu qu'elle a été détruite et remplacée par une sacristie en 1780. Un mur lisse a été établi à cet emplacement, dans lequel ne s'ouvre qu'une petite porte donnant sur la sacristie.

Figure 55. Vue extérieure du croisillon sud.

La "restauration extérieure et réfection de la toiture de ce transept et de la nef de l'église" a été adjugée à Roger frères, maçons, le 15 juillet 1861, sur un devis de Duvêtre[59], et les travaux ont été achevés en juillet 1862[60].

Des travaux ont été effectués simultanément à l'intérieur, aux frais de la fabrique. En effet, le devis pour le transept nord de 1862 dit que "Le transept sud est restauré, tant à l'intérieur qu'à l'extérieur", et indique que la restauration intérieure du croisillon nord doit être "exécutée simultanément avec les fonds de la fabrique", d'après un devis du 18 mars 1861, c'est à dire présenté en même temps que celui de l'intérieur. Par ailleurs, la cahier des délibérations du conseil de fabrique[61] donne la reddition des comptes de l'année 1862, avec une somme de 5544,40 F "qu'on a donnée pour les travaux intérieurs de restauration du transept". On n'a aucune indication sur la nature de ces travaux, si ce n'est que les *Archives de Brion* mentionnent "une large déchirure à la

59 Devis du 18 mars 1861, 8890,36 F.

60 *Cf.* la délibération du conseil municipal du 4 juillet 1862 : Mrs Roger frères "viennent d'effectuer [...] la restauration du transept sud". Le document de réception est daté du 8 janvier 1863.

61 Archives diocésaines d'Angers, P 251.

voûte" qui aurait été causée par l'installation d'une horloge avant le milieu du XVII^{e} siècle[62].

On a déjà mentionné la destruction de l'absidiole sud et la construction de la sacristie en 1780. Suite à une visite du Doyen de la cathédrale le 27 mai 1788, la deuxième absidiole sera fermée, et son autel ainsi que deux autres qui étaient situés devant les piliers orientaux de la croisée seront détruits[63]. On apprend ainsi que l'église possédait 8 autels[64], dédiés à saint Pierre (absidiole sud), Notre-Dame de Pitié (absidiole nord), saint René (devant le pilier du clocher côté sud), saint Augustin (de même mais au nord), saint Jacques, saint Laurent, saint Roch ("sis désagréablement près de la grande porte"[65]), les Trépassés. Les *Archives de Brion*[66] relatent la délibération du conseil de fabrique du19 octobre 1788 décidant "que les colonnes qui avaient été scindées seraient réparées jusqu'au niveau du carrelage", mais surtout la démolition de trois autels, et la réparation de ceux de saint Laurent et des Trépassés. La position de ceux-ci est précisée dans le marché de démolition-restauration[67] : "à adosser dans l'angle des piliers de la voûte du clocher et les murs de la dite Eglise", position voisine de la position antérieure mais sans doute pas identique, puisqu'il fallut "couper en sifflet" les colonnes d'angle pour leur faire de la place[68]. Dans le document de réception du chœur de 1857, on relève la mention de la "Démolition des petits autels 28 Journées 2/3 à 2^{F}25^{c}", pour 64,48 F. Il s'agit sans doute des deux autels construits à partir de 1788. Il n'ont pas laissé d'autre trace. L'importance du travail de démolition donne une idée de celle de ces constructions. On rencontre fréquemment des autels annexes ornés de retables en pierre de style classique dans les églises de la région.

L'emplacement de l'autel de saint Jacques n'est pas connu. En 1873, on projetait de reconstruire l'absidiole sud, et une nouvelle sacristie néo-romane[69]. C'est vraisemblablement l'intention de dédier la chapelle projetée à saint Joseph qui fait donner son nom à l'absidiole sud dans plusieurs documents.

2.B. Toitures

Une réfection de charpente qui aurait eu lieu en 1634 est mentionnée par les *Archives de Brion*[70]. Les travaux de 1861-1862 comprenaient une "modification complète de la charpente" : "Le pignon brisé dans sa rampe est formé de deux lignes qui ne peuvent s'expliquer que par la satisfaction momentanée d'une exigence qui a rendu nécessaire de grossières maçonneries au-dessus des corniches". Étant donné "l'aspect disgracieux de cet exhaussement et le peu de soin qui a présidé à son exécution", on ne veut pas le conserver[71]. Duvêtre dit aussi que "nombre de tuffeaux ont disparu", cet exhaussement devait donc être réalisé dans un appareil de tuffeau médiocre : on

62 *Archives de Brion*[4], p. 196 : Louis Le Frère, curé en 1641, "ne réussit pas à enlever de l'Eglise le mécanisme de l'horloge qui installé dans le transept sud avait nécessité pour le passage des contrepoids moteurs une large déchirure à la voûte". *Ibid.*, p. 292 : "l'intérieur [du transept sud] avait été outrageusement détérioré par une entaille pratiquée dans le vif sans précaution pour loger l'horloge".

63 *Ibid.*, p. 203.

64 Il n'est pas clair de savoir si le maître autel est inclus dans le décompte.

65 *Ibid.*, p. 205.

66 *Ibid.*, p. 204-205.

67 *Ibid.*, p. 206,

68 *Ibid.*, p. 208.

69 *Ibid.*, p. 324 *sq.*

70 *Ibid.*, p. 193.

71 Devis du 18 mars 1861.

pense à celui de l'exhaussement du chœur qui subsiste encore. Le dessin du chevet par le comte de Galembert[72] n'apprend rien à ce sujet, il donne l'état après les travaux[73]. L'apparence extérieure actuelle des deux bras du transept donnerait à croire que leurs deux toitures sont identiques ; une simple visite dans les combles montre qu'il n'en est rien (*cf. infra*). Les textes des exposés des devis de Duvêtre pour les deux transepts sont presque identiques, mais une lecture attentive permet d'y voir des différences significatives.

Au sud, Duvêtre mentionne le "système vicieux de la charpente" et veut "rétablir" deux fermes. Le document de réception montre qu'une grande partie des bois existants a été réemployée : 561,40 F de "vieux bois" contre 374,76 F de neuf, mais ce décompte inclut la toiture de la nef. Précisément, pour le transept, l'essentiel des fermes, arbalétriers, moises, entraits et contrefiches, sont neufs, alors que le chevronnage, ainsi que les filières, sablières et le faîtage, sont récupérés.

La charpente ne devait donc pas être en si mauvais état, puisque tant de pièces, tous les chevrons en particulier, ont pu être réutilisés (ils ont été remplacés depuis). C'est donc plutôt le principe de sa construction qui a du paraître à l'architecte si contraire aux usages qu'ils connaissait, qu'il en a jugé la modification totale indispensable.

Les dessins de Duvêtre (*cf.* dossier, Figs. 124 et 126) montrent clairement que la toiture du transept avant restauration était beaucoup plus haute, et aboutissait en haut de l'arcature aveugle du clocher, de telle façon que la faîtière avait le même niveau que celle de la nef, ce qui n'est plus le cas. On ignore l'origine de cet exhaussement, qui ressemble à celui du chœur, mais qui n'est pas motivé par le besoin de faire passer les entraits au-dessus des voûtes : on voit en effet clairement dans les combles que cela n'est pas nécessaire avec la hauteur actuelle des murs. Peut-être a-t-on simplement voulu mettre toutes les faîtières au même niveau.

Figure 56. Comble du croisillon sud.

La charpente actuelle présente deux fermes (qui datent donc de 1862) à entrait retroussé ; celui-ci passe bien au-dessus de la voûte (Fig. 56). De plus, on observe un support en pierre, scellé sur l'extrados de la voûte du croisillon sud, dans l'axe de celui-ci, à 2,15 m du mur du clocher (Fig. 56). Ce support était vraisemblablement destinée à supporter un poteau de la charpente originale. On trouve de tels poteaux sur la charpente actuelle de la nef. On a vu que selon le devis de Duvêtre de 1857, les fermes de la nef pouvaient être conservées. La charpente du croisillon sud a comporté au

72 *Cf.* dossier, Fig. 130. Archives du Maine-et Loire, Coll. Iconographique C. Port, n° 11 Fi 3070.

73 Le pignon, sur le dessin, dépasse la toiture, comme c'est le cas actuellement, alors que l'élévation annexée au devis de Duvêtre montre au contraire l'extrémité du toit couvrant le pignon.

moins un tel poteau, et a été remplacée par une structure totalement différente en 1861-1862 (si elle existait encore à cette époque).

Figure 57. Comble du croisillon nord : dessus du gouttereau.

Figure 58. Comble du croisillon sud ; raccordement du gouttereau au mur du clocher.

La visite des combles montre qu'avant la restauration, les deux bras du transept étaient dans des états bien différents, et que les restaurations effectuées ont été appréciablement différentes, quoique l'exhaussement ait bien été supprimé des deux côtés. Outre les différences entre les charpentes[74], on voit en effet qu'au sud, la limite entre le pignon ancien et celui de 1860 est très nette : le mur ancien dépasse vers l'intérieur de 6 cm. Au nord la jonction n'est pas visible. Pour les gouttereaux, la différence est encore plus grande : la distance entre leurs faces internes est de 6,77 m au nord, et 9,04 m au sud, alors que dans les croisillons eux-mêmes, ces distances sont très voisines l'une de l'autre (6,55 m au sud et 6,58 m au nord). Au nord, le retrait du mur entre le niveau de l'église et le comble n'est que de 10 cm environ, alors qu'au sud, ce retrait est de l'ordre de 1,25 m. Le dessus du mur au nord (Fig. 57) comporte une large surface de maçonnerie, puis une première sablière supportant les fermes, enfin une deuxième sablière sur laquelle s'appuient les chevrons. Côté sud, seule la deuxième sablière est présente, et le nu du mur est à une dizaine de cm seulement de celle-ci (Fig. 58). Enfin, la trace d'un mur mince parallèle au gouttereau se voit dans le coin nord-est du croisillon sud (Fig. 58).

2.C. La corniche à modillons

L'élévation ouest de Duvêtre montre une corniche à modillons, avec des ornements sculptés sous les arcs, sur le croisillon sud et à cet endroit seulement. La corniche nord ne présente pas d'arcatures, et les modillons n'apparaissent que sur un quart de la longueur, en ce qui concerne la façade ouest. La corniche nord, au moins telle qu'elle existe actuellement, a été créée par les restaurateur du XIX^{e} siècle dans le but de "restaurer" une symétrie de l'édifice qui n'avait jamais existé. La corniche sud est-elle authentique ?

74 Au nord, les entraits reposent directement sur le dessus des murs gouttereaux. Voyez la section 3.B consacrée au croisillon nord.

Le devis de 1861 pour le transept sud, au chapitre de la sculpture, prévoit 14 modillons pour la façade “de la porte romane”, 16 pour le pignon, 20 pour la “façade en retour vers le chœur”, et 80 pour la nef. Ces derniers sont “à remettre en état” au même prix de 6 F. Le document de réception de 1863 indique, au chapitre de la maçonnerie, 20 modillons sur le rampant du pignon à 1,50 F, et au chapitre, 50 modillons pour le transept, 87 pour la nef, plus 10 “au clocher”. Pour la nef, j’en compte 45 sous la corniche sud, 44 au nord. Sur le croisillon sud, j’en compte 14 à l’ouest, 15 à l’est, 18 sur le pignon, plus 2 sur le retour de chacun des deux éperon, ce qui fait un total de 51. Si ce décompte est exact à l’unité près, il y a donc un modillon ancien dans la corniche du transept, et deux dans celle de la nef ; c’est peu, en tout cas.

Une partie de cette corniche est reproduite sur un dessin de Galembert (*cf.* dossier, Fig. 134). Ce dessin daté de 1873, montre des chapiteaux à feuilles lisses qui ont disparu lors de la restauration, et doit donc être considéré comme voulant représenter l’état antérieur. C’est donc un argument en faveur de l’authenticité de la corniche, assez faible cependant : il est tout à fait possible que Galembert ait reconstitué l’état d’origine après la restauration (et avec des erreurs). Par ailleurs, les modillons figurant sur ce dessin sont les rares modillons de l’église qui ne soient pas des masques : un personnage assis, un visage disposé horizontalement, un peu plus loin, un tonneau. Il est donc envisageable que ces quelques modillons si différents du reste de la production des restaurateurs soient des copies fidèles de sculptures romanes[75] (Fig. 59).

Figure 59. État actuel des modillons dessinés par Galembert.

Cependant, les dimensions de la corniche sud ouest sont appréciablement différentes sur dessin de Duvêtre et dans l’état actuel. La largeur des arcs est une fois et demie leur largeur actuelle. Sur le dessin, le diamètre des arcs est environ 3 fois la largeur des modillons. Dans la corniche actuelle le même rapport descend à $4/3$. La largeur des modillons actuels est environ $4/3$ de celle des modillons représentés sur le dessin. Ce désaccord de dimensions pourrait cependant provenir d’une simplification du dessin adoptée par l’architecte, qui avait quelque difficulté à reproduire le détail de la structure de cette corniche à l’échelle de son dessin (la longueur totale de la corniche sur le dessin est de l’ordre de 2,3 cm !).

75 Voire même authentiques : on a vu que d’après le décompte il y aurait un unique modillon authentique. Les sculptures “restaurées” étant facturées au même prix que les neuves, la présence d’originaux regrattés est possible, mais il est peu probable qu’il s’agisse de plus de quelques unités. Les “têtes d’arcature” semblent intégralement refaites.

La pierre utilisée au XIX^e siècle est un peu plus blanche que celle du XII^e plus jaune, sa surface plus lisse, celle des pierres du XII^e siècle étant marquée de petites entailles. La plupart des pierres séparant les modillons ont les caractéristiques de l'appareil du XIX^e siècle sauf les deux plus à gauche et les 6 plus à droite, sur cette façade ouest du croisillon sud. On observe de même quelques pierres anciennes entre les modillons de la corniche de la façade ouest[76]. Du côté du pignon, il y en a une seule[77]. Sur les autres façades (le croisillon nord de tous les côtés, le pignon du croisillon sud, et la nef), on distingue bien la limite de la maçonnerie du XIX^e siècle à ce niveau, située dans la plupart des cas entre les 2^e et 3^e assises au dessous de la corniche[78]. Si les pierres situées entre les modillons sont anciennes, il est très vraisemblable que l'ensemble de la corniche suit la disposition ancienne.

Selon ces observations, la corniche de la façade ouest du croisillon sud reproduirait fidèlement la disposition qui existait avant 1849, avec éventuellement un ou deux modillons anciens conservés. Quoiqu'aucun document ne le confirme, l'analyse des maçonneries montre que la même disposition existait vraisemblablement du côté est, et peut-être aussi au sud. Cette disposition a ensuite été peut-être systématisée sur le croisillon sud, car rien n'assure qu'elle régnait déjà sur ses trois façades, en tout cas reproduite sur le croisillon nord. Les deux élévations extérieures de Duvêtre montrent un type de corniche beaucoup plus simple, sans les arcades ornées, sur le pignon nord, et sur la façade ouest du croisillon nord. Il est donc clair que la corniche du croisillon nord a été refaite, en 1861-1863, de façon à le rendre le plus semblable possible au croisillon sud, alors qu'il avait un dessin différent.

2.D. Baies

Le devis de 1861 (n° 2.F du dossier) spécifie que "les remplissages en maçonnerie qui obstruent la porte et une partie des croisées seront démolis et remplacés". Ainsi, la porte du transept aussi bien que ses deux fenêtres auraient simplement été rouvertes, par la suppression d'un remplissage qu'on peut supposer tardif.

2.D.1. La porte

Elle apparaît sur le plan, l'élévation ouest, la coupe du transept de Duvêtre, ainsi que sur la planche de détails de sculptures de Galembert. Le devis de 1861 pour le transept sud mentionne des "reprises des jambages de la porte d'entrée remplaçant dans l'archivolte, les tuffeaux détruits et détériorés", pour un volume de 4,6 m^3 de tuffeau neuf, ainsi que la sculpture de 4 chapiteaux et 50 "claveaux pour la porte romane". Le volume de démolition prévue était de 6 m^3 pour les claveaux, et de 3 m^3 pour les remplissages (y compris celui de la fenêtre). Dans le document de réception on constate que les volumes attribués à la porte ont varié, il n'y a plus que 4 m^3 de démolition, mais par contre 7 m^3 de tuffeaux neufs. Peut-être les volumes compris sous ce titre n'étaient-ils pas exactement les mêmes dans les deux cas. Quatre chapiteaux neufs ont été facturés, mais seulement "31 claveaux neufs" et "21 idem vieux réparés". La voussure extérieure compte 29 claveaux ornés de palmettes, la voussure intermédiaire en compte 23, avec un décor de losanges, boutons et

76 Les n^os 6, 9, 10 et 11 en partant de l'extrémité sud. Ici, la pierre ancienne se distingue par une coloration plus rosée.

77 La 2^e à partir de l'angle ouest.

78 C'est le cas pour la nef. La limite est bien plus base en plusieurs endroits du croisillon nord. Elle est par contre située entre les 1^e et 2^e assises sur près de la moitié de la corniche du pignon sud.

quatrefeuilles. La voussure interne de 18 claveaux n'est pas sculpté, sauf un motif de denticule (appelées "tartalettes" dans le document de réception, environ 18 m de "tartalettes", 12,65 m neuves et 5,50 m réparées, sont facturées pour une longueur effective de la moulure de 9 m. Ces "tartalettes" ne figuraient pas au devis, la mouluration ancienne conservée a dû être découverte et débarrassant la porte des maçonneries qui l'obstruaient).

Figure 60. Porte du croisillon sud.

L'élévation de Duvêtre montre que cette porte était en partie murée. Le dessin montre les claveaux sculptés de palmettes de la voussure extérieure, mais ne montre aucun autre élément de décor. Des vestiges, en partie conservés actuellement, des deux voussures intérieures, existaient englobés la maçonnerie de remplissage. Ils ont été complétés et reproduits à l'identique lors de la restauration.

Qu'en est-il des chapiteaux ? Les quatre sont neufs, et le seul document graphique sur lequel ils apparaissent est la planche de décor sculpté dessinée par Galembert. C'est un indice bien maigre de leur existence avant les travaux[79]. Mais ces chapiteaux, s'ils existaient, ne pouvaient pas apparaître sur le dessin de Duvêtre pour deux raisons, d'une part parce que cette partie du portail est masquée, sur le dessin, par le contrefort de la nef, d'autre part parce que ces sculptures devaient être masquées par des maçonneries de remplissage, qui elles apparaissent nettement sur l'élévation. Ainsi, si rien ne nous permet d'affirmer que la restitution de ces chapiteaux par Duvêtre ait été une copie fidèle de l'état antérieur, rien ne nous permet d'affirmer le contraire, et je pense que l'appréciation de J. Mallet selon laquelle les chapiteaux "n'existaient sans doute pas auparavant" ne fait qu'exprimer une possibilité parmi d'autres.

79 Ce dessin est daté de 1873. On a vu plus haut qu'il prétendait montrer l'état avant restauration, mais qu'il est possible que Galembert ait reconstitué celui-ci de façon erronée.

L'élévation intérieure de Duvêtre, en parfait accord avec son plan, montre une porte réduite, et une niche pratiquée dans le mur, d'une hauteur comparable à celle de la porte, et allant du milieu de la porte actuelle à la pile de la croisée. Cette niche vraisemblablement tardive a été supprimée par Duvêtre. C'est cette modification qui justifie le volume important de tuffeau employé.

2.D.2. Fenêtre de la façade ouest du transept

Selon les *Archives de Brion*, les fenêtres occidentales des deux croisillons étaient simples, et les deux pignons portaient des "croisées géminées"[80]. L'auteur avait-il pour cela une source fiable que nous ne possédons pas, ou a-t-il simplement considéré l'élévation de Duvêtre, complétée par symtérie ?

Cette baie apparaît sur l'élévation ouest et la coupe du transept de Duvêtre, mais pas sur le plan, pris au niveau de la porte dans cette partie de l'édifice. Le devis mentionne le "glacis de la fenêtre", il semble qu'il s'agisse de celle-ci, en effet les quelques lignes du devis où ce trouve cette mention concernent "cette façade", c'est-à-dire celle où se trouve la porte. Il n'est question d'aucune sculpture pour cette fenêtre. Le document de réception ne mentionne même plus le glacis. Le dessin extérieur est en bon accord avec l'allure actuelle de la fenêtre, à ceci-près que celle-ci est murée sur la moitié inférieure de sa hauteur. On a vu que plusieurs auteurs, C. Port en particuliers, attribuent ce fait à des fortifications de la guerre de Cent Ans.

L'élévation intérieure de Duvêtre, par contre, ne coïncide pas exactement avec l'état actuel. Il y plusieurs différences : les colonnes du rouleau central n'apparaissent pas, celui-ci n'est pas dans l'axe de la fenêtre, et les dimensions du rouleau extérieur, ramenées à la longueur du transept, sont différentes ($4/3$ au lieu de $5/3$, environ). De plus, le fait que la base de la fenêtre était murée apparaît encore, et le glacis intérieur de cette fenêtre est beaucoup plus proche de la verticale sur le dessin. Doit-on conclure à une imprécision du dessin ou à une restauration radicale de l'intérieur ? Si nous disposons de tous les documents relatifs à la restauration extérieure, en ce qui concerne la restauration intérieure, nos informations se limitent au montant total payé par la fabrique et à la date du devis, comme on l'a vu.

Figure 61. Fenêtre occidentale du croisillon sud.

Si, à l'œil nu, il est assez difficile de faire la différence entre les maçonneries du XIX^e^ siècle et celles du XII^e^, cependant des différences dans les couleurs et l'état de surface des tuffeaux

80 *Archives de Brion*[4], p. 292.

apparaissent mieux sur des photographies, surtout si l'on renforce le contraste des couleurs. On voit ainsi apparaître un différence de couleur entre l'appareil des piédroits de la fenêtre et des deux colonnettes voisines, et celui des quatre colonnettes extérieures et du mur qui les entoure (à l'intérieur). L'état de conservation des chapiteaux des deux colonnettes voisines de l'ouverture est meilleur que celui des quatre colonnettes extérieures. Ainsi, l'examen des maçonneries indiquerait que les piédroits et les deux colonnes les plus aux centre seraient refaites, les parties extérieures étant en grande partie anciennes.

Il faudrait donc attribuer les différences entre le dessin de Duvêtre et l'état actuel à des imprécisions du dessin. En ce qui concerne le désaxement de la fenêtre, c'est nécessairement le cas : en effet, extérieurement, elle est dans l'axe de la porte aussi bien sur le dessin de Duvêtre que dans son état actuel, son axe n'a donc pas bougé. Or à l'intérieur, elle est actuellement au centre du mur, elle y était donc déjà avant 1861. Il est possible que le rouleau central ait été détruit avant 1861, ou qu'il n'ait jamais existé, cependant on doit s'attendre à ce qu'il ait été masqué par les maçonneries de remplissage mentionnées par Duvêtre. La modification la plus importante serait la variation de largeur des rouleaux externes. Si on se fie au dessin, il s'agirait d'une modification considérable, qui n'a cependant laissé aucune trace, ni dans la maçonnerie, ni dans la documentation. Selon les *Archives de Brion*[80] la baie du pignon a été modifiée par la "reconstitution d'une croisée simple du modèle de celle existant à côté", ce qui implique que celle-ci ait été respectée. Une restauration de grande importance est donc exclue, et on doit admettre une inexactitude dans le dessin de Duvêtre.

En conclusion, cette fenêtre se trouve actuellement dans un état voisin de son état d'origine, seul le rouleau le plus interne ayant été réappareillé, d'une façon quasi-certaine à l'extérieur, et plus conjecturale en ce qui concerne l'intérieur (Fig. 61).

2.D.3. Fenêtre du pignon sud

Dans le devis de 1861, il n'est question que d'une fenêtre, qui semble bien être celle qui donne vers l'ouest, et d'aucune sculpture pour celle-ci. Parmi les dessins de Duvêtre, seule la coupe du transept présente la fenêtre du pignon sud, mais en coupe. Les deux photos de Lefèvre-Pontalis qui présentent la voûte du transept montrent le haut de cette fenêtre, celle d'Estève qui présente l'élévation sud en montre la face externe. L'état présenté par ces derniers documents ne diffère pas de l'état actuel.

Par contre, il y a des différences entre celui-ci et la coupe de Duvêtre. À l'extérieur, il y manque l'ébrasement large et peu profond du rouleau intérieur, et la colonnette qui le limite au niveau de l'ouverture. À l'intérieur, le dessin ne présente qu'un des deux rouleaux inférieurs, et la colonnette correspondante manque. Le glacis est beaucoup plus pentu qu'il n'est actuellement, le biseau du rouleau intermédiaire manque, son diamètre est plus faible, de plus les chapiteaux ne sont pas tous au même niveau. Selon les *Archives de Brion*, la fenêtre était géminée avant la restauration[81]. Un tableau peint en 1846 et conservé au musée de Beaufort-en-Vallée[82] montre cette façade sud avec

81 *Archives de Brion*[4], p. 292 : "l'Architecte n'osa pas reproduire la croisée géminée primitive de peur d'un effondrement". Remarquons que cette crainte ne peut pas être justifiée : dans le cas du pignon nord, comme on le verra, les rouleaux extérieurs de la baie géminée médiévale occupaient exactement l'emplacement ceux de la baie simple actuelle. La baie géminée n'est donc ni plus large ni plus fragile, au contraire, son meneau est un support supplémentaire.

82 Achille Chanciergues Dubord, l'église de Brion, huile sur toile, 1846, inv. BF 2982, Musée Joseph-Denais, Beaufort-en-Vallée, *cf.* dossier, Fig. 146.

une fenêtre géminée, murée. La coupe de Duvêtre ne montre pas que la fenêtre ait été murée, peut-être avait-elle été rouverte dans l'intervalle. Cette coupe étant en principe dans l'axe du transept, elle devrait montrer la colonnette de la baie géminée, ce qui n'est pas le cas. L'examen du côté nord, parfaitement cohérent avec l'élévation, montre que la fenêtre est coupée dans l'axe d'un des deux arcs. Dans la baie actuelle, tous les chapiteaux sont à la même hauteur, les arcs étant concentriques. Ce n'était pas le cas avant la restauration : au nord, les chapiteaux extérieurs, portant les arcs internes, étaient plus bas, et ces arcs fortement surhaussés : ce détail est indiqué avec soin sur l'élévation et sur la coupe de Duvêtre. Au sud, au contraire, et selon le même relevé, ce sont les chapiteaux intérieurs portant les arcs d'encadrement qui étaient au dessous des autres. Par ailleurs, la moulure qui surmonte la fenêtre sud à l'extérieur est placée très haut sur le relevé de Duvêtre, mais est au contraire très écrasée sur le tableau du musée de Beaufort-en-Vallée. Dans son état actuel, cette moulure correspond exactement au grand arc intérieur. L'arc extérieur paraît conserver quelques claveaux anciens, ce qui supposerait qu'il ait conservé sa position, et impliquerait donc une erreur du relevé de Duvêtre à ce niveau.

Figure 62. Modèle tridimensionnel de la fenêtre du pignon sud.

La fenêtre sud était donc géminée, d'un dessin légèrement différent de celle du nord. On constate à nouveau que l'architecte a "rétabli" une symétrie qui n'avait jamais existé : symétrie d'abord entre les façades ouest et sud du transept, dont les baies initialement différentes deviennent identiques, ensuite entre le nord et le sud, les différences entre les deux bras étant méthodiquement gommées.

Cependant, ni le devis de 1961 ni le décompte de réception de 1863 ne mentionnent aucune modification de la fenêtre, alors qu'ils détaillent celle de la porte. Pourtant les devis de Duvêtre sont très précis : la réfection des fenêtres de la nef est indiquée en détail dans les deux devis de 1868. On doit en conclure que l'absence d'informations comparables en ce qui concerne les fenêtres du transept est significative[83].

83 Rappelons que l'architecte et l'entrepreneur sont les mêmes, et les deux campagnes de travaux

Il faut aussi noter que le devis du transept nord annonce l'intention de "rétablir les croisées dans leur état primitif", et que cette phrase a été omise, dans le devis du transept sud, qui n'est pourtant qu'une copie un peu adaptée du même texte. Par ailleurs, il est peu vraisemblable que Duvêtre ait fait figurer les modifications des fenêtres dans les travaux de restauration intérieure au sud et extérieure au nord. On doit donc considérer que les travaux ont été assez limités. Si on examine la couleur des tuffeaux à l'intérieur, quelques zones plus sombres apparaissent : le grand arc qui entoure la fenêtre, la colonne médiane de chaque côté, et quelques assises de la colonnette externe[84]. Ces parties pourraient correspondre aux maçonneries anciennes, le reste ayant été refait en 1861.

À l'extérieur, l'examen des tuffeaux montre une nette différence entre des pierres parfaitement lisses : l'arc de l'ébrasement, certains claveaux des deux rouleaux extérieurs, l'assise supérieure des piédroits, et des pierres beaucoup plus rugueuses, voire nettement usées : le reste des rouleaux externes, les colonnettes externes et le mur de part et d'autre de la fenêtre. Les pierres les plus neuves doivent appartenir à la restauration, celles en moins bon état être anciennes. Ainsi, les deux rouleau externes seraient en partie refaits, et donc identiques dans leur forme à leur état d'origine, mais le rouleau ébrasé interne daterait entièrement du XIX^{e} siècle. Les colonnettes les plus externes paraissent anciennes. Il est possible que les piédroits et les colonnettes internes, hormis leurs chapiteaux, soient aussi médiévaux, mais il est difficile de l'affirmer.

En conclusion, si on peut admettre que l'aspect de cette fenêtre a été appréciablement modifié, celle ci ayant été géminée avant la restauration, cette modification est de peu d'importance structurellement : les arcs externes, qui portent le poids des maçonneries, n'ont pas été modifiés.

On a réalisé un modèle numérique tridimensionnel de cette fenêtre (Fig. 62). Celui-ci permet de déterminer précisément la position relative des arcs intérieurs et extérieurs. On constate en particulier que grand arc qui entoure la fenêtre à l'extérieur correspond précisément au 3^{e} rouleau du côté intérieur, qui se trouve immédiatement à l'intérieur du grand arc. On peut donc penser qu'il s'agit d'un arc qui traverse la totalité de l'épaisseur du mur, d'une importance mécanique appréciable par conséquent, et non de deux arcs décoratifs, l'un plaqué sur chaque face. Ceci expliquerait que les restaurateurs aient pu remplacer facilement la maçonnerie qui se trouve à l'intérieur de cet arc.

2.E. Géométrie des voûtes

Nous allons maintenant étudier en détail la remarquable voûte sur croisée d'ogives primitive qui couvre le transept (Fig. 63). L'intrados est appareillé avec soin en blocs de tuffeau d'un module relativement faible. Les deux fortes nervures de section carrée sont appareillées de même, sans présenter de clef à proprement parler. L'extrados au contraire, forme une surface irrégulière de moellons englobés dans du mortier (Fig. 56). Il apparaît ainsi que l'épaisseur de la voûte ne se limite pas à une rangée de voussoirs.

On remarque que l'espace entre les extrados des voûtes et les murs est rempli de terre et de pierraille, de façon que seule une petite partie des voûtes dépasse du remblai. Le remplissage est encore plus important au sud qu'au nord. Dans le document de réception des travaux du clocher de 1852, on lit : "il a été descendu 122^{m}.20 cubes de décombres en dépôt sur la voûte du transept sud". Le comble mesurant environ 9 m sur 7,8 m, ce volume représenterait une hauteur de 1,74 m (en supposant celle-ci uniforme). Il est vraisemblable qu'il ait été quelque peu majoré par

consécutives.

84 Les deux assises les plus hautes, du côté droit.

l'entrepreneur, ne serait-ce que du fait qu'il était tassé quand il était en place, et a été mesuré pendant ou juste après sa descente, quand il ne l'était plus, cependant le sommet de l'extrados arrive à environ 1,5 m du sol actuel du comble, il faut donc conclure qu'il était entièrement recouvert par ces matériaux.

Figure 63. Voûte du croisillon sud.

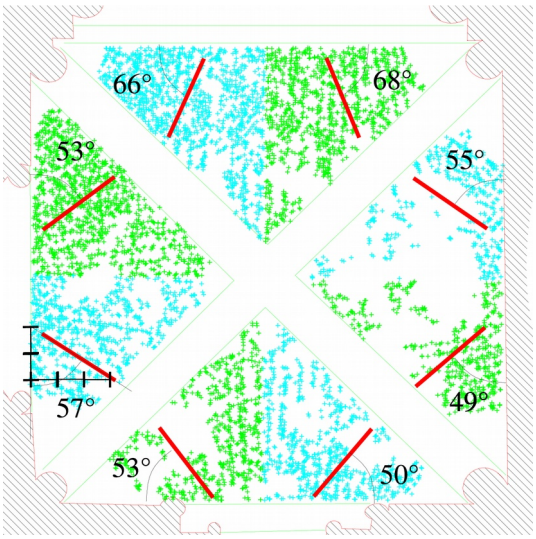


Figure 64. Voûtains du croisillon sud. Les traits rouges indiquent les axes des voûtains.

On a réalisé un modèle numérique tridimensionnel des voûtes du transept (le détail de la procédure est donné en annexe 3). On constate que les voûtains sont cylindriques, on peut alors déterminer la direction de l'axe du cylindre, puis le rayon de courbure de la surface.

L'angle que la direction de l'axe du voûtain fait avec l'horizontale est[85] $19\,° \pm 1\,°$. Quant à l'angle qui définit cette direction dans le plan horizontal, il doit être rapporté aux axes de symétrie du plan : diagonales ou médianes. Ces dernières étant parallèles au murs, l'angle correspondant est plus aisé à matérialiser. L'angle de la projection horizontale de l'axe au mur sur lequel le voûtain s'adosse est $56{,}4\,° \pm 2{,}5\,°$ (la précision donnée est $\sigma/\sqrt{n}$). Les mesures obtenues sont reportées sur la Fig. 64, sur laquelle on a reporté les nuages de points correspondant aux voûtains, superposés à un plan schématique du croisillon. Les axes sont relativement proches (l'écart varie de 4° à 23°) de la perpendiculaire à l'ogive sur laquelle le voûtain s'appuie. Les voûtes sont appareillées "comme des voûtes d'arêtes", c'est-à-dire que les assises sont parallèles aux lignes de faîte des voûtains. Elles sont donc dirigées de biais par rapport à l'axe des voûtains.

---

85 La direction de l'axe du voûtain est définie par 2 angles : α l'angle avec la verticale, et β l'angle avec le mur voisin. Les mesures sont reportées dans le tableau :

secteur	nord/ouest	nord/est	ouest/nord	ouest/sud	sud/ouest	sud/est	est/sud	est/nord
α	22°	22°	18°	22°	19°	18°	14°	18°
β	66°	68°	53°	57°	53°	50°	49°	55°

L'expression "secteur nord/ouest" désigne la moitié ouest du quartier de voûte, délimité par les ogives, situé au nord, etc. La moyenne des valeurs de $90\,° - \alpha$ est 70,9°, l'écart-type $\sigma = 2{,}8\,°$. Si l'on estime la précision de la mesure par $\sigma/\sqrt{n}$, où $n = 8$ est le nombre de valeurs, celle-ci est de $\pm 1\,°$.

Le carnet de Villard de Honnecourt[86] contient plusieurs dessins qui présentent la caractérisation d'angles : les n° 40d, "Par chu fait on one clef del tiirc, et justice one scere", 40e, "Par chu tail'on one clef del quint point", et 40i, "Par ceste raison mont'om l'aguile d'one toore, et taille les moles", du fol. 20v. Sur ce dernier, on constate que l'angle du clocher est caractérisé par le rapport entre les deux côtés d'un triangle rectangle (Fig. 65). En termes mathématiques actuels, l'angle est donc caractérisé par sa tangente, qui est un rapport simple ; sur la Fig. 65, $\mathrm{tg}\,\alpha = \frac{1}{4}$. Si l'interprétation des dessins n° 40d et i est controversée, le fait que l'angle de cette clef soit déterminé de façon analogue ne doit pas faire de doutes.

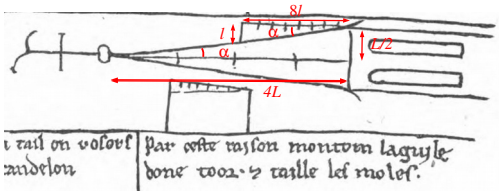


Figure 65. "Par ceste raison mont'om l'aguile d'one toore, et taille les moles", Carnet de Villard de Honnecourt, n° 40i, édition de Lassus[72].

Revenant à l'orientation des axes des voûtains du transept de Brion, nous avons trouvé $19° \pm 1°$ par rapport à l'horizontale, et $56{,}4° \pm 2{,}5°$ par rapport au mur le plus proche. Or $\mathrm{Arctg}(1/3) \simeq 18{,}4°$ et $\mathrm{Arctg}(3/2) \simeq 56{,}3°$. Autrement dit, l'angle avec l'horizontale peut s'obtenir en reportant une longueur l fixée une fois verticalement, et 3 fois horizontalement, et l'angle dans le plan horizontal peut s'obtenir en reportant la même longueur l ou une autre, 2 fois parallèlement au mur sur lequel s'appuie le voûtain, et 3 fois parallèlement au mur adjacent.

On peut évaluer le rayon des voûtains, cependant la mesure n'est pas précise : l'écart entre les résultats donnée par les deux méthodes que j'ai utilisées[87] peut aller jusqu'à 30%. Ceci vient sans doute du fait que les voûtains ne sont pas exactement cylindriques. Plus précisément, si ce sont bien des surfaces engendrées par des génératrices parallèles à l'axe, leur section n'est pas rigoureusement circulaire. Dans plusieurs cas, elle se brise près de son sommet, comme pour rattraper le niveau de la clef après avoir suivi une surface cylindrique de révolution, dont l'axe imparfaitement orienté l'aurait emporté trop haut. Quand le voûtain est plus proche d'un cylindre de révolution, les deux méthodes donnent des résultats voisins (les écarts relatifs vont de 1 à 10% en général), il semble donc que les variations observées ne viennent pas de la procédure, mais bien de la voûte elle-même[88].

---

86 BNF, Manuscrit, Fonds français, 19093. La Fig. 65 est tirée de l'édition de Jean-Baptiste-Antoine Lassus, *Album de Villard de Honnecourt architecte du XIIIe siècle* (Paris, Impr. impériale, 1858).

87 *Cf.* annexe 3.

88 Selon les *Archives de Brion*[4] (p. 196), des voûtains ont été percés pour le passage de câbles de contrepoids d'horloge. Des trous assez larges dans l'extrados peuvent être des traces des réparations correspondantes. L'auteur des *Archives de Brion* parle d'une "large déchirure", mais il est vraisemblable qu'il en exagère l'importance, en effet, Duvêtre ne mentionne aucun percement dans la voûte. Ainsi, ni les vestiges ni les documents ne laissent penser ces réparations aient pu avoir une ampleur suffisante pour modifier appréciablement les profils des voûtains. De plus, on notera que les trous dans l'extrados ne coïncident pas du tout avec les irrégularités dans le profil des voûtains.

Les valeurs obtenues varient de 4 m à 10 m environ[89]. On doit en conclure que ces rayons, assez grands, sont effectivement assez variables d'un voûtain à l'autre, et éventuellement aussi le long du voûtain. Ceci est peu compatible avec l'idée traditionnelle de cintres soigneusement bâtis en charpente[90], et disposés perpendiculairement à l'axe du voûtain. Le rayon de tels cintres serait rigoureusement déterminé par la découpe des pièces de bois qui le composent, et on ne pourrait pas expliquer les variations de rayon. D'ailleurs, l'établissement de tels cintres reste difficile.

On imagine plutôt un étaiement par un ensemble de cadres comprenant un madrier incliné soutenu verticalement par des poteaux montant du sol, ces cadres devant naturellement être stabilisés horizontalement, par exemple par des pièces de bois qui les relieraient entre eux ou aux murs. L'inclinaison de ces madriers aurait été déterminée par la longueur des poteaux, par rapport à leur écartement, dans le rapport 1:3, comme on l'a vu. Leur parallélisme serait assuré, s'ils étaient solidarisés par des pièces de bois transversales, enfin leur orientation par rapport au mur était facile à définir, comme on l'a dit. De tels cadres placés parallèlement les uns aux autres, puis reliés à leur surface supérieures par des bois suffisamment souples (petites sections provenant de taillis, voire des claies), permettraient d'expliquer que les rayons des voûtains soient très variables.

On peut calculer de façon analogue le rayon des ogives. Sur les quatre arcs, on obtient un rayon moyen de $r = 4{,}59\,\mathrm{m}$, avec un écart-type $\sigma = 0{,}11\,\mathrm{m}$. L'écart relatif maximum est de l'ordre de 5%. Comparées aux voûtains, les ogives, elles, ont donc un rayon défini avec précision. Celui-ci a dû être déterminé par un cintre réalisé en charpente, avec une courbure bien précise. Un tel cintre est d'ailleurs *a priori* indispensable vus la section et donc le poids considérable des ogives.

Le calcul fournit par surcroît la position des centres des arcs. On trouve ainsi qu'ils sont écartés de $d = 1{,}17\,\mathrm{m}$ environ. Le rapport r/d est voisin de 4. La logique du dessin des arcs brisés peut se trouver dans le carnet de Villard de Honnecourt, en particulier les dessins n° 40d et 40e du fol. 20v déjà cités, et le n° 41h, "par chu fait om trois manires dars a compas ovrir one fois", du fol. 21r. Ce dernier ne pose pas de problème d'interprétation : en partant d'un demi-cercle, un second arc est obtenu en choisissant la distance des centres égale au rayon, et un troisième arc s'obtient en divisant le rayon en deux et en prenant le point obtenu comme centre du cercle. La distance des centres pourrait être rapportée aussi bien au rayon qu'au diamètre ou à l'ouverture de l'arc : tous ces rapports sont entiers. Observons cependant que Villard est parti d'un demi-cercle, ce qui sous-entend que la dimension de départ est le diamètre.

Les dessins n° 40d et e posent quelques difficultés d'interprétation, du fait que la définition du tiers-point et du quint-point sont mal connues. Brutails[91] a rapporté la division indiquée sur le claveau à la mesure d'un angle, et montré que celui-ci était l'angle entre le rayon du cercle et la verticale passant par la clef de l'arc. Cependant, en supposant que le tiers-point correspond à une division de l'ouverture de l'arc brisé en 3, il trouve qu'il devrait y avoir 4 divisions, mais Villard n'en a dessiné que 3.

Les interprétations rapportées par C.F. Barnes[92] supposent toutes que c'est la base qui doit être

89 Les valeurs obtenues par la méthode des trois points varient de 3,8 m à 9,6 m ; celles obtenues par ajustement polynomial vont de 4,2 m à 7,2 m. La dispersion des mesures est naturellement plus grande quand on considère le rayon d'une partie des arcs (ce que fait la méthode des trois points) que quand on considère leur rayon moyen (ce que fait l'ajustement polynomial).

90 Ou en planches doublées, comme l'indique Rondelet (Jean Rondelet, *Traité théorique et pratique de l'art de bâtir*, Paris, 1802-1817, t. IV-1, p. 282).

91 J.-A. Brutails, "Tiers-point" et "quint-point", *Bulletin archéologique du comité* (1902), pp. 273-279.

92 Carl F. Barnes, *The Portfolio of Villard de Honnecourt (Paris, Bibliothèque Nationale de France, MS*

divisée en parties égales (4). Le dessin concernant l'arc en quint-point est analogue, cependant, le dessin de la "spirale" (n° 40f), qui a été rapproché de la construction de celui-ci d'une façon assez sophistiquée par R. Branner[93] présente une série de demi-cercles. On peut même dire que cette figure consiste en une série de demi-cercles, de diamètres 1, 2, 3, 4 et 5, le diamètre du plus petit étant pris comme unité. Aucun centre n'est représenté, et il est donc bien clair que ce sont les diamètres et non les rayons qui sont les dimensions pertinentes du dessin. Si l'on considère un demi-cercle dont on divise le diamètre en n parties égales, et qu'on construit un deuxième cercle de même diamètre, décalé par rapport au précédent d'une de ce parties (qui sera donc l'écart entre les centres des deux cercles), on trouve pour $n=2$, le plus aigu des arcs du dessin n° 41h, pour $n=3$, un arc dont l'angle à la clef coïncide avec le tiers-point du dessin n° 40d, pour $n=4$, le plus large des arcs brisés du n° 41h, dont l'angle à la clef est celui du quint-point du n° 40e. Les ogives du transept de Brion sont obtenues pour $n=8$ (Fig. 66). R. Bechmann appelle la quantité désignée ici par *n* le "rapport de référence" de l'arc brisé[94].

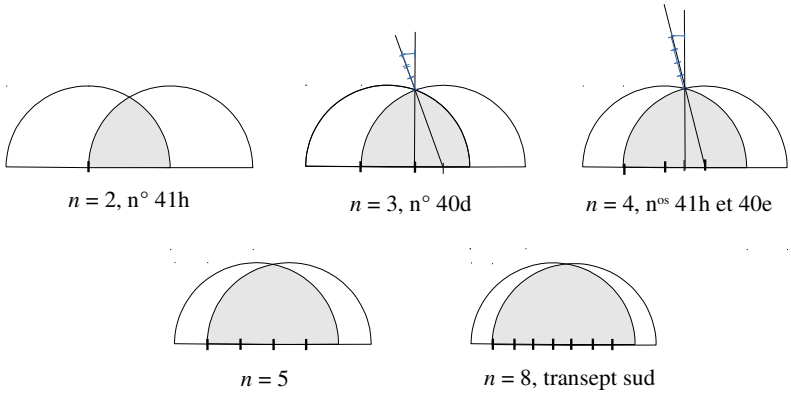


Figure 66. Construction d'arcs brisés, selon Villard de Honnecourt et dans le transept de Brion.

Quant à la dimension totale, mes mesures permettent difficilement de conclure. Le diamètre est de l'ordre de 30 pieds, s'il doit être divisible par 8, il faut qu'il vaille 32. La valeur que j'obtiens est un peu plus faible que cela : 30,9 pieds de l'aune de Paris, et seulement 30,1 pieds anglais, ou 28,3 pieds de Roi. Un écart que l'on pourrait attribuer au manque de précision de mes mesures, au tassement de la maçonnerie, à une imprécision de la réalisation du plan par les maçon du XII^{e} siècle, ou plutôt au cumul de tout cela, fait que l'hypothèse d'un diamètre établi à 32 pieds de l'aune de Paris, avec une distance entre les centres de 4 pieds (la mesure donne 3,94), reste vraisemblable. Mais on pourrait aussi admettre un rayon d'arc de 30 pieds anglais, l'architecte ayant arrondi $30/8$ à 4 (la valeur obtenue est 3,83, c'est encore possible), ou n'ayant pas déterminé cette distance à l'aide du pied. Une dernière éventualité est tout aussi vraisemblable, c'est qu'aucune mesure numérique n'ait été utilisée dans l'établissement des dimensions des ogives.

2.F. Analyse des dimensions

Cette analyse, pour des raisons qui apparaîtront de façon évidente dès que nous aurons exposé

Fr 19093): A New Critical Edition and Color Facsimile, Ashgate Publishing, 2009, p 141.

93 Robert Branner, "Villard de Honnecourt, Archimedes, and Chartres", *Journal of the Society of Architectural Historians*, vol. 19, n° 3, pp. 91-96 (1960).

94 R. Bechmann, *op. cit.* n. 5, p. 216 *sq*. Il définit cette quantité, de façon équivalente, comme le rapport entre le rayon de l'arc et la distance d'un centre à l'axe.

notre approche, ne peut pas être effectuée pour le croisillon sud seul. Nous allons considérer les mesures en plan de l'ensemble transept-croisée. Le problème n'est pas ici d'identifier le schéma directeur du plan initial : celui-ci est évident, il se compose de trois carrés juxtaposés. La question que nous nous poserons est celle de la définition précise de ces trois carrés et de leurs mesures. L'existence de ce schéma directeur ne sera pas le résultat de l'analyse, mais servira au contraire d'hypothèse *a priori* pour caractériser les mesures pertinentes.

Les longueurs et largeurs des bras de transept peuvent être définies de mur à mur ou de colonne à colonne, et les distances entre colonnes peuvent être mesurées au niveau soit des socles, soit d'un tore des bases, ou de l'autre, soit des fûts. On a vu que tous ces éléments avaient été fortement restaurés, en ce qui concerne en particulier les piliers de croisée, mais que tout porte à croire que la restauration a été fidèle à ce niveau. Ainsi les mesures doivent, à quelques centimètres près, coïncider avec celles des éléments de maçonnerie du XII^{e} siècle.

En ce qui concerne les arcs de la croisée, plusieurs dimensions peuvent être considérées comme pertinentes, avec différentes façons de définir la mesure et diverses unités[95]. Si l'on sélectionne parmi toutes les mesures possibles, celles qui forment un nombre entier de pieds, on constate que la largeur de l'arc interne, mesurée au niveau des tores inférieurs des bases des colonnes, peut valoir 13 pieds de Roi ou 14 pieds anglais. La largeur de l'arc extérieur, quant à elle, peut être de 16 pieds de Roi, mesurés au niveau des socles, de 18 pieds de l'aune de Paris, mesurés au niveau des tores supérieurs, ou de 22 pieds de cette même aune, mesurés entre les dosserets. Laquelle (ou éventuellement lesquelles) de ces valeurs retenir ?

Comme on l'a dit plus haut au sujet de celles des mesures du chœur, un critère de choix est nécessaire. Ce qui, en un sens, exige une hypothèse *a priori*. Ici, cependant, comme on l'a dit, on peut admettre comme évident que ce plan se compose de trois carrés juxtaposés. Notre hypothèse *a*

---

95 Pour évaluer la largeur des arcs de croisée, on peut considérer soit les colonnes internes de ces arcs, soit les colonnes d'angle des deux bras de transept ou de la croisée (que je qualifierai d'"externes"). De plus les entrecolonnements peuvent être mesurés au niveau des socles, des bases (tore inférieur ou supérieur), des fûts, ou des dosserets. Pour évaluer la précision de la mesure, on utilisera l'écart-type σ des mesures prises sur les quatre faces de la croisée. Les résultats sont résumés dans les deux tableaux suivants.

Colonnes internes :

unité	tore inférieur	tore supérieur	fut	dosseret
cm	424 ± ± 3	436 ± 3	441 ± 3	527 ± 2
pied de Roi	13,05 ± 0,10	13,42 ± 0,08	13,58 ± 0,08	16,2 ± 0,05
pied de l'aune de Paris	14,27 ± 0,11	14,67 ± 0,08	14,84 ± 0,08	17,74 ± 0,06
pied anglais	13,91 ± 0,11	14,30 ± 0,08	14,47 ± 0,08	17,29 ± 0,06

Colonnes externes :

unité	socle	tore inférieur	tore supérieur	fût	dosserets
cm	523 ± 4	525 ± 5	536 ± 4	542 ± 4	654,3 ± 0,6
pied de Roi	16,09 ± 0,12	16,18 ± 0,15	16,49 ± 0,11	16,68 ± 0,12	20,14 ± 0,02
pied de l'aune de Paris	17,59 ± 0,13	17,69 ± 0,16	18,03 ± 0,12	18,23 ± 0,13	22,02 ± 0,02
pied anglais	17,15 ± 0,13	17,24 ± 0,16	17,58 ± 0,11	17,77 ± 0,13	21,47 ± 0,02

priori sera donc que ces trois carrés non seulement formaient le schéma directeur du plan initial, mais aussi qu'ils étaient identiques, dans le sens où ils étaient caractérisés par des mesures identiques.

Voyons donc maintenant les mesures des croisillons, dans la direction est-ouest pour commencer[96]. L'écart entre les mesures prises au sud et celles prises au nord est très faible : il ne dépasse pas 1,7 cm. Sans doute y a-t-il là en partie l'effet d'une coïncidence accidentelle, mais cela montre cependant que le parallélisme des façades orientale et occidentale du transept a été réalisé avec une précision assez remarquable. A. Guerreau avait déjà observé dans quelques églises romanes du Mâconnais, que, alors que l'orthogonalité des murs était très approximative, le parallélisme des parois est et ouest du transept (éventuellement limité à une travée sous clocher) était en général assez poussé[97]. Il en déduisait que le tracé du plan aurait commencé par ces deux parois. On relève ici la même caractéristique. Le transept actuel a sans nul doute succédé à un autre plus ancien, il peut en avoir hérité celle-ci.

On obtient deux valeurs qui peuvent être considérées comme entières, 18 pieds de l'aune de Paris au niveau des tores supérieurs, et 22 mur à mur. Dans la direction nord-sud, on constate que les mesures du côté sud sont appréciablement plus petites qu'au nord (de l'ordre de 3% en moins)[98]. On s'attend à une précision de la réalisation des éventuelles mesures originelles de l'ordre de 1%, cette différence est donc plus importante. On observe ici une abondance de valeurs pouvant être considérées comme entières, 16, 17, 18, 20, 21, 22, ou 23 pieds, avec les trois unités et une grande variété de définitions possibles de la largeur. Si nous nous en tenons à notre hypothèse, la mesure doit être la même au nord et au sud : même valeur et même définition. Les valeurs de 16 pieds de Roi au sud, qu'on ne retrouve pas au nord, doivent ainsi être éliminées, etc. Les seules valeurs ayant leur homologues dans les deux bras du transept sont 18 pieds au niveau des tores supérieurs des colonnes d'angle, et 22 entre murs et dosserets, mesurés avec le pied de l'aune de Paris au sud, mais avec le pied anglais au nord. La coïncidence de ce résultat avec ce qu'on obtient dans la direction est-ouest, et dans la croisée, le rend assez vraisemblable, mais il demande d'admettre un changement d'unité d'un croisillon à l'autre. Nous aurions donc 3 carrés de 18 pieds de côté à l'intérieur des colonnes, et 22 à l'extérieur de celles-ci, juxtaposés avec une épaisseur de mur

---

96 Les mesures de la longueur est-ouest du transept, effectuée sur le revers des façades nord et sud, sont rapportées dans le tableau :

unité	socle	tore inf.	tore sup.	fût	mur
cm	522,6 ± 1,7	525,9 ± 1,5	536,9 ± 0,8	543,2 + 0,07	655,2 ± 0,2
pied de Roi	16,09 ± 0,05	16,19 ±0,05	16,53 ± 0,03	16,72 ± 0,002	20,17 ± 0,007
pied de l'aune de Paris	17,59 ± 0,06	17,70 ±0,05	18,07 ± 0,03	18,28 ± 0,003	22,05 ± 0,007
pied anglais	17,15 ± 0,06	17,26 ±0,05	17,62 ± 0,03	17,82 ± 0,003	21,50 ± 0,007

Comme nous n'avons ici que deux mesures pour chaque quantité, l'écart-type peut donner une précision illusoire. Pour la précision avec laquelle un nombre devra être considéré comme entier, il sera donc plus raisonnable de prendre le maximum de ces valeurs, soit 1,7 cm, ou 0,06 pied.

97 Alain Guerreau, "Vingt et une petites églises romanes du Mâconnais : irrégularités et métrologie", dans : *L'innovation technique au moyen âge - Actes du VIe Congrès International d'archéologie médiévale*, éd. Patrice Beck (Paris, Errance, 1998), pp. 186-210.

98 Les mesures de la longueur des bras du transept, dans la direction nord-sud, sont rassemblées dans le tableau suivant :

appréciable entre eux.

Il faut noter que la largeur du croisillon nord dans la direction est-ouest, mesurée du mur occidental au rouleau interne de l'arc d'entrée de la chapelle de la Vierge, est de 22 pieds anglais avec une bonne précision[99]. Ce peut être une coïncidence, mais cette dimension mesurée en pieds anglais pourrait aussi être la trace d'un croisillon plus ancien que celui qui existe aujourd'hui, qui aurait été implanté à l'aide de cette unité. On a en effet observé que la chapelle de la Vierge a une structure assez différente du reste et peut avoir une origine plus ancienne, quoique fortement restaurée au XIX^{e} siècle. Si l'on mesure la largeur de celle-ci, cependant, on trouve que la mesure significative utiliserait le pied de Roi[100]. Doit-on considérer que cette observation contredit la précédente ? On a vu dans le chœur une implantation au sol mesurée en pieds anglais, alors que l'élévation utilisait le pied de Roi. La situation dans le croisillon nord, sans être identique, est analogue, et on peut donc considérer que les unités coïncident, ce qui nous incite à penser que ces mesures peuvent être la trace d'un état du transept approximativement contemporain du chœur actuel. Mais ce raisonnement est fragile. On constate ici une difficulté de l'analyse métrologique : il n'est pas correct de supposer que toutes les mesures ont été prises avec une unité unique, parce que ça n'est tout simplement pas le cas, mais autoriser plusieurs unités multiplie dangereusement le nombre d'observations fortuites possibles.

Par ailleurs, même en admettant que cette irrégularité dans l'implantation du transept témoigne d'un état antérieur de celui-ci, nous ignorons jusqu'à quel point sa construction pouvait alors être

unité		colonnes d'angle				mur-dosseret	mur-colonne de l'arc intérieur			
	nord/sud	socle	tore inf.	tore sup.	fût		socle	tore inf.	tore sup	fût
m	Nord	5,366	5,395	5,499	5,567	6,687	6,818	6,829	6,888	6,914
	Sud	5,172	5,200	5,336	5,385	6,506	6,633	6,642	6,702	6,727
pied de Roi	nord	16,52	16,61	16,93	17,14	20,59	20,99	21,02	21,20	21,29
	sud	15,92	16,01	16,43	16,58	20,03	20,42	20,45	20,63	20,71
pied de l'aune de Paris	nord	18,06	18,16	18,51	18,74	22,51	22,95	22,98	23,18	23,27
	sud	17,41	17,50	17,96	18,13	21,90	22,32	22,35	22,56	22,64
pied anglais	nord	17,60	17,70	18,04	18,26	21,94	22,37	22,40	22,60	22,68
	sud	16,97	17,06	17,51	17,67	21,35	21,76	21,79	21,99	22,07

Comme nous n'avons ici qu'une mesure unique pour chaque quantité, il n'est pas possible d'utiliser la dispersion des mesures pour évaluer la précision avec laquelle un nombre devra être considéré comme entier, et il faut donc fixer celle-ci arbitrairement. J'ai choisi 0,1 pied.

99 La valeur mesurée est 22,014 pieds, ce qui fait que l'écart à la valeur entière n'est que de 4,4 mm.

100 Voici les mesures de la largeur de la chapelle de la Vierge :

unité	largeur	rouleau externe
m	2,926	3,921
pied de Roi	9,009	12,07
pied de l'aune de Paris	9,85	13,20
pied Anglais	9,60	12,87

avancée. Les modifications importantes qu'il a subies au XII[e] siècle auraient amené la réimplantation de certains éléments, mais pas de tous ; ce qui pourrait expliquer que sa dimension nord-sud soit supérieure à celle du croisillon sud, et coïncide avec la distance de l'arc d'entrée de la chapelle de la vierge au mur qui lui fait face. On n'observe pas la même chose au sud, mais le mur pignon a une structure différente (l'arc externe de la fenêtre est considérablement plus profond), et l'absidiole a été détruite.

2.G. Analyse mécanique

On a réalisé un modèle numérique simplifié des croisillons, réduit à un quart de la voûte, avec deux baies en plein cintre symétriques. Ce quart de travée correspond donc plus précisément au quart sud-ouest du croisillon sud ou au quart nord-ouest du croisillon nord. En particulier, les efforts dus à la tour ne sont pas pris en compte, le poids ni la poussée éventuelle de la charpente non plus.

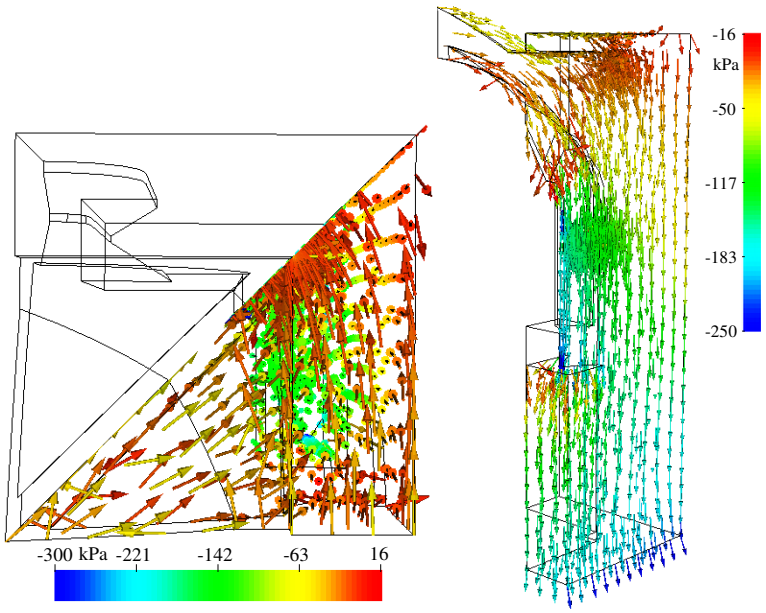


Figure 67. Modèle du croisillon : la compression maximale σ_1, et sa direction.

On a représenté sur la Fig. 67 la direction et l'intensité de la compression maximale[101], sur ce modèle. On voit que les efforts de compression sont dirigés :

- dans la voûte, suivant la diagonale,
- dans le remplissage et le haut du mur, parallèlement au mur et horizontalement,
- dans les murs, verticalement.

Les valeurs les plus élevées de la compression sont de l'ordre de 0,2 à 0,3 MPa (0,36 MPa à la base du mur dans l'angle extérieur). Elles sont donc bien au-dessous de la résistance à la compression du tuffeau qui, rappelons-le, est de l'ordre de 12 MPa.

On observe une concentration de contrainte importante à la jonction de la colonne d'angle (réduite à un pilier quadrangulaire sans chapiteau dans le modèle) et de la retombée de l'ogive. La contrainte atteint ici les 0,7 MPa. Cette valeur, qui reste bien en dessous de la contrainte de rupture,

---

101 La plus petite des contraintes principales, σ_1. On note σ_1, σ_2, σ_3 les contraintes principales, avec $\sigma_1<\sigma_2<\sigma_3$.

est essentiellement due au détail de la géométrie du modèle au niveau de cette jonction, qui ne reproduit pas la disposition réelle. Sa présence met cependant en relief l'importance que peuvent avoir ces formes dans la résistance mécanique de l'ensemble. Un modèle plus détaillé, incluant colonne cylindrique, chapiteau, et tailloir, a été réalisé, la compression maximale calculée n'est alors que de $\sigma_1 = -0{,}25\,\mathrm{MPa}$.

La traction maximale σ_3 est représentée sur la Fig. 68a[102]. Ses valeurs s'étendent -90 à +300 kPa, mais on a modifié le code de couleurs de façon à mieux mettre en évidence le signe de σ_3 [103], et à pouvoir comparer les différents modèles. Les tractions les plus élevées, supérieures à 150 kPa, n'apparaissent que dans l'arc de la fenêtre. On observe encore des tractions supérieures à 50 kPa dans l'appui de la fenêtre, ainsi qu'au niveau du chapiteau, comme on l'a vu. Les domaines où aucune traction n'apparaît ($\sigma_3 < 0$) sont le bas des murs jusque vers 2,5 m à 3 m de haut (pour fixer l'échelle, on rappelle que la hauteur de la colonne est 8,8 m), les piédroits des fenêtres, le dessus du mur et l'extrados de la voûte, mais aussi le domaine situé au niveau du chapiteau et derrière celui-ci.

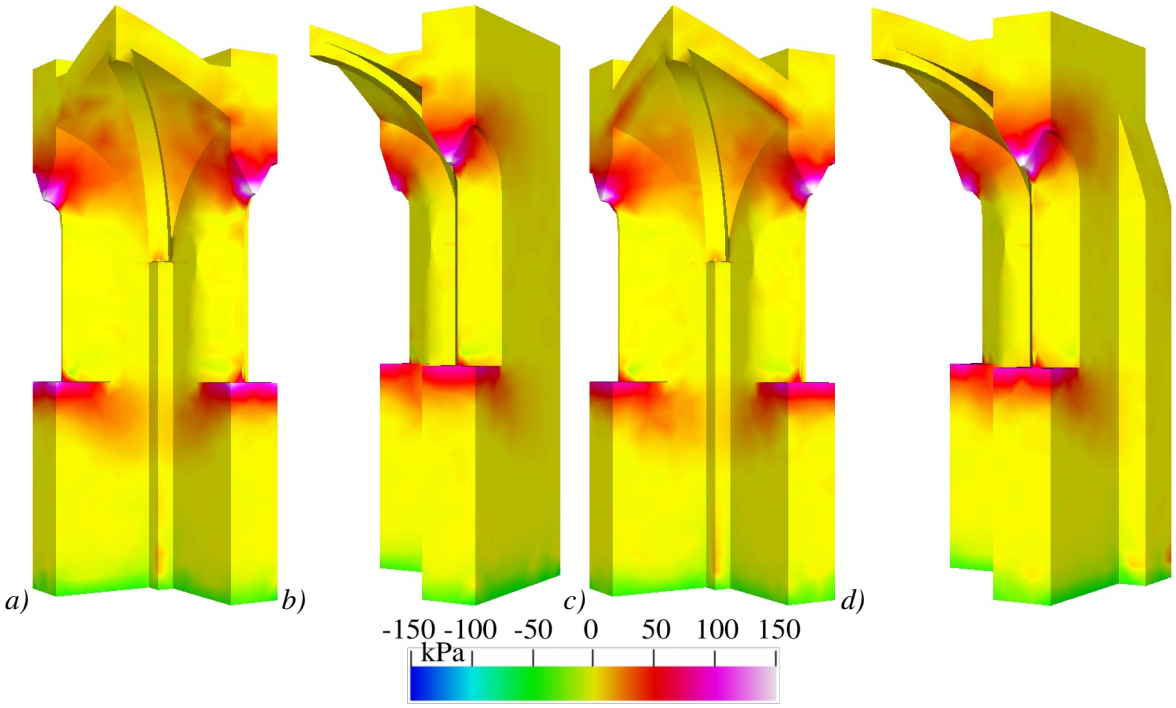


Figure 68. a) Répartition des tractions dans un modèle du transept[39]. Les couleurs rouge, violet et blanc correspondent aux plus grandes tractions. b) On a considérablement réduit l'épaisseur de la voûte ; c) on a supprimé le remplissage des reins, d) on a pris en compte les contreforts.

Pour évaluer l'influence des divers éléments, on a réalisé le même calcul en modifiant quelque peu le modèle. La répartition des tractions en l'absence du remplissage de l'extrados est représentée sur la Fig. 68c, on constate que ce remplissage ne contribue pas de façon significative à la stabilité

---

102 La quantité représentée est la plus grande des contraintes principales σ_3 . Le code de couleur a été fixé de façon à mettre en évidence le signe de σ_3 et à permettre la comparaison des différents modèles. Ses valeurs extrêmes ne sont pas celles effectivement atteintes par σ_3 .

103 Rappelons qu'une contrainte normale σ positive correspond à une traction, alors que σ négatif correspond à une compression.

de la voûte. Un calcul effectué en supprimant la nervure et la colonne centrale (non représenté) donne des résultats tout à fait voisins : la présence de la nervure ne change pas grand-chose à la répartition des contraintes.

N'ayant pas la possibilité d'effectuer une mesure directe, j'ai estimé l'épaisseur de la voûte d'après les relevés de Duvêtre, ce qui m'a donné la valeur fort élevée de 80 cm. Celle-ci pouvant être exagérée, j'ai effectué un calcul en supposant une épaisseur de voûte considérablement plus faible (20 cm). On constate que la valeur et la répartition des tractions n'est pas modifiée de façon significative (Fig. 68b). L'intérêt d'une voûte plus épaisse est de permettre une meilleurs cohésion de la maçonnerie, sans qu'il soit nécessaire de considérer des subtilités de stéréotomie. En effet, quoique les tractions soient faibles (inférieures à 50 kPa), elles sont bien présentes dans la voûte, et donc la cohésion de la maçonnerie est nécessaire à sa stabilité.

L'adjonction des contreforts ne modifie pas non plus appréciablement la répartition des contraintes (Fig. 68d). Pour résumer, le profil de la voûte rend sa poussée suffisamment faible en soi pour que l'épaisseur des murs suffise au contrebutement.

On constate cependant que la baie en plein cintre cause une traction importante au niveau de la clef, qui pourrait se traduire par une rupture à ce niveau[104]. Pour préciser ce comportement, on a réalisé différents modèles de la fenêtre (sans plus prendre en compte la voûte). La Fig. 69a[105] montre un modèle de fenêtre identique au précédent, mais où la voûte et le mur en retour ont été retirés. Sans le poids de la voûte, la traction est plus faible, mais du même ordre. Nous savons que les fenêtres des pignons, avant la restauration de 1861-1863, étaient géminées, mais nous en ignorons le profil et les dimensions exactes de la colonnette centrale. Nous avons donc choisi des profils arbitraires pour tester une telle disposition. On constate qu'une colonnette centrale, même extrêmement mince, réduit appréciablement la traction (Fig. 69b). Ainsi, l'emploi de fenêtre géminées a pu être un moyen de réduire les tensions qui apparaissent au niveau de la clef.

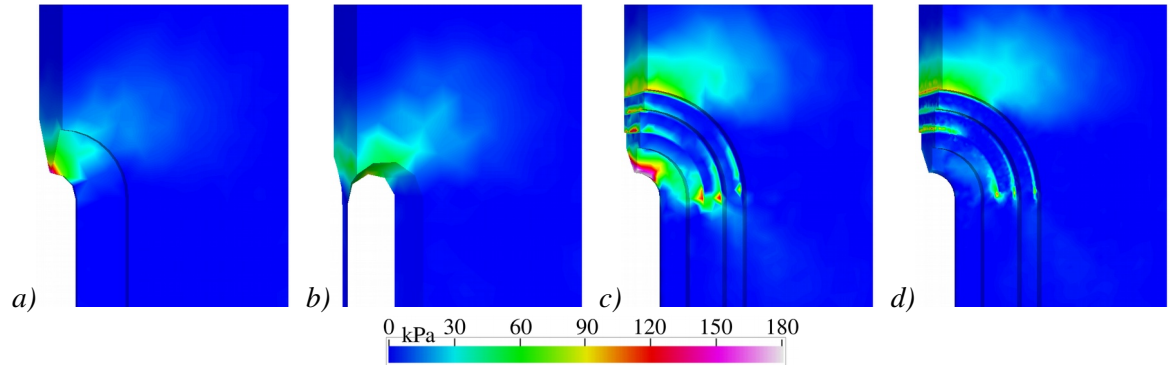


Figure 69. La traction σ_3 dans des modèles de fenêtre. a) Le modèle simplifié de fenêtre utilisé avec la modélisation de la voûte. b) Des fenêtres géminées avec une colonnette très mince. c) Le profil à quatre rouleau de fenêtre existante. d) On a introduit un joint oblique très élastique dans le rouleau interne[105].

On peut aussi penser que l'extradossement des arcs, et le profil exact à plusieurs rouleaux de ceux-ci joue un rôle. Nous avons donc construit d'autres modèles, incluant un "joint" fait d'un

---

104 La valeur maximale de σ_3 calculée est de l'ordre de 0,27 MPa. Or on avait retenu comme maximum admissible pour les tractions dans la maçonnerie de tuffeau, une valeur de 0,11 MPa.

105 Le code de couleur ne rend pas compte des valeurs extrêmes de σ_3, qui sont a) -79 et 210 kPa, b) -76 et 150 kPa, c) -84 et 400 kPa, d) -72 et 180 kPa.

matériau aux propriétés élastiques différentes de celui-ci contre l'extrados de l'arc[106]. La Fig. 69c montre que chacun des arcs superposés subit une tension importante. En fait le système de plusieurs arcs est moins rigide, puisqu'ils ne sont pas liés, et les piédroits s'écartent davantage. C'est la déformation de l'arc due à cet écartement qui crée la tension à la clef. J'ai introduit un joint radial (unique pour des raisons de commodité) dans le rouleau interne, rempli du même "matériau mou" (Fig. 69d). La traction à ce niveau disparaît pour l'essentiel. Cette concentration de contraintes est donc, d'un certain point de vue, due à l'emploi du modèle élastique ; l'aptitude à se déformer d'une maçonnerie réelle fera évaluer ces tensions vers un état stable. Cependant, ces déformations auront toutes les chances d'être désagréables à l'œil, et de causer des inquiétudes quant à la stabilité de l'arc, et les constructeurs ou les restaurateurs auront cherché à les éviter.

De fait, les fenêtres on été refaites. Sur les pignons nord et sud, les dessins de Duvêtre et le tableau de Chanciergues Dubord montrent des baies géminées. Par contre, les fenêtres des deux façades occidentales étaient simples, mais avaient été murées à une époque indéterminée. Par ailleurs, Duvêtre prétend avoir restitué les fenêtres dans leur état primitif. Les rouleaux internes et les piédroits correspondants ont été refaits, mais les rouleaux externes (au moins deux à l'intérieur et un à l'extérieur) sont essentiellement anciens, et presque identiques sur les quatre façades.

Si l'on suppose que Duvêtre a, comme il le prétend, restitué l'état primitif des fenêtres, dont il aurait trouvé des témoins disparus depuis, on peut imaginer que le transept ait été initialement prévu avec quatre baies simples proches des baies actuelles. Les pignons auraient rapidement montré des signes de faiblesse et été modifiés en baies géminées dès le XII^{e} siècle. Dans les façades occidentales, le contrebutement par la tour de croisée réduit de moitié les tensions, et par conséquent les fenêtres simples ont pu résister plus longtemps. Cependant elles ont fini par se détériorer elles aussi, et ont été murées en tout ou partie afin de résoudre le problème aux moindres frais. Ce scénario a l'avantage d'expliquer pourquoi des fenêtres de forme si différentes que les fenêtres simples des façades occidentales et les fenêtres géminées des pignons sont pratiquement identiques quant à leurs rouleaux extérieurs. De plus, malgré le mérite de Duvêtre, on a plutôt envie d'attribuer le dessin particulièrement heureux de ces baies à l'architecte du XII^{e} siècle qu'à lui. Je serais par contre tenté de lui faire une assez grande confiance en tant que restaurateur.

On peut proposer un deuxième scénario, qui évite d'imaginer une disposition ancienne dont il ne reste pas de trace. L'architecte médiéval, envisageant de réaliser quatre fenêtres simples identiques, pressent immédiatement la difficulté, et opte pour des fenêtres géminées sur les pignons dès leur construction. Sur les façades occidentales, il construit des fenêtres simples qui plus tard faiblissent et sont murées. Duvêtre voit des traces des dispositions anciennes sur celles-ci et refait les baies des pignons à l'identique par souci d'homogénéité.

106 Voir les détails techniques en annexe 2.A.

3. Croisillon nord

3.A. Généralités - Introduction

Le croisillon nord a la même allure que le croisillon sud : à l'intérieur, même travée carrée voûtée d'une croisée d'ogives primitive, même type de très larges fenêtres (Fig. 70). L'absidiole est conservée, quoique fortement restaurée, et la porte ouvrant vers l'est est récente. À ceci près, le seul élément de l'état actuel des deux bras du transept qui trahisse une différence dans leur structure est le rouleau externe de l'encadrement intérieur de la fenêtre du pignon du croisillon sud, beaucoup plus profond que celui des trois autres fenêtres. L'extérieur a été fortement restauré. C'était la tranche de travaux suivante, en 1862[107], qui concernait le croisillon nord.

Les détériorations antérieures aux restaurations de 1862 et attribuées à des travaux de fortification pendant la guerre de Cent Ans sont plus nombreux qu'au sud. Au sujet des fenêtres, R. de Russon écrit qu'"On a trouvé dans la fenêtre nord du transept des débris de combustible, comme cela avait eu lieu dans une des fenêtres sud du chœur. [...] Il a fallu renouveler le mur de la fenêtre, l'ancien étant tout encroûté de suie, et rétablir le glacis, qui avait été détruit pour établir le foyer"[108].

Figure 70. Croisillon nord: intérieur.

On a déjà vu que les *Archives de Brion* donnaient un compte rendu très détaillé de cette histoire, voici ce qui aurait eu lieu, selon ce document, juste après la bataille de Vieil-Baugé de 1421 : "Les défenseurs procèdent aussitôt à la démolition de la pointe du pignon du transept Nord jusqu'au niveau du sommet des voûtes et en répartissent les matériaux à proximité des créneaux ; des croisillons en charpente le remplace[nt]"[109]. On lit plus loin que le pignon du transept nord "détruit pour fournir des matériaux à l'élévation des créneaux avait été remplacé par une cloison ardoisée

107 Devis daté de mars 1862, de 5245,52 F ; le document de réception l'est du 8 janvier 1863.
108 R. de Russon, *op. cit.* n. 3, p. 29.
109 *Archives de Brion*[4], p. 183.

qui formait gouttière sur son mur d'appui"[110].

Faut-il ajouter foi à ce détail ? Le dessin de Duvêtre ne permet pas d'affirmer que le pignon n'aurait été qu'une structure en charpente recouverte d'ardoise, mais ne permet pas non plus d'affirmer le contraire. Quoique ses documents écrits soient très détaillés, les volumes de démolition sont donnés pour les murs pignons entiers, sans distinction du haut de la partie droite entre la fenêtre et la corniche, et du pignon proprement dit. Le devis de 1861 pour le transept sud ne prévoyait que 15 m^3 de démolition pour le pignon, on constate sur le document de réception que ce volume a augmenté jusqu'à 85,39 m^3. Un volume de 11,5 m × 3,50 m × 1 m = 40,25 m^3 de démolition de maçonnerie, qui correspond au volume de la partie triangulaire du pignon, auquel il faut ajouter 63,25 m^3 pour la partie droite (soit au total 103,5 m^3), figure dans le devis de 1862 pour le transept nord. Les volumes portés sont inspirés de ce qui venait d'être effectivement fait au sud[111]. Les volumes de démolition des gouttereaux sont identiques : 54,60 m^3 sur les 2 documents ; on retrouve le même volume de 8,4 m^3 pour "une partie au-dessus de la voûte". Le passage de 85,39 m^3 (= 11,5 m × 7,42 m × 1 m) à 103,5 m^3 = 11,5 m × 9 m × 1 m correspond au fait que le haut du mur nord devait être repris sur une plus grande hauteur (1,5 m environ), ce qui se constate aisément sur son état actuel. Or, le volume porté sur le document de réception du transept nord de 1863 n'est que de 70,84 m^3. Il manque donc près de 33 m^3 qui correspondent à la plus grande partie du pignon proprement dit. Si celui-ci n'a pas été démoli, c'est bien qu'il n'existait pas.

3.B. Toitures

Le devis de 1862 prévoyait une "modification complète de la charpente". Une partie de l'exposé est recopiée textuellement du devis de 1861 pour le transept sud. On note cependant quelques différences : le "système de la charpente" n'est plus "vicieux", les fermes sont "établies" et non "rétablies dans le projet", les moises sont en chêne et non en sapin (elles existent déjà) et les vieux bois seront employés dans les fermes et non plus seulement "pour les semelles et le chevronage". On constate ainsi que la charpente, fondamentalement différente de celle du croisillon sud, a paru suffisamment acceptable à l'architecte pour qu'il conserve les grandes lignes de sa structure et une assez grande partie de sa matière. Si on observe les charpentes actuelles, on voit immédiatement que la charpente du croisillon sud est moderne, alors que celle du croisillon nord paraît plus ancienne. Par exemple, on trouve des boulons sur la charpente sud, mais celle du croisillon nord est entièrement chevillée, sauf des étriers en fer au bas des poinçons. Il semble donc que cette dernière est donc, en partie du moins, antérieure aux restaurations de Duvêtre.

Le toit, tel qu'on le voit sur le dessin de Duvêtre, présentait une double pente, qui pouvait être obtenue par des coyaux très longs (les 2/3 de la pente du toit). La corniche était placée plus haut qu'elle ne l'est actuellement. De plus, le pignon était aveugle, et le motif de bandes lombardes qui le couronne est une création des restaurateurs.

Si on ne tient pas compte des coyaux, on constate que l'angle de la toiture antérieure aux restaurations est de 56° environ, alors que celle de la toiture actuelle est de 34°, l'angle complémentaire. Il est vraisemblable que les pièces de l'ancienne charpente ont été retournées et recoupées en 1862, de façon à modifier sensiblement l'angle du toit, en gardant la possibilité de réutiliser une partie des tenons et mortaises existants. Le raccourcissement du poinçon expliquerait

110 *Archives de Brion*[4], p. 292.

111 L'adjudication des travaux du transept sud date du 15 juillet 1861, la démolition a dû suivre immédiatement, et le devis pour le transept nord est daté du 22 mai 1862.

qu'il soit lié à l'entrait par un lien de fer, et non assemblé par tenon et mortaise comme cela devrait être le cas dans une charpente de ce type (Fig. 71)[112].

Figure 71. Comble du croisillon nord.

On a comparé plus haut les murs pignons et gouttereaux nord et sud, dans leur état actuel. Selon les *Archives de Brion*, le pignon nord aurait été démoli pour mettre l'église en état de défense pendant la guerre de Cent Ans[113], et n'aurait jamais été réparé[114], mais "remplacé par une cloison ardoisée"[115]. Faut-il ajouter foi à ce détail ? Un volume de 11,5 m × 3,50 m × 1 m = 40,25 m^3 de démolition de maçonnerie, qui peut correspondre au volume de la partie triangulaire du pignon, auquel il faut ajouter 63,25 m^3 pour la partie droite, figure dans le devis de Duvêtre de 1862. Le volume de démolition facturé pour le pignon n'est "que" de 70,84 m^3, soit 30 m^3 de moins environ. Au sud, où le mur n'a pas été touché, mais seulement le pignon[116], ce sont 85,39 m^3 qui sont décomptés. Si la limite entre le pignon ancien et celui du XIX^e siècle est très nette dans le comble du croisillon sud, celle-ci n'apparaît pas au nord : elle doit donc se situer bien plus bas de ce côté[117]. La différence de volume doit donc correspondre au haut du pignon, voire à la totalité de celui-ci. On remarque d'ailleurs que, sur la coupe du transept de Duvêtre (*cf.* dossier, Fig. 127) le pignon sud apparaît avec une épaisseur voisine de celle de la base du mur, alors que le mur nord s'arrête un peu au-dessus de la corniche. Il semble donc bien que ce mur n'existait pas au début du XIX^e siècle, quoique sa démolition semble avoir été prévue au devis.

3.C. Sculptures et décor

Les modillons sont au nombre de 14 sur la façade ouest, 12 à l'est, 22 au nord, plus 4 sur le retour de chacun des deux contreforts (en comptant deux fois ceux d'angle, sculptés sur 2 faces). Le

112 Les entraits sont à peu près au niveau de l'extrados de la clef de voûte, de part et d'autre de celle-ci, et reposent sur le dessus des murs gouttereaux.

113 Et plus précisément juste après la bataille de Vieil Baugé, en 1421, *cf. Archives de Brion*[4], p. 183.

114 *Ibid.*, p. 184 : "le pignon du transept Nord ne fut pas relevé".

115 *Ibid.*, p. 292.

116 D'après le devis de 1861, seuls les rampants du pignon, sur 1 m de hauteur, devaient être démolis. Cependant le document de réception et l'examen des maçonneries montre que le pignon a été intégralement refait.

117 C'est d'ailleurs ce que disent explicitement les *Archives de Brion*[4], p. 292. C'est aussi confirmé par l'examen des maçonneries extérieures.

total est 56, c'est le nombre figurant sur le document de réception de 1863. De même pour les "têtes d'arcature" : on en compte 13 à l'ouest, 21 au nord, et 11 à l'est, ce qui fait 49, identique au montant décompté en 1863. Les, corniches ont donc été entièrement refaites, On a vu plus haut qu'elles sont des copies de celle du croisillon sud.

3.D. Baies

3.D.1. La porte

Le décompte de réception mentionne, pour la sculpture de cette porte, 3 m de frise à l'archivolte, 11 claveaux, et 2 chapiteaux pour la porte, c'est-à-dire la totalité de son encadrement. De plus, 4,23 m^3 de "tuffeau neuf remplacé, côté de la petite porte" peuvent s'y rapporter. Ces sculptures ne figuraient d'ailleurs pas dans le devis.

L'élévation de Duvêtre montre une porte à linteau droit, sans aucun ornement. De plus, Russon[3] écrit que certaines sculptures ont été trouvées "en démolissant la porte qui fut pratiquée en 1788 à l'ouest du transept Nord". Cette porte serait donc selon lui une création du XVIII^{e} siècle. En tout cas sa décoration actuelle est une pure création des restaurateurs du XIX^{e}.

3.D.2. Fenêtre occidentale

Cette baie est visible sur le plan, l'élévation de la façade ouest, et la coupe du transept de Duvêtre, ainsi que sur les élévations intérieures de Galembert.

Le devis, qui prévoyait de "rétablir les croisées dans leur état primitif", ne prévoyait pas de démolition pour celles-ci, seulement 2,5 m^3 de tuffeau pour un "glacis de la fenêtre", on ne sait laquelle des deux, et pour le "coté de la nef", quatre "chapiteaux de croisée". Le document de réception, lui, au chapitre maçonnerie, mentionne un "glacis de la fenêtre au socle" et des "parties en côté de la fenêtre", mais il est difficile de savoir s'il s'agit des murs situés au-dessous et de part et d'autre de la fenêtre, ou du glacis et des piédroits eux-mêmes. Par contre, aucun chapiteau ni aucune sculpture destiné aux fenêtres n'est facturé[118].

L'élévation que Duvêtre donne de la façade ouest du transept ne montre que le rouleau extérieur de la fenêtre et le sourcil qui la surmonte, comme si l'intérieur avait été muré. Il ne précise aucun détail de la fenêtre qui se trouve sous se rouleau. La coupe montre le double rouleau actuel de l'encadrement de la fenêtre, à l'intérieur duquel l'aménagement est tout différent. Il est en effet divisé en deux par une sorte de meneau qui semble être plutôt un aménagement tardif de médiocre qualité, que celui d'une véritable fenêtre double. Une petite arcade en plein cintre apparaît à gauche, alors que le compartiment droit semble totalement muré. On observe aussi un glacis intérieur très élevé à double pente. Sur le plan, la partie correspondant à l'ouverture de la fenêtre est en jaune, ce qui doit correspondre à un remplissage à supprimer[119].

---

118 Les frises mentionnées dans le document sont celles de la corniche à modillon, en effet elles existent aussi bien du côté est.

119 En effet, dans l'exposé du devis, Duvêtre écrit, à propos des parties hautes : "Le dessin joint à ce devis, présente par la teinte jaune, l'aspect disgracieux de cet exhaussement et le peu de soin apporté à son exécution." Il indique là le sens qu'il attribuait à la couleur jaune sur cette partie de son dessin. On a tout lieu de penser que le sens à donner à la coloration doit être similaire dans ce cas. Ceci est confirmé par le fait que le remplissage de la première fenêtre sud du chœur, qui subsiste actuellement, est lui aussi représenté en jaune sur le même plan.

Le dessin de Galembert, par contre, montre une fenêtre identique à son état actuel. Quoique le dessin montre l'état de la nef avant sa restauration, on doit considérer qu'il s'agit de l'état restauré de la fenêtre. On peut en effet penser que ce dessin, quoique daté de 1873, a été réalisé entre la restauration du transept 1862-1863 et celle de la nef (1868-1871). On peut aussi penser que Galembert croyant à tort ou à raison que les modifications de Duvêtre n'étaient qu'une "réparation" de fenêtres existantes, a cru représenter l'état ancien en dessinant le nouveau, Ce document ne peut donc au mieux nous apprendre qu'une chose, c'est que le comte de Galembert était convaincu de la fidélité des restitutions de Duvêtre. En résumé, les dessins de Duvêtre, les seuls fiables, montrent une fenêtre simple qui a été divisée en deux par un meneau sommaire pour en murer une moitié, puis a été murée complètement.

Cette fenêtre compte actuellement 6 chapiteaux à l'intérieur, et 4 à l'extérieur. Le devis de1862 prévoyait la réfection de 4 chapiteaux à l'extérieur, mais ceux-ci ne figurent pas sur le compte de réception. Ces chapiteaux ont-ils été reportés sur le compte de la fabrique ? Ceci paraît exclu, si l'on admet que la répartition des travaux entre la municipalité et la fabrique suit la même logique que dans la nef, pour laquelle nous possédons les deux devis (intérieur et extérieur). Si on s'en réfère à la couleur des tuffeaux, il semble que quelques claveaux aient été remplacés dans le rouleau extérieur, que la plus grande partie du sourcil sculpté qui entoure la fenêtre soit refait, à l'exception d'une partie ancienne à gauche, que l'ébrasement de l'arc et des piédroits soit entièrement moderne, mais les deux colonnettes externes seraient anciennes. Qu'en est-il de leurs avec leurs chapiteaux ? Il faudrait donc en conclure que les sculptures ont été refaites au moins en partie, sans que cela paraisse sur le compte de réception. Cette omission pourrait être due à leur taille, à moins qu'ils n'aient été exécutés par les tailleurs de pierre et non par le sculpteur.

Quelle que soit son ampleur effective, la fenêtre d'origine devait être très proche de celle qui existe actuellement, et non pas être une fenêtre double ressemblant à celle que montrent les dessins de Duvêtre sur le pignon nord. En d'autres termes, je pense, contrairement à J. Mallet, que Duvêtre a effectivement rétabli cette fenêtre, sinon dans son état d'origine, du moins dans un état identique à celui-ci dans sa structure.

3.D.3. Fenêtre du pignon nord

Celle-ci apparaît sur la plupart des dessins de Duvêtre : le plan, l'élévation nord et la coupe de la nef, la coupe du transept. On la voit aussi sur l'élévation intérieure de Galembert, ainsi que sur la photo de l'intérieur du croisillon nord par Estève, mais cette dernière ne montre aucune différence par rapport à l'état actuel (Fig. 72).

Le devis ne mentionne à son sujet qu'un glacis pour les deux fenêtres, et deux "chapiteaux de croisée" du côté du "pignon". Le document de réception ne les mentionne plus, on a vu au sujet de la fenêtre de la façade ouest le peu de maçonnerie dont il fait état pour cela. Selon les *Archives de Brion*, "La gelée avait pourri les cinq ou six assises qui surmontaient le grand arceau de la croisée géminée, et ce grand arceau lui même formé par 25 Claveaux n'en conservait plus que 4 non avariés"[120].

Sur l'élévation intérieure de Duvêtre, cette fenêtre présente un meneau central avec colonnette. On voit quatre autres colonnettes, deux de chaque côté : les premières reçoivent les deux arcs des deux lancettes, qui retombent sur la colonne centrale. La paire de colonnettes externe pourrait recevoir un arc englobant l'ensemble (invisible sur le dessin quoi qu'il en soit, car il y serait masqué

120 *Archives de Brion*[4], p. 292.

par l'arc séparant le transept de la croisée), mais, en considérant la hauteur de ces arcs sur la coupe de la fenêtre donnée par la coupe de l'église au niveau du transept, il semble qu'il s'agisse plutôt de deux arcs concentriques aux précédents, sans retombée. Il n'y a pas de raison pour que ces colonnes (et l'arc qui les surmonte s'il existait) ne coïncident pas avec celles qui existent dans l'état actuel.

Figure 72. Fenêtre du pignon du croisillon nord.

De plus, les ébrasements des lancettes sont dissymétriques, plus évasés à l'extérieur que du côté du meneau, c'est-à-dire que les axes des lancettes sont plus écartés l'un de l'autre au nu intérieur du mur qu'ils ne le sont à son nu extérieur.

L'élévation extérieure, quant à elle, montre une fenêtre double, sous un sourcil en plein cintre, divisée en deux baies en plein cintre par un meneau muni d'une colonnette. Le sourcil, quoique sa décoration ne soit pas indiquée (omission du dessin ou modification mineure par les restaurateurs ?), ainsi que les deux colonnettes externes, n'ont pas de raison de ne pas coïncider avec ceux existant actuellement. Cependant, les arcs qui surmontent les lancettes sont très fortement surhaussés, et le tympan est au nu du mur et complètement lisse, dans le sens, en particulier, où aucun rouleau extérieur englobant les 2 lancettes n'est indiqué. Le plan et la coupe du transept ne font que confirmer cette description. Le dessin de Galembert, comme sur la façade ouest, donne l'état actuel, et ne fait qu'exprimer la foi qu'avait son auteur dans la restitution de cette fenêtre par Duvêtre.

L'allure inhabituelle (dissymétrie, tympan au nu du mur, arcs fortement surhaussés) de cette fenêtre double permet de penser qu'elle résultait effectivement, comme le croyait Duvêtre, de la modification d'une fenêtre initialement construite dans une forme identique à celle de l'ouest. On a cependant tout lieu de croire qu'ici, contrairement à la façade ouest du transept, la modification était médiévale et soignée. Il est même vraisemblable que l'état primitif dont la restauration de Duvêtre se veut la restitution, ait pu être projeté sans jamais avoir été entièrement réalisé.

Dans cette hypothèse favorable, il n'est pas exclu que le rouleau externe de l'arc, voire même la partie supérieure du rouleau intérieur, ait déjà existé dans la maçonnerie, et ait été simplement dégagé par les restaurateurs. Les modifications apportées par la restauration sont au strict minimum la suppression du meneau central, et l'établissement de l'arc intérieur et de ses piédroits actuels.

Aucun volume de maçonnerie ni aucune sculpture ne figurant dans le décompte, il faut que ces travaux aient été pris en charge par la fabrique.

L'absence de travaux sur cette fenêtre mentionnés dans le décompte m'incite à croire que ces travaux sont restés d'une d'envergure limitée, ce que seule permet l'hypothèse d'une structure préexistante voisine de la structure actuelle.

L'examen des tuffeaux fait apparaître quatre claveaux anciens dans le rouleau extérieur de l'arc, plus peut-être un ou deux de chaque côté au niveau du sommier, les autres étant refaits. Il semble qu'il en soit de même pour le rouleau intérieur. L'ébrasement de l'arc semble refait, ainsi que celui des piédroits et mes colonnettes internes. Par contre, les colonnette externes paraissent anciennes, avec leur chapiteaux.

Il est donc vraisemblable que la fenêtre du pignon nord, bien qu'ayant probablement été réalisée comme une fenêtre double dès l'origine, c'est à dire peu avant la réalisation des fenêtres de la travée est de la nef, avait une structure externe identique à celle des autres fenêtres du transept, qui a permis de la transformer lors de la restauration à relativement peu de frais.

3.E. Murs et voûte

Le socle en moellons devient de plus en plus haut au fur et à mesure que l'on contourne l'abside principale. S'agit-il d'une trace d'une construction antérieure ? Au niveau de l'absidiole nord, le socle en moellons dépasse de 1,36 m le niveau qu'il a dans le pignon du transept, en identifiant celui-ci aux assises de grès refaites au XIX^{e} siècle au bas du mur (Fig. 107). Le contrefort situé dans l'angle, contre la tourelle d'escalier, est en moellons jusqu'au haut de son glacis. La maçonnerie est de l'absidiole est très différente du reste, et semble neuve. Il est vraisemblable qu'elle a été restaurée aux frais de Mme de la Motte Rouge, quand celle-ci voulait construire un autel, et que la commune a refusé d'arranger la chapelle pour cela, comme on l'a vu plus haut.

Figure 73. Chapelle orientée du croisillon nord.

Juste avant les travaux de 1862-1863, l'extrados de la voûte sur croisée d'ogives primitive portait une charge particulièrement importante : "la dégradation [du transept nord] est telle qu'il a fallu par précaution faire décharger la voûte qu'encombraient vingt mètres cubes de vidanges et débris"[121].

121 *Archives de Brion*[4], p. 293.

3.F. Analyse des dimensions

L'analyse métrologique du plan est traitée plus haut avec celle du croisillon sud, de même que l'analyse mécanique. On ne traitera ici que la géométrie des voûtes.

On a effectué la même analyse que dans le croisillon sud. Les voûtains sont ici aussi des cylindres dont la section n'est qu'approximativement circulaire. L'angle que leur axe forme avec l'horizontale est de $18{,}75° \pm 0{,}4°$ (précision $\sigma/\sqrt{n}$), c'est-à-dire $\mathrm{Arctg}(1/3) \simeq 18{,}4°$, comme au sud. Dans le plan horizontal, l'angle avec le mur voisin est de $79{,}4° \pm 1.4°$; or $\mathrm{Arctg}\,5 \simeq 78{,}7°$. Il apparaît donc que le procédé était le même mais la valeur différente, correspondant au rapport 5:1 au lieu de 3:2[122].

Les rayons des voûtains sont plus réguliers qu'au sud : la variance des mesures est de 12% du rayon moyen, alors qu'au sud elle valait environ 30% de celui-ci (avec la méthode de calcul à trois points). Doit-on en conclure que le maître d'œuvre aurait utilisé un procédé différent, plus habituel, incluant des cintres transversaux ? En tout cas les génératrices des cylindres sont bien rectilignes, ce qui garantit qu'une armature rigide et utilisant des éléments rectilignes a été employée dans la direction de l'axe caractérisé ci-dessus. Une autre interprétation est possible : on a vu au sud que les arcs formant le profil des voûtains étaient brisés dans leur partie supérieure, parce qu'un cylindre régulier aurait dépassé la clef. Le maître d'œuvre a pu remédier à ce défaut en modifiant la direction des axes (l'angle avec le mur est en effet de 79° au lieu de 56°), plus proche de la perpendiculaire à la nervure. Il a alors pu établir des profils transversaux plus proches d'arcs de cercle. Cette interprétation s'accorde avec l'idée a priori selon laquelle une forme "géométrique", c'est-à-dire composée de lignes droites et de cercles, serait jugée préférable à une autre.

Les rayons des ogives sont ici encore bien plus précisément définis que ceux des voûtains : la dispersion des mesures (écart-type) est de l'ordre de 4%[123]. Le rapport entre l'écart entre les centres des deux arcs et le rayon est de 3,3 dans la direction nord-est/sud-ouest, et 4,8 dans la direction nord-ouest/sud-est. La moyenne est très proche de 4, mais l'écart est appréciable. On peut imaginer que le maître d'œuvre, trouvant que les deux diagonales de la voûte à sa base n'avaient pas exactement la même longueur (au sol il y a environ 10 cm de différence), a augmenté légèrement la brisure d'un arc et diminué celle de l'autre, de façon à ce que les deux clefs arrivent au même niveau. S'il a réparti ces modifications de façon symétrique entre les deux arcs, cela peut expliquer qu'elle n'affecte pas la moyenne. Ceci reste hypothétique.

La valeur de la mesure en pieds du rayons va de 13,4 à 16,3, il est difficile d'y voir une valeur entière, et il semble raisonnable de conclure que la valeur du rayon n'a pas fait l'objet d'une mesure de cette nature lors de la construction.

Les différences observées entre la géométrie de la voûte du croisillon nord et celle du croisillon sud se limitent à des points de détail. Il n'y a donc pas lieu de renouveler l'analyse mécanique de celle-ci et on se contentera de ce qui a été dit au sujet du croisillon sud.

122 Les angles α avec l'horizontale et β avec le mur le plus proche, qui caractérisent la direction de l'axe des voûtain du croisillon nord, sont donnés dans le tableau :

secteur	nord/ouest	nord/est	ouest/nord	ouest/sud	sud/ouest	sud/est	est/sud	est/nord
α	18°	18°	20°	19°	20°	20°	17°	18°
β	84°	79°	78°	76°	86°	80°	75°	77°

123 On a utilisé les deux méthodes de mesure mentionnées en annexe : les écarts entre les valeurs données par les deux méthodes vont de 0,3% à 2,5%.

4. Croisée

4.A. Généralités - Introduction

Quatre arcs à double rouleau légèrement brisés, portés par des colonnes engagées jumelles ornées de chapiteaux sculptés, délimitent l'espace carré de la croisée (Fig. 74). L'autel principal de l'église en occupe actuellement le centre, ce n'était pas le cas avant 1855, comme en témoignent le devis de restauration du chœur daté de cette année et le document de réception des travaux correspondants de 1857. Le déplacement de cet autel a suscité l'opposition de la Commission d'architecture, et n'a été accepté que sur l'intervention de l'évêque[124]. Cependant, si l'on se fie aux *Archives de Brion*, ce ne serait que la restitution d'un état antérieur. En effet, le curé Pinson, aurait fait remplacer un autel situé "au croisement du chœur et des transepts" par un "autel à La Romaine [qui] fut installé au fond du chœur" en 1780[125]. Haut au-dessus de cet autel s'élève une coupole ornée de deux fines nervures diagonales. Elle est percée d'un oculus qui a permis de hisser les cloches dans le beffroi.

Figure 74. Vue de la croisée depuis la nef.

4.B. Sculptures et décor

Le décor se compose de deux séries de chapiteaux : les 8 grands chapiteaux doubles qui portent les arcs de la croisée, et 4 chapiteaux simples placés à la naissance des nervures de la voûte. Les monstres barbus ailés de l'arc triomphal (n° 1) sont ceux dont l'authenticité est à mon avis la plus douteuse[126]. C'est en tout cas une copie du chapiteau voisin (n° 3 droit), rendue symétrique. On voit

124 *Cf.* le rapport de Godard-Faultrier et la lettre de l'évêque d'Angers de 1855 reproduits en annexe 5.
125 *Archives de Brion*[4], p. 200.
126 Leur restauration a été discutée plus haut avec celle du chœur, puisque les deux relèvent du même devis

aussi des oiseaux (n° 3 gauche) et un engoulant (n° 48 droit), mais surtout des feuillages, issus de palmettes (nos 12, 14, 48 gauches), caulicoles très développées (n° 35) qui tournent aux rinceaux (nos 37, 46). Ces motifs très variés et d'une belle qualité plastique restent purement décoratifs. Les quatre chapiteaux simples sont aussi à feuillage, mais d'un type très différent, issus du corinthien à trois rangs de feuilles traités en palmettes. Il sont très proches les uns des autres[127].

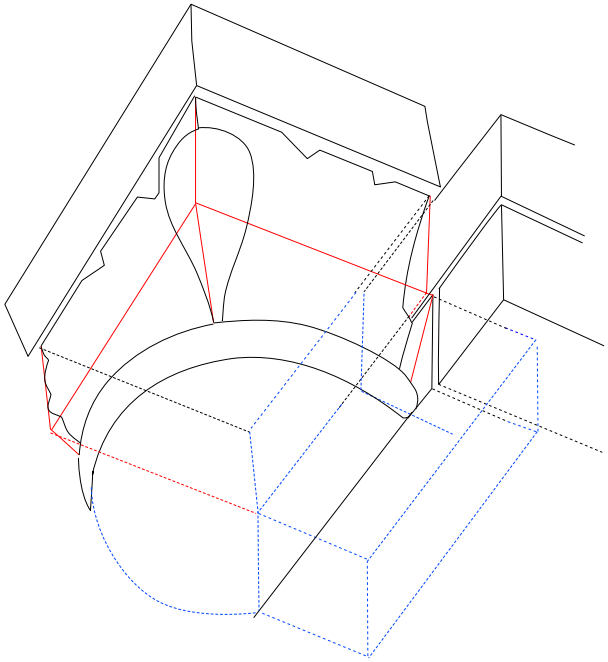


Figure 75. Encastrement d'un des chapiteaux de la croisée (n° 3).

À une exception près (qui est justement le chapiteau n°1 dont l'authenticité est la plus douteuse), les chapiteaux doubles sont taillés dans deux blocs distincts. Leur épannelage se compose d'un astragale, d'un tronc de cône et d'une tablette contenant l'abaque peu ou moyennement échancré, comme dans le chœur. Cependant, l'épannelage des chapiteaux de la coupole de croisée est totalement différent, à trois collerettes. Les tailloirs de ces chapiteaux sont faits de deux morceaux, et même de trois (nos 2 et 13). Il semble dans ces derniers cas qu'on ait voulu réutiliser des tailloirs antérieurs, qui se sont avérés trop étroits ; une pièce aurait alors été rajoutée au niveau de leur coupure pour augmenter leur largeur. Les éventuels joints en coupe d'onglet entre les pièces de tailloirs et de frise sont difficiles à distinguer. Il semble tout de même que, dans certains cas, il n'y a pas de tel joint, et qu'on a affaire à de très grandes dalles pouvant se prolonger jusqu'à la colonne d'angle voisine. Cependant, dans plusieurs cas, ces dalles sont divisées en deux, voire en trois parties, sur la face avant. Les tailloirs montreraient donc leur plus petite face, se présentant donc davantage comme des pièces de liaison que comme des éléments purement décoratifs.

Un certain nombre de chapiteaux présentent un type d'encastrement remarquable. La hauteur du chapiteau représentant deux assises de l'appareil, le chapiteau est encastré dans sa moité

de 1855.

127 Les nos 2, 13 et 36 sont sensiblement identiques entre eux, seul le n° 47 présente une variation dans le traitement plastique du motif.

inférieure, et adossé dans sa moitié supérieure. Ce dispositif est schématiquement représenté sur la figure 75[128]. Les éléments qui présentent ce dispositif sont essentiellement les chapiteaux doubles de la croisée, encore qu'il y ait quelques exceptions (n[os] 12 gauche, 37, 46 gauche) qui semblent être encastrés sur toute leur hauteur. Ils sont en effet coupés latéralement à la verticale de leur angle supérieur, ou le long du cône de l'épannelage dans le cas du n° 12 gauche.

4.C. Voûte

La coupole de croisée est assisée en cercles concentriques, qui paraissent se prolonger de façon continue derrière les nervures (Fig. 76). Le module des blocs utilisés pour celles-ci est plus grand que celui des assises. L'affirmation du chanoine Urseau[129], selon laquelle les nervures pénètrent la voûte, est difficile à vérifier. Cependant M. Deyres affirme, en parlant de la voûte du premier étage de la tour Saint-Aubin à Angers : "Les nervures qui sous-tendent la calotte font queue dans le parement de celle-ci, ce qui témoigne d'une technique relativement récente dans le XII[e] siècle"[130]. Cette dernière est effet très proche de de la voûte de la croisée de Brion : l'appareil est le même, tant pour les voûtains que pour les ogives, et même les formerets ont une forme identique[131]. Hormis les dimensions, la seule différence est un deuxième rouleau des formerets à la tour Saint-Aubin, qui répond d'ailleurs aux supports existants. Les ogives et formerets sont mal adaptés aux chapiteaux, qui paraissent beaucoup plus anciens. M. Deyres a fait la même observation au sujet de la tour Saint-Aubin[132].

Figure 76. Coupole de la croisée.

On trouve dans le *Congrès Archéologique* de 1910 un dessin des claveaux des nervures de la coupole angevine[133], reproduit ici Fig. 78. On constate que le mode d'ancrage de ces claveaux est

128 Sur la figure 75, on a figuré les arêtes visibles en trait noir continu, ce que l'on peut deviner des arêtes incluses dans la maçonnerie est en pointillé noir. Les lignes en pointillé bleu ne sont qu'un volume rajouté pour la lisibilité de la figure. L'épannelage est reconstitué en rouge.

129 *Op. cit.* n. 119, pp. 63-64.

130 *Op. cit.* n. 122, p. 210.

131 *Op. cit.* n. 122, pl. 78.

132 *Ibid.*, p. 210.

133 Charles-Henri Besnard, "La coupole nervée de la tour Saint-Aubin d'Angers", *Congrès Archéologique de France, LXXVIIe session tenue à Angers et à Saumur en 1910* (Paris, A. Picard, et Caen, H. Delesques, 1911), t. II, pp. 196-202, en particulier fig. 7, p. 201.

analogue à ce que l'on a vu plus haut au sujet des chapiteaux de la croisée de Brion (Fig. 75). On peut penser que les mêmes dispositions se présentent ici, mais il est impossible de le vérifier par une simple observation depuis le sol.

M. Deyres écrit aussi, au sujet de la coupole de la tout Saint-Aubin, que "celle-ci est extradossée d'un entrecroisement d'arcs orthogonaux"[132] ; on n'observe pas ce dispositif à Brion, où l'extrados de la voûte est rempli de déblais jusqu'à 10 à 15 cm du bord supérieur de l'ouverture centrale. Je suppose que le dispositif présent à la tour Saint-Aubin était destiné à porter le plancher de la salle haute. Rondelet écrit au sujet des voûtes en berceau que, "dans les voûtes extradossées d'égale épaisseur, qui doivent former plancher au-dessus, lorsqu'on ne remplit pas les reins en maçonnerie, on fait de petits murs d'éperon, espacés entre eux du tiers de la largeur de la voûte : leur épaisseur doit être la dixième partie de leur intervalle"[134]. Le dispositif analogue pour les voûtes d'arêtes et en arc de cloître est présenté immédiatement après (Fig. 77[135]) ; ces murs sont perpendiculaires à l'axe de la voûte.

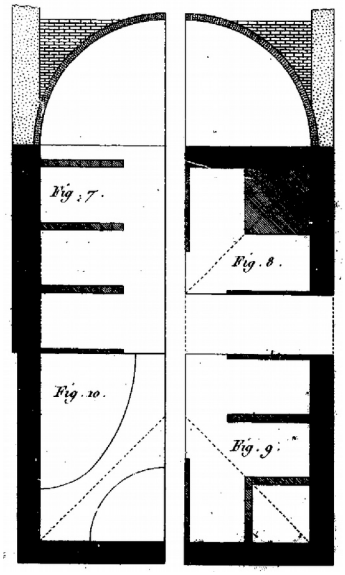


Figure 77. Murs d'éperon sur divers types de voûtes, selon Rondelet[135].

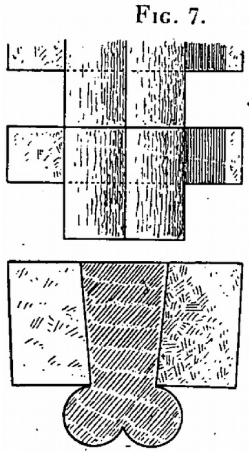


Figure 78. Les claveaux des nervures de la coupole de la tour Saint-Aubin à Angers, d'après Ch.-H. Besnard[133].

À Brion, la portée étant moindre, de tels supports n'étaient pas nécessaires, soit qu'on ait utilisé une structure en bois, soit que la structure pleine existant actuellement ait été utilisée dès le début. Le côté du carré étant à peu près le double à Saint-Aubin, la masse du remplissage serait 8 fois plus grande, ce qui justifie un changement de dispositif. Une fouille de ce remplissage serait nécessaire pour confirmer ou infirmer ces hypothèses.

4.D. Analyse des dimensions

Les arcs de croisée sont d'une maçonnerie particulièrement régulière et soignée, leur décoration elle aussi, on l'a vu, est très recherchée. Les mesures prises mettent en évidence la régularité de leurs dimensions. On peut s'attendre à ce que les dimensions de ces arcs ne soient pas laissées au hasard. Nous avons pu déterminer leur forme en suivant une procédure analogue à celle que nous

134 Jean Rondelet, *op. cit.* n. 90, t. III, p. 357.
135 *Ibid.*, t. III, pl. 92, figures 7, 8, 9.

avons utilisée pour la courbure des voûtains du transept[136]. Les deux cercles qui forment l'arc brisé du rouleau interne sont centrés sur l'horizontale des tailloirs des chapiteaux doubles des colonnes qui les supportent. Le rapport entre l'ouverture de l'arc et les rayons de ces cercles est[137] $\frac{3}{5}$. Cet arc peut donc être obtenu en divisant son ouverture en 5 parties et en prenant 3 de celles-ci comme rayon. On peut aussi partir du diamètre, en divisant ce dernier en 6 et en décalant les deux centres d'une de ces parties[138].

Quant à l'arc du rouleau externe, on voit que son ouverture vaut huit fois la distance des centres, et les rayons quatre fois et demi celle-ci[139]. On a un arc du même type que précédemment, où le diamètre est divisé en 9 parties égales. C'est bien le diamètre qui se divise : le rapport du diamètre à l'ouverture de l'arc est ici $\frac{9}{8}$, qui est le rapport musicalement associé au ton. Si on considère le rapport du rayon à la même ouverture, on obtient le rapport $\frac{9}{16}$, qui n'a pas d'interprétation si naturelle. D'une manière analogue, les proportions de l'arc interne, mesurées de même par le rapport du diamètre des cercles à l'ouverture de l'arc, sont données par le rapport $\frac{6}{5}$, qui correspond à une tierce mineure. Les dimensions relatives des deux arcs peuvent être mesurées par le rapport du diamètre de l'arc externe à l'ouverture de l'arc interne, qui est $\frac{4}{3}$, c'est-à-dire une quarte[140].

On avait vu que la largeur de l'arc interne, mesurée au niveau des tores inférieurs des bases des colonnes, pouvait valoir 13 pieds de Roi ou 14 pieds anglais. Cette largeur, qui est celle de l'ouverture de l'arc, est ici divisée cette largeur en 5, puis en 3 parties égales, pour réaliser ces proportions. Or ni 13 ni 14 ne sont divisibles par 3, ni par 5. Les dimensions de l'arc, bien que basées sur des rapports de nombres entiers, ne possèdent donc pas de module fondamental. Il n'y a aucune grille modulaire à la source de cette élévation, et ces dimensions n'ont pas été construites à partir d'une unité de mesure.

La situation est différente en ce qui concerne la coupole. Le profil de celle-ci n'est pas hémisphérique. Il est bien de révolution autour de l'axe vertical, mais sa hauteur est plus grande que celle qu'aurait une demi-sphère de même diamètre horizontal. On a vérifié à l'aide d'un modèle élastique simple, que cet écart ne pouvait pas résulter de l'affaissement des claveaux. Malgré la

136 *Cf.* annexe 3.C. Dans le cas présent, la procédure est plus simple, puisque l'on connaît l'axe des arcs. De plus, on se contente de donner des rapports de longueur. Je préfère en effet ne pas mentionner de mesure absolue, la mise à l'échelle du modèle numérique n'ayant pas pu être effectuée avec toute la précision souhaitable.

137 Plus précisément, pour les rapports de chacun des deux rayons à l'ouverture de l'arc, nous obtenons les valeurs 0,586 et 0,601.

138 *Cf.* plus haut et Fig. 66. Avec les notations utilisées alors, le présent arc correspond à $n=6$.

139 Toujours avec la méthode exposée en annexe 3, mais en imposant que les centres des cercles se trouvent au niveau des tailloirs des chapiteaux, on a obtenu, pour les rapports de l'ouverture de l'arc et de chacun des deux rayons à la distance entre les centres des deux cercle, les valeurs 7,991, 4,483, et 4,508.

140 À moins que l'on préfère le rapport de l'ouverture de l'arc interne au rayon de l'arc externe, qui est $3/2$ et correspond à une quinte. Les deux valeurs obtenues pour ce dernier rapport étaient 0,6679, et 0,6718, l'autre s'en déduit.

charge présente sur les reins, la déformation du profil conduit dans tous les cas à un abaissement du sommet de la coupole.

Les profils observés, quoique interrompus à la clef, sont bien des arcs brisés[141]. Le rayon des voûtains est de $4{,}97 \pm 0{,}03$ m , celui des nervures $4{,}90 \pm 0{,}04$ m . Les nervures mesurent donc 16 pieds anglais ou 15 pieds de Roi, alors que le rayon des voûtains n'a pas une mesure entière, quelle que soit l'unité[142]. On peut donc affirmer que le rayon des voûtains n'a pas fait l'objet d'une mesure en pieds.

L'écart entre les centres des nervures est 1,36 m pour l'une et 1,61 m pour l'autre[143]. La valeur en pieds de l'écart des centres tourne autour de 5, et ne paraît pas intentionnelle. L'écart entre ces deux valeurs est assez grand, parce que la croisée n'est pas exactement carrée. N'oublions pas que les murs ont été construits bien avant la construction de la coupole[144]. Les rayons des deux nervures sont les mêmes, la hauteur des arcs aussi : les constructeurs ont compensé la différence de longueur entre les deux diagonales du quadrilatère en jouant sur l'écart entre les centres. C'est un impératif technique évident qui impose l'égalité de la hauteur des arcs, celle des rayons pourrait ressembler davantage à un choix esthétique, à moins qu'une volonté de standardisation des claveaux soit à prendre en compte. Il leur était en tout cas impossible de réutiliser les cintres d'un arc pour l'autre, car avec la présence de l'oculus, il a été nécessaire de cintrer les deux nervures simultanément.

On a déjà donné les dimensions en plan de la croisée, en même temps que celles du transept, dans la section consacrée au croisillon sud. On y a vu que le plan du transept est fondé sur trois carrés de 22 pieds de côté entre murs, et 18 entre bases de colonnes, l'unité étant le pied de l'aune de Paris. Cependant l'ouverture interne des arcs de croisée peut valoir 13 pieds de Roi ou 14 pieds anglais, et les 22 pieds de l'aune de Paris sont fort proches de 20 pieds de Roi[96]. On a pris un ensemble de mesures en élévation, cependant rien ne permet d'affirmer que le niveau du sol actuel est le même que celui du sol médiéval. Il est donc préférable de raisonner sur des différences de hauteur. On observe, que la hauteur depuis les clefs des formerets jusqu'au haut de la coupole, juste au dessous de la nervure circulaire qui entoure l'oculus destiné au passage des cloches, est voisine de 4 pieds de Roi, la hauteur des tailloirs des colonnes d'angle à ces mêmes clefs, de 10, la hauteur des tailloirs à l'oculus, de 14 pieds. Mais la précision est fort mauvaise, et on peut aussi bien arrondir les mesures prises avec d'autres unités, avec la même précision. Cependant, ce ne serait pas le même niveau qui repérerait le sommet de la voûte dans les trois cas : avec le pied de Roi, c'est le sommet de la nervure, avec le pied de l'aune de Paris, le sommet des voûtains, et avec le pied

---

141 On a utilisé la même procédure que pour les voûtains du transept (*cf.* annexe 3), basées sur un modèle numérique tridimensionnel déterminé à l'aide du logiciel *Python Photogrammetry Toolbox*, à ceci près que le plan des cercles est connu *a priori*. On a essayé des profils parabolique et elliptique, l'arc brisé est plus satisfaisant. Cette procédure ne nous a cependant pas permis de déterminer la position des centres et les rayons avec suffisamment de précision, et nous avons dû introduire en outre l'hypothèse que les arcs sont centrés sur la ligne des tailloirs, pour parvenir à une précision suffisante.

142 Précisément, on obtient $15{,}08 \pm 0{,}12$ pieds de Roi, ou $16{,}07 \pm 0{,}12$ pieds anglais. Pour le rayon du voûtain on a 15,29 pieds de Roi, 16,72 pieds de l'aune de Paris ou 16,30 pieds anglais, avec une précision voisine. La précision donnée est l'écart-type des quatre valeurs mesurées.

143 L'écart entre les centres des nervures est donc de 4,19 et 4,94 pieds de Roi. L'écart entre les centres des cercles verticaux qui déterminent le profil du voûtain, mesuré le long des axes est-ouest et nord-sud, est très voisin de 3 pieds de Roi (3,07 et 2,96), mais on voit difficilement comment cela pourrait être autre chose qu'un hasard, si les rayons n'ont pas fait l'objet d'une mesure déterminée.

144 Voir à ce sujet l'étude de la salle haute de la tour, ci-dessous.

anglais, la trappe qui ferme l'oculus[145]. Or on a vu que le rayon des nervures seul pouvait avoir fait l'objet d'une mesure, soit en pieds de Roi, soit en pieds de l'aune de Paris. Il n'est pas très vraisemblable que le maître d'œuvre ait pu modifier soit l'unité, soit le choix de la surface qu'il utilise comme référence, entre l'établissement de la courbure de la coupole et celle de sa hauteur totale. Seules les mesures en pied de Roi ont donc des chances d'être significatives. De plus, la largeur totale des piles, c'est-à-dire l'épaisseur des murs, est de 5 pieds de Roi[146].

On a laissé de côté les hauteurs mesurées depuis le sol du transept. L'ensemble de ces mesures est cependant assez cohérent, les tailloirs s'élevant à 36 pieds de Roi, la clefs des formerets à 46, la base de l'oculus à 50[147]. Ces valeurs s'accordent bien avec l'hypothèse de mesures effectuées en pied de Roi, et seraient alors un indice de ce que le niveau du sol actuel pourrait être celui du sol médiéval.

On peut évaluer la longueur de la diagonale du carré que forme la croisée, elle vaut environ 28 pieds de Roi, alors que le côté vaut 20 pieds[148] . On sait qu'une approximation usuelle et connue anciennement du rapport $\sqrt{2}$ entre ces deux longueurs est $\frac{7}{5}$. On voit que l'emploi de cette approximation est compatible avec les valeurs de ces mesures en pieds, sans qu'il soit possible d'affirmer davantage.

---

145 On a considéré les mesures suivantes : depuis le sol, jusqu'à la clef des formerets, jusqu'aux tailloirs des colonnes d'angle, jusqu'au dessous de la nervure de l'oculus, jusqu'au voûtain juste à côte de celui-ci, et jusqu'à la trappe de bois qui le ferme. Puis on a calculé les différences entre ces quantités, pris la moyenne de ces différences sur les quatre faces de la croisée (en incluant les corrections correspondant aux dénivellations du sol). Les valeurs de ces longueurs dans différentes unités sont résumées dans le tableau suivant :

	trappe - clef	trappe - tailloir	oculus - clef	oculus - tailloir	voûtain - clef	voûtain - tailloir	clef - tailloir
m	1,53	4,82	1,328	4,62	1,455	4,75	3,29
pied de Roi	4,70	14,84	4,09	14,22	4,48	14,62	10,14
pied de l'aune de Paris	5,14	16,23	4,47	15,55	4,90	15,98	11,08
pied anglais	5,01	15,82	4,36	15,16	4,77	15,58	10,80

La précision est assez mauvaise, et le nombre de valeurs fortuitement proches d'un entier est assez grand. En admettant que les mesures pertinentes sont entières, on peut observer, si l'on suppose que l'unité est

- le Pied de Paris : on compte 10 pieds des tailloirs à la clef des formerets, 4 de ces clefs à l'oculus, 14 de l'oculus au tailloir. La hauteur de la voûte est repérée par la nervure.
- le pied de l'aune de Paris : on compte 11 pieds des tailloirs à la clef des formerets, 5 de ces clefs au sommet des voûtains, 16 pieds des tailloirs au sommet des voûtains. La hauteur de la voûte est repérée par les voûtains.
- le pied anglais : on compte 11 pieds des tailloirs à la clef des formerets, 5 de ces clefs à la trappe, et 15 pieds des tailloirs à l'oculus, ou 16 pieds des tailloirs à la trappe. On n'obtient un ensemble cohérent que si la hauteur de la voûte est repérée par le niveau de la trappe.

146 On a mesuré en moyenne $1{,}61 \pm 0{,}02\,\text{m}$, qui font $4{,}97 \pm 0{,}06$ pieds de Roi. Mentionnons aussi que la largeur des socles des colonnes vaut 4,5 pieds de l'aune de Paris ($1{,}34 \pm 0{,}025\,\text{m}$ qui font $4{,}51 \pm 0{,}08$ pieds). Est-ce purement fortuit ?

147 Les quelques mesures prises en hauteur donnent, en moyenne et à partir du sol du transept :

Il faudrait donc envisager que la croisée ait été construite en premier lieu en utilisant le pied de Roi, puis que l'unité de mesure ait été modifiée. Le nouveau maître d'œuvre mesurant la croisée avec sa propre mesure, qui était le pied de l'aune de Paris, aurait trouvé 22 pieds, puis aurait établi le plan du croisillon sud sur cette base.

Les conclusions données par l'analyse métrologique sont bien fragiles, mais il semble que l'idée que des unités de mesure aient été utilisées dans l'établissement du plan et de l'élévation reste pertinente, mais qu'il ne faut pas imaginer que l'unité de mesure utilisée ait été la même du début à la fin du chantier.

Il faut remarquer cependant que cette analyse ne tient pas compte du fait que la coupole a été construite *a posteriori*, avec une élévation plus grande que celle qui était prévue initialement. Il n'est cependant pas invraisemblable qu'elle soit antérieure aux voûtes du transept. La finesse de ses nervures ne doit pas être considérée comme un signe d'ancienneté très significatif : on a ici une vraie coupole, de révolution autour d'un axe vertical et appareillée en conséquence, alors que les voûtes du transept ont des voûtains cylindriques, qui montrent une certaine indépendance entre la géométrie du voûtain, celle des murs et des nervures, et l'appareil, qui relève de la voûte à croisée d'ogives.

4.E. Analyse mécanique

Il s'agit d'étudier le fonctionnement mécanique de la coupole nervée.Nous avons tracé l'épure de Méry pour un arc en plein cintre de diamètre égal à la portée des ogives de la celle-ci[149] (Fig. 79a). Selon cette approche, l'épaisseur minimale que doit avoir l'arc pour que la courbe des pressions n'en sorte pas est de 47 cm pour une diagonale, 49 cm pour l'autre. On a de même déterminé l'épaisseur minimale d'un arc brisé dont le rayon d'intrados et écart des centres ont les valeurs qu'on a mesurées pour les ogives de la coupole[150] (Fig. 79b), on a obtenu 40 cm et 42 cm pour les deux arcs. Enfin, en utilisant l'approche de l'épure de Méry pour une coupole, qui traite celle-ci comme la juxtaposition d'arcs occupant chacun un petit secteur angulaire (découpe en "quartiers d'oranges"), que l'on suppose totalement indépendants les uns des autres, on a obtenu pour le voûtain dont l'épaisseur d'intrados est 4,90 m, et une distance des centres de 1,5m, une épaisseur minimale de 35 cm (Fig. 79c).

Cependant, nos mesures prises sur l'édifice nous ont amené à estimer l'épaisseur du voûtain au

	m	pied de Roi	pied de l'aune de Paris	pied anglais
hauteur des colonnes (tailloirs) (t)	11,63	35,82	39,16	38,17
clef des formerets (f)	14,94	45,98	50,27	49,01
base de l'oculus de la coupole (o)	16,27	50,10	54,77	53,39
$o-f$	1,34	4,11	4,50	4,38
hauteur des formerets ($f-t$)	3,30	10,15	11,10	10,82

148 Le côté du carré est 6,54 m, et donc la diagonale mesure $6{,}54\times\sqrt{2}=9{,}25\,\text{m}$, c'est à dire 28,47 pieds de Roi, 31,13 pieds de l'aune de Paris ou 30,34 pieds anglais.

149 C'est-à-dire 4,22 m pour l'une et 4,095 m pour l'autre. Le tracé a été effectué à l'aide du procédé numérique détaillé en annexe 4.

150 C'est-à-dire un rayon d'intrados de 4,90 m et un écart des centres $2a_0=1{,}36$ pour une diagonale, $2a_0=1{,}61$ pour l'autre.

voisinage du trou de passage des cloches à 11 cm, alors que la mesure de la saillie des nervures sur le voûtain a donné 13 cm. On est loin du compte. Les ogives n'ont donc à leur sommet que 24 cm d'épaisseur, moins des $2/3$ du minimum nécessaire pour un arc d'épaisseur constante se portant seul et sans traction. Ainsi ces arcs, quoique participant à la stabilité de la structure, ne pourraient pas se porter sans le reste de celle-ci.

Il nous est impossible de déterminer la structure interne de la coupole, en particulier nous ignorons si le remplissage des reins de la voûte est fait de maçonnerie ou de simples gravats. La position de l'extrados à l'intérieur de ce remplissage est inconnue, son existence même est incertaine. Cependant, le module de l'appareil de la coupole paraît uniforme sur la surface de son intrados, ont peut raisonnablement penser que cette assise inférieure a donc une épaisseur constante. L'analyse utilisant l'épure de Méry montre qu'une coupole d'épaisseur constante 11 cm fonctionnant comme la juxtaposition d'arcs indépendants[151] ne serait pas stable, l'épaisseur serait en effet beaucoup trop faible. Mais l'approche utilisant les équations de l'élasticité montre que la résistance mécanique d'un voûtain d'épaisseur constante ne pose pas de difficulté, sauf au voisinage du trou de passage des cloches (*cf. infra*). On en déduit donc que la coupole réduite à son assise inférieure, a pu exister indépendamment du remplissage de ses reins, mais que celle-ci fonctionne alors comme une membrane à deux dimensions, en opposition avec les conclusions de R. Mark concernant le Panthéon de Rome.

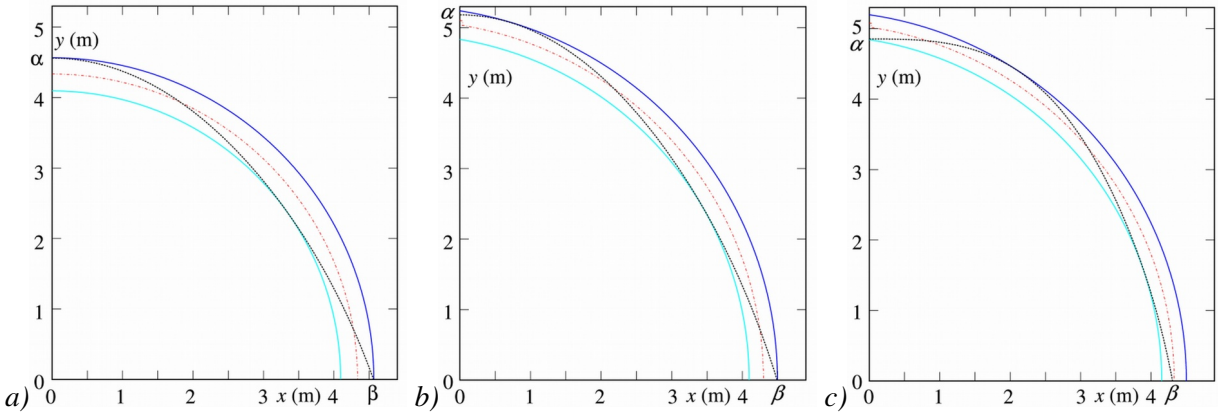


Figure 79. Épures de Méy: a) arc en plein cintre b) arc brisé c) secteur de coupole en arc brisé.

Venons-en à l'analyse à l'aide du modèle élastique. Utilisant la symétrie de la coupole, on n'a modélisé qu'un quart de celle-ci. On a évalué l'épaisseur du voûtain au voisinage de l'oculus à l'aide des mesures effectuées à partir du sol. La différence entre la hauteur des voûtains et celle de la planche qui ferme le trou de passage des cloches n'est que de 7cm. Selon le devis de 1832, cette trappe devrait mesurer 4 cm d'épaisseur, ce qui donne un total de 11 cm. On a considéré un premier modèle comportant un voûtain de révolution autour de l'axe vertical, et dont le profil est en arc brisé, comme le profil réel. On l'a supposé d'épaisseur constante ; il est impossible de vérifier si une couche de maçonnerie de cette épaisseur a existé.

Un deuxième modèle comporte en outre la nervure, dont on a simplifié le profil composé de deux tores en un profil rectangulaire. La courbure utilisée est la moyenne ce celles qu'on a mesurées pour les deux nervures. Figure aussi dans ce modèle la nervure annulaire qui entoure le trou de passage des cloches, dont le profil a lui aussi été simplifié en un profil de section

151 Rappelons que, selon R. Mark, c'est là le fonctionnement des coupoles romaines, ou au moins de celle du Panthéon (*cf.* notre première partie, 3. La théorie des voûtes, 5.B., et n. 396, 397).

approximativement rectangulaire, défini de façon à ce que les jonctions des deux nervures soient lisses.

On a ensuit ajouté à ces deux modèles un volume correspondant au remplissage des reins, jusqu'à un niveau que l'on a défini comme étant celui de l'intrados du voûtain à la limite du trou de passage des cloches. Une dernière addition a été celle des murs de la tour. On leur a donné l'épaisseur que l'on a mesurée, mais on n'a pas essayé de rendre compte de leurs baies, ni de leur élévation totale : le modèle ne descend pas en-dessous de la base des nervures, et s'arrête peu au-dessus du remplissage (5 m plus haut).

Les conditions aux limites utilisées au sol et sur les plans de symétrie sont les mêmes que pour le transept[152], il faut en outre préciser, dans le cas où le mur n'est pas modélisé, comment la maçonnerie se raccord à celui-ci. Les conditions choisies[153] correspondent à un voûtain pouvant glisser sans frottement le long d'un mur parfaitement rigide.

Dans le modèle sans nervure, sans mur, et avec remplissage, le poids de la voûte et du remplissage qu'elle porte reposent entièrement sur une très petite section, c'est là que les compressions vont atteindre leurs valeurs maximales. Celles-ci sont de l'ordre de $8{,}9\,\mathrm{MPa}$, et se rapprochent donc de la limite de résistance à la compression du tuffeau, que l'on a estimée à 9 à 10 MPa. Pour tous les autres modèles, les valeurs sont bien plus réalistes, et bien en-dessous de cette limite.

Dans le modèle avec mur, la compression maximale au sol est $\sigma_1 \simeq -95\,\mathrm{kPa}$, deux ordres de grandeur au-dessous de la limite de rupture. Le poids des 5 m de mur modélisés crée une compression de 69 kPa, soit plus de 3/4 du total. Le poids de la voûte risque en aucune façon d'engendrer un rupture par écrasement.

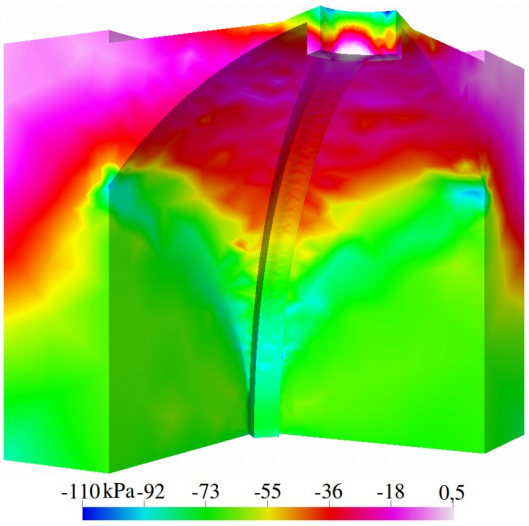


Figure 80. Modèle de la coupole de croisée, compressions : La contrainte principale minimale σ_1.

152 C'est-à-dire : dans la face qui est au sol, on suppose que le déplacement est nul ; dans chaque plan de symétrie, on suppose que le déplacement reste dans ce plan, que les forces sont perpendiculaires à celui-ci.

153 Ces conditions aux limites sont les suivantes : pas de déplacement perpendiculaire au mur, et pas de force parallèle à celui-ci, c'est-à-dire les mêmes conditions que dans les plans de symétrie.

La figure 80 montre l'intensité des compressions dans le modèle avec nervures, remplissage, mur ; Les plus grandes sont de l'ordre de 80 à 90 kPa, et apparaissent dans la nervure qui entoure le trou de passage des cloches, à la jonction de l'ogive et du voûtain, et aux clefs des formerets.

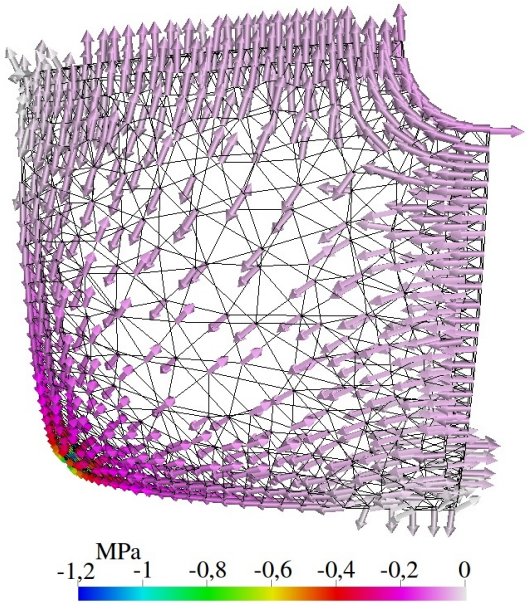


Figure 81. Coupole de croisée, modèle comprenant le voûtain seul : la direction des compressions maximales. Les flèches représentent la direction propre associée à la contrainte principale minimale σ_1 et leur couleur la valeur de celle-ci.

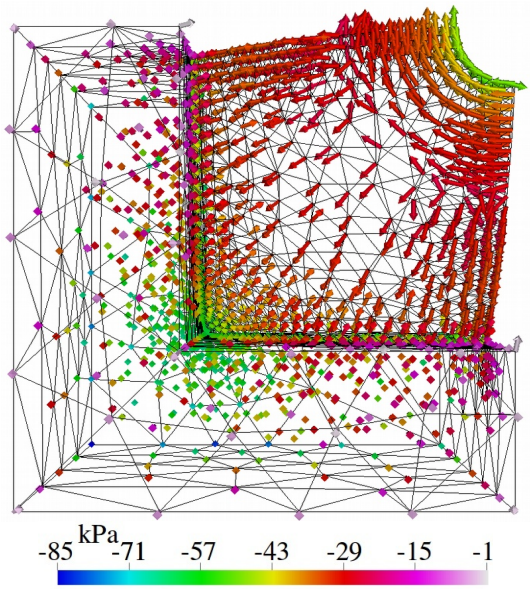


Figure 82. Coupole de croisée, modèle comprenant le voûtain et le mur : la direction des compressions maximales. Les flèches représentent la direction propre associée à la contrainte principale minimale σ_1 et leur couleur la valeur de celle-ci.

Les lignes de contraintes sont très différentes suivant qu'on autorise ou non le glissement le long du mur, comme on peut le voir sur les figures 81 et 82. Les compressions dirigées vers l'angle dans le premier cas, sont radiales dans le second. On voit ainsi que si la coupole repose sur les murs, son comportement mécanique est essentiellement le même que celui d'une coupole reposant sur un tambour cylindrique, alors que si elle ne repose que sur les quatre piliers d'angle, ce comportement devient radicalement différent. Ici il n'y a pas lieu de supposer que la coupole puisse glisser le long du mur ; en effet les formerets, nettement définis et bien appareillés quoique ne dépassant pas du volume du voûtain, paraissent solidement ancrés dans celui-ci. La coupole s'appuie donc de façon importante sur le mur, et les compressions principales y sont conformes à son appareil.

Les compressions sur le pourtour du trou de passage des cloches, déjà appréciables sans le poids du remplissage (*cf.* Fig. 82), deviennent importantes avec celui-ci[154]. Quand on prend en compte les nervures, cette compression a tendance à augmenter. On observe aussi des tractions relativement importantes à la la jonction entre l'ogive et la nervure annulaire[155]. Le comportement de cet élément dépend du détail de sa forme, que le modèle ne reproduit pas exactement[156].

---

154 La contrainte principale minimale σ_1 est de l'ordre de 70 à 75 kPa. La modélisation suppose que le remplissage est rigide, ce qui n'est peut-être pas le cas en réalité. On s'attend à ce que l'effet de son poids soit encore accru si le remplissage est moins rigide que dans le modèle.

155 On a dans ce cas des valeurs de σ_1 jusqu'à -80, -90 kPa, et $\sigma_3 \simeq 18$ kPa .

156 En particulier, on a utilisé par commodité dans le modèle des nervures de section carrée ou

L'intensité et la répartition exacte de ces effets de concentration de contrainte au niveau de la nervure annulaire, et de sa jonction avec les ogives, ne sont sans doute pas décrites correctement par le modèle, cependant on peut affirmer que cet élément est effectivement soumis à des contraintes relativement importantes, et que son profil et la qualité de son appareil sont loin d'être indifférents.

On voit apparaître des tractions assez importantes entre le remplissage et le mur, un décollement (difficile à modéliser mais sans conséquence) peut être à prévoir à ce niveau. Cependant, un calcul complémentaire, avec une hauteur de mur un peu plus élevée, montre que ces tractions sont moins localisées, et par conséquent moins intenses, dans ce deuxième cas. Elles sont donc, en partie au moins, introduites par le modèle numérique.

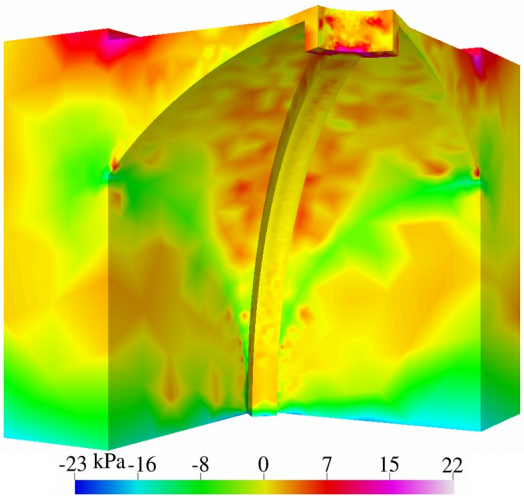


Figure 83. Modèle de la coupole de croisée, tractions : La contrainte principale maximale σ_3.

Les compressions dans la nervure sont longitudinales. On observe quelques tractions à la jonction de la nervure et du voûtain, qui restent assez faibles, et diminuent encore en présence du remplissage[157]. Dans les deux tiers inférieurs de la nervure, ces tractions suivent des cercles centrés sur l'axe de la coupole, dans le tiers supérieur, elles sont perpendiculaires à l'intrados du voûtain. La forme des claveaux de la coupole de la tour Saint Aubin d'Angers leur permet de résister à la traction transversale, parallèle aux joint, par le frottement de la longue queue du claveau le long de ces joints, et à l'arrachement, par ce même frottement et par la forme en queue d'aronde de la partie la plus étroite de la queue.

Il faut noter que c'est dans le bas de la nervure que la compression longitudinale est importante, et là le frottement seul est utilisé, alors que dans le haut la compression diminue et donc le frottement aussi, une queue d'aronde est utilisée à ce niveau. La forme de ces claveaux est donc remarquablement adaptée aux contraintes qui s'y appliquent. Par ailleurs, la comparaison des modèles avec et sans nervure ne donne pas l'impression que le rôle mécanique de l'ogive soit important, si ce n'est relativement à la nervure annulaire. Un renforcement du bord du trou était nécessaire, et les constructeurs ont choisi de le réaliser à l'aide d'une nervure saillante. Les calculs

---

rectangulaire, alors que la nervure qui entoure le trou des cloches est constituée d'un tore, et les ogives de deux tores juxtaposés.

157 La contrainte principale maximale σ_3 est de l'ordre de 10 kPa sans le remplissage, et diminue à 2 à 3 kPa avec celui-ci.

montrent que cette nervure est soumise à des contraintes importantes, compressions à sa partie supérieure et tractions à sa partie inférieure. La présence de l'ogive permet de réduire ces dernières.

Pour confirmer ce point, on a réalisé quelques calculs à l'aide d'un modèle comprenant la nervure annulaire mais pas l'ogive. En l'absence de remplissage, on constate que la compression qui s'exerce à l'angle extérieur du mur est un peu plus élevée sans l'ogive qu'avec celle-ci[158]. Mais la différence la plus importante apparaît dans la nervure annulaire, qui est presque entièrement soumise à des tractions de l'ordre de 20 kPa en l'absence de l'ogive, alors qu'elles n'atteignent des valeurs de cet ordre que de façon très localisée quand on en tient compte. Les résultats obtenus avec le remplissage sont présentés sur la figure 84 ; ils aboutissent à des conclusions analogues.

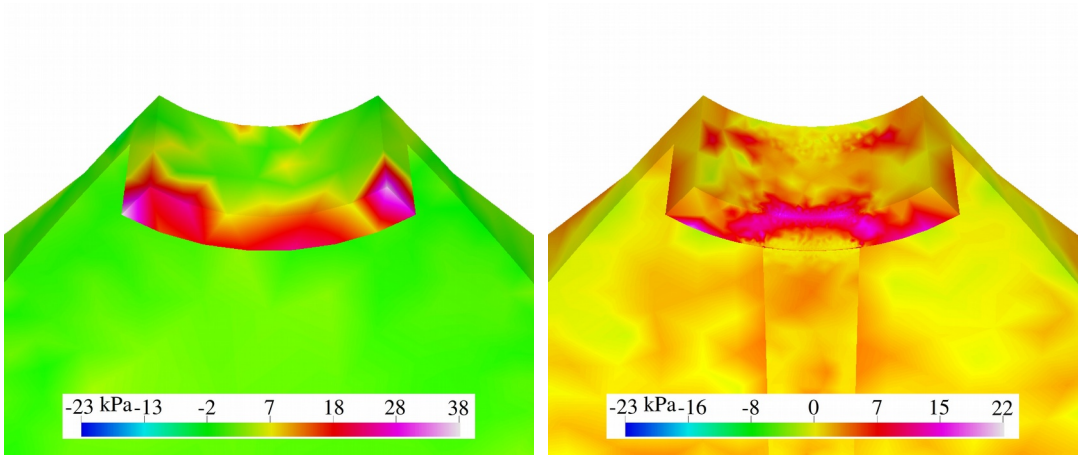


Figure 84. Modèle de la coupole de croisée : les tractions dans la nervure annulaire qui entoure le trou des cloches, avec et sans l'ogive. La contrainte principale maximale σ_3.

Il ressort de cette analyse que la nervure annulaire qui entoure le trou de passage des cloches subit des efforts importants, et que la présence de la nervure diagonale réduit ceux-ci appréciablement.

On a aussi cherché à déterminer l'influence de la brisure de l'arc, en comparant les efforts qui apparaissent dans la coupole à ce qu'ils seraient pour une coupole hémisphérique. Nous avons comparés les résultats donnés par différents modèles, comprenant tous le mur, le voûtain, mais pouvant ou non intégrer le remplissage des reins de la voûte et les nervures.

C'est à nouveau au niveau du trou de passage des cloches que les différences apparaissent. Les compressions qui apparaissent à ce niveau dans le modèle comprenant le voûtain seul, sont plus importantes dans le cas de la coupole hémisphérique que dans celui de l'arc brisé[159]. Si on prend en compte les nervures, on observe la même tendance. De plus, des tractions apparaissent à la base de la nervure circulaire qui l'entoure. À nouveau celles-ci sont plus modérées dans la voûte en arc brisé[160]. L'ajout du remplissage réduit les tractions dans les deux cas, mais celles-ci sont toujours

158 On obtient $\sigma_1 = -87\,\text{kPa}$ sans l'ogive, $\sigma_1 = -75\,\text{kPa}$ avec celle-ci.

159 Les compressions (contrainte principale minimale σ_1) au niveau du trou ne dépassent pas -51 kPa dans le cas de l'arc brisé, mais atteignent -70 kPa dans celui de la coupole hémisphérique.

160 Alors que les tractions (contrainte principale maximale σ_3) atteignent couramment 15 kPa dans la coupole hémisphérique, ces valeurs n'apparaissent qu'exceptionnellement dans la voûte en arc brisé. La situation s'inverse cependant pour les compression maximales (contrainte principale minimale σ_1) qui apparaissent en conséquence de la concentration de contraintes à la jonction des nervures : celles-ci atteignent -160 kPa dans le cas de la voûte hémisphérique, et presque -190 kPa dans celui de la voûte en

moindres dans le cas de l'arc brisé[161].

Dans tous les cas, les contraintes importantes, traction et compression élevées, apparaissent essentiellement au niveau du trou de passage des cloches, et on s'aperçoit que tous les éléments, nervures, remplissage des reins, brisure de l'arc, ont pour effet de réduire ces contraintes. Le seul élément dont l'effet dans ce sens est discutable est la nervure circulaire qui entoure l'orifice elle-même : c'est l'élément dont la fonction de renfort du trou est la plus évidentes, mais c'est le seul dont l'efficacité n'apparaisse pas dans ces calculs. Elle est bien réelle cependant, même si on peut penser au vu des résultats qu'une nervure non débordante aurait été plus efficace. On peut penser que le fait de rendre cette nervure apparente procède essentiellement d'un choix esthétique, mais que les autres détails constructifs de la coupole sont motivés par des raisons mécaniques.

arc brisé. On peut cependant douter que ces valeurs extrêmes et très localisées soient significatives.

161 Les tractions (contrainte principale maximale σ_3) varient de 5 à 25 kPa à la base de la nervure annulaire dans le cas de la coupole hémisphérique, et de 0 à 15 kPa dans celui de l'arc brisé.

5. Nef

5.A. Généralités - Introduction

La nef unique se compose de deux travées couvertes de voûtes sur croisées d'ogives fortement bombées (Fig. 85). Celles-ci sont éclairées par des fenêtres doubles hautes et étroites, encadrées de colonnettes engagées et terminées par des arcs à double rouleau en plein cintre, du moins dans leur état actuel. L'élévation nord de l'église dessinée par Duvêtre montre en effet des arcs brisés dans la travée occidentale. Les murs, construits dans en bel appareil de tuffeau de moyen module comme le reste de l'église, ne comportent actuellement aucune décoration. Un dessin du comte de Galembert[162] reproduit une peinture murale retrouvée lors des restaurations, et en mentionne d'autres, mais aucune trace ne subsiste de celles-ci. Les deux travées sont séparées par deux faisceaux de colonnes qui soutiennent les ogives et un fort doubleau légèrement brisé. La façade occidentale a été fortement remaniée au XIX^{e} siècle, notamment par l'établissement d'un portail sculpté à l'imitation de celui de la salle capitulaire de Saint-Aubin d'Angers et d'une fenêtre géminée.

Figure 85: La travée orientale de la nef.

Pendant que la commune se chargeait de la restauration extérieure de la nef, la fabrique s'est chargée de celle de l'intérieur[163]. Deux devis on été transmis simultanément par Louis Duvêtre en janvier 1868[164], les travaux ont été achevés fin 1870[165]. La plus grande partie du devis des "travaux et restaurations à exécuter pour l'extérieur des façades principales et latérales de la nef de l'église de Brion" concerne l'érection de la façade néo-romane avec son portail copié de celui de la salle capitulaire de Saint-Aubin. L'état original de la façade est donné par deux dessins de Duvêtre, un pour l'intérieur et l'autre pour l'extérieur, et par un dessin de Galembert[166] qui, quoique daté de

162 Archives du Maine-et-Loire, Coll. iconographique C. Port, n° 11 Fi 3075, *cf.* dossier, Fig. 135.

163 Conseil de Fabrique du 28 avril 1867 (Archives diocésaines d'Angers, OP 41). La décision est dans le cahier des délibération du conseil de fabrique (Archives diocésaines d'Angers, P 251, année 1867).

164 Pour l'intérieur on a le devis du 29 janvier 1868, 3734,96 F, et pour l'extérieur le document de réception du 28 janvier 1871, qui contient le métré (9817,66 F) et l'avant-métré (10896,72 F).

165 En ce qui concerne l'extérieur. Les documents conservés aux archives du Maine-et-Loire ne permettent pas d'avoir la date exacte de la fin des travaux intérieurs, mais elle est vraisemblablement voisine.

166 Archives du Maine-et-Loire, Coll. iconographique C. Port, n° 11 Fi 3071.

1873, c'est-à-dire après les travaux, montre la façade de l'église avant ceux-ci (*cf.* dossier, Figs. 126, 127 et 131).

Les comptes de la fabrique[167] indiquent pour l'année 1870 un montant de 3700 F de réparations, plus 11 985 F pour un nouvel autel en pierre sculptée, des confessionnaux assortis, des bancs supplémentaires, et du carrelage[168]. L'autel en pierre sculptée par M^r^ Bariller, d'Angers, est visible sur les cartes postales anciennes mais a été démonté au XX^e^ siècle. Les confessionnaux du même artiste sont toujours en place. En 1871, il y a à nouveau 5238 F de frais, dont 1320,15 F de vitraux et 230 F de peinture des clefs de voûte. Les frais paraissent bien s'arrêter là : les comptes ne mentionnent plus que les dépenses ordinaires et le remboursement de l'emprunt de 10 000 F souscrit pour ce mobilier après 1872. Le registre des délibérations du conseil de fabrique donne quelques précisions supplémentaires[169]. Dans les comptes de 1871 et 1872, tout semble concerner les nouveaux aménagements, sauf un montant de 3903,04 F au titre de "Roger entrepreneur devis"[170], Des vitraux très simples, du verre blanc losangé avec une filet bleu, étaient prévus dans le devis de 1870. Les vitraux effectivement réalisés et actuellement en place sont bien plus luxueux : on a mis un vitrail historié à l'ouest et des décors géométriques au nord et au sud[171].

La nef n'était pas carrelée avant le début du XIX^e^ siècle, jusqu'au moment où des bancs ont été placés, pour que leur location fournisse des revenus à la fabrique. Les colonnes ont d'ailleurs été endommagées à l'occasion du placement de ces bancs[172].

5.B. Toitures

La toiture de la nef a été restaurée dans la même campagne de travaux que le croisillon sud, (1861-1863). Le devis de 1861 précise que "les fermes du comble sont en bon état, seule la toiture laisse à désirer". Le document de réception de 1863 ne laisse aucun doute sur le fait que la corniche a été intégralement refaite, cependant, en comparant l'élévation nord de Duvêtre avec l'état actuel, on constate que sa position n'a pas été modifiée.

L'accès au comble de la nef, et surtout son éclairage, sont limités pour la protection de chauve-

---

167 Registre des délibération du conseil de fabrique, année 1871, et budget de l'église de Brion pour l'année 1870 ; Archives diocésaines d'Angers, cotes respectives P 251 et OP 41.

168 Ces chiffres sont ceux du budget prévisionnel. Les sommes effectivement payées sont 3903,04 F et 12 011,76 F, à quoi il faut ajouter 1270,38 F de vitraux.

169 Les comptes de fabrique ne donnent que le montant total des dépenses, opérations financières et dépenses liturgiques avec les réparations de l'église, pour l'exercice achevé. Les dépenses de 1872 n'étaient pas prévues au budget. Le registre des délibérations du conseil de fabrique mentionnent, pour l'année 1870, la décision de faire un l'emprunt de 10 000 F, et pour les années 1871 et 1872, un peu plus de détail des comptes : le montant pour chaque entrepreneur.

170 Les "travaux supplémentaires" payés à Roger (745,75 F) sont vraisemblablement la maçonnerie liée à l'installation des meubles, et les "sculptures d'intérieur" de Bariller (1506,64 F) concernent très vraisemblablement les confessionnaux et le nouvel autel. Les honoraires de Duvêtre (5% de 11 940 F) portent sur l'ensemble de la facture de "mobilier".

171 Le montant qui apparaît dans les comptes de 1871 et 1872 du registre du conseil de fabrique est de 1270,38 F en 1871 et 1320,15 F en 1872, ce dernier explicitement pour la façade. Les vitraux et apparaissent pour 844,25 F dans le document de réception de 1871. La municipalité a sans doute voulu s'en tenir au montant prévu initialement.

172 *Archives de Brion*[4], p. 281. La date n'est pas donnée explicitement, mais les faits mentionnés sur la page suivante (p. 282) sont datés de 1816-1817, et l'ouvrage suit en général l'ordre chronologique.

souris qui y logent, ce qui rend l'étude plus difficile. La charpente actuelle présente manifestement des éléments anciens. L'extrados des voûtes arrive à une hauteur appréciable dans le comble, si bien qu'il a fallu construire un escalier de 7 marches pour passer par-dessus. Entre les deux voûtes, et entre celles-ci et la façade d'une part, le clocher d'autre part, on a pu placer des fermes dont l'entrait est noyé dans le remblai qui couvre le sol. Mais au niveau du bombement le plus important des voûtes, les pannes sont posées sur la maçonnerie, par l'intermédiaire de piles en tuffeau de $60 \times 60 \times 60$ cm (Fig. 86) pour celles du bas, de poteaux verticaux plantés dans les voûtes pour celle du haut.

La coupe est-ouest de Duvêtre (*cf.* dossier, Fig. 125) montre la position des entraits des fermes, faîtière, pannes et sablières, et chevrons à l'exclusion des autres pièces de charpente. La forme actuelle du pignon peut être comparée à l'ancienne à l'aide de son élévation ouest (*cf.* dossier, Fig. 126). On observe que les entraits reposaient (pour 4 d'entre eux sur 6) directement sur l'extrados de la voûte, et n'ont donc vraisemblablement pas changé de position. Un mur d'épaisseur plus faible que le gouttereau lui-même et surmontant celui-ci supportait les sablières[173]. Ce mur, qualifié d'"exhaussement disgracieux" par Duvêtre[174] a été démoli lors de la restauration. Le faîte du toit a été abaissé d'environ 1,45 m en même temps.

L'observation de la charpente, jointe à celle des dessins de Duvêtre, permet de comprendre comment elle a été modifiée assez profondément, tout en réemployant au maximum les bois et leur façonnage. Pour abaisser le faîte, il fallait recouper les poinçons. Les arbalétriers, dont l'extrémité inférieure ne pouvait pas être déplacée, devenaient trop longs, et il fallut les recouper aussi. Les restaurateurs ont de plus trouvé un moyen de réutiliser les contrefiches, sans avoir à refaire les tenons et mortaises correspondantes, en descendant le poinçon de la hauteur adéquate (ce qui impliquait de le recouper aux deux extrémités). Les fermes ainsi obtenues auraient eu l'angle recherché mais elles se trouvaient placées trop bas. En effet, la charpente d'origine comportait une rupture de pente, et de longs coyaux[175], et l'angle des fermes était plus bas que le faîte du mur. Après suppression totale des coyaux, l'angle extérieur des murs a été abattu, mais il manquait encore une vingtaine de centimètres. Cette hauteur supplémentaire a été obtenue en rajoutant un deuxième arbalétrier, neuf, au dessus de l'ancien et le doublant. Les vieux arbalétriers ont été coupés à une assez grande distance du faîtage. La charpente ancienne comportait un sous-faîte, qui est conservé, mais se trouve actuellement à une assez faible distance du faîtage. Les mortaises des contrefiches qui portaient au-dessus du sous-faîte ont été réutilisées pour les extrémités supérieures des arbalétriers neufs.

Quant aux supports qui remplacent les fermes au droit des clefs de voûte, il est assez difficile de déterminer s'ils sont anciens ou non. On a peine à croire qu'une telle disposition ait été introduite par les restaurateurs, mais une confirmation de l'ancienneté du dispositif manque. Les poteaux verticaux reposant sur la voûte, s'ils sont anciens, ont nécessairement été recoupés. La panne inférieure se trouve à peu près au niveau de l'ancienne sablière, et pourrait éventuellement être confondue avec elle sur la coupe nord-sud de Duvêtre. Les chevrons représentés sur ce dessin ne descendent pas plus bas, mais le relevé ne présente pas toutes les pièces de la charpente. Rien ne

173 À l'aide des dessins de Duvêtre, on peut évaluer la hauteur de ce mur à environ 1,5 m. Le devis de 1861 prévoyait une démolition sur 1,6 m de haut, et une épaisseur de 60 cm. Il faut cependant noter que la corniche (qui a été refaite mais n'a pas changé d'emplacement) se trouve environ 1,1 m plus bas, ce qui mène à une hauteur totale de la corniche à la base du toit d'environ 2,6 m.

174 Devis de 1861, exposé.

175 Les coyaux occupent environ les 2/3 de la hauteur totale de la toiture.

s'oppose à ce qu'une panne ait existé à ce niveau avant les restaurations ; son emplacement serait très voisin de celui de la panne actuelle, et il n'est donc pas exclu que les supports de maçonneries soient anciens, même s'ils ont dû être quelque peu modifiés lors de la restauration.

On peut ainsi se faire une idée de la charpente qui existait avant 1861, dont un nombre appréciable de pièces sont conservées, quoique mutilées. Si on prolonge la pente de la partie haute de l'ancienne toiture, l'extrémité des pentes aboutit bien en-dessous (90 cm environ) des anciennes corniches représentées sur l'élévation nord de Duvêtre. Il est donc exclu que les fermes qui existaient en 1860 aient pu porter une toiture sans rupture de pente, et sans coyaux. On peut imaginer que ces mêmes fermes aient initialement porté des coyaux plus courts qui reposaient sur les corniches, et que l'allongement des coyaux et l'exhaussement des murs a résulté d'une modification ultérieure.

Une première hypothèse consiste à ajouter foi à la tradition selon laquelle cet exhaussement proviendrait d'une fortification de l'église pendant la guerre de Cent Ans. Les mur situés au-dessus de la corniche auraient eu pour but de créer un crénelage à but défensif, et l'allongement des coyaux ne sert qu'à s'y adapter. Dans cette situation, il serait tout à fait possible qu'une charpente présentant des coyaux plus court ait préexisté. Cependant, quoique l'exhaussement des murs soit de environ, les corniches anciennes se trouvaient plus d'un mètre au-dessous des entraits, qui fixent le niveau du sol du comble[176], et la hauteur totale du muret crénelé serait tout au plus 1,50 m, ce qui est bien peu.

Une seconde hypothèse consisterait à rejeter cette tradition, et à considérer que l'exhaussement des murs est la conséquence d'une réfection de la charpente, la nouvelle charpente étant d'emblée conçue avec cette rupture de pente et ces longs coyaux. Le dessin de la façade occidentale par le comte de Galembert (*cf.* dossier, Fig. 131) montre un pignon appareillé, dont les rampants sont maçonnés et ornés de crochets, et qui présente la même rupture de pente. L'élévation de Duvêtre confirme ce dessin, à ceci près qu'elle ne montre pas l'appareil. Cette seconde hypothèse semble bien plus probable que la première. La forme et décoration de ce pignon permettent de situer son érection entre le milieu du XIII^{e} siècle et la fin du XV^{e}, mais la qualité du dessin n'est pas suffisante pour permettre de préciser davantage.

Il est raisonnable de penser que la toiture initialement prévue sur la nef aurait dû reposer directement sur les corniches à modillons. Les fermes d'une telle charpente ayant difficilement pu reposer ailleurs que sur le mur sur lequel reposent les fermes actuelles, cette toiture aurait nécessairement eu un volume très voisin de celle construite par Duvêtre. Mais rien n'assure que cette charpente ait été effectivement construite.

Que ce soit une construction ou une réparation, une charpente est construite après le milieu du XIII^{e} siècle, peut-être à la fin du Moyen Âge, avec un angle bien plus important, conformément aux usages du temps, Les pieds des fermes ne pouvant pas être déplacés, une rupture de pente était indispensable, sinon l'extrémité des chevrons aurait abouti plus bas que la corniche. La mode aidant, les constructeurs optent pour un exhaussement des murs appréciable et de très longs coyaux. Un pignon avec décoration adaptée est construit en même temps. C'est cette charpente[177] qui existait

176 Il s'agit du sol actuel, dont le niveau peut en toute rigueur avoir été modifié. Cependant, à cause entre autres de la position des entraits, on voit difficilement comment la circulation aurait pu possible avec un sol situé à un niveau encore inférieur. De plus, le mur sur lequel reposent les entraits, quoiqu'assez difficile à observer, semble bien continu.

177 Il est possible et même probable que cette charpente toiture ait été réparée ou refaite dans l'intervalle. L'auteur des *Archives de Brion*[4] dit avoir "vu sur le faîtage la date de 1634" (p. 293. Le texte est un peu

en 1861. Dans cette charpente, deux fermes était remplacées par de poteaux verticaux plantés dans la voûte et supportant la faîtière, et peut-être déjà des piles en tuffeau soutenant les pannes inférieures. Un dispositif comparable a dû exister sur le croisillon sud, et a été complètement supprimé en 1861-1862, voire ou antérieurement : il en reste le support de poteau vertical déjà mentionné. Sur le croisillon nord un système complètement différent avait été adopté, soit dès l'origine, soit lors d'une réfection plus tardive, comme on l'a vu.

Figure 86. Comble de la nef : pile supportant la panne inférieure.

Figure 87. Comble de la nef : ferme.

5.C. Sculptures et décor

Il semble qu'avant les restaurations de Duvêtre, les murs étaient blanchis à la chaux dans l'ensemble de l'église. C'est en tout cas ce qu'affirme l'auteur des *Archives de Brion*, qui attribue ce blanchiment aux travaux des années 1780[178]. Duvêtre, dans son devis de 1855 pour le chœur, écrit que "les murs seront nettoyés et privés des couches de blanc qui sont venus successivement les salir," sans donner davantage de précisions quant à la nature, l'étendue et l'ancienneté de ce "blanc". Ce décapage a été fort bien accueilli, comme en témoigne, outre le point de vue de l'auteur des *Archives de Brion*, celui de Godard-Faultrier dans son rapport à la Commission, en 1855[179].

On possède par ailleurs un relevé du comte de Galembert, d'une peinture murale[162]. Compte tenu de l'échelle indiquée sur le dessin, les dimensions de celle-ci étaient d'environ 70 cm de haut

---

ambigu : il pourrait s'agir du croisillon sud). Si ce renseignement est vrai et ne donne pas la date d'une simple réparation, la charpente aurait été refaite au XVII[e] siècle. Cependant, il est difficile de retarder la construction du pignon jusqu'à cette date, vu son décor, et ce pignon commande les dimensions de la charpente. Ainsi, cette charpente du XVII[e] siècle devait avoir les mêmes dimensions que celle, contemporaine de l'érection du pignon, qui l'a précédée.

178 *Archives de Brion*[4], p. 209 : "Comme complément de ces tristes arlequinades on fit procéder au blanchiment à la chaux de toute l'église." Ces faits sont rapportés à l'année 1789.

179 "Le rétablissement des tambours de colonnes est fort louable et le débadigeonnage des murs l'est encore davantage." Rapport de Godard-Faultrier à La Commission, 1855 (Archives du Maine-et-Loire, 4T38).

sur 1,6 m de large[180]. L'image présente une croix, entourée de deux personnages ou d'un personnage et d'un objet, dont il ne reste que des ombres. À leur droite trois personnages : le plus à gauche semble un jeune homme blond, peut-être saint Jean, le second porte une sorte de couronne, sans doute de riches vêtements, et est accompagné d'un oiseau. Ce pourrait être saint Grégoire en pape avec le colombe du saint esprit. Le personnage le plus à droite, plus petit quoique sa tête arrive au même niveau que celle des autres, et dans une attitude d'orant, pourrait être une donatrice. Ces identifications restent très hypothétiques.

On peut de plus douter de la qualité du relevé. On peut se faire une idée de celle-ci en considérant d'autres relevés de Galembert, pour lesquels l'original est connu par des relevés anciens de qualité et parce qu'il est conservé, en particulier les relevés qu'il a réalisés des peintures murales de l'église de Pontigné[181]. On constate qu'une partie du modelé n'est pas rendu, que le trait est plus raide, les couleurs plus tristes, dans les relevés de Galembert que dans les originaux. Sur le relevé de la peinture de Brion, aucun trait de contour n'apparaît, les personnages apparaissant surtout par de grands à-plats de couleur. Cette caractéristique ne peut pas être une erreur du relevé, on constate que Galembert a plutôt tendance à accentuer les contours. Elle rappelle plutôt des techniques picturales de la fin du Moyen Âge, voire postérieures. Les formes des vêtements orientent aussi vers une date assez tardive pour cette peinture.

On lit sous le dessin : "Ces peintures sont faites sur le mur même, et ce mur a été piqué pour mettre un enduit sur lequel on a fait d'autres peintures qui ont été badigeonnées." Il semble donc que la peinture ait été appliquée directement sur le tuffeau et non sur un enduit, ce qui exclut une peinture à fresque. Cette note mentionne aussi explicitement l'existence de peintures postérieures à celle-ci, et laisse entendre que le badigeonnage à la chaux en a rendu la récupération impossible.

Les seuls éléments actuellement peints dans l'église sont les clefs des d'ogives de la nef. Ces peintures dates de 1870, comme l'indique le registre des délibérations du conseil de fabrique[182]. Quant à des peintures remontant aux XII^{e} ou XIII^{e} siècle, on n'a aucune autre raison d'en imaginer que le fait que c'était un usage répandu à l'époque. L'église n'ayant pas été achevée, il est tout à fait possible que sa décoration peinte n'ait jamais été exécutée (sauf tardivement ou partiellement).

Les chapiteaux de la nef datent-ils tous de la restauration de 1868-1870[183] ? Le devis de Duvêtre de 1868 relatif à l'intérieur de la nef mentionne que "l'intérieur du monument est endommagé par l'humidité, des fûts de colonnes ont été détruits", et qu'"il y a lieu en outre de nettoyer les sculptures et compléter celles qui sont restées inachevées". Le devis décompte 8 gros chapiteaux, 12 plus petits, 16 chapiteaux de fenêtre, c'est à dire la totalité de la sculpture. On ne conserve pas l'état des travaux effectués ; dans le chœur et le transept, un remplacement complet de la sculpture était prévu aussi, mais n'a pas été réalisé. Les *Archives de Brion* précisent que "la plupart de ces chapiteaux étaient restés simplement taillés", en ajoutant le nom du sculpteur, Bariller, et une anecdote, suivant laquelle celui-ci aurait sauvé la vie du curé, prêt à tomber de l'échafaudage[184].

180 Dimensions que l'on peut porter à $95 \times 180\,\mathrm{cm}^2$ en prenant en compte deux petites zones de gris uniforme indiquées sur le relevé comme faisant partie de la peinture murale.

181 Archives du Maine-et-Loire, Coll. iconographique C. Port, nos 11 Fi 4929 à 11 Fi 4933.

182 Dans le compte de la fabrique de 1871, on lit la mention : "Robert peinture des clefs des voûtes 230 [F]" (Registre des Délibérations du conseil de fabrique, Archives diocésaines d'Angers, P 251). On trouve une mention analogue dans les *Archives de Brion*[4], p. 299.

183 Ils ne sont certainement pas "postérieurs à 1873" comme l'affirme J. Mallet, peut-être sur la base d'un dessin de Galembert qui porte cette date. *Cf. Congrès Archéologique* de 1964, p. 146.

184 *Archives de Brion*[4], pp. 296-297.

L'auteur des *Archives de Brion* semble avoir été témoin des travaux (est-ce le curé Manceau lui même ?). Il affirme, comme Duvêtre, qu'une partie de la sculpture n'a été que nettoyée. L'argument avancé par J. Mallet pour que toutes les sculptures soient modernes, est que l'élévation intérieure de Duvêtre ne montre que des chapiteaux lisses, ainsi que celle de Galembert (*cf.* dossier, Figs. 125 et 129). On peut penser que Duvêtre n'a pas rendu un compte si exact de ces détails, et il est possible que Galembert n'ait fait que le recopier. Mais en admettant que cette absence soit significative, on doit remarquer que ces dessins ne figurent que le côté nord. Les chapiteaux qui étaient déjà sculptés en 1868 se trouveraient donc du côté sud. Cette observation n'est pas moins valable s'ils ont été refaits au cours de la restauration. Par ailleurs, on peut distinguer dans l'ensemble de ces chapiteaux deux styles différents, des feuilles et palmettes découpées à angles vifs, et d'autres plus souples, avec le motif particulier de palmettes retournées à l'emplacement des volutes (n^{os} 59 et 64 en particulier). Faut-il y voir simplement deux manières différentes chez lez restaurateurs du XIX^{e} siècle, ou la trace d'une série "restaurée" (recopiée ou regrattée) et d'une série "complétée" (c'est-à-dire de pures créations du XIX^{e} siècle) ?

Les clefs de voûtes ont été peintes vers 1870[185]. Derrière cette décoration moderne transparaissent de simples clefs cylindriques sans ornement sculpté. Que la décoration médiévale ait été de même nature que celle du XIX^{e} siècle est vraisemblable, mais aucun indice ne vient le confirmer.

5.D. Baies

5.D.1. Les fenêtres latérales de la nef

Les 4 fenêtres doubles (Fig. 88) sont visibles sur les deux plans de Duvêtre et de Galembert. Les élévations extérieure et intérieure de Duvêtre, et l'élévation intérieure de Galembert montrent en outre les deux fenêtres doubles du côté nord. Une photo de Mieusement montre l'intérieur des fenêtres nord de la travée orientale, on voit l'extérieur de la double fenêtre sud de la travée occidentale sur la photo d'Estève montrant l'ensemble de l'élévation sud.

Le devis de 1868 pour l'extérieur mentionne explicitement, la restauration des croisées "16 chapiteaux des croisées de la nef, avec dents de scie", dans le chapitre sculpture, "4 croisées à modifier dans celles actuelles, évaluées l'une 20^{m}" de démolition, et "2 croisées ch. 10^{m}.00 pour les 2 faces" de tuffeau neuf. Le devis pour l'intérieur de la même année mentionne 16 autres chapiteaux des fenêtres, mais pas de maçonnerie. Il contient par contre les vitraux et les "armatures en fer" pour ceux-ci. On n'a le document de réception que pour l'extérieur (1871). Le volume de tuffeau consacré à la "restauration extérieure des croisées" n'est plus que de 11,8 m^3 au lieu de 80 m^3. On compte aussi 11 m^3 de "démolition pour ces croisées" et on a "recoupé les jambages des 4 croisées et 4 colonnes prises dans le vieux mur".

Les chapiteaux mentionnés dans ce document sont au nombre de 7 dans le chapitre maçonnerie et autant dans la sculpture : il s'agit de ceux de la fenêtre néoromane de la façade ouest, pour laquelle il faut compter 3 chapiteaux pour chaque piédroit, et un pour la colonnette centrale, (pour l'extérieur, il y en a autant à l'intérieur). Le document mentionne aussi les six chapiteaux extérieurs de la porte néo-romane, et c'est tout : aucun chapiteau n'est décompté pour les fenêtres des façades latérales.

---

185 Cette réfection est documentée par les *Archives de Brion*[4], pp. 297-298, confirmées par le compte de la fabrique pour l'année 1871.

Les vitraux des croisées prévus au devis pour l'intérieur sont facturés dans la réception de l'extérieur, pour 27,48 m^2, ce qui fait 3,435 m^2 par lancette, au lieu de $34 = 8 \times 4{,}25$ m^2 dans le devis.

Figure 88: élévation latérale de la nef, côté sud.

Dans les *Archives de Brion*, au sujet de travaux effectués en 1780 pour la suppression de trois autels, il est dit que "les deux croisées du Nord restées bouchées seraient ouvertes dans toute leur étendue ainsi que la croisée de façade, qu'à ces croisées il sera mis des vitres et fermetures convenables"[186]. Il semble que ces travaux n'ont pas été effectués en totalité, puisque Duvêtre indique encore des fenêtres murées sur ses dessins (*cf. infra*).

5.D.2. Travée orientale

Le dessin de Duvêtre montre deux fenêtres en plein cintre séparées, chacune encadrée d'une colonnette et d'un boudin, le tout surmonté d'une moulure qui encadre séparément les deux fenêtres. Les deux fenêtres les plus à l'ouest de la travée sont indiqués par Duvêtre comme murées : elles sont en jaune sur le plan, et pour celle du nord, le détail interne de la fenêtre n'apparaît pas sur l'élévation intérieure.

Côté nord, l'élévation extérieure montre que les bases des colonnes étaient au-dessus du haut du glacis extérieur. Actuellement, elles sont au niveau de la base de celui-ci. À l'intérieur, les bases des colonnes sont au bas du glacis sur le dessin comme dans l'état actuel, ce niveau correspondant à l'assise immédiatement au-dessous du chapiteau de la colonne d'angle. Le dessin indique cependant une rupture dans la pente du glacis au niveau de cette assise ; est-ce une inexactitude du dessin ou une modification mineure des restaurateurs ? La hauteur du glacis intérieur n'ayant pas changé, la position de celui-ci n'a pas pu être modifiée à l'extérieur, ce sont donc les colonnettes qui ont dû être prolongées vers le bas. C'est sans doute le sens des mots "4 colonnes prises dans le vieux mur" du document de réception.

L'examen des maçonneries, pour l'intérieur, ne donne pas de renseignements, les tuffeaux médiévaux ne pouvant que très difficilement être distingués de ceux qui datent de la restauration. À l'extérieur, on constate que trois claveaux de l'arc externe de la fenêtre de gauche, ainsi que 6 assises du piédroit de gauche et la totalité des chapiteaux, ont été épargnés par les lichens et exécutés dans une pierre apparaissant plus grise que le reste. Si ces détails sont effectivement les signes des maçonneries remplacées, les reprises ont été ici très limitées.

Les ébrasements sont en biais sur le dessin, et droits ou presque dans l'état actuel. La

186 *Archives de Brion*[4], p. 205.

superposition du dessin de Duvêtre avec une photo de la fenêtre actuelle montre que l'ouverture a quelque peu été élargie, ce qui correspond à la mention "recoupé les jambages des 4 croisées", du moins pour celle-ci. Le dessin de Galembert montre des fenêtres de même forme, son plan ne montre pas l'ébrasement oblique mais une baie droite, il est cependant moins fiable que celui de Duvêtre. D'ailleurs il n'indique pas comme Duvêtre que ces fenêtres aient été murées. Il faut sans doute considérer ce dessin comme un essai de restitution de l'état médiéval, plutôt que comme un relevé d'un état du milieu du XIX^{e} siècle.

Pour la fenêtre percée dans le mur sud, on a moins de renseignements : pas de dessin en élévation. L'examen des maçonneries, à l'intérieur, n'apprend pas davantage qu'au nord, à l'extérieur, les pierres remplacées peuvent être identifiées à leur couleur plus blanche : les arcs internes ont été refaits, ainsi que 3 assises à gauche, et 4 à droite dans le piédroit de la fenêtre de gauche. Les interventions paraissent se limiter à cela.

Les deux baies doubles sont actuellement identiques, on a peu de raisons de supposer qu'elles étaient différentes avant la restauration. Les modifications, au nord sont limitées à un élargissement de l'ouverture au dépens des piédroits, et au prolongement vers le bas des colonnettes extérieures.

Le compte de réception indiquant que 4 colonnes ont été recoupées, cela ne fait qu'une seule fenêtre. Ainsi, la fenêtre nord aurait été modifiée à l'imitation de celle du sud. On a par contre "recoupé les jambages des 4 croisées", ce qui signifie sans doute que l'élargissement concerne aussi bien le nord que le sud, ce que confirme d'ailleurs l'examen du plan.

5.D.3. Travée occidentale

Sur la fenêtre nord, les relevés de Duvêtre montrent des arcs brisés (quoique légèrement), et intérieurement, le meneau central comporte une colonnette unique au lieu de deux. Le plan confirme ce dispositions, mais montre cependant que ce meneau était aussi large que celui des fenêtres de la travée orientale, de plus leur ouverture était droite, sans ébrasement. Par ailleurs, la fenêtre la plus à l'ouest du mur sud, et les deux du nord étaient murées, ce que montre la coloration jaune du plan et, pour celles du nord, l'absence de détail sur l'élévation intérieure : on ne voit pas le rouleau interne, mais il existe sous le tore et entre les colonnettes, comme le montre le plan. Sur l'élévation extérieure, on voit que les arcs brisés sont moulurés dans le prolongement des colonnettes ; on observe aussi de longs tailloirs au-dessus des chapiteaux des colonnettes, décorations qui n'existent plus.

Les arcs ont donc été refaits en plein cintre intérieurement et extérieurement, ainsi que la face interne du meneau central. Cette restauration a été menée dans un souci d'homogénéité du style clairement exprimé dans l'introduction du devis : "L'église dont il s'agit est une des plus remarquables du diocèse, les deux transepts et la nef appartiennent à la plus belle époque du style roman, la travée de la nef la plus rapprochée des transepts est moins pure, celle vers la porte rajoutée depuis se rapproche du 14e siècle ; enfin la façade est composée d'éléments divers de plusieurs époques"[187].

Il n'est pas nécessaire que ni les quatre jambages extérieurs, ni les deux jambages externes à l'intérieur, aient été modifiés. Le compte de réception pour l'extérieur nous indique qu'ils ne l'ont pas été, et même que les chapiteaux doivent être anciens ; en effet, il ne mentionne aucune sculpture, sauf "6^{m}. 24 de dents de scie dans les petites arcatures", qui sont sans doute les dents de

187 Ce passage faisait partie du devis général de Duvêtre du 15 décembre 1849, et a été repris textuellement dans la plupart des devis partiels suivants.

scie de la moulure qui entoure l'arc. La longueur correspond à une unique paire de fenêtres. Le compte ne mentionne aucune autre moulure de ce type, sauf "9m de dents de scie double autour du cintre", qui concernent la fenêtre de la façade ouest.

Figure 89. Fenêtre sud de la nef.

L'examen des maçonneries, s'il ne mène à rien à l'intérieur, permet à l'extérieur d'identifier des reprises, une coloration gris-vert apparaissant sur certaines zones, qui correspondent aux maçonneries anciennes. On constate que les piédroits ont été largement réappareillés, que les chapiteaux et les deux rouleaux des arcs ont été refaits. Un rang de tuffeau neuf au-dessus de la fenêtre de gauche témoigne de la reprise de l'arc. Entre la fenêtre de droite et la corniche, une zone assez étendue épargnée par le lichen correspond peut-être à une reprise lors des restaurations.

On ne possède de plus de dessin de l'élévation que pour le mur nord. Ainsi, si le plan de Duvêtre nous apprend qu'il n'y avait qu'une colonnette au centre de la fenêtre au sud comme au nord, rien ne garantit que les arcs aient été brisés ici aussi. Or une fissure peut être observée, dans l'arc de la fenêtre sud et le mur au-dessus de celle-ci (Fig. 89). Les deux dernières assises, dont celle du dessus porte les modillons de la corniche, et la corniche elle-même, ne sont pas du tout affectées par cette fissure. Ces dernières assises datent de la restauration du XIX^{e} siècle, qui n'a donc pas modifié l'appareil, immédiatement en-dessous. Les détails de cette maçonnerie visible sur la photographie d'Estève confirme qu'il ne s'agit pas là de restaurations plus récentes. Ceci tend à montrer que la fenêtre sud de cette travée est encore dans son état médiéval, ou du moins un état proche de celui-ci. Ceci est confirmé par le fait que le métrage de dents de scie figurant sur le compte de réception ne correspond qu'à une seule fenêtre.

L'examen des maçonneries, à l'extérieur uniquement, permet encore d'identifier les tuffeaux utilisés au XIX^{e}, plus clairs. Ils n'apparaissent que dans les arcs internes des deux fenêtres, le chapiteau gauche du meneau, et une partie des arcs externes. Les claveaux les plus bas[188] sont exécutés dans un tuffeau plus sombre, et doivent être antérieurs aux restaurations.

Ainsi les arcs de la fenêtre double sud de cette travée devaient être en plein cintre à l'extérieur,

188 Les 4 premiers à compter du sommier gauche de la fenêtre de gauche, les 2 premiers pour son sommier droit, et pour la fenêtre de droite, les 3 et 2 premiers pour ses sommiers gauche et droit, respectivement.

on ignore leur profil intérieur, qu'on peut aussi bien imaginer calqué sur le mur nord que sur l'extérieur du mur sud. Quoiqu'il en soit, cette observation confirme la tendance à compléter par symétrie le monument, en oubliant ses dissymétries existantes, de la part des restaurateurs du XIX^{e} siècle.

5.E. Essai de restitution de la façade ouest

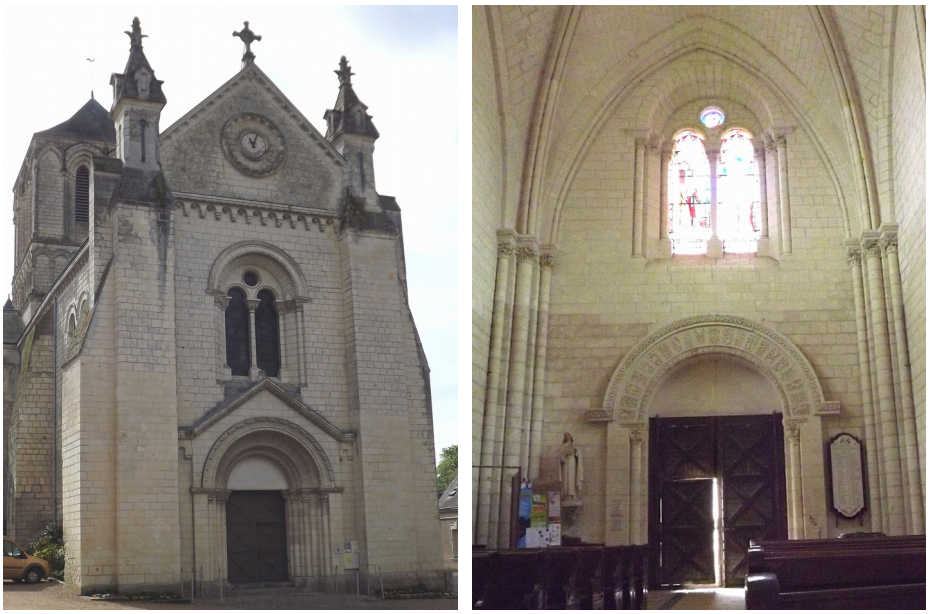


Figure 90: La façade de l'église et son revers.

Les *Archives de Brion* nous apprennent qu'une "galerie" existait devant la façade, avant la restauration de 1867, et raconte l'histoire de sa construction[189]. Il s'agissait d'une construction assez sommaire en appentis, qui fut placée devant la façade ouest en 1767. Son but était de loger certaines réunions profanes, qui avaient pris l'habitude de se faire dans l'église, ce que le curé d'alors trouvait inconvenant. Les *Archives de Brion* affirment que cette galerie a été supprimée par la restauration de 1867, cependant les documents de Duvêtre n'en disent pas un mot. Quoique l'auteur des *Archives de Brion* ne soient pas toujours fiable, ont voit mal comment il aurait pu inventer cette galerie, vus les nombreux détails qu'il donne à son sujet. Il est possible qu'il se soit trompé sur la date de la démolition et qu'elle soit antérieure à la restauration de 1867, mais il est aussi possible que, cette galerie étant une construction légère et de peu d'intérêt, elle ait été purement et simplement ignorée par les restaurateurs. En effet, on peut remarquer que la description des bâtiments du prieuré et de la cour, au moment du rachat de 1803, mentionne "une petite chambre dite Buanderie mais en réalité communs bâtie en bas côté dans l'angle de la cour joignant la petite porte de l'Eglise"[190], ainsi qu'un mur à construire pour séparer le lot du citoyen Peschard de celui de la municipalité. Ce mur de clôture et cet appentis n'apparaissent ni sur les dessins de Duvêtre, ni dans aucun document écrit, alors qu'il est vraisemblable qu'ils existaient encore avant la restauration : le bâtiment lui-même ne sera pas détruit avant l'achat du nouveau presbytère en 1878. Si Duvêtre a pu traiter ces éléments comme s'il n'existaient pas, il a pu faire de même pour la galerie. Celle-ci apparaît de plus sur le plan cadastral Napoléonien (*cf.* Fig. 32).

189 *Cf. Archives de Brion*[4], p. 197 *sq.*
190 *Ibid.*, p. 265.

Selon les *Archives de Brion* encore, la réouverture de la fenêtre haute de la façade bouchée par les fortifications de la guerre de Cent Ans serait due au même curé Pinson qui avait fait construire la galerie, mais à cette occasion on aurait modifié la fenêtre pour la faire "simple et ogivale"[191]. Ces informations paraissent assez fantaisistes : on a vu que la fortification des combles avait toutes les chances d'être une légende, de même, le bouchage de la fenêtre ne datait vraisemblablement pas de la guerre de Cent Ans. D'autre part, il est peu probable que ce prêtre, qui a fait de grands frais pour rénover son autel et le mettre au goût du XVIII^{e} siècle, ait fait réaliser une fenêtre aussi archaïsante. Celle-ci était plus vraisemblablement médiévale. L'opinion de l'auteur des *Archives de Brion* témoigne cependant du fait que la fenêtre géminée néo-romane qui fut réalisée vers 1870 a dû passer à l'époque pour une restitution de l'état médiéval de l'édifice.

La façade ouest (Fig. 90) a été, non pas à proprement parler reconstruite, car une grande partie des matériaux de remplissage et une partie non négligeable des tuffeaux de parement du mur ancien sont encore en place, mais "restaurée" de façon si radicale qu'aucune forme ancienne n'est conservée, si ce n'est le parti général d'une façade percée d'une porte et d'une fenêtre axiales, encadrée de deux contreforts, et couronnée d'un pignon au-dessus d'une corniche. Tous ces éléments, y compris les pinacles couronnant les contreforts, existaient anciennement, mais ont été radicalement modifiés. Seuls les dessins de Duvêtre, et ceux de Galembert, de moindre qualité, permettent de reconstituer les anciennes dispositions.

5.E.1. Porte

Elle figure sur les deux plans, les deux élévations intérieures, l'élévation extérieure de Duvêtre et le dessin de Galembert, ainsi que sur la coupe longitudinale de la nef. On distingue des voussures en arc brisé, qui surmontent des piédroits qui semblent fort abîmés, et encadrent une porte en plein cintre. Le profil des voussures est facile à identifier en comparant la coupe de Duvêtre et son élévation de la façade ; en partant de l'extérieur, on rencontre successivement deux boudin sculptés, une voussure droite, puis tores et voussures droites alternées, enfin pour finir sur deux voussures droites. Il y en a 4 au total, et 4 tores.

Le dessin de Galembert, quoique moins précis, confirme ce schéma. Sur celui-ci, ne subsistent que les deux tiers de l'arc à gauche, et le tiers supérieur à droite, le bas semblant détruit. Sur le dessin de Duvêtre, la partie qui paraît détruite ne va que jusqu'à un peu au-dessus du sommier de l'arc.

Les piédroits sont à peine visibles sur la coupe du portail donnée par la coupe longitudinale de la nef. Les plans donnent plus de précisions. Celui de Duvêtre montre, après le large ébrasement de l'ouverture, qui occupe près de la moitié de l'épaisseur du mur, et la porte en plein cintre, des piédroits comportant deux voussures avec colonnes engagées. Le plan de Galembert montre lui aussi deux colonnes de chaque côté de l'entrée, dégagées par rapport à l'arc intérieur. Une partie de chaque piédroit, plus grande au nord, est en blanc sur le plan, comme pour signifier qu'elle était détruite.

Il faudrait donc restituer un portail de structure analogue à celui du croisillon sud, du moins pour l'extérieur. L'arcade de celui-ci ou bien n'a jamais été achevée, ou bien a été remplacée par la suite par un ensemble de voussures beaucoup plus serrées, et en arc brisé. Des piédroits assortis à ces arcs ont ils été construits comme un placage devant les piédroits existants ? La minceur du placage expliquerait leur fragilité et qu'ils aient été détruits avant 1849. On peut aussi envisager que

191 *Archives de Brion*[4], p. 209.

la modification des piédroits destinée à les assortir aux voussures telles qu'elles avaient été achevées n'a jamais été réalisée. L'état de ces piédroits en 1849 devait en tout cas être assez mauvais.

L'intérieur est visible sur la coupe du transept de Duvêtre. On y voit une ouverture rectangulaire surmontée d'un arc segmentaire qui n'en occupe pas toute la largeur, comme si une baie en plein cintre avait été agrandie en retaillant l'arc en un trou rectangulaire qui prolonge les piédroits. Cependant le diamètre de l'arc est légèrement supérieur à la largeur totale de la baie. L'élévation intérieure de Galembert donne la même allure, mais le rayon de l'arc est beaucoup plus grand. Le plan de Galembert montre deux colonnes de chaque côté de cette ouverture intérieure, dont l'une occupe exactement le bord de celle-ci. Le plan de Duvêtre confirme cette disposition, et montre de plus que les deux colonnes sont à l'entrée d'un ébrasement profond. Divers traits difficiles à interpréter semblent indiquer des dégradations. De plus, ces colonnes n'apparaissent en rien sur l'élévation. En superposant élévation et plan, on voit que les colonnes sont à l'intérieur de l'ouverture. Celles-ci pouvaient appartenir à un portail plein cintre, l'arc existant correspondant à l'extrados du rouleau qu'elles portaient. Étaient elles en place avant 1868 ? Si elles étaient présentes, il faudrait conclure que Duvêtre a négligé de les représenter, cependant leur absence supposerait des colonnettes indépendantes du mur, contrairement à toutes celle qui existent dans l'édifice.

Notons qu'il est exclu que les colonnes engagées figurant sur les plans se rapportent à l'état restauré. En effet le portail du XIX^{e} est situé, à l'extérieur, dans un avant-corps qui n'existait pas avant les restaurations. À l'intérieur il y a de même une saillie et une seule paire de colonnes engagées.

5.E.2. Fenêtre

On la voit sur les quatre élévations et la coupe. L'élévation ouest de Duvêtre montre une fenêtre en arc brisé, comportant deux voussures portées par des colonnette, à quoi il faut ajouter l'arc de la baie elle-même et une moulure en sourcil. Cette fenêtre était murée sur un peu moins de la moitié inférieure de sa partie droite. On remarque que les colonnes engagées ne descendent pas jusqu'au bas du glacis. Le dessin de Galembert donne les mêmes formes, excepté le dernier détail. Le haut du sourcil y paraît endommagé. La coupe longitudinale confirme ces dispositions.

Intérieurement, il y a de même deux voussures portées par des colonnettes, suivies d'un ébrasement profond. Ces éléments apparaissent bien sur la coupe longitudinale de la nef, la coupe du transept ne montre pas les arcs, en effet ceux-ci sont masqués par l'arc d'entrée de la croisée. Ils sont par contre visibles sur l'élévation intérieure de Galembert. Sur celle-ci, les colonnettes sont plus écartées et la fenêtre plus haute, de plus il est le seul à montrer des bases à ces colonnettes.

5.E.3. Mouluration extérieure

Sur le dessin de Galembert on note une moulure horizontale au-dessus du portail, une autre au niveau du tailloir des chapiteaux de la fenêtre, et une corniche à modillons au-dessus. L'élévation de Duvêtre donne les mêmes indications, à ceci près qu'il n'y a que quatre modillons, du côté gauche. Les autres étaient-ils détruits, ou a-t-il négligé de tout dessiner ?

La baguette inférieure a été remplacée par une corniche se prolongeant de part et d'autre du gâble. Une assise de tuffeaux de moindre hauteur que les autres, située une assise au-dessus des tailloirs de la fenêtre actuelle, paraît être la trace arasée du deuxième cordon. La corniche à

modillons à été remplacée par une nouvelle. Selon le dessin de Duvêtre, elle présentait des arcs tréflés, alors qu'ils sont en plein cintre sur le dessin de Galembert comme dans l'état actuel.

5.E.4. Le pignon

On le voit sur les deux dessins de la façade qu'on a mentionnés, mais aussi sur l'élévation nord. Il est en moyen appareil sur le dessin de Galembert, débordant du toit, et ses rampants sont en pierre, ornés de crochets. Ceux-ci paraissent simplement épannelés sur le dessin de Duvêtre, mais ça peut être une simplification du dessinateur. Ils sont par contre répartis très irrégulièrement : sans doute un bon nombre d'entre eux étaient cassés. En effet, ils semblent très dégradés sur le dessin de Galembert. Ils présentent de plus une rupture de pente, comme ceux des pignons du transept, qui correspond à de longs coyaux dans la charpente.

Les deux pinacles situés au sommet des contreforts étaient différents l'un de l'autre. Celui de gauche, au dessus d'une une souche carrée moulurée, comportait une sorte de pyramide, dont l'extrémité s'affine très peu, et dont les faces sont ornées de crochets (Duvêtre ne les a représentés que quand ils sont vus de profil). Elle paraît brisée dans ses parties hautes. Le pinacle de droite, au-dessus de la même souche, a une terminaison tout différente, à quatre frontons triangulaires, surmontés au centre d'un élément de section carrée plus petite. Les rampants des petits frontons sont ornés de crochets.

5.F. Murs et voûte

5.F.1. Les murs de la nef

La partie inférieure du gouttereau sud de la travée est de la nef est en partie recouverte d'un crépi, qui masque ou rebouche des altérations du parement de tuffeau. Une rangée de trous située au niveau de la 14e assise témoigne sans doute d'une construction en appentis, dont la présence pourrait éventuellement expliquer la différence d'état du tuffeau en le haut et le bas du mur. Cependant on observe, au niveau de l'angle rentrant du croisillon sud, que les assises du mur du du transept ne correspondent pas à celle du gouttereau, au dessus de ce niveau, alors que la régularité est parfaite au-dessous. Ce sont les pierres du gouttereau qui conservent leur forme rectangulaire, et celles du mur issu du transept qui sont taillées de façon à remplir les vides. Il semble bien que ce soient les pierres ajoutées, et non les pierres en place, qui aient fait les frais de l'ajustage. On y trouve en effet plusieurs pierres taillées en L et quelques blocs de largeur très inhabituelle, qui l'indiquent (Fig. 107). Le gouttereau serait donc antérieur au transept ?

Si on observe bien la maçonnerie, on constate un changement de couleur de la pierre plus ocre rouge dans le pan de mur issu du transept (assises 15-20) que dans celui de la nef, alors que le mur de la nef paraît plus homogène (ce changement de couleur se voit un peu aussi à l'intérieur, en dessous du chapiteau de la colonne d'angle de la nef. Des faux joints ont été dessinés sur les pierres, et les vrais joints traités de la façon la plus discrète possible, afin de masquer la reprise d'appareil). De part et d'autre de cette trace de reprise, les assises des mur oriental et méridional de la nef se correspondent, sauf en bas, sur 6 assises (1,60 m). Ces assises se continuent jusqu'au pilier séparant les deux travées compris, mais, au sud, seulement à partir de la 3e assise au-dessus des bases. Il faut noter que les assises redeviennent régulières au niveau des chapiteaux des fenêtres de la nef, et que ceux-ci ne peuvent donc pas témoigner de l'antériorité de l'une ou l'autre partie. Dans le transept, la liaison entre la colonne engagée d'angle qui voisine le pilier de croisée sud-ouest, et le mur ouest du

transept, n'est correcte qu'à partir de la 11e assise (2,5 m).

On observe, le long du contrefort central sud de la nef, des pierres d'attente qui reçoivent des assises de hauteur différente du mur sud de la travée ouest de la nef, intérieurement comme extérieurement. Les assises inférieures, elles, sont régulières. On en compte 5 à 7 à l'extérieur (une reprise récente empêche d'en juger), à l'intérieur la liaison va jusqu'à la 2e assise au-dessus des bases de colonnes. Le contrefort sud-ouest est plaquée devant elles (sur 8 assises au-dessus du soubassement en grès, soit environ 2,20 m). On fait des observations analogues du côté nord, où les pierres d'attente sont bien plus visibles, quoique camouflées par de faux joints à l'intérieur.

Figure 91. Détail du gouttereau sud de la nef.

On aurait donc ici un pan de mur, comprenant l'essentiel de la hauteur du gouttereau sud pour la travée est, et les 2 m inférieurs environ de celui-ci pour la travée ouest, ainsi que le contrefort central, qui serait antérieur au croisillon sud.

Cette observation montre que l'on n'a pas une nef "gothique" plaquée devant un transept et un chœur "romans", mais que l'implantation de la nef était prévue dès avant la construction du transept, et que les diverses parties on évolué conjointement.

Au-dessous de la maçonnerie de tuffeau se trouve un socle socle en blocage. Celui-ci contient davantage de grès au nord plus de silex au sud ; il semble avoir été fortement repris au XIXe du côté nord, et être beaucoup plus proche de son état original de l'autre côté. Par ailleurs, selon R. de Russon[192], au nord de l'église, un déblaiement a été effectué, et les ouvriers auraient trouvé "à une assez grande profondeur du nivellement actuel des trous ayant servi à introduire des traverses d'échafaudage." R. de Russon en déduit la présence d'un fossé à ce niveau, pour renforcer la présentation de l'église fortifiée, mais il s'agit sans doute de fondations. Cela tendrait à montrer que les fondations étaient réalisées dans un déblaiement important, quitte à nécessiter un échafaudage.

Une fissure, visible entre le contrefort nord de la façade ouest et le gouttereau de la nef, semble antérieure aux restaurations du XIXe siècle (1868), puisque la corniche n'est pas du tout affectée par elle. On voit nettement la trace de reprise à l'intérieur, jusqu'au formeret, et de même au sud,

192 *Op. cit.* n. 3, p. 30.

intérieurement et extérieurement. Ces fissures témoignent du respect que les restaurateurs ont (malgré tout) eu pour les maçonneries anciennes, et indiquent une faiblesse mécanique de l'ancienne façade, qui a été restaurée à tel point qu'il est impossible de reconnaître ses dispositions anciennes.

5.F.2. Les voûtes de la nef

La nef est couverte de deux travées couvertes de voûtes d'ogives fortement bombées. On observe un certain nombre de fissures dans celles-ci, sur lesquelles nous reviendrons dans l'étude du comportement mécanique. Elles sont postérieures aux travaux de restauration de 1849-1871, puisqu'elles sont soit ouvertes, soit rebouchées avec un mortier de couleur différente de celui utilisé alors. L'extrados des voûtes (Fig. 92) dépasse largement le sol du comble, rempli jusqu'au haut des murs goutterots, si bien qu'un escalier de 7 marches a été construit pour accéder au milieu du comble, où un local limité par des cloisons abrite l'ancienne horloge.

Figure 92: Extrados des voûtes de la nef : à gauche, travée orientale, à droite travée occidentale.

L'extrados de la travée orientale présente un trou assez important sur son bord ouest, à côté du local renfermant l'horloge. Il doit être mis en relation avec une réfection de la voûte, qui apparaît à l'intrados. On se souvient que les *Archives de Brion* mentionnent une "large déchirure à la voûte" due au "passage des contrepoids moteurs" d'une horloge qui aurait été installée dans le croisillon sud au XVII^{e} siècle[62], déchirure dont je n'ai pas vu de trace. On peut se demander s'il n'y aurait pas là une erreur de l'auteur des *Archives de Brion* : si cette horloge avait été située non dans le comble du transept, mais au même emplacement que celle qui lui a fait suite au XIX^{e} siècle, la "large déchirure" en question pourrait être celle dont les traces sont apparentes dans la voûte de la nef. Quoi qu'il en soit, la maçonnerie de la voûte n'a pas été refaite sur toute son épaisseur, ce qui met en évidence le fait que celle-ci ne se limite pas à une unique épaisseur de voussoirs. On constate d'ailleurs que l'extrados des voûtes, assez irrégulier, ne reproduit pas l'appareil de l'intrados. D'autres creux, moins profonds que le précédent, apparaissent en divers points de l'extrados.

Au fond du trou mentionné précédemment, un tuyau vertical qui semble être en cuivre et dont le diamètre est de l'ordre de 5 cm pénètre dans la voûte. Un autre tube de même type est visible un peu à l'ouest de la clef de la voûte de la travée occidentale (*cf.* Fig. 92). Il semble que ces deux tubes correspondent à deux des quatre orifices visibles dans l'intrados. Ceux-ci ne sont donc pas des ouvertures de pots acoustiques médiévaux comme on pourrait l'imaginer, mais un dispositif moderne, peut-être destiné au passage de cordes utilisées par le système d'horlogerie, de façon analogue aux tubes placés par Duvêtre dans la coupole de croisée[242].

5.G. Analyse des dimensions

5.G.1. Géométrie des voûtes

On réalise des modèles numériques tridimensionnels des deux voûtes par la procédure décrite en annexe 3.A (Fig. 93). Le fort bombement des voûtes apparaît nettement, ainsi qu'une particularité de leur forme : l'arc sur lequel la voûte retombe le long de la façade occidentale est appréciablement plus élevé que le doubleau central.

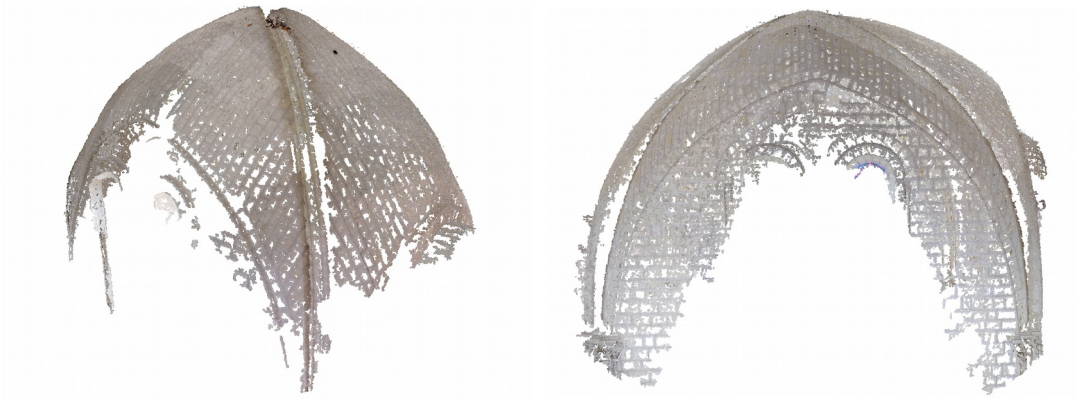


Figure 93: Modèle numérique de l'intrados des voûtes de la nef. À gauche : travée orientale, à droite : travée occidentale.

Sur le plan de Duvêtre, l'axe des meneaux des baies géminées de la travée orientale coïncide avec la clef des ogives, mais celles-ci ne sont pas rectilignes. La clef est décalée vers l'est d'environ 70 à 80 cm par rapport au centre de la travée. Sur l'élévation intérieure on observe le même décalage, mais entre l'axe de la baie géminée et la clef. On peut vérifier que dans l'état actuel, l'axe des baies, les clefs des formerets et celle des ogives sont dans un même plan vertical perpendiculaire à l'axe de la nef, et que les ogives sont rectilignes. Cette différence provient d'une erreur dans le relevé de Duvêtre : la longueur qu'il donne à cette travée est excessive. Il a observé la différence de longueur entre les deux travées, mais a dû permuter leur rapport. Les nervures qu'il dessine coïncident exactement avec le modèle numérique à l'est de la clef. Il en est de même de la position des fenêtres et des colonnes. Par contre, la travée occidentale est parfaitement rectangulaire sur son plan, alors qu'elle est en fait légèrement trapézoïdale.

On peut analyser la forme des voûtains en utilisant les mêmes techniques que celles qu'on a développées pour l'étude des voûtes du transept (*cf.* annexe 3.B et 3.C). Comme dans celles-ci, les voûtains sont pratiquement cylindriques, si l'on excepte quelques gauchissements sensibles surtout dans leur partie inférieure, là où ils s'affinent entre les ogives et les autres nervures, formerets ou doubleaux.

La direction des axes de ces cylindres dans le plan horizontal, telle qu'elle est donnée par l'analyse du modèle numérique, est représentée sur la Fig. 94 pour la travée occidentale. On constate que ces axes sont essentiellement perpendiculaires aux nervures. On observe la même chose dans l'autre travée, avec des écarts un peu plus élevés[193]. Cette plus grande régularité dans la travée occidentale, *a priori* postérieure, pourrait être le signe d'une systématisation des procédés au

193 Les nervures font, en plan, un angle très voisin de 40° avec l'axe de la nef. Les écarts entre les angles mesurés et cette valeur de 40° varient de 0° à 30° et peuvent être attribués en partie aux incertitudes de mesure (la précision est de l'ordre de 5° à 10°), et en partie aux déformations qu'a subies la voûte.

cours du chantier. On observe de même que la maçonnerie des voûtains est plus régulière à l'ouest qu'à l'est : la largeur de l'assise varie moins, aussi long long de celle-ci que d'une assise à l'autre. On peut aussi penser à des irrégularités dues à des contraintes provenant de l'église antérieure, dont l'emprise ne se serait étendue qu'à la travée orientale. C'est cependant la travée ouest qui n'est pas exactement rectangulaire, et dont deux voûtains ont une plus grande hauteur que les autres.

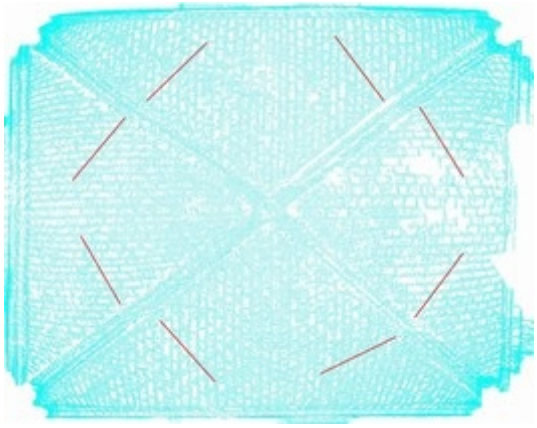


Figure 94: Vue en plan de la voûte de la travée occidentale, montant la direction des axes des cylindres formant les voûtains.

L'angle que font les axe des surfaces cylindriques formant les voûtains avec l'horizontale est d'environ 15° [194]. Les voûtains voisins de la porte occidentale ont une allure appréciablement différente des autres, comme on l'a vu, l'arc sur lequel ils reposent le long de la façade étant considérablement plus élevé que le doubleau. Ils ont cependant eux aussi une forme cylindrique, l'axe du cylindre étant de même perpendiculaire à l'ogive et faisant un angle d'environ 15° avec l'horizontale ; la seule différence est que c'est l'extrémité inférieure de cet axe qui se trouve du côté de l'ogive, et non son extrémité supérieure comme dans le reste de la voûte.

On constate que la courbure de la voûte n'est en aucune façon liée à la direction des assises, qui apparaissent nettement sur la Fig. 94. Elles sont essentiellement parallèles aux lignes de clefs, elles s'écartent un peu de cette direction en plan au bas des voûtains, sans doute à cause de la courbure de ceux-ci, mais cet écart n'est pas toujours dans le même sens, alors que les génératrices de la surface cylindrique des voûtains forment un angle d'environ 50° avec cette direction.

On a représenté sur la figure 95 une des branches d'ogives, telle que la donne le modèle numérique, superposé à l'arc de cercle qui en est le plus proche. On constate une légère déviation par rapport au profil circulaire : un bombement vers le haut dans la moitié inférieure et un creusement dans la moitié supérieure. Sur la même figure, à droite, on montre un voûtain de la

194 On évalue cet angle dans l'hypothèse où les direction dans le plan horizontal de ces axes coïnciderait exactement avec la perpendiculaire aux nervures, ce qui améliore considérablement la précision du résultat. On obtient ainsi 14,6° avec un écart-type de 3,1° à l'ouest et 18,5° avec un écart-type de 6,5° à l'est. La précision de la mesure étant de l'ordre de 1° à 2°, la dispersion des valeurs mesure l'écart entre la forme réelle de la voûte et le modèle que l'on essaie de mettre en évidence.
Remarquons que ces angles peuvent se construire en reportant une longueur dans la direction verticale, et trois ou quatre fois cette longueur dans la direction horizontale (précisément, $\mathrm{Arctg}(1/3) \simeq 18{,}4°$ et $\mathrm{Arctg}(1/4) \simeq 14{,}0°$), ce qui serait le même type de construction que celui mis en évidence dans le transept. Malheureusement, la précision est insuffisante pour pouvoir prétendre que cette observation est significative.

travée occidentale parmi les plus réguliers, projeté sur une section droite de son axe, superposé à la section circulaire de son cylindre. La figure permet de visualiser le fait que le voûtain est cylindrique. Une déformation du même type que celle que l'on a identifié dans le cas de l'ogive, (bombement dans la partie basse, creusement dans la partie haute), mais plus prononcée, apparaît. On obtient des figures analogues avec toutes les branches d'ogives et voûtains, à ceci près que plusieurs de ceux-ci sont gauchis à l'une ou l'autre de leurs extrémités.

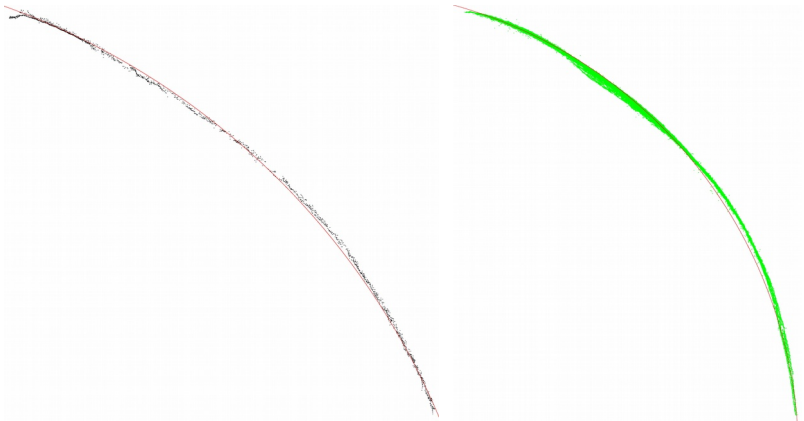


Figure 95: Modèle numérique superposé à l'arc de cercle le plus voisin. À gauche : branche d'ogive sud-est de la travée occidentale, à droite : le voûtain situé au nord de la branche d'ogive nord-ouest de la même travée. Les déformations, bombement dans la partie inférieure et creusement dans la partie supérieure, sont visibles.

Les rayons des voûtains et des ogives ne peuvent pas être évalués avec précision, d'une part du fait qu'ils ne sont pas rigoureusement circulaires, d'autre part à cause du faible secteur angulaire qu'ils occupent. Certains voûtains présentent de plus un gauchissement, comme on l'a dit.

Les mesures des rayons des voûtains sont assez fortement dispersées : leur écart-type est 1,1 m pour une valeur moyenne de 8,1 m[195]. Les ogives sont plus régulières. Cependant, dans la travée orientale, la branche d'ogive nord-est est plus courbée que les autres, c'est-à-dire que son rayon est plus faible (7,8 m contre 8,8 ± 0,4 m en moyenne pour les 3 autres branches[196]). C'est pourtant l'autre travée, occidentale, qui est légèrement trapézoïdale. La valeur moyenne de 8,8 ± 0,4 m est sensiblement égale à la largeur de la nef mur à mur (8,53 m). Dans la travée occidentale le rayon des nervures est un peu plus faible (7,9 m), avec un écart-type voisin, de 42 cm. Il est remarquable que ce rayon coïncide avec celui de la branche d'ogive nord-est de la travée est.

Cette diminution de dimension ne serait donc pas accidentelle, mais comment l'expliquer ? Parmi tous les scénarios que l'on peut imaginer, je voudrais suggérer le suivant. Le maître d'œuvre veut construire des nervures circulaires à l'intersection de voûtains cylindriques. Il devrait pour cela

---

195 Les mesures ont été effectuées par la méthode "à trois points", *cf.* annexe 3.C.2. Si on évalue la précision par la dispersion des rayons des ogives mesurés par la même méthode, on obtient 40 cm, ce qui est vraisemblablement pessimiste, mais de toutes façons nettement inférieur à la dispersion des rayons des voûtains. Cette grande dispersion n'est donc pas due à l'imprécision de la méthode de mesure.

196 On a obtenu les rayons de deux façons différentes, en cherchant dans un cas un demi-cercle de diamètre horizontal, dans l'autre un demi-cercle dont le diamètre est incliné à 45°, de façon à ce que son sommet soit proche du milieu de l'arc. La précision peut être évaluée par l'écart entre les deux valeurs, qui est de l'ordre de 40 cm.

connaître la courbure de l'intersection des deux cylindres[197], cependant il est incapable de déterminer celle-ci par une construction géométrique, *a fortiori* par un calcul. Il procède donc par tâtonnements. Il part de valeurs des rayons connues *a priori* par son expérience antérieure, et construit les cintres d'un premier voûtain sur cette base. Cependant, il ne peut se limiter à un seul voûtain, il en faut au moins deux de part et d'autre d'une ligne de clefs, et les deux branches d'ogives correspondantes. Il est même indispensable d'étayer les cintres de ce quart de voûte par au moins l'une des branches d'ogives opposées. Les trois premières branches d'ogives sont ainsi construites avec un rayon donné *a priori* par la largeur de la nef. Le maître d'œuvre entreprend ensuite de monter les cintres du voûtain lui-même, et constate la difficulté d'accorder la courbure de ceux-ci à celle de la nervure. Pour cela, il peut jouer sur leur inclinaison, sur la hauteur de la nervure, et modifier discrètement le profil des voûtains dans leurs angles. Pour réduire ces modifications, il choisit de donner dans la suite des travaux une courbure un peu plus forte (un rayon un peu plus faible) aux ogives. Il ne modifie cependant pas ce qui a déjà été fait, ne voulant gaspiller ni le matériau ni la main d'œuvre, même s'il ne s'agit encore que du cintrage[198]

5.G.2. Analyse métrologique

On a mesuré la largeur et la longueur des deux travées de la nef, en y incluant ou non les diverses colonnes qui supportent la voûte, et leurs bases[199]. Quoique plusieurs des valeurs mesurées soient proches d'un entier, on n'en trouve pas plus que ce à quoi on peut s'attendre par pur hasard, sauf en ce qui concerne les valeurs en pieds anglais de la largeur de la nef. On pourrait supposer *a priori* que les deux travées ont été conçues comme ayant la même longueur, et chercher quelle définition de cette quantité permettrait de satisfaire la condition ainsi imposée. On constate que c'est en mesurant la longueur des travées au niveau des bases des 3es colonnes à partir du mur, et du mur lui-même à l'est, que les deux travées de la nef auraient exactement les mêmes dimensions. Dans cette hypothèse, la longueur serait de 31 pieds de Roi ou de 33 pieds anglais. Or la largeur au même niveau est de 21 pieds anglais (avec une grande dispersion), alors que sa mesure en pieds de Roi n'est pas entière, ce qui amènerait à exclure cette dernière unité. Le choix des nombres 33 et 21 surprend quelque peu. Par ailleurs, les mesures des socles[200] ne montrent aucune valeur entière en pied anglais, alors que leurs mesures en pieds de Roi dans le sens de l'épaisseur sont assez cohérentes : 1, 4/3, 2/3, puis 1, du mur vers l'intérieur du vaisseau. Même si cette dernière observation est le fruit du hasard, elle n'incite pas à voir dans l'implantation de la nef des mesures en pieds anglais. De plus les précédentes analyses métrologiques ont indiqué que le pied anglais avait été utilisé dans l'édifice, mais à une période antérieure à celle qui correspond au voûtement de la nef. Cette mesure a été utilisée dans le chœur, puis dans l'implantation de transept, dont

197 Rappelons que l'intersection de deux cylindres qui n'est jamais un cercle. Ici, grâce à la symétrie, c'est une ellipse, mais en général c'est une courbe gauche.

198 On peut envisager une variante de ce scénario dans laquelle il ne s'agirait pas seulement de construire les cintres, mais la maçonnerie elle-même. Cette variante semble cependant peu vraisemblable, à cause de la poussée de la voûte dans la direction de la nervure qui n'était pas encore réalisée.

199 Cependant les mesures axiales ne sont pas accessibles.

200 Les bases des colonnes de la nef ont vraisemblablement doute été refaites au XIX^{e} siècle, cependant les dimensions des socles sont très irrégulières. On peut penser qu'une réfection systématique de ceux-ci sans respect de leur implantation antérieure se serait traduite par une beaucoup plus grande régularité, ce qui indiquerait que les dimensions actuelles des socles sont conformes à ce qu'elles étaient avant la restauration

l'élévation utilisait le pied de Roi. La construction des voûtes de la nef étant vraisemblablement postérieure à celles du transept[201], on peut penser que le pied anglais avait déjà été abandonné pour le pied de Roi sur le chantier à ce moment. Il paraît en fin de compte raisonnable de ne pas retenir ces valeurs, et de renoncer à l'hypothèse de deux travées de longueurs parfaitement égales.

Les proportions de la travée occidentale, mesurées au niveau des voûtes, sont de 5/4, à 1‰ près. Celles de la travée est ne sont pas identiques, l'écart avec 5/4 est 2,2%, elles valent avec 11/9 très précisément. Or, la largeur mur à mur de la nef est de 28 pieds anglais, ce qui avec la proportion de 5/4 donnerait 35 pieds anglais pour la longueur[202]. Et on rencontre cette même longueur de 35 pieds anglais dans les mesures de la nef, entre les socles des colonnes doubles du doubleau. La travée orientale, au même niveau, ne mesure cependant que 34 pieds, mais chose curieuse, assez précisément[203]. Il paraît raisonnable de penser qu'une proportion de 5 sur 4, le module étant de 7 pieds anglais, a été primitivement utilisée au moins pour l'implantation de la travée occidentale. La réduction de la longueur de la travée orientale a pu apparaître dès ce moment, par exemple à cause de l'encombrement de la tour, ou ultérieurement, le doubleau ayant pu être élargi au moment de sa reconstruction, ou d'une reprise antérieure à la construction du doubleau actuellement en place[204]. Quoiqu'il en soit, l'analyse métrologique tend à montrer que les dimensions des travées de la nef n'ont pas été conçues à la fin du XII^{e} siècle à l'aide d'un plan modulaire utilisant une unité donnée : elles paraissent plutôt avoir été entièrement tributaires de l'implantation antérieure[205]. Pour réaliser cette dernière, par contre, il est possible que le maître d'œuvre ait utilisé un module basé sur le pied anglais.

5.H. Analyse mécanique

5.H.1. Le doubleau de la nef

La première chose que l'on observe sur la modélisation élastique de la nef est une forte traction au niveau de la clef du doubleau, et dans la maçonnerie au-dessus de celle-ci (Fig. 96). La traction maximale est trop élevée, de l'ordre de 250 kPa[206] quand on prend en compte le remplissage des reins de la voûte, soit plus du double de la limite de résistance qu'on a évaluée à 110 kPa. Une couleur de tuffeau nettement différente à l'intrados de cet arc montre que celui-ci a déjà dû faire l'objet d'une réparation, cependant il ne s'est pas effondré (*cf.* Fig. 97). Comment expliquer le résultat du calcul ?

Une première hypothèse serait, que les imprécisions dans l'établissement du modèle numérique pourraient expliquer un calcul erroné. On avait d'abord utilisé pour la profondeur des contreforts les

201 C'est du moins l'opinion de J. Mallet, art. cit. n. 120, p.154.

202 28 n'est pas divisible par 9, et aucune fraction de dénominateur 6 ou 7 n'est suffisamment proche du rapport de la longueur à la largeur, pour qu'un autre cas puisse être considéré.

203 La valeur mesurée est 34,004 pied anglais.

204 Que la reprise ait eu lieu a une époque où le pied anglais était utilisé par les constructeurs justifierait que cet élargissement mesure exactement un pied. Cependant cette valeur de 34 pieds peut tout aussi bien être fortuite.

205 Si l'on excepte le développement du massif de colonnettes vers l'intérieur de la nef, dont on a vu qu'il pouvait correspondre à des mesures en pieds de Roi. Mais rien ne garantit que les valeurs obtenues ici ne soient pas fortuites.

206 Précisément, dans le modèle avec les dimensions des contreforts mesurées sur l'édifice, le remplissage des reins, on a obtenu $\max(\sigma_3) = 242$ kPa à l'est et 256 kPa à l'ouest.

dimensions données par le plan de Duvêtre. La mesure évaluée de cette façon n'étant pas très précise, on a été prendre des mesures directement sur l'édifice, qui on montré un écart appréciable avec le dessin de l'architecte. L'observation attentive du plan d'une part, des maçonneries de l'autre, conduit à penser qu'il s'agit là d'une erreur de Duvêtre, de 40 cm sur le contrefort sud[207]. Cependant, un modèle de la travée utilisant les dimensions réelles donne une traction maximale de 242 kPa, au lieu des 254 kPa obtenus en utilisant les dimensions du relevé. La différence n'est guère significative.

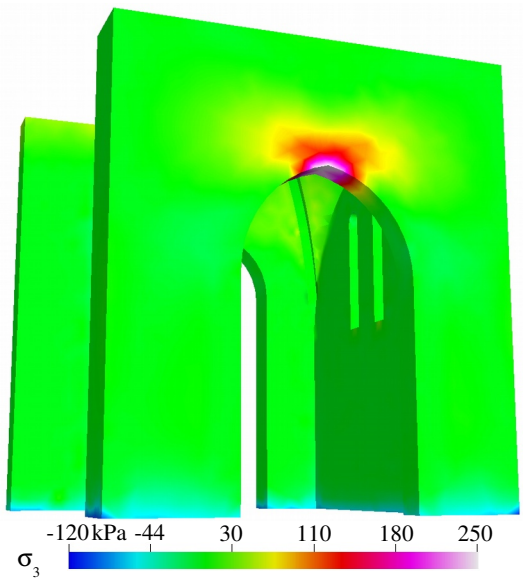


Figure 96: Les tractions dans la travée orientale de la nef. Contrainte normale maximale σ_3.

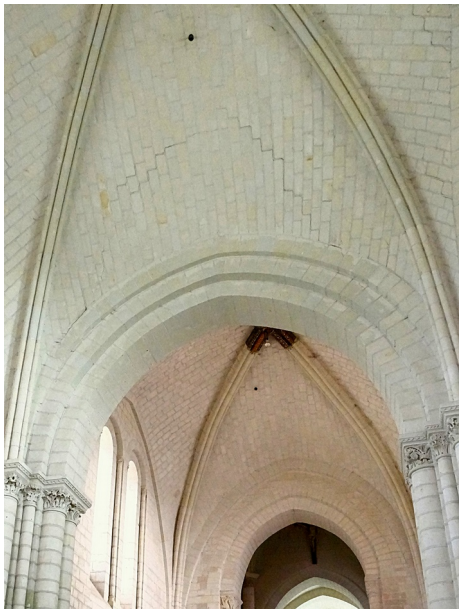


Figure 97: Le doubleau central de la nef, vu de l'ouest.

Notre modèle ne rend pas compte du détail du profil du doubleau et du faisceau de colonnes qui le supporte. Pour apprécier l'effet de ces approximations, on a raffiné le modèle, d'abord en rajoutant un pilier d'angle de section carrée comparable à celle de la grosse colonnne latérale, puis en prenant en compte le fait que le doubleau est à double rouleau (Fig. 98a). La colonne latérale diminue un peu la traction (230 kPa au lieu de 254 kPa). Cependant, ce n'est pas le rouleau intérieur du doubleau dont la largeur coïncide avec celle des deux paires de colonnes engagées (qu'on avait retenue dans le modèle initial), mais sont rouleau intérieur. Prendre en compte la forme exacte de l'arc correspond donc à un amincissement de celui-ci, et aboutit naturellement à un accroissement de la contrainte maximale (qui donc remonte à 252 kPa). Les variations restent cependant très faibles (inférieures à 25 kPa).

---

207 En effet, (i) les parement, quoique fortement repris, semble encore comporter quelques pierres anciennes, qui en fixent les dimensions. (ii) Les volumes de tuffeau mentionnés par le devis correspondent à une reprise des parements uniquement. (iii) On constate, en comparant l'élévation ouest et le plan de Duvêtre, des contradictions dans certains alignements, en particulier entre la porte occidentale du croisillon sud et le contrefort ouest de la façade sud. (iv) Sur l'édifice, les quatre contreforts latéraux mesurent 1,9 m sauf celui du sud-ouest, 1,5 m ; cependant, sur le plan les deux contreforts méridionaux mesurent 1,5 m, alors que, sur l'élévation ouest les deux contreforts latéraux mesurent 1,71 m, signe d'une erreur dans le relevé. Il semble que l'écart entre la profondeur des deux contreforts latéraux sud ait échappé à Duvêtre.

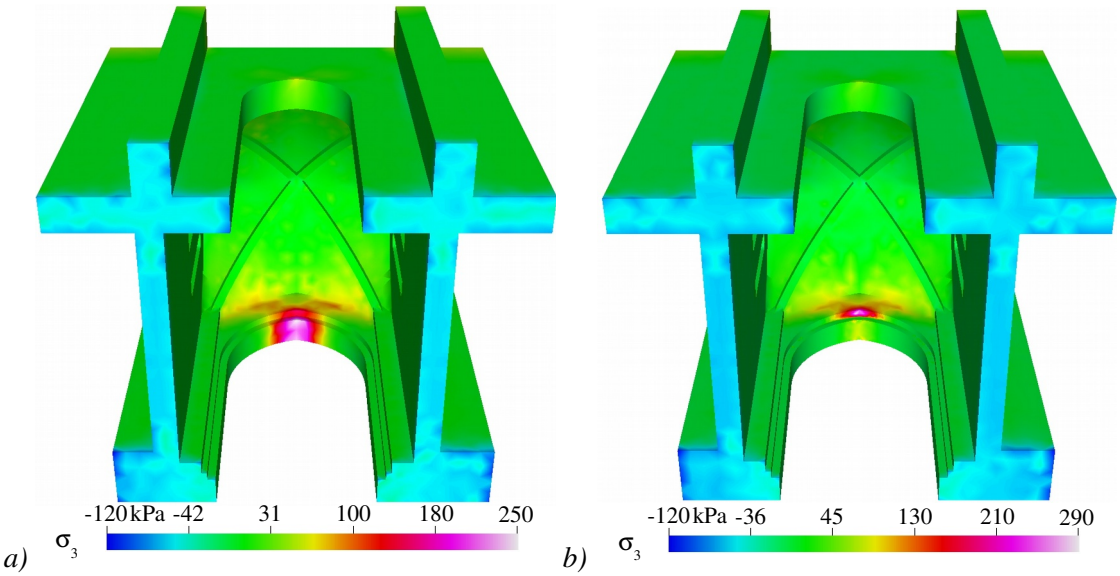


Figure 98: Tractions dans la voûte de la nef : modèle de la travée est incluant le détail de la structure du doubleau. Dans la figure de droite (b), on a tenu compte de l'extradossement du rouleau interne du doubleau.

Nous n'avons pas pu mesurer précisément la hauteur des murs, mais l'avons estimée d'après les relevés. Pour tester l'influence de cette imprécision, nous avons refait le même calcul en exhaussant les murs (de 15,49 m à 16,90 m), et observé à nouveau une variation de la traction maximale inférieure à 10 kPa. De même, on s'est demandé si une erreur sur la forme précise de l'arc doubleau pouvait avoir des conséquences, et on a inséré dans le modèle un arc de brisure plus accentuée[208] : la traction maximale est alors légèrement plus élevée (263 kPa au lieu de 254 kPa), mais cette différence n'est toujours pas significative. Enfin, un paramètre qui devrait, à première vue, être important est l'épaisseur de la voûte. Or c'est de façon très grossière que nous avons évalué celle-ci à 65 cm. Nous avons donc tenté une valeur considérablement inférieure, 30 cm seulement. Dans le modèle dans lequel le remplissage des reins n'est pas prise en compte, cet amincissement de la voûte amène une diminution de la traction appréciable (de l'ordre de 40 kPa), mais celle-ci reste nettement excessive. Si le remplissage des reins est pris en compte, la diminution est à peine sensible (moins de 7 kPa)[209].

On constate donc qu'une erreur sur l'épaisseur de la voûte ne modifie pas la conclusion de l'analyse. Outre le fait qu'il permet de vérifier la fiabilité de nos calculs, ce test montre que l'épaisseur de la voûte, dans le cas présent au moins, n'a que peu d'influence sur les contraintes dues à sa poussée. Ceci est bien sûr lié au fait que les reins de la voûtes sont ici fortement chargés : l'épaisseur du voûtain a peu d'importance dans le poids total. En conclusion ni les simplifications apportées au modèle ni l'imprécision des mesures qui ont permis de l'établir ne peuvent être responsables de cette traction excessive. Devons-nous remettre en question la pertinence de

208 C'est-à-dire un arc brisé du même type que ceux identifiés plus haut (section 2.E et Fig. 66), mais de paramètre $n = 3$ au lieu de $n = 5$.

209 Précisément, on a obtenu, pour le modèle complet, 249 kPa au lieu de 254 kPa ; pour le modèle sans contreforts, 321 kPa au lieu de 314 kPa ; pour celui avec contreforts mais sans remplissage, 144 kPa au lieu de 186 kPa (*) ; pour celui sans contreforts ni remplissage, 233 kPa au lieu de 274 kPa (*). Il s'agit dans tous les cas de modèles de la travée est, et les dimensions des contreforts sont celles données par le plan de Duvêtre sauf pour les 2 valeurs marquées (*).

l'approche élastique ? Pour cela, nous avons en premier lieu cherché à confirmer l'analyse utilisant les équations de l'élasticité à l'aide de l'épure de Méry (Fig. 99a).

Cependant celle-ci se réduit à une figure plane, et ne peut donc s'appliquer qu'à la seule section de la nef contenant le doubleau, sans y inclure les voûtes. Nous avons donc aussi effectué aussi l'analyse de cette section par la théorie de l'élasticité, à titre de comparaison (Fig. 99b).

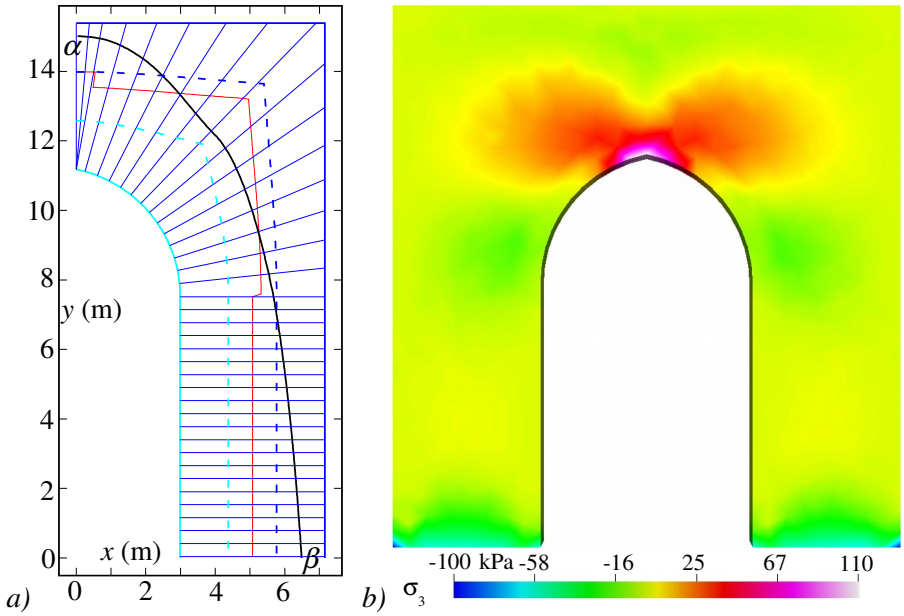


Figure 99: Doubleau de la nef : a) épure de Méry. b) Analyse élastique (contrainte normale principal maximale σ_3).

On constate que la courbe des pressions, bien qu'elle ne dépasse pas l'extrados lui-même, sort largement du tiers central de l'arc. Cependant elle ne se rapproche en aucun endroit de l'intrados. Le basculement ne peut donc avoir lieu. Dans la modélisation élastique de la même structure, la traction maximale est de 114 kPa, soit moins de la moitié de ce qu'elle est dans le modèle complet[210] : elle ne dépasse que de peu la limite de la résistance du matériau. Les deux approches s'accordent raisonnablement sur la possibilité de la formation d'une fissure à la clef, cependant l'épure de Méry montre que cette fissure n'entraînera pas la ruine.

Nous avons alors étudié, par l'approche élastique, l'effet d'une fissure éventuelle, en incluant une fente verticale partant de la clef du doubleau dans le modèle. On a modélisé une fissure s'étendant jusqu'à la clef de l'arc qui marque le départ du voûtain au-dessus du doubleau[211] : la traction maximale ($\max(\sigma_3)$) croît dans ce cas jusqu'à 660 kPa. L'examen d'une fissure s'étendant jusqu'à 20 cm de la face supérieure du mur, dans le mur contenant le doubleau uniquement, montre des contraintes très importantes ($\max(\sigma_3)=3{,}360$ MPa) à la jonction de la fissure et de l'intrados du voûtain : on en conclut qu'une telle fissure se propagerait nécessairement au voûtain lui même. Si l'on suppose une fissure étendue jusqu'au centre de la voûte, et à la totalité de son épaisseur (Fig. 100a), on constate que cette fissure tend à se refermer dans sa partie supérieure. Les résultats

210 On a utilisé deux types de conditions aux limites sur les faces est et ouest : soit des surfaces libres, soit un confinement dans la direction est-ouest, le doubleau glissant parfaitement le long du plan vertical nord-sud. Les deux options donnent des résultats similaires.

211 L'extrémité supérieure de cette fente a été arrondie pour éviter la concentration de contrainte que pourrait induire un angle vif.

obtenus ne sont cependant pas totalement réalistes, dans la mesure où le mode de calcul ne permet pas de rendre compte de la pression que les deux lèvres supérieures de la fissure exercent l'une sur l'autre.

Nous avons finalement supposé une fissure qui s'arrête à 5 cm du haut du remplissage. La traction maximale se réduit alors à 160 kPa, et les tractions qui dépassent la limite de résistance de 110 kPa restent localisés le long de la fissure, mais parallèlement à celle-ci (leur direction est verticale) (Fig. 100b). La compression maximale de l'ordre de 650 kPa ($\min(\sigma_1) = -654$ kPa) est localisée aux angles orientaux des contreforts. Elle reste bien inférieure à la résistance à la compression, 9 à 10 MPa : la formation de la fissure n'engendrera pas la ruine.

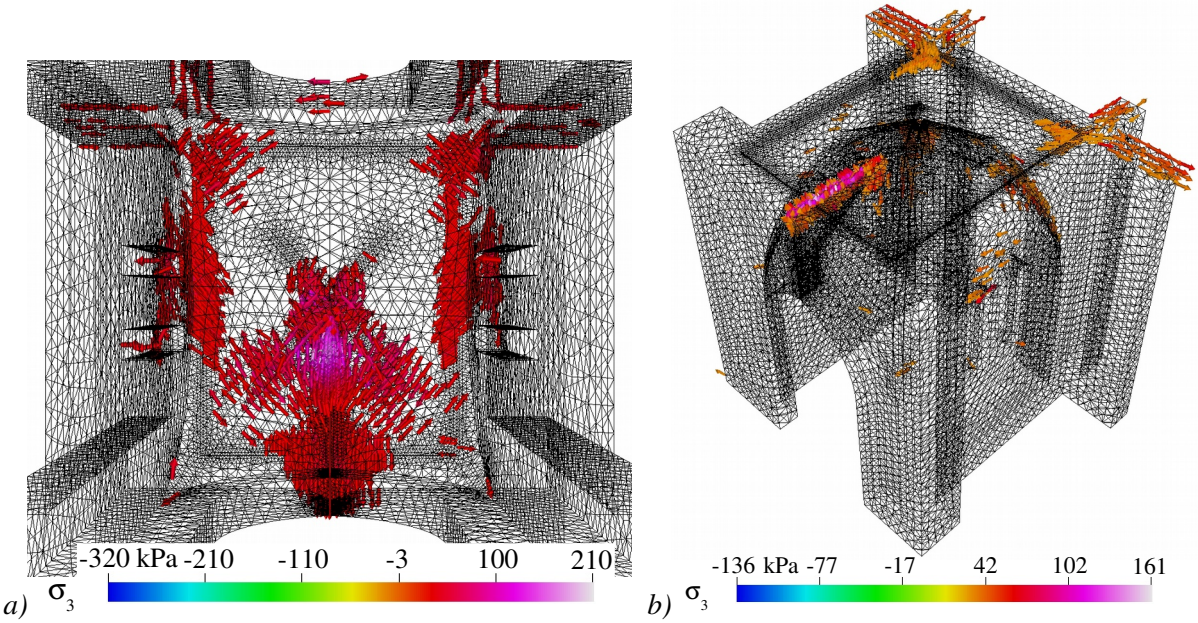


Figure 100: Tractions dans la voûte de la travée est de la nef en présence d'une fissure. Les directions propres associées à la contrainte normale principale maximale σ_3 *. On n'a représenté que les* $\sigma_3 > 30$ kPa *a) La fissure traverse totalement la voûte. b) La fissure s'arrête à 5 cm du haut du remplissage.*

On a de plus étudié l'extradossement du rouleau inférieur du doubleau, en suivant la même méthode que pour la fenêtre du transept (section 2.G ci-dessus). Un domaine correspondant au joint entre l'extrados du premier rouleau et l'intrados du rouleau extérieur a été isolé dans le modèle, et traité comme un matériau fictif facilement déformable[212] (Fig. 98b). La traction maximale reste voisine de ce qu'elle était pour le modèle complet (288 kPa au lieu de 254 kPa). Par contre, les tractions dans la clef du doubleau diminuent considérablement, et deviennent inférieures à la résistance de la maçonnerie[213]. La traction est donc essentiellement reportée dans la maçonnerie qui surmonte l'arc[214]. On constate ainsi que l'extradossement de l'arc donne à celui-ci une souplesse qui permet d'éviter qu'il se fissure, en reportant les tractions vers la partie supérieure de la structure.

212 On a pris pour ce matériau fictif les caractéristiques du tuffeau, mais divisé le module de Young par 100.

213 Les tractions sont inférieures à 75 kPa, si l'on excepte un maximum très localisé voisin de 100 kPa. En tout état de cause, elles restent inférieures à la limite de résistance de la maçonnerie évaluée à 110 kPa.

214 Précisément, les maxima sont localisés sur la face supérieure du joint, mais il existe aussi des tractions importantes dans l'intérieur de la maçonnerie au dessus de celui-ci.

Le résultat de l'analyse est que cette voûte doit se fissurer à la clef, sans que ceci n'entraîne sa ruine, ce qui est conforme aux faits observables, en effet, comme on l'a vu, le tuffeau du doubleau présente une couleur différente des blocs voisins, qui trahit une réfection (Fig. 97), mais la voûte est toujours en place depuis le début du XIII^{e} siècle.

5.H.2. Les fissures dans les voûtains et les autres tractions

On observe d'autres tractions dans ces modèles, dont une part importante est localisée à l'intrados des voûtains. Ces tractions sont approximativement dirigées suivant des cercles centrés à la verticale de la clef, le long de l'intrados. Considérons en premier lieu la travée orientale (Fig. 103a). La plupart de ces tractions sont très faibles (σ_3<30 kPa). Celles de plus grande intensité sont localisées, en ce qui concerne la travée orientale, dans les angles est et au voisinage du doubleau, et les premières dépassent à peine les 50 kPa. Il subsiste cependant des tractions jusque vers 75 kPa au voisinage du doubleau[215].

Quoique la direction de ces efforts s'accorde bien avec celle des fissures qui apparaissent dans la voûte, ils ne paraissent pas suffisant pour les avoir initiées. Cependant, on a vu que les tractions au niveau du doubleau étaient de nature à ouvrir une fissure au-dessus de celui-ci. Si l'on considère les modèle dans lesquels une telle fissure a été intégrée (Fig. 100), on constate que des tractions relativement importantes apparaissent à l'intrados. Elles occupent une zone sensiblement ovale, allongée le long de la ligne qui joint la clef du doubleau à celle des ogives, et dont le centre se situe au tiers de la longueur de cette ligne, du coté de la clef de la voûte.

Figure 101: Voûtain de la travée orientale de la nef, au voisinage du doubleau.

Figure 102: La voûte de la travée occidentale de la nef.

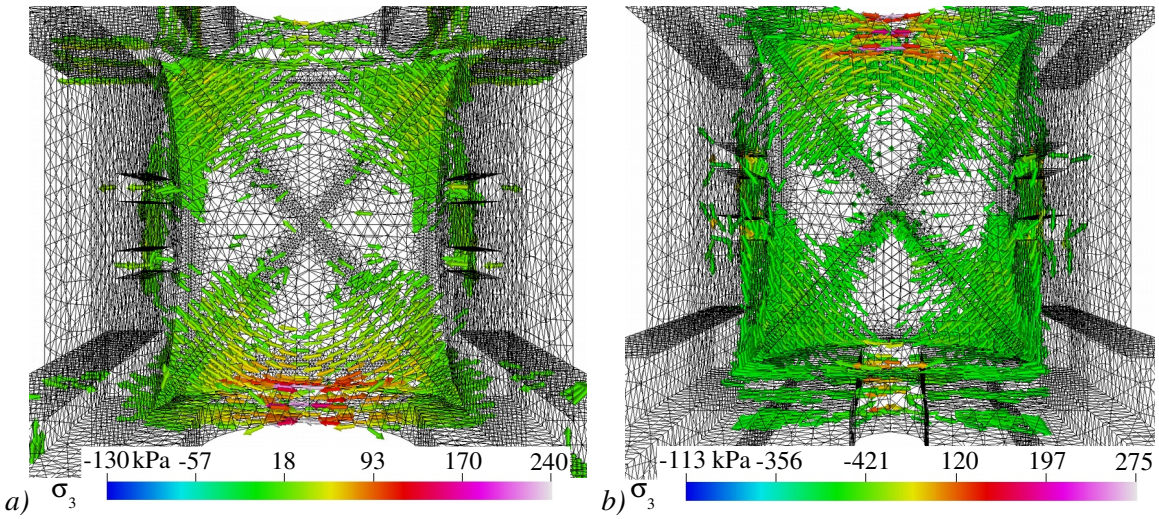
La direction de ces tractions ne suit pas des cercles centrés sur la clef de voûtes comme les précédentes, mais au contraire la direction perpendiculaire à celle-ci, qui est celle des lignes de plus grande pente. Dans le modèle où la fissure ne parvient pas jusqu'au haut de la maçonnerie (Fig. 100b), ces tractions valent de 60 kPa à 80 kPa environ. Cependant, elles sont localisées à

215 Dans le modèle pour lequel les dimensions des contreforts ont été mesurées sur le plan de Duvêtre, la valeur maximale prise par la contrainte normale principale maximale σ_3 sur l'intrados est 76 kPa. Dans le modèle pour lequel ces dimensions ont été mesurées sur l'édifice, σ_3 ne dépasse 71 kPa sur l'intrados qu'en un point isolé, où il vaut 92 kPa. Dans le premiers cas, les tractions sont localisées au nord, c'est-à-dire du coté du contrefort le plus épais. Dans le second cas, elles sont symétriques.

l'aplomb de l'endroit où la voûte émerge du remplissage, qui est le point où le haut de la fissure commence à s'écarter de l'extrados ; on peut donc se demander si les tractions observées pourraient être la conséquence de ce détail de la modélisation. Il n'en est rien, en effet, dans le modèle où la fissure traverse entièrement la voûte (Fig. 100a), les tractions ont la même disposition, mais sont plus élevées, jusqu'à plus de 180 kPa.

La fissure amorcée dans le remplissage qui surmonte le doubleau aboutit donc à une traction le long de la ligne de faîte, au tiers du coté de la clef : c'est à celle-ci que correspond le haut de la fissure observable sur l'arc (Fig. 101). Plus près du doubleau, la rupture a eu lieu dans la direction perpendiculaire, conformément aux tensions observées sur le modèle initial (sans la fissure) (Fig. 98b).

Dans la voûte de la travée occidentale, on observe, en plus de celle qui apparaît au-dessus du doubleau comme dans la travée est, deux lézardes dans les angles occidentaux de la voûte. Précisément, ces lézardes sont situées dans les voûtains nord et sud, et suivent en gros la bissectrice de l'angle formé par l'ogive et le formeret (si l'on peut utiliser ce terme, puisque cette nervure est à peine saillante) (Fig. 102). L'examen des tractions qui apparaissent dans ces voûtains peut-il expliquer ces fissures ?



a) b)

Figure 103: Les tractions dans la voûte de la nef : a) travée orientale, b) travée occidentale. Les directions propres associées à la contrainte normale principale maximale σ_3. *On n'a représenté que les* $\sigma_3 > 10\,\text{kPa}$.

Les tractions dans le voûtain suivent des cercles centrés sur la verticale de la clef (Fig. 103b). Elles valent environ 45 kPa [216]. La position et la direction de ces tractions s'accorde parfaitement avec celle des fissures observées. Elles sont cependant largement inférieures à la limite de résistance de la maçonnerie (110 kPa).

Cependant, on observe des tractions horizontales importantes dans la façade, et ceci à deux niveaux : à la clef de la fenêtre, et le long de l'appui de celle-ci (Fig. 104). Ces tractions sont de

---

216 On a considéré deux modèles, l'un dans lequel les dimensions des baies sont celles des baies médiévales, établies d'après le relevé de Duvêtre, l'autre utilisant les dimensions actuelles. La traction maximale observée dans le premier cas est de 49 kPa, on trouve beaucoup de tractions à 45 kPa. Pour le second modèle, on a $\max(\sigma_3) = 44\,\text{kPa}$, les tractions apparaissent ensuite de façon commune dès 43 kPa.

l'ordre de 95 kPa à la clef, et un peu moins de 90 kPa au niveau de l'appui [217]. Si l'on utilise les dimensions des baies néoromanes actuelles au lieu de celles des baies médiévales données par le relevé de Duvêtre, cette traction se réduit à 70 kPa. Ce résultat est assez surprenant car les baies néoromanes sont plus grandes que les baies médiévales. Il s'explique par le fait que la largeur des baies n'influe pratiquement pas sur le résultat, et leur hauteur assez peu : c'est surtout la hauteur de l'appui de la fenêtre qui est la cause de ces variations. Les approximations utilisées pour établir les modèles, et en particulier le fait que l'on a remplacé les ébrasements par des ouvertures droites de largeur égale à la largeur moyenne de la baie ébrasée, peuvent influer sur les résultat.

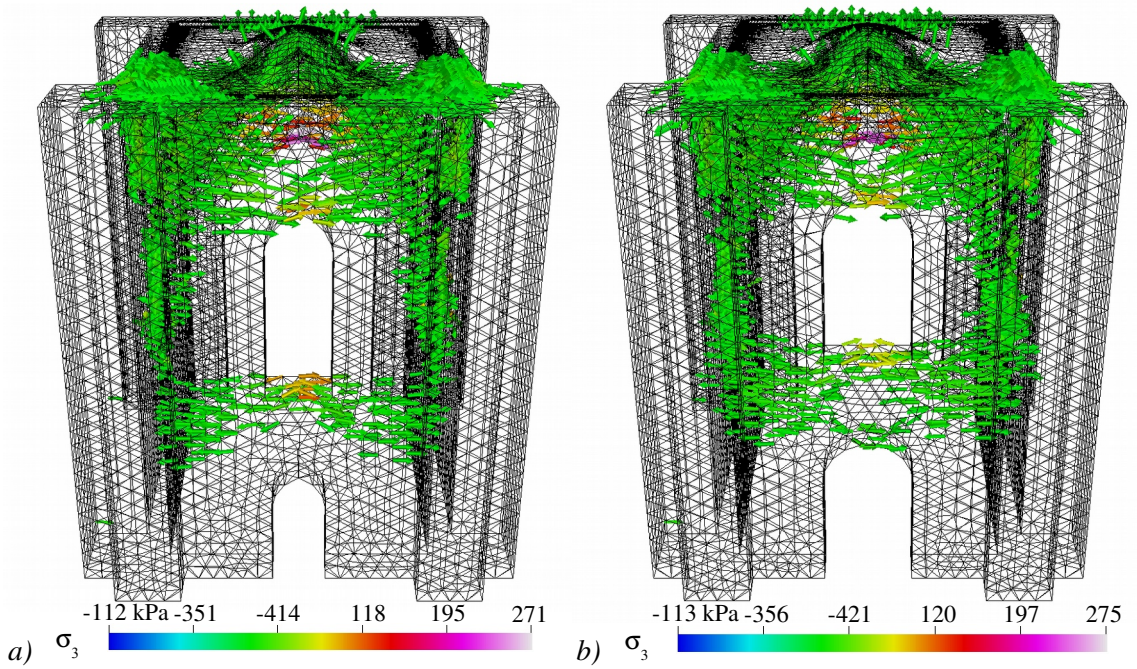


Figure 104: Les tractions dans la façade : a) modèle utilisant une reconstitution de la fenêtre et de la porte médiévales, b) modèle utilisant les baies néoromanes. Les directions propres associées à la contrainte normale principale maximale σ_3. *On n'a représenté que les* σ_3>10 kPa

Ces tractions assez fortes (puisque la valeur maximale dépasse la limite de résistance évaluée à 110 kPa) ont pu créer des désordres dans la maçonnerie primitive de la façade. Ces désordres pourraient être liés aux reprises du portail dont on voit des témoignages sur les documents graphiques. Cependant, le peu de renseignements donnés par ces documents obligent à rester très réservé sur ce point.

Quoiqu'il en soit, il est vraisemblable qu'à la suite des reprises importantes de la maçonnerie de la façade en 1868-1871, celle-ci ait retrouvé une certaine plasticité, qui, sous l'effet de ces tractions, lui a permis de ce déformer. Cette déformation, si elle n'est pas perceptible sur la façade elle-même, a dû induire les fissures observées dans la voûte.

---

217 Précisément, on trouve, pour le modèle utilisant les baies médiévales, à la clef, une valeur maximale de σ_3 de 110 kPa, mais c'est une concentration de contraintes isolée, les valeurs régulièrement obtenues sont de l'ordre de 90 kPa ; au niveau de l'appui de la baie, le maximum est de 119 kPa, mais c'est aussi une valeur assez isolée, les valeurs courantes sont de l'ordre de 90 kPa. Pour le modèle utilisant les dimensions des baies néoromanes, on obtient à la clef, un maximum de 96 kPa, et des valeurs courantes peu en dessous de 95 kPa ; au niveau de l'appui, le maximum est 887 kPa, et les valeurs courantes de l'ordre de 70 kPa.

Il faut remarquer aussi que le modèle montre des tractions assez importantes aux clefs des fenêtres, variant de 95 kPa à 120 kPa [218]. Or l'une des fenêtres (la plus à l'ouest du côté sud) est justement lézardée au niveau de sa clef, et sans doute depuis un temps assez reculé, comme on l'a vu (*cf.* section 5.D.3 et Fig. 89 ci-dessus).

5.H.3. Le surhaussement de la voûte à l'ouest

On a remarqué que les deux voûtains les plus à l'ouest avaient une géométrie différente des autres, et se trouvaient appréciablement plus haut. Cette disposition, qui a l'avantage de dégager la fenêtre de façade et par conséquent d'améliorer l'éclairage de la nef, a-t-elle en outre une fonction mécanique dans la stabilité de la voûte ? Pour tenter de répondre à cette question, nous avons simulé numériquement une voûte dépourvue de cet exhaussement.

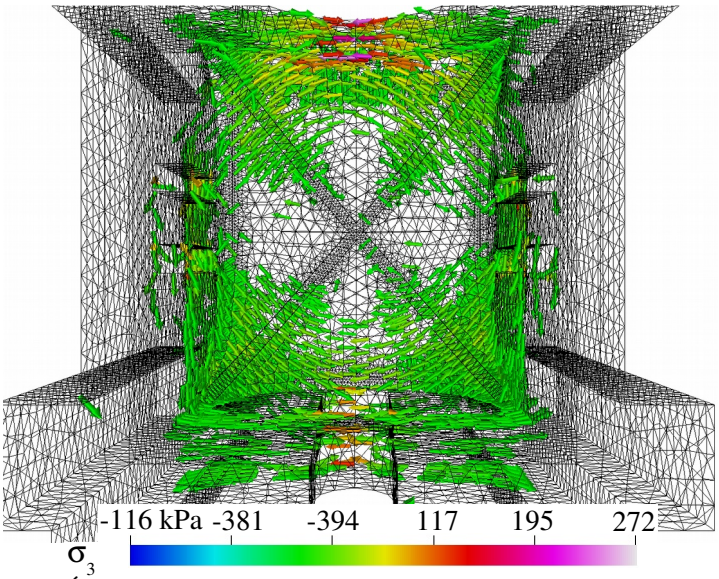


Figure 105: Étude de l'exhaussement de la voûte occidentale de la nef : les tractions dans la voûte en l'absence de cet exhaussement. Les directions propres associées à la contrainte normale principale maximale σ_3. On n'a représenté que les σ_3>10 kPa

Les tractions calculées dans la partie occidentale de la voûte, dans ce modèle, sont d'environ 60 kPa[219]. celles de la clef de la fenêtre de façade sont de l'ordre de 95 kPa, celle de l'appui de la baie sont typiquement de 105 kPa à 110 kPa[220]. Entre ces valeurs et celles qu'on a obtenues avec l'exhaussement de la voûte, la différence est sensible, 15 kPa à 20 kPa de moins au niveau de l'appui de la fenêtre, et surtout 15 kPa de moins dans la voûte. De plus, du fait que la voûte est rectangulaire et que les tractions dans son intrados suivent des lignes presque circulaires, elles affectent surtout les voûtains est et ouest (Fig. 105). Ceci n'est plus vrai avec l'exhaussement : les tractions dans le voûtain ouest ont tendance à disparaître (Fig. 103b).

On voit ainsi que cette disposition particulière de la voûte réduit efficacement les effets de sa

218 Les maxima de σ_3 dans les quatre fenêtres de la travée occidentale sont 96 kPa, 106 kPa, et 119 kPa pour deux fenêtres.

219 On a obtenu un maximum de 59 kPa, et cette valeur n'est pas isolée.

220 Les valeurs maximales de la contrainte normale principale σ_3 sont 116 kPa à la clef et 130 kPa à l'appui, mais ces valeurs sont assez isolées.

poussée. On observe d'ailleurs que le voûtain ouest n'a subi aucun dommage, contrairement aux voisins (Fig. 102). On a aussi réalisé un modèle sans le remplissage des reins des voûtes, de façon à déterminer le rôle de celui-ci. Contrairement à ce que l'on a observé dans le chœur et dans le transept, cet effet est plutôt négatif. Les traction à l'extrados de la voûte en coupole ne dépassent pas 37 kPa[221]. Certes, en présence du remplissage, les tractions à l'extrados sont moindres, inférieures à 22 kPa, mais cette différence est à peine significative, alors que l'alourdissement de la voûte a une effet négatif beaucoup plus ample sur les tractions étudiées plus haut. En particulier, la traction maximale augmente de $\max(\sigma_3) = 186\,\text{kPa}$ sans le remplissage à 243 kPa avec celui-ci.

On doit cependant modérer ces conclusions, du fait d'une part que la précision avec laquelle j'ai pu établir la hauteur du remplissage très médiocre, d'autre part que son ancienneté est loin d'être certaine. En effet, la surface supérieure du remplissage ne semble composée que de déblais meubles et, sur la coupe de Duvêtre, cette surface apparaît à un niveau très inférieur à son niveau à ce qu'il est actuellement. On peut douter de la fidélité du relevé sur ce point, car en d'autres points, dans la coupe du clocher et du transept en particulier, l'architecte a traité le relevé des extrados avec une certaine négligence. Cependant il ne faut pas écarter l'éventualité que ce remplissage contienne une quantité de gravats datant de la restauration de 1868-1871, voire même postérieurs. Ils pourraient en particulier être liés à des travaux relatifs à l'horloge et à la mécanisation des cloches.

221 Cette valeur a été obtenue dans la travée orientale, avec le modèle utilisant les dimensions des contreforts mesurées sur le terrain. De plus, ces contraintes normales maximales sont observées aux points les plus bas de l'extrados.

6. Clocher

6.A. Généralités - Introduction

La tour de croisée est à deux niveaux, le premier renforcé d'une arcature en plein cintre, le second d'une arcature aux arcs brisés, les arcades centrales ménageant des baies campanaires aux piédroits composés en harmonie avec les voussures (Fig. 106). Intérieurement, l'espace est divisé par un plancher qui ne coïncide pas avec la division extérieure de la maçonnerie en deux niveaux, et repose sur les reins de la voûte de la croisée par l'intermédiaire d'un beffroi en charpente. La tour est couverte par une remarquable voûte de style gothique angevin. Celle-ci (Fig. 107) utilise la même technique de nervures pénétrant profondément dans le voûtain, et plus épaisses à l'intérieur de celui-ci, qu'à Saint-Serge d'Angers. Le dessin est exactement celui des voûtes de la chapelle latérale nord de Saint-Serge, voisin du dessin des angles du chœur. Les arcs sont moins aigus, et les clefs sont épannelées et non sculptées. Est-ce inachevé ?

Figure 106. Le clocher vu du sud-ouest du village.

La comparaison avec Saint-Serge est plus pertinente que celle proposée par le chanoine Urseau, avec Saint-Florent de Saumur[222]. On trouve le même système sur la travée occidentale de l'église de Mouliherne, dont la croisée d'ogives primitive du transept a été rapprochée de celle de Brion. On peut se demander pourquoi un dispositif aussi sophistiqué a été utilisé ici, comme J. Mallet qui "voit mal l'usage" de cette voûte[223]. Elle a été renforcée en 1851-1853 par des tirants de fer, visibles sous la voûte (Fig. 107). Le devis et le document de réception de ces travaux mentionnent environ 860 kg de "fer employé pour le chaînement du clocher"[224]. Si l'on excepte une ouverture pratiquée sans doute vers cette époque ou un peu plus tard dans la voûte pour accéder au comble, celle-ci ne

222 *Op. cit.* n. 119, p. 64.

223 *Congrès Archéologique* de 1964, p. 153.

224 Réception des travaux exécutés pour la restauration du clocher, signé le 8 mai 1853 par Duvêtre. Archives du Maine-et-Loire, 4T38.

semble pas avoir davantage souffert du temps.

Figure 107. Voûte de l'étage des cloches.

6.B. Toiture

La charpente a dû subir des réparations en 1851-1853. Déjà le devis de 1832 indiquait la nécessité de travaux, mais ceux-ci ont été limités au remplacement d'"une pièce de bois a remettre dans le clocher de $3^{mt}33^{c}$ de longueur et 25^{c} carrés"[225]. Durant les travaux de 1852, les restaurateurs constatent que : "Les sablières de la Charpente sont aussi détériorées et ont disparu en parties ; elles sont dépourvues de goussets dans les angles ; quelques chevrons et empanons ont échapppé des arêtiers et de l'enrainure principale, de sorte qu'il nous paraît urgent aujourd'hui de consolider ces divers travaux". Le devis établi alors prévoyait "$120^{kilog.}$,00 de Crampons employés pour la consolidation des diverse[s] pièces de charpente" et 4,4 m^3 de bois de chêne neuf[226]. Ce volume de bois correspond pour l'essentiel au remplacement des sablières : les 74,4 mètres linéaires correspondent à deux pièces de bois sur tout le pourtour de la tour. S'y rajoutent 10 m pour les quatre goussets d'angle. Le volume donné correspond à des pièces de $21\,cm \times 21\,cm$. L'architecte a compté seulement 0,6 m^3 de "Bois de chêne employé en recherche dans le comble".

Les quantités indiquées dans ce document sont reprises telles quelles dans la partie "devis" du document de réception de 1853, et selon celui-ci, seuls 3,6 m^3 de bois neuf ont été utilisés[224]. On peut donc conclure que la réparation s'est limitée, à peu de choses près, au remplacement des sablières. On voit sur la charpente actuelle, que le faux entrait a été réparé à l'aide de deux pièces de bois fixées par des étriers de fer, qui sont sans doute une partie des "crampons" du devis. La charpente actuelle est donc pour sa plus grande part antérieure aux restaurations du XIX^{e} siècle.

Elle est à chevrons portant ferme, avec de longs coyaux, et une enrayure retroussée placée très haut, puisqu'elle doit passer au-dessus de l'extrados de la clef de voûte (Fig. 108). Cette enrayure comprend deux embranchements de chaque côté de chaque coyer (c'est-à-dire 16 au total). Malgré la présence d'esseliers sous les entraits et les coyers, la poussée de la charpente doit être en grande partie compensée par la rigidité du cadre formé par les sablières. Or celles-ci étaient hors d'usage en 1851. La poussée de la charpente devait alors se reporter sur les murs, et pouvait entraîner des désordres dans la voûte. Il est vraisemblable que c'est cela qui a motivé le chaînage de celle-ci.

225 Devis de L. Riobé du 22 octobre 1832, pour 2156,23 F. Archives du Maine-et-Loire, 4T38.

226 Devis supplémentaire de Duvêtre du 8 septembre 1852, pour 1170,29 F. Archives du Maine-et-Loire, 4T38.

Figure 108. L'enrayure de la charpente du clocher.

6.C. Sculptures et décor

Un décor sculpté appréciable avait été prévu pour cette tour, mais seule une petite partie de celui-ci a été réalisée. Le premier niveau, à l'extérieur, se compose d'une arcature aveugle, comprenant 8 arcs en plein cintre sur chaque face, soutenus par de fines colonnette qui reposent sur une corniche à modillons. Ceux-ci ont été sculptés, alors que les chapiteaux qui supportent les arcades sont restés épannelés. Le deuxième niveau est lui aussi décoré d'une arcature, mais en arc brisé, deux arcs aveugles encadrant deux hautes baies sur chaque face, dont le tiers inférieur a été obturé au XIX^{e} siècle. Ici, aucune sculptures, cependant les volumes de pierre correspondant aux chapiteaux et aux bases des colonnettes sont présents. L'intérieur est couronné par une splendide voûte nervée, on pourrait s'attendre à y trouver des chapiteaux sculptés à la retombée des nervures, et des clefs sculptées au sommet de celles-ci. Ici encore, les pierres sont présentes, mais les sculptures n'ont pas été réalisées.

Cet état de choses ne provient pas d'une restauration. Certes, une grande partie des modillons sculptés ont dû être refaits lors des restaurations du XIX^{e} siècle, mais ce n'est certainement pas le cas de ceux qui sont situés dans les combles de la nef, du chœur, et du transept. Or ces derniers portent tous un décor, certes assez fruste, mais présent.

On rencontre quelques têtes animales très stylisées (n^{os} 11, 13, 41, 43), qui rappellent un peu certains modillons de l'abside (n^{os} 40', 38', 23', 30'), mais ici les pointes qui marquent les angles (peut-être une réminiscence des volutes du corinthien) deviennent des oreilles pointues[227]. On relève quelques motifs assez particuliers, quoique très simples : l'un d'eux, un motif de quatre feuilles fendues disposées en croix de saint André autour d'un cœur circulaire percé en sont centre, apparaît à plusieurs exemplaires (n^{os} 12, 35, 50), ainsi qu'une variante, formée de quatre motifs de ce type juxtaposés (n^{os} 6, 20, 52). L'authenticité des deux premiers est garantie par le fait qu'ils sont situés dans les combles, le troisième semble en être une copie du XIX^{e} siècle[228]. Un autre motif est une croix, dont les branches s'effilent vers l'extrémité et sont terminées par des cercles, sculptée en creux (n^{os} 2, 5), parfois ornée d'un filet (n^{os} 18, 48). On en voit quelques variantes, avec deux croix

227 On peut y ajouter les n^{os} 31 et 34, qui évoquent plutôt des têtes de lion, et le n^{o} 21, authentique mais malheureusement très dégradé.

228 Le n^{o} 33, qui présente une variante de ce motif, sans le cœur, paraît récent lui aussi.

(nos 43, 16), ou avec seulement le bras supérieur de celle-ci (nos 47, 53, 56). Deux de ces sculptures (nos 5 et 56) sont à coup sûr authentique, d'autres (no 48 par exemple) datent clairement du XIXe siècle. On remarque aussi un motif à doubles dents de scie, comparable à celui du larmier du chœur, comprenant trois dents par modillon (nos 10, 32, 46) ou davantage (no 28). On trouve en outre quelques modillons à copeaux, avec (nos 22, 30) ou sans (nos 8, 45, 54) bandeau vertical, dont trois (nos 8, 22, 54) sont anciens, imités par les deux autres, des palmettes (no 3), dans un cas découpées dans la face du modillon (n° 55), celui-ci est ancien, des boules (nos 36, 38) et deux masques (nos 15, 17). Le style de ces derniers est franchement du XIXe siècle.

On constate donc que, quoique bon nombre de modillons aient été refaits au XIXe siècle, leurs motifs ont été copiés sur les originaux existants, soit que le sculpteur ait remplacé le modillon qu'il démontait par une copie de celui-ci, soit qu'il se soit inspiré des sculptures voisines pour remplacer un élément disparu. D'autres dessins sont sans nul doute des créations des restaurateurs.

Les arcs de l'arcature aveugle sont moulurés d'un tore, et surmontés d'un sourcil profilé d'un cavet. Ils reposent sur des colonnettes rondes qui sont presque complètement dégagées du mur, quoique formées des mêmes blocs de pierre que celui-ci. Les bases, comme les chapiteaux, sont de simples parallélépipèdes de tuffeau. La retombée de ceux-ci sur les colonnettes, en particulier aux angles, est inélégante. Le contraste entre le soin donné à la mouluration et ces blocs ne laisse pas de doute : des sculptures étaient prévues à la construction.

On peut faire des observations tout à fait analogues en ce qui concerne l'arcature du second niveau. Quant à la voûte sommitale, les clefs de ses arcs présentent toutes des volumes saillants, que seul un décor sculpté peut motiver. Il est donc peu vraisemblable que cette absence de sculpture puisse provenir d'un parti pris des constructeurs. Pourrait-il s'agir d'une restauration ?

Les dessins de Duvêtre n'indiquent aucune sculpture, et présentent tous des blocs d'un volume comparable à ceux que l'on peut observer actuellement, sur l'ensemble de la tour[229]. Les autres documents graphiques montrant le chevet, le tableau de Chanciergues-Dubord, le dessin du comte de Galembert, les photos de Lefèvre-Pontalis, Mieusement et Estève, ne montrent pas davantage de sculptures, cependant le manque de détail du premier, la piètre qualité du second, et la date tardive des suivants n'en font pas des témoignages très solides. En ce qui concerne les documents écrits, aucune sculpture n'est mentionnée dans ceux qui concernent les restaurations du clocher[230]. Il faut conclure de cette analyse que le décor sculpté prévu n'a pas été réalisé. On suppose naturellement que les travaux sont restés inachevés faute de fonds. On a déjà mis ces difficultés économiques en relation avec la fondation de l'église de Sobs.

Que l'abandon des travaux laisse des chapiteaux et bases épannelées prouve que celles-ci ne devaient être sculptées qu'après la pose. Mais dans notre cas les choses vont beaucoup plus loin. On a tout lieu de croire que le deuxième niveau de la tour a été construit assez longtemps après le premier. En effet, on a vu que les murs du premier niveau devraient être antérieurs à la coupole. J. Mallet date celle-ci des années 1170-1180[231]. Ce que notre analyse montre au sujet cette coupole met plutôt en évidence des caractères archaïsants, et n'incite pas à la rajeunir. J. Mallet et Y.

229 Cependant, une simplification du dessin n'est pas exclue. En effet, ces dessins ne montrent pas les sculptures des modillons, dont on a vu qu'elles devaient déjà exister avant les restaurations.

230 C'est-à-dire, le devis de 1832, le devis supplémentaire de 1852, le document de réception de 1853, et le devis de 1851 qui y est reproduit.

231 J. Mallet, art. cit. n. 120, p. 154.

Blomme[232] s'accordent pour dire que l'église n'a pas été achevée avant le début du XIII^e^ siècle, et que c'est à cette époque qu'a été construit le deuxième niveau. Le premier était donc construit depuis au moins 30 ans quand les travaux ont été abandonnés. Pourtant, ses sculptures n'ont pas été réalisées. Il faut donc admettre que, même alors que les travaux de gros œuvre se poursuivaient et évoluaient, des chapiteaux et bases ont pu rester trente ans ou plus en attente d'être sculptées.

6.D. Baies

Le premier étage du clocher s'ouvre sur les combles de la nef, des croisillons et du chœur par quatre baies rectangulaires. Les accès vers les croisillons mesurent 41 à 45 cm de large et 1,35 m de haut environ. La baie côté nef a été agrandie à la dimension d'un porte assez large, peut-être pour l'accès à l'horloge placée lors des restaurations de XIX^e^ siècle. Les dimensions de la baie donnant sur le comble du chœur sont *grosso modo* celles des baies donnant sur les combles des croisillons. Le sol actuel se trouve environ 75 cm au-dessus du seuil des baies.

L'escalier se termine par une volée droite anormalement raide, et surtout d'une pente nettement plus prononcée que celle de sa voûte, qui a cependant été retaillée, comme en témoignent son appareil d'un qualité nettement inférieure à ce qu'il est plus bas, et le profil de l'arc qui surmonte la porte donnant sur l'étage du clocher (Fig. 109). Avec tout cela, cette porte ne mesure que 1,36 m de haut à la clef. Des trous de poutres sont visibles à différents niveaux sur les murs, qui sont sans doute les traces de planchers intermédiaires. Il faut de plus noter qu'une partie de la maçonnerie de la tourelle d'escalier est visible dans l'angle du comble du croisillon nord. Celle-ci est parfaitement liée au mur du clocher, mais pas au gouttereau. La construction de l'escalier est bien contemporaine de celle de la tour, le transept étant postérieur, du moins à ce niveau. Au sud par contre, au-dessus de la corniche du chœur, le mur du transept semble être la continuité de celui du clocher, avec le même tuffeau tirant sur l'ocre rouge, qu'on a remarqué à l'ouest de ce croisillon.

Figure 109. Porte donnant dans la salle haute du clocher.

Le sol initial de cette salle devait être initialement prévu au niveau du seuil de ses différentes entrées, soit 75 cm plus bas environ. Le dessus de l'ouverture centrale de la voûte est encore 20 cm à 30 cm plus haut que ce niveau. Il dépasserait donc d'environ un mètre le sol initial.

On a étudié plus haut les dimensions de la coupole[233]. Les formerets sont faiblement brisés,

232 Y. Blomme, op. cit. n. 123, p. 122.
233 *Cf.* section 4.D.

d'une hauteur de 3,30 m[234]. Les ogives de même, d'une hauteur de 4,76 m à l'extrados[235]. Une voûte d'arête culminerait à une hauteur de formeret au-dessus des chapiteaux, et non à une hauteur d'ogive, c'est-à-dire 1,36 m plus bas[236]. Cette dénivellation correspond *grosso modo* à celle du sol du premier étage de la tour, et on peut donc penser qu'une voûte d'arêtes était initialement prévue, puis que celle-ci a été "remplacée" par une voûte plus bombée, qui a amené à surélever le sol de la tour. Il est peu probable que la voûte d'arêtes ait jamais été construite. Qu'en était-il des accès à cette salle avant que la coupole soit en place ? Quoiqu'il soit difficile de préciser la chronologie, les murs du premier étage ont dû rester en place plusieurs dizaines d'année avant la construction de la coupole. Ces ouvertures donnaient-elles dans le vide, sur des échafaudages, sur un plancher provisoire ? À moins que la toiture de la tour n'ait été rapidement achevée sur un parti différent de celui qu'on voit actuellement. Le deuxième étage du clocher est encore postérieur, une toiture provisoire, ou conçue comme définitive dans un parti antérieur, a nécessairement existé.

Par ailleurs, ces ouvertures ont-elles toujours eu la fonction d'accès au comble ? On y descend actuellement à l'aide de simples échelles, aucune trace d'un dispositif antérieur plus élaboré n'est visible[237]. Les baies ne présentent aucune décoration ni mouluration, à un détail près : la baie qui s'ouvre vers le nord, présente, du côté du transept, des décrochements d'une vingtaine de centimètres de côtés dans ses montants verticaux, et son linteau est supporté par des consoles légèrement saillantes. Ce dispositif n'existe pas au sud, ni à l'est, ni dans l'unique montant conservé du côté de la nef. Ces ouvertures ne se trouvent pas dans l'axe de la tour, mais au contraire décalées de façon à ce que celui-ci ne traverse pas l'ouverture[238]. Seule la baie sud est dans l'axe. Cette absence de décoration et de symétrie s'accorde mal avec l'hypothèse selon laquelle ces ouvertures aurait pu servir à l'éclairage de la tour dans une version antérieure de l'édifice dans laquelle les toitures auraient été plus basses.

On observe de plus, et à nouveau, une dissymétrie appréciable entre le croisillon nord et le croisillon sud, qui apparaît nettement dans ces endroits non apparents, où les restaurateurs n'ont pas cherché à la faire disparaître.

On voit en plusieurs endroits des joints alignés verticalement. Ces lignes de joints vont par paires, à raison de deux paires sur chaque mur de l'étage de la tour[239]. Elles sont distantes de 62 cm à 65 cm, et peuvent être interprètées comme la trace des piédroits d'anciennes baies, de cette largeur. En hauteur, elles s'étendent du haut de l'assise qui surmonte les baies d'accès aux combles,

---

234 La mesure donne 3,30 m pour la hauteur des formerets. Leur ouverture est évaluée à partir de la distance entre les murs, dont la moitié est 3,27 m ; il faut en déduire l'épaisseur de l'arc au niveau de sa retombée.

235 La hauteur s'entend des tailloirs des chapiteaux au point le plus haut des voûtains, en moyenne sur des mesures prises sur le 4 secteurs nord, sud, est, et ouest.

236 La situation est à peu près la même dans les deux bras du transept. Voici les mesures : les formerets sont en plein cintre de rayon intérieur 2,70 m environ, les ogives en plein cintre aussi, de rayon d'intrados 3,95 m environ. La différence est donc 1,25 m.

237 Il n'est pas impossible que les blocs irréguliers qui garnissent la base des baies soient les restes dégradés d'une ou deux marches descendant vers les combles. Sauf du côté de la nef, dont la voûte est plus haute, et où le sol de la baie a été recreusé. Un dégagement de ces blocs serait nécessaire pour conclure.

238 La baie nord est décalée vers l'est, la baie ouest vers le sud, et celle de l'est vers le nord.

239 Sauf du côté gauche du mur est et du côté droit du mur ouest, où il n'y a qu'une de ces lignes. Ce sont les lignes indiquées en vert sur les Figs. 359-366 du dossier photographique.

jusqu'à un niveau marqué par de nombreuses encoches dans le mur[240]. Le niveau inférieur est vraisemblablement le niveau d'appui des anciennes baies ; à l'extérieur, il correspond à la corniche sur laquelle repose l'arcature aveugle. On n'a aucune information sur la forme de la partie haute de ces baies, arcs ou linteaux, dont on peut supposer qu'ils reposaient sur le niveau marqué par l'extrémité supérieure des lignes, ce qui correspond à une hauteur de baies de 1,11 m[241]. Enfin, ces baies se situent à une distance du mur variant de 162 cm à 179 cm. Aucune trace de ces baies n'est visible à l'extérieur : elles apparaîtraient dans les murs situés derrière l'arcature aveugle, au-dessus des toitures, et de tels détails ne sont pas visibles depuis le sol. Il est donc possible qu'il ne s'agisse que de niches ou de placards, et non de baies à proprement parler.

Si l'on exclut cette éventualité, on a là la trace d'un aménagement antérieur à la réalisation de l'arcature aveugle. Une version antérieure de l'église, peut-être celle qui existait lors de la donation de 1055, puisqu'il semble, selon les documents, que les moines ne se soient pas pressés de la rebâtir, aurait déjà possédé une tour de croisée, dont la maçonnerie, reprise en sous-œuvre, exhaussée, différemment ornée, repercée, existerait encore en partie dans l'édifice actuel. Ce serait une date fort haute pour l'utilisation de la maçonnerie en tuffeau, mais ce détail peut s'expliquer par la proximité des carrières, qui se trouvaient presque sous l'église même.

Les baies du second niveau, deux sur chaque face, ont été murées dans leur partie basse en 1832[242]. Le large ébrasement extérieur de ces baies comprend 4 rouleaux, l'arc qui les surmonte inclus, alors qu'à l'intérieur elles ne présentent aucun décor, ni aucun ébrasement. Cette forme est parfaitement adéquate, du point de vue acoustique, à la fonction de clocher de la tour. Le volume intérieur forme caisse de résonance, des éléments annexes ne pourraient qu'être la source de résonances parasites ou de pertes. L'ébrasement extérieur élargi au maximum que permet l'épaisseur du mur, forme une sorte de pavillon qui aide le son à rayonner vers l'extérieur. La forme allongée en hauteur de ces baies favorise la propagation du son dans toutes les directions du plan horizontal, tout en réduisant (certes dans une faible mesure) son étalement dans la direction verticale.

Cependant, l'absence totale de recherche décorative dans l'intérieur de ces baies forme un curieux contraste avec le raffinement de la voûte. Il est difficile de concevoir qu'aucune considération esthétique n'ait motivé celle-ci, pourrait-elle être entièrement motivée par des raisons techniques ? Du point de vue acoustique, la présence d'une voûte est un avantage. Elle réfléchit le son vers le bas, et évite les déperditions de puissance vers le haut, qu'il s'agisse de son absorbé par la charpente, ou transmis à la verticale à travers celle-ci. La qualité sonore du volume en tant que caisse de résonance est sans doute elle aussi améliorée. Il est clair que les moines et le seigneur de Brion avaient tout intérêt, à cette époque, à ce que leurs cloches s'entendent de loin. Ils devaient compter avec la concurrence de l'église voisine de Sobs. On se souvient en effet de la querelle entre Hubert de Sobs et Pierre de Brion au sujet de celle-ci[65].

Cependant le procédé que nous suggérons ici n'est attesté nulle part à notre connaissance. Une autre raison fréquemment invoquée pour le voûtement est la crainte des incendies, ce pourrait être le

240 *Cf. infra*, section 6.F.

241 La hauteur des lignes de joints mesure de 88 cm à 1,34 m. L'une d'entre elles dépasse les niveaux supposés vers le haut, l'autre vers le bas, mais je pense qu'on doit voir dans les alignements de joints correspondants de simples défauts de l'appareil.

242 On lit en effet dans le devis de 1832 : "quatre croisées à remplir pour empêcher l'eau de tomber sous le plancher en dessous des cloches".

cas ici. On peut imaginer que le choix du type de voûte n'a été que l'application de ce qui se faisait dans la région à l'époque. Quoi qu'il en soit, toute autre motivation relèverait d'une fonction de cette tour, autre que celle de clocher, dont nous ignorons tout.

6.E. Le beffroi

La structure en charpente qui supporte le plancher de l'étage des cloches et les cloches elles-mêmes est assez complexe. Le beffroi de charpente se compose essentiellement de cadres verticaux orientés d'ouest en est, contreventés par des croix de saint André. Ces cadres sont reliés par d'autres cadres orientés nord-sud, dont le contreventement est plus sommaire. Un schéma du cadre nord est donné sur la Fig. 110. Il se compose de deux niveaux superposés, contreventés par des croix de saint André, comme on l'a dit : deux au niveau inférieur et une au niveau supérieur, et des écharpes obliques. Il a été renforcé tardivement par plusieurs pièces de bois disposées de façon analogue. Le cadre sud a la même allure, les renforcements sont moindres. La disposition des cloches est peut-être responsable de cette différence.

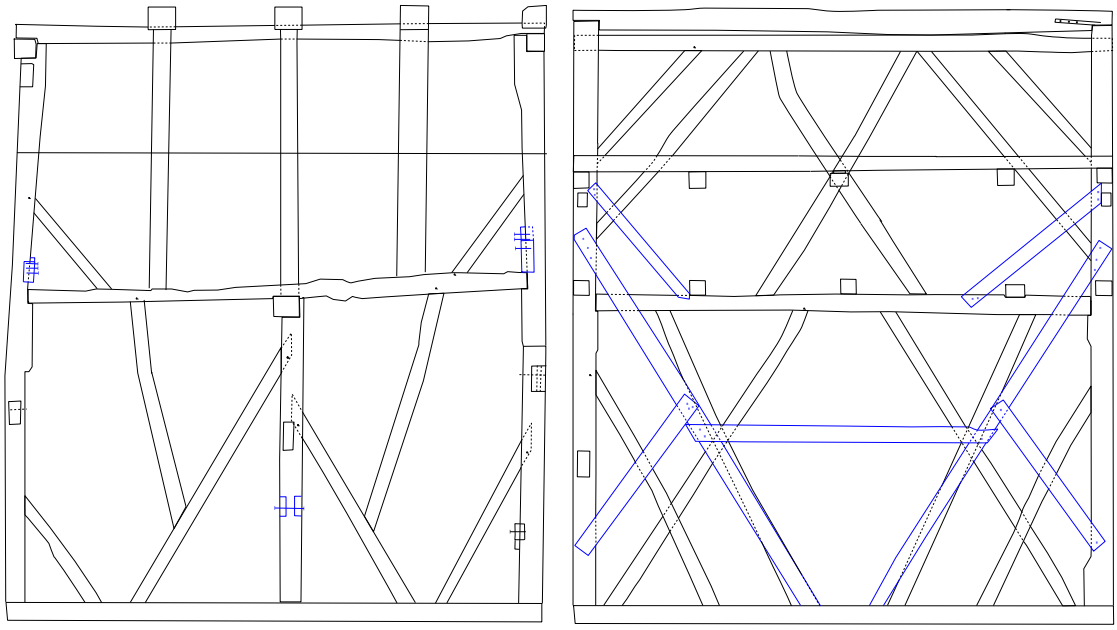


Figure 110. Beffroi du clocher de Brion : schémas des cadres de charpente ouest (à gauche) et nord (à droite).

Le beffroi est organisé en deux niveaux, et conçu de façon à faire supporter toute la charge, la sienne propre et celle des cloches, aux arcs de la croisée. Il repose en effet sur un cadre horizontal carré qui borde intérieurement les murs du clocher. De plus, si l'on compare les dimensions intérieures de la croisée (6,55 m) à celles de l'étage de la tour, on constate que les parois de celui-ci sont en retrait sur celles de l'étage inférieur, de 33 à 36 cm. C'est à très peu près la largeur occupée par ce cadre horizontal.

En conséquence, le niveau inférieur du beffroi est formé de quatre cadres disposés en carré, qui soutiennent le niveau intermédiaire. Le centre de celui-ci est supporté par deux pièces de bois partant en oblique des centres des côtés nord et sud du carré inférieur et formant une sorte de ferme, étant reliées par un entrait retroussé. Les simples écharpes qui soutiennent la poutre centrale dans la direction perpendiculaire est-ouest ont été renforcées plus récemment par des moises qui ne sont pas

loin de former un triangle analogue.

On voit sur le schéma du cadre ouest de la Fig. 110, que la partie inférieure de celui-ci est contreventée par plusieurs pièces de bois disposées obliquement, alors que sa partie supérieure se limite à cinq poteaux verticaux, qui soutiennent à leur sommet autant de fortes poutres horizontales : de ces cinq supports, les trois centraux portent les cloches (les deux plus petites du côté nord, la plus grosse du côté sud), et les deux extrêmes participent à la cohésion de l'ensemble. Alors que trois de ces poutres, les deux extrêmes et celle du centre, surmontent des cadres de charpente solidement contreventés, les deux intermédiaires ne le sont que par deux petites pièces en écharpe. Mais ces écharpes, aussi bien que la croix de saint André qui contrevente le cadre central, sont moisées, et fixées par des boulons. La technique est manifestement postérieure à celle qui a été utilisée lors de la création du beffroi.

La plupart des assemblages sont effectués par tenon et mortaise, les croix de saint André étant assemblées à mi-bois. Les poutres qui surmontent les cadres nord et sud sont doublées, et viennent enserrer les extrémités poutres sommitales est et ouest (Fig. 111). L'assemblage a été renforcé par une pièce métallique, sans doute postérieurement.

Des cadres composés de deux poutres horizontales séparées par des poteaux verticaux sont posés dans la direction nord-sud sur le niveau intermédiaire, et supportent un plancher qui, accessible par une échelle de meunier, permet d'accéder aux cloches (Fig. 112). Cette dernière structure pourrait ne pas faire partie du beffroi proprement dit. Le niveau intermédiaire coïncide avec la base des baies du clocher (Fig. 112).

Le devis de 1832 pour la restauration du clocher mentionne "quatre croisées à remplir pour empêcher l'eau de tomber sous le plancher en dessous des cloches" pour 80 francs. Ce n'est donc qu'à cette date que la partie inférieure des baies a été bouchée, auparavant leur appui correspondait à la séparation entre les deux niveaux de la charpente du beffroi. Ce même devis n'indique par ailleurs que la réfection complète du plancher (qui est de nouveau aujourd'hui très dégradé), "quatre soliveaux" et une pièce de bois de plus forte section, c'est-à-dire que les reprises de charpente du beffroi ont été très limitées.

En 1857, on a placé "3 Tubes en cuivre rouge étamé pour le passage des cordes du clocher dans la voûte"[243], ce qui montre que la commande mécanique des cloches a été installé postérieurement, comme on pouvait s'y attendre. Le document de réception des travaux la nef, en 1871, mentionne le "cadran de l'horloge" de la façade[244]. Celle-ci a vraisemblablement été installée au frais de la fabrique vers le même moment[245]. Ce cadran est commandé par un mécanisme qui se trouve dans une petite salle construite au milieu du comble de la nef, entre les deux travées de voûte, auquel il était relié par une longue tige horizontale. Le même mécanisme commandait le mouvement des cloches par des câbles passés à travers un trou percé dans le mur du clocher à cet effet (ces câbles sont toujours en place mais ne sont plus reliés aux cloches, une commande électrique a été réalisée depuis). La mécanisation des cloches, et certaines réfections du beffroi, les renforcements et les moises, fixés par des boulons et d'autres éléments métalliques, pourraient avoir été effectuées à cette occasion.

---

243 Document de réception du chœur de 1857, signé par Duvêtre le 14 février 1858. On peut voir quatre trous dans l'intrados de la coupole, peu éloignés de l'oculus, qui doivent correspondre à ces tubes.

244 Le même document de réception de la nef de 1871 mentionne 58 kg de fer pour des "chaînements cloche", mais l'utilisation de ceux-ci n'est pas claire.

245 On sait que la fabrique a réalisé des travaux, mais on n'en conserve que le montant total, *cf*. ci-dessus et n. 167.

Mais l'examen du dossier de restauration montre que l'ensemble du beffroi est antérieur aux restaurations du XIX^e^ siècle. À quand peut-il remonter ? On connaît l'âge des cloches actuelles ; les deux plus petites portent la date de 1855, et le bourdon celle de 1770. Selon les *Archives de Brion*, trois cloches furent bénies en 1673 et 1675[246]. On lit sur la paroi au dessus de l'accès au comble du croisillon nord, parmi quelques graffiti illisibles, le nom soigneusement gravé de Pierre Meffray. Un personnage de ce nom, "couvreur demeurant au bourg de Brion", était membre du conseil de fabrique entre 1788 et 1794[247]. Est-ce celui-ci qui aurait laissé son nom en guise de signature de travaux qu'il avait effectué sur le beffroi ? Même s'il s'agit de la même personne, nous ignorons quelle aurait été l'étendue des travaux concernés, construction première ou simple réparation.

Figure 111. Assemble des pièces de charpente à l'angle supérieur nord-est du beffroi.

Figure 112. Salle du 1^r^ étage du clocher : pièces de charpente supportant l'étage des cloches.

La présence de plusieurs niveaux de trous de poutres dans les murs de la salle montrent que le dispositif actuel n'est pas le premier a avoir été utilisé à cet emplacement (*cf. infra*).

6.F. Murs et voûte

Les murs, réalisés dans le même bel appareil de tuffeau que le reste de l'église, sont, intérieurement, dépourvus de toute décoration. On y observe, comme on l'a dit, de nombreuses encoches ou trous de poutre (*cf.* dossier photographique, Figs. 359 à 366). Ceux-ci sont disposés sur deux niveaux.

Le niveau inférieur (en rouge sur les figures. 359-366) situé jusqu'à une hauteur de 1 m du sol actuel comprend six trous de forte section (25 cm × 30 cm, grossièrement) et de profondeur suffisante pour encastrer des poutres, qui se font face deux à deux sur les parois sud et nord, répartis sur leur moitié occidentale[248]. On peut penser que ces trous portaient un beffroi, qui n'aurait occupé que la moitié de la superficie de l'étage, et aurait existé avant la construction de la coupole.

On a vu que le sol actuel de la salle est situé environ 75 cm plus haut que ce qu'il était, ou

246 *Archives de Brion*[4], p. 196.

247 *Ibid.*[4], pp. 206-207, 209, 475, 533, et 535.

248 D'autres trous de moindre section (10 cm × 10 cm) et situés à un niveau légèrement inférieur se font face au milieu de la moitié orientale des mêmes parois, au milieu de chacune des moitiés nord et sud des deux autres parois est et ouest, plus quelques encoches de moindre profondeur. La fonction de ces trous est obscure, le nombre et la section des bois qu'ils auraient permis d'encastrer ne pouvant pas, et de loin, suffire à supporter un plancher.

devait être, avant la construction de la coupole. Le dessus de ces poutres se trouvait donc à environ 1,75 m au-dessus de ce niveau.

Le deuxième niveau d'encoches, situé entre 1,65 m et 2,15 m environ au-dessus du sol actuel (en bleu sur les figures. 359-366) est très différent. Les encoches sont nombreuses, mais pour la plupart beaucoup moins profondes que les précédentes, et ne se correspondent pas d'une paroi à l'autre ; elles sont disposées de façon très irrégulière. Elles ne peuvent en aucun cas marquer ni un niveau de plancher ni le support d'un beffroi, et semblent plutôt correspondre à un aménagement intérieur. On a prétendu que l'église aurait servi de forteresse pendant la guerre de Cent Ans[249], et on pourrait y voir des traces des aménagements correspondants. Mais ce pourrait n'être qu'une légende, et les aménagements dont nous voyons la trace sont plus vraisemblablement celles d'un usage plus propre à une église, stockage de matériel, utilisation comme sacristie, aménagement en chapelle haute, logement de reclus, on peut imaginer de nombreuses fonctions.

Le changement de couleur du tuffeau est trop irrégulier pour marquer un arrêt des travaux au XII^{e} siècle, et correspond sans doute à une partie réappareillée au XIX^{e} siècle.

À l'extérieur, ces murs sont décorés d'arcatures, déjà évoquées, au sujet du décor sculpté inachevé.

La voûte nervée est typique de l'art angevin des environs de 1200. Quatre arcs brisés joignant les milieux des côtés soutiennent une voûte bombée assez élevée. Sous chacun de ces arcs, que nous appellerons "arcs diagonaux secondaires", en suivant l'expression de Viollet-le-Duc[250], s'ouvrent deux lunettes perpendiculaires, qui rendraient cette portion de voûte proche d'une demi-travée de voûtes d'arêtes, si elle n'était pas elle aussi très bombée. Les clefs des formerets sont bien au-dessous de celles des arcs diagonaux secondaires, et les liernes qui les relient sont très inclinées.

Figure 113. Extrados de la voûte du clocher.

L'intrados est soigneusement appareillé en tuffeau. Les nervures comportent un tore saillant assez fin, mais la plus grande partie de leur claveaux est engagée dans la voûte, sans dépasser de la surface du voûtain. Ceci s'applique à toutes les nervures sauf les formerets. Les claveaux de ceux-ci comprennent aussi un tore et un volume de section prismatique, mais la face visible de ce dernier est verticale, et non dans le prolongement du voûtain, qui vient s'appuyer sur l'extrados de l'arc.

249 *Archives de Brion*[4], p. 180.

250 Viollet-le-Duc, *Dictionnaire..., op. cit.* n. 176 du chap. 3 de la 1^{e} partie, t. 4, p. 128. Il s'agit de l'église de Mouliherne.

Des volumes de pierre sont réservés en attente de sculpture à chacun des points de jonction de deux nervures. Hormis l'inachèvement des sculptures, ces caractéristiques sont analogues à ce que l'on observe dans d'autres édifices angevins de la même époque, comme la nef de l'église de Mouliherne ou le chœur de l'abbatiale Saint-Serge d'Angers.

Une ouverture a été pratiquée dans la voûte à une époque indéterminée, elle permet l'accès au comble. L'extrados ne reproduit pas la structure de l'intrados, et sa surface est très différente. Elle se compose de moellons grossiers noyés dans du mortier, qui forme un enduit irrégulier (Fig. 113). Comme pour les voûtes primitives du transept, la maçonnerie des voûtains comprend plusieurs rangs de voussoirs dans son épaisseur. Rien dans l'extrados n'indique la présence des nervures de l'intrados. Les reins de la voûtes sont remplis de maçonnerie jusqu'à une hauteur voisine de celle des clefs des arcs diagonaux secondaires.

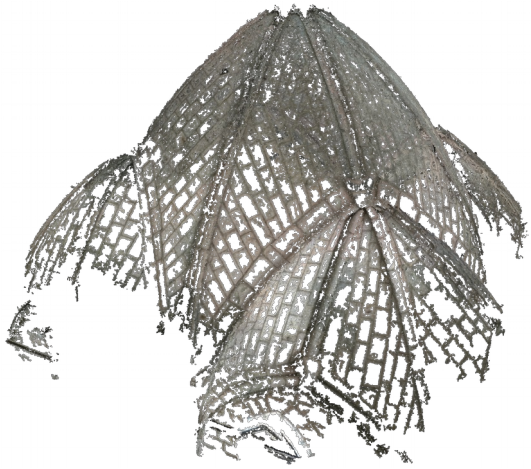


Figure 114. Modèle numérique tridimensionnel de l'intrados de la voûte angevine du clocher.

La voûte, vue depuis le "plancher des cloches", donne une impression de rondeur, et on ne prend pas conscience de toute son élévation, qui se rapproche en fait de celle d'une pyramide à base octogonale. La figure 114 montre un modèle numérique tridimensionnel de l'intrados, qui donne une idée de ce qu'est réellement cette forme.

6.G. Analyse des dimensions

L'arcature aveugle du premier se compose comme on l'a vu de 8 arcs en plein cintre. Ceux-ci ne sont pas accessibles à une mesure directe, cependant la largeur totale de la tour peut être déterminée grâce aux mesures prises à l'intérieur ; on obtient 9,77 m en moyenne sur les quatre faces. Cette longueur peut être considérée comme 30,08 pieds de roi, 32,88 pieds de l'aune de Paris, ou 32,05 pieds anglais. Seule l'hypothèse du pied anglais est compatible avec une division en 8 arcs d'ouverture égale, cette ouverture serait alors de 4 pieds.

Le rythme du second niveau est très différent (Fig. 115) : non seulement il n'y a plus que 4 arcs, mais les deux fenêtres centrales sont plus larges que les arcs aveugles qui les encadrent. On observe[251] que la largeur des fenêtres, mesurée entre les axes des colonnettes, est une fois et demi celle des arcs aveugles. En prenant comme module unité la moitié de la largeur des arcs aveugles,

251 À l'aide de mesures effectuées sur une photo convenablement redressée.

on a donc le rythme 2-3-3-2. Le total est de 10 unités, si on le compare aux mesures en pieds de la largeur de la tour indiquées ci-dessus, on constate qu'il est compatible avec une largeur de 30 pieds et un module de 3 pieds, pourvu que ce pied soit le pied de Roi.

De nouveau, si l'on admet le principe d'un dessin modulaire utilisant des nombres entiers d'une unité de mesure donnée, on constate que cette mesure a changé au cours de l'avancement du chantier. Si rien ne permet de confirmer l'utilisation du pied anglais pour le premier niveau, on va voir que le système modulaire utilisant le pied de Roi peut être développé dans la partie haute, ce qui pourrait confirmer son emploi.

Figure 115. Les proportions de l'élévation du clocher.

On se demande maintenant si les arcs brisés des différentes voussures sont du type identifié plus haut, où le diamètre est divisé en n parties égales, et dans l'affirmative, en combien, et que vaut le module. On constate que l'intrados du rouleau interne des arcs aveugles est de ce type avec $n=2$, c'est-à-dire un arc brisé équilatéral. L'extrados du second rouleau de ces mêmes arcs utilise par contre $n=3$, qui correspond selon notre analyse à l'arc en "tiers-point" de Villard de Honnecourt[252], quoique certains auteurs réservent cette appellation à l'arc brisé équilatéral[253].

Sachant que la largeur de la tour est de 30 pieds de Roi, on constate que l'intrados du rouleau interne a un diamètre voisin de 10 pieds, et une ouverture voisine de 5, la largeur par les colonnettes avec bases et chapiteaux serait donc d'un pied. L'extrados du rouleau externe mesure 12 pieds de diamètre, et son ouverture 8, soit un pied de chaque côté en dehors de l'axe des colonnettes. La limite du tore du rouleau interne, l'extrados de celui-ci, la moulure qui décore le rouleau externe, l'extrados du sourcil qui surmonte l'arcade, ne correspondent par contre à aucune mesure entière.

L'intrados de la fenêtre est un arc brisé équilatéral ($n=2$) comme celui de l'arc aveugle. Son ouverture est le tiers de la distance entre les colonnettes, soit un module de 3 pieds et un diamètre de 6. L'écart entre les centres est un module de 3 pieds. L'intrados du 2^{e} rouleau est de type $n=3$, son diamètre est de 7 pieds, et son ouverture n'est pas entière, l'écart entre les centres est $7/3 \simeq 2{,}33$.

252 *Cf.* plus haut et Fig. 66.

253 *Cf.* J.-B. Lassus, "de l'arc aigu appelé ogive", *Annales Archéologiques*, t. 2, pp. 40-44 (1845). On trouve aussi cette définition dans des encyclopédies : Wikipedia, art "Tiers-point", https://fr.wiktionary.org/wiki/tiers-point ; Encyclopédie Universelle, http://encyclopedie_universelle.fracademic.com/72548/tiers-point.

L'intrados du 3e rouleau depuis l'intérieur est de type $n=4$, son diamètre de 8,5 pieds n'est pas entier, l'écart entre les centres est $8.5/4 \simeq 2.12$. L'intrados de l'arc externe est de type $n=5$, son diamètre est de 10 pieds, et son ouverture de $4/5 \times 10 = 8$ pieds, soit juste un de moins que la distance de 9 pieds entre les axes des colonnettes. L'écart entre les centres $10/5 = 2$ pieds est à nouveau un entier. L'extrados de ce même arc externe est de type $n=6$, son diamètre est de 12 pieds, et son ouverture, au niveau des chapiteaux, serait de 10 pieds, l'écart entre les centres est $12/6 = 2$ pieds.

On a donc coexistence entre un système "modulaire", basé sur des mesures entières en pieds de Roi, et un système "géométrique", dans lequel les dimensions sont construites et non mesurées. Les arcs brisés sont de profils très variés, mais tous construits sur le principe de la division du diamètre en *n* parties égales. On constate de plus que, contrairement à une idée répandue, les voussures ne sont pas concentriques

La composition intérieure, en plan, est basée sur la subdivision d'un carré en carrés plus petits par ses médianes et diagonales (*cf.* Fig. 116), assez proches du procédé appelé quadrature ou *ad quadratum* par certains auteurs[254]. Elle peut cependant être encore considérée comme modulaire, en effet le côté du carré qui forme l'intérieur de la tour mesure 6,54 m qui valent 20 pieds de Roi[255]. Elle est ainsi subdivisée en carrés plus petits de 5 pieds de côté. Les nervures correspondent toutes à des angles faiblement rentrants (en blanc sur la Fig. 116), sauf les arcs diagonaux secondaires qui délimitent le carré central, tourné de 45° (en noir sur la Fig. 116).

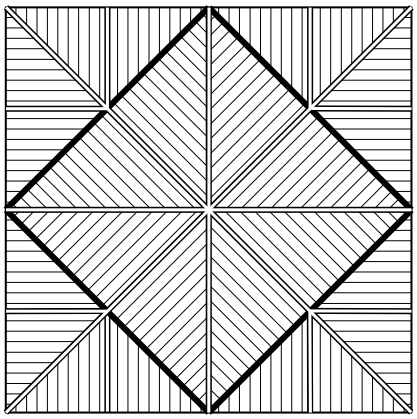


Figure 116. Schéma en plan de la voûte angevine de la tour.

Pour déterminer le plus précisément possible la structure géométrique de la voûte, nous avons dû évaluer le rayon des nervures. C'est une opération qu'il est difficile d'effectuer avec précision pour plusieurs raisons. D'abord à cause de difficultés d'accès, qui interdisent les mesures directes. On a donc utilisé un modèle numérique, avec les limitations de la précision que cela implique. Une deuxième cause d'imprécision est le faible angle d'ouverture des arcs ; enfin, les arcs sont loin d'être exactement circulaires. Pour toutes ces raisons, on obtient difficilement une précision meilleure que 10%. Pour contrôler celle-ci, on a réalisé deux modèles (à partir du même jeu de photographies, mais avec des mises à l'échelle différentes de celles-ci) et utilisé deux méthodes de

254 *Cf.* la section 2 du chap. 1 de la 1e partie de cette thèse.

255 Précisément, on a mesuré 6,543 m en moyenne sur les 4 côtés au dessus de la coupole, ils valent 20,14 pieds de Roi.

détermination des arcs : cercle déterminé par trois points et ajustement d'un arc brisé. La comparaison, quoique ne permettant pas de dépasser la précision annoncée, montre que la cause en tient davantage aux irrégularités de la maçonnerie elle-même qu'à la méthode[256].

Le rayon de l'intrados des arcs diagonaux secondaires mesure[257] $4{,}26 \pm 0{,}42$ m . Or, l'ouverture de l'arc est un peu inférieure à la demi-diagonale du carré, soit $\frac{6{,}54 \times \sqrt{2}}{2} = 4{,}63$ m . Malgré la mauvaise précision, on peut conclure qu'on a affaire à un arc dont le rayon est égal à l'ouverture (arc brisé équilatéral).

La voûte présente deux types de nervures parallèles aux côtés du carré, deux grandes (médianes) et deux plus petites dans chaque écoinçon. En plan, ces nervures occupent la place des liernes dans la voûte gothique dite "française", mais la lierne est supposée être essentiellement une nervure horizontale, alors que la pente de celles-ci est très élevée. Je conserverai cependant par commodité l'appellation de liernes, "grandes" ou "petites" suivant le cas.

On constate que l'arc est-ouest, en particulier, est assez loin d'être circulaire. L'écart entre le cercle qui le reconstitue au mieux et l'arc est de 11 cm à 12 cm. Quoiqu'aucune mesure du rayon ne soit possible, on peut tout de même constater qu'on a affaire à des arcs brisés équilatéraux : les arcs sont bien reproduits quand les centres se trouvent à leur extrémité. Les mesures des rayons de l'arc nord-sud, plus régulier, nous donnent 6,55 m et 7,17 m ; quoique la précision ne soit pas meilleure que 10%, ces valeurs coïncident à peu près avec l'ouverture des arcs.

Les "petites liernes" correspondent à des arcs de faible étendue angulaire, par conséquent la précision qu'on peut espérer sur leur rayon est mauvaise. On obtient 6,5 m, mais l'écart-type est de[258] 74 cm. Cependant on peut constater que ce rayon est voisin de la valeur commune du rayon de la grande lierne et du coté de la pièce, on peut penser que c'est là la valeur exacte choisie par l'architecte.

L'intrados du formeret a un rayon $r = 1{,}8$ m et une ouverture $l = 2{,}69$ m . Le rapport $\frac{2r}{l} = 1{,}35$ est très voisin de[259] $\frac{4}{3}$. Pour les arcs obtenus en divisant le diamètre en n parties égales et en décalant les centres d'une de ces parties, ce rapport est $\frac{2r}{l} = \frac{n}{n-1}$. On a donc un arc de ce type avec $n = 4$. Ses mesures en pieds de Roi sont $r = 5{,}57$ pieds et $l = 8{,}27$ pieds, ce qui suggère les

256 La comparaison des deux modèles montre que l'erreur sur l'échelle est de l'ordre de 0,3%. D'autre part, on peut montrer que, si l'on suppose que deux des points donnés sont exactement symétriques par rapport à une droite passant par le 3e (ce qui ne peut que diminuer l'erreur), l'erreur théorique sur le rayon est environ 5 fois celle sur la position des points pour un arc de 90°, 10 fois pour 60°, 17 fois pour 45° et même 36 fois pour un angle de 30°. On comprend qu'avec une précision de l'ordre de 1% sur les mesures des distances, pour les arcs assez courts qui nous concernent, on ne puisse pas espérer mieux qu'une précision de l'ordre de 10% sur les rayons des arcs. En effet, une précision des mesures meilleure que 1% serait illusoire. Il a déjà été établi que la précision des mesures médiévales était de cet ordre, et il faut de plus compter avec les irrégularités naturelles à la maçonnerie et son vieillissement.

257 Cette valeur est la moyenne de 6 demi-arcs, obtenue par la méthode à 3 points. La précision affichée est l'écart-type de ces valeurs.

258 Cette valeur est une moyenne des mesures sur les diverses nervures par la méthode à trois points.

259 Les formerets sont visibles en entier, mais mon modèle numérique ne s'étend à la totalité de l'arc que pour l'un deux seulement. Les mesures donnée sont celles de cet arc.

valeurs entières de 6 et 9 pieds. On peut mesurer le rayon de l'extrados de cette nervure, on trouve 1,99 m, c'est-à-dire 6,12 pieds de Roi. L'ouverture ne peut être mesurée directement, mais si l'on suppose qu'elle est augmentée dans les mêmes proportions que le rayon, on obtient 9,09 pieds. Il est donc possible que la dimension de ces arcs fasse partie d'un système modulaire en pieds de Roi. Dans ce cas, le rayon pertinent est celui de l'extrados de la nervure.

Comme on l'a observé à l'extérieur, l'ouverture de l'arc est inférieure d'un pied à la distance entre les axes des nervures (même s'il s'agit ici de l'extrados). Le centre de ces arcs ne se situe pas au même niveau que celui des grandes liernes, mais un peu plus haut. On évalue le décalage à 95 cm, soient 2,9 pieds, que l'on peut arrondira à 3.

Les nervures diagonales, que l'on qualifiera d'"ogives" malgré la différence de structure en cette voûte et la voûte sur croisée d'ogives proprement dite, se composent de deux parties bien distinctes : la partie inférieure qui relie l'angle de la pièce à la clef de l'arc diagonal secondaire, et la partie supérieure qui soutient le "dôme" central (Fig. 117).

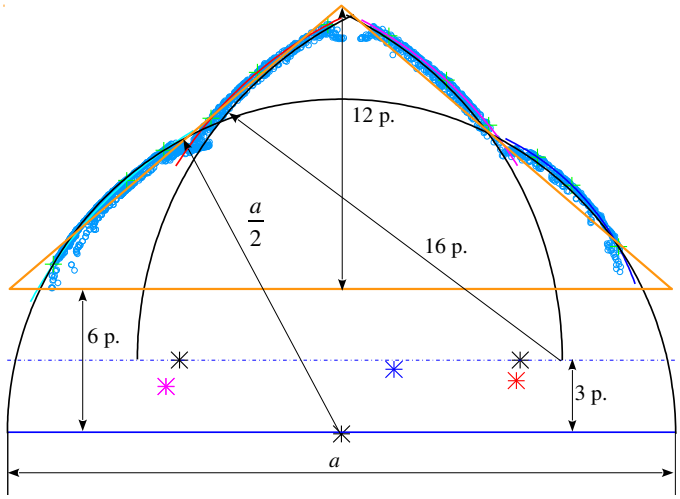


Figure 117. L'ogive nord-ouest-sud-est. Les cercles bleus sont les points du modèle numérique initial. Les arcs bleu clair, bleu foncé, rouge et rose sont des ajustements de celui-ci, et les astérisques de même couleur, leurs centres (le centre de l'arc bleu clair est hors du cadre). On a représenté en noir les arcs correspondant au schéma idéal identifié.

La partie inférieure est comparable aux "petites liernes", et on s'attend à ce que, comme celles-ci, leur rayon soit comparable aux dimensions de la pièce ; c'est en effet le cas, et ces deux arcs (pour chaque ogive) font partie d'un même arc en plein cintre, dont le diamètre coïncide avec la diagonale du plan. Les arcs de la partie supérieure mesurent, en moyenne, 5,13 m qui valent 15,8 pieds de Roi, mais la dispersion est très grande[260]. La position des centres, assez fluctuante, montre assez clairement qu'ils sont à l'aplomb des clefs, au quart (et trois quarts) de l'ouverture de l'arc, c'est-à-dire de la diagonale du plan. Ils ne sont pas situés sur le même plan horizontal que les centres des autres nervures, mais à une hauteur très proche de 3 pied de Roi au-dessus de celui-ci (2,9126 pieds). Des arcs construits sur ces données sont pratiquement confondus avec les nervures,

260 L'écart-type est $\sigma = 40\,\text{cm}$, c'est-à-dire 1,2 pieds, donc la précision est, au mieux, $\frac{\sigma}{\sqrt{n}} \simeq 11\,\text{cm} = 0{,}35\,\text{pied}$.

à la précision à laquelle on peut les visualiser.

Il est donc vraisemblable que ces arcs aient été établis à l'aide de mesures en pieds de Roi, quoique la mauvaise précision ne permette pas d'établir cette hypothèse de façon sûre.

La suite de deux arcs de cercle qui forme l'ogive s'écarte en fait assez peu d'une ligne droite. On a tracé sur la figure 117 un triangle isocèle qui s'ajuste de façon tout à fait satisfaisante à cette courbe. On a choisi pour la hauteur de ce triangle et pour sa position en hauteur des mesures entières en pieds de Roi : les valeurs pour lesquelles l'ajustement est le meilleur sont 12 et 6 pieds, qui se trouvent (peut-être par un heureux hasard) dans des proportions simples entre eux et avec les mesures obtenues.

Si l'on admet que (i) les arcs inférieurs font partie d'un même demi-cercle, (ii) les clefs des arcs diagonaux secondaires sont à l'aplomb des $1/4$ et $3/4$ de la diagonale du plan, (iii) le sommet de la voûte est donnée par l'arc équilatéral formé par la "grande lierne"[261], on peut calculer où devrait se trouver le centre de la partie supérieure de l'ogive et quel devrait être son rayon pour que l'arc passe par les deux clés[262]. Le résultat est simple, et on peut le comparer à la voûte existante : on constate un évident désaccord. Quoique ce schéma élégant nous paraisse être celui qui complète au mieux la structure géométrique de la voûte, il n'a pas été utilisé. L'architecte n'a pas cherché à compléter au mieux le schéma obtenu en réduisant les nervures à des courbes sans épaisseur. Il a au contraire établi la forme et le rayon des arcs en tenant compte du fait que les clefs ne sont pas réduites à des points.

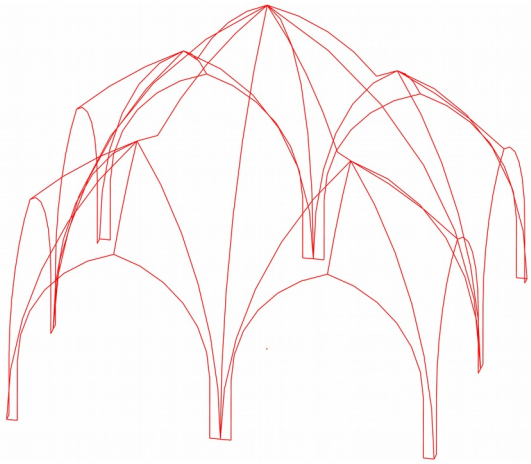


Figure 118. Schéma de la voûte, dans lequel les nervures sont réduites à des courbes sans épaisseur.

Nous avons cependant construit un tel schéma, en utilisant les donnés identifiées ci-dessus, et nous en avons déduit un modèle de la voûte (Fig. 118). Nous avons comparé ce modèle idéalisé avec le modèle numérique de la voûte précédemment obtenu, et constaté un accord tout à fait

261 On en déduit que les clefs des arcs diagonaux secondaires se trouvent à une hauteur de $\frac{\sqrt{6}}{4}L$, où L est le côté du carré que forme le plan. La clef de la voûte se trouve à la hauteur $\frac{\sqrt{3}}{2}L$.

262 On trouve que le centre doit se trouver au niveau du centre du cercle qui forme les arcs inférieurs et que le rayon doit être $\frac{\sqrt{14}}{4}L$.

satisfaisant. Cependant, pour cela, il faut placer le centre des formerets non pas à 3 pieds au-dessus de la ligne des centres, mais à 2,5 pieds. Moyennant cet aménagement, seule la hauteur des clefs des arcs diagonaux secondaires semble légèrement surestimée.

Si l'on effectue une coupe horizontale de la partie supérieure de la voûte, juste au-dessus des clefs des arcs diagonaux secondaires, on constate que son intrados a une section octogonale. La courbure des voûtains dans le plan horizontal est négligeable. Cet octogone n'est pas exactement régulier : il est un peu plus long le long des ogives que le long des "grandes liernes" (Fig. 119).

Au vu des figures 117 et 119, on constate donc que la partie supérieure de la voûte est proche d'une pyramide à base octogonale. On peut y voir une parenté avec une flèche en pierre, ou avec les voûtes pyramidales de Saint-Ours de Loches. Cependant, l'appareil parallèle aux ogives place les lits essentiellement le long de la ligne de plus grande pente de la voûte, alors que les pyramides de Saint-Ours sont appareillées en lits horizontaux, comme le sont de nombreuses flèches romanes (citons en particulier celle de l'église de Cunault).

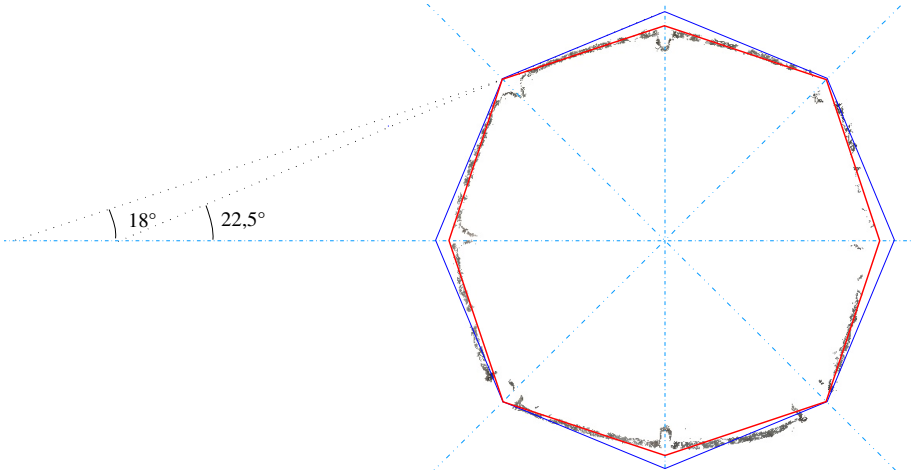


Figure 119. Profil horizontal de l'intrados juste au-dessus des clefs des arcs diagonaux secondaires. En noir, les points du modèle numérique ; en rouge, le profil octogonal qui s'en approche au mieux ; en bleu, un octogone régulier à titre de comparaison.

6.H. Analyse mécanique

La modélisation de la voûte n'est pas aisée, à cause de sa géométrie complexe. Les logiciels éprouvent en particulier des difficultés à réaliser les intersections de surfaces gauches, surtout quand elles s'opèrent suivant un angle faible. J'ai réussi à réaliser un modèle de voûte d'épaisseur approximativement constante, et à obtenir un maillage de celui-ci, mais je ne suis parvenu à y intégrer ni le remplissage des reins de la voûte, ni les murs extérieurs.

Mon analyse se limite donc à celle de cette voûte de faible épaisseur. On a considéré plusieurs types de conditions aux limites sur les faces appliquées aux murs latéraux[263] :

1) Extrémités libres : la voûte repose entièrement sur la base des nervures.

2) Force horizontale : la voûte s'appuie sur le mur mais peut glisser le long de celui-ci. Le mur ne se déforme pas.

3) Déplacement nul : la voûte est ancrée dans le mur au niveau des formerets. C'est ce dernier

263 Il faut cependant noter que celles-ci, pour diverses raisons techniques, ne sont pas planes, et ne coïncident donc qu'approximativement avec le plan du mur.

cas qui se rapproche le plus de la voûte réelle.

Dans le premier cas, on observe des contraintes élevées (jusque vers 5,5 MPa) à la base des nervures. La façon dont notre modèle décrit les retombées n'est pas assez fidèle à la réalité pour que ces valeurs soient significatives. Par contre, les compressions de l'ordre de 200 à 300 kPa que l'on observe dans la partie inférieure de la voûte le sont. Elles sont localisées au voisinage de l'ogive, de la clef et des sommiers de l'arc diagonal secondaire. Dans la partie haute de la voûte, les compressions sont très faibles (inférieures à 100 kPa). Les plus grandes se trouvent à l'extrados, et tendent à suivre la ligne de plus grande pente[264] (*cf.* Fig. 120).

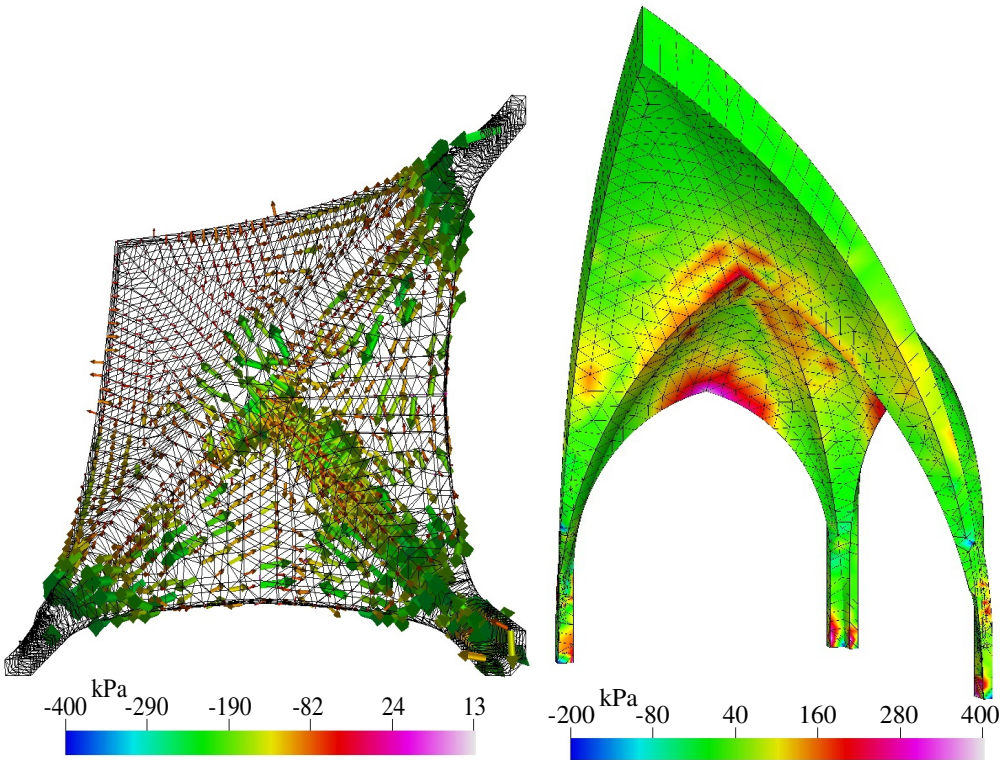


Figure 120. Les contraintes dans la voûte du clocher, en supposant que celle-ci repose entièrement sur sa base. À gauche, les compressions σ_1, à droite les tractions σ_3. On n'a représenté que les valeurs $\sigma_1 > -400\,\text{kPa}$, et $-200\,\text{kPa} < \sigma_3 < 400\,\text{kPa}$, seules significatives.

Les valeurs extrêmes de la contrainte normale maximale σ_3 sont excessivement élevées (de -0,91 à +7,04 MPa), ces valeurs non significatives apparaissent dans la partie inférieure des nervures. Il est clair qu'une voûte en maçonnerie reposant ainsi sur des supports très fins sans aucune espèce de contrebutement ne pourrait pas se se soutenir. Parmi les tractions significatives, les plus importantes (de l'ordre de 200 kPa) apparaissent aux voisinage des clefs des formerets et de l'arc diagonal secondaire, elles s'étendent le long des nervures. On observe aussi des tractions dans la partie basse de la voûte (de 50 à 200 kPa typiquement), dirigés suivant des cercles horizontaux : On reconnaît là les tractions qui apparaissent dans les coupoles sphériques. On a évalué la résistance de la maçonnerie à la traction à 110 kPa, on voit qu'un contrebutement est nécessaire (comme cela était a priori évident), cependant la cohésion de la maçonnerie elle-même est déjà apte à fournir une

264 Sauf dans la partie haute où, quand elles sont significatives, les compressions sont perpendiculaires aux liernes.

part appréciable de l'effort requis à ce niveau.

La poussée totale de la voûte peut être évaluée à partir des données numériques, à partir de la valeur moyenne des contraintes sur les faces du modèle qui reposent au sol. Les forces de poussée sont dirigées à 10° ou 15° de la perpendiculaire au mur à la base des liernes, et le long de la diagonale à la base de l'ogive. Elles valent de 9 kN à 11 kN, soit 24% à 52% de la composante verticale de la force (qui est la partie du poids qui s'applique sur la surface en question). L'écart est dû au fait que, ces faces contenant un faible nombre de points, la précision numérique est assez basse.

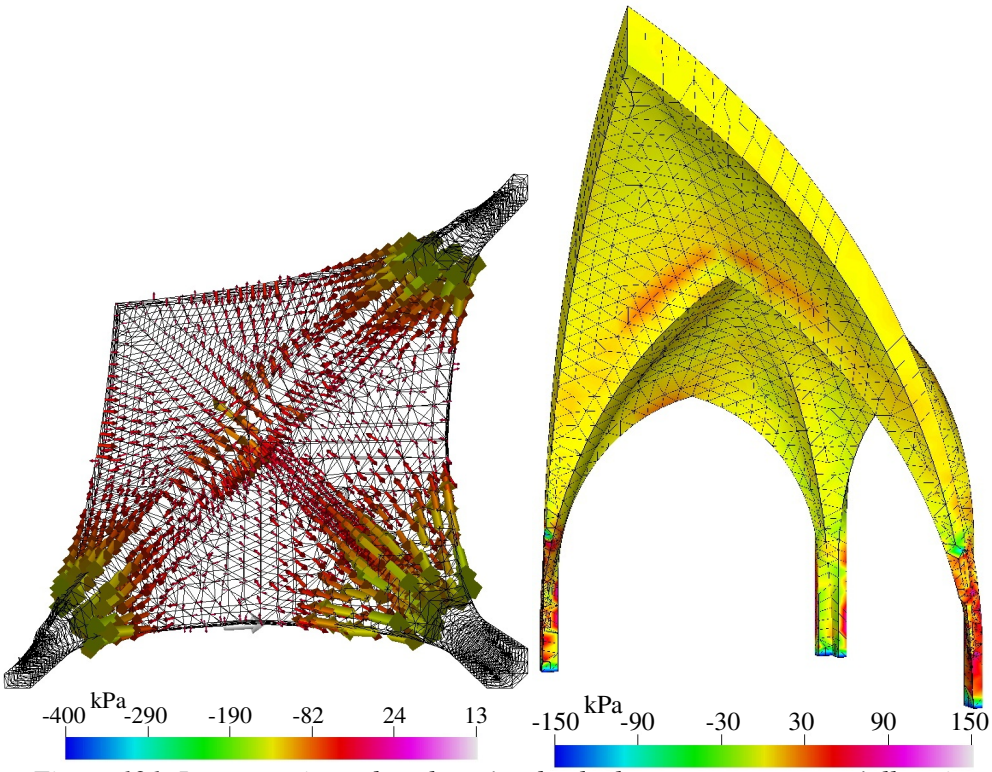


Figure 121. Les contraintes dans la voûte du clocher, en supposant qu'elle soit maintenue par les murs latéraux, mais puisse glisser le long de ceux-ci. À gauche, les compressions σ_1, à droite les tractions σ_3. On n'a représenté que les valeurs $\sigma_1 > -400\,\text{kPa}$, et $-150\,\text{kPa} < \sigma_3 < 150\,\text{kPa}$, seules significatives.

Considérons maintenant le 2e type de conditions aux limites : on suppose que la voûte peut glisser le long du plan du mur, mais s'appuyer à lui en exerçant une force perpendiculaire au mur, et donc purement horizontale. Le seul fait de permettre un appui latéral sur les murs réduit considérablement les compressions, et permet à celles-ci de se diriger vers la base des nervures en suivant essentiellement la ligne de plus grande pente. Les contraintes (compressions et tractions) importantes au niveau des clefs disparaissent. Les tractions horizontales dans la partie basse de la voûte disparaissent aussi. Des murs suffisamment rigides contrebutent très efficacement celle-ci, sans qu'il soit utile qu'ils s'élèvent au-dessus de la clef de l'extrados des formerets[265].

Si on prend en compte le fait que les formerets sont encastrés dans les mur latéraux, et que par

265 Nous n'avons malheureusement pas pu étudier l'efficacité du contrebutement par les murs existants, mais dû supposer ceux-ci idéalement rigides.

conséquent, ils sont non seulement contrebutés latéralement par ces murs, mais même supportés par ceux-ci, on obtient les résultats présentés sur la Fig. 122. Les efforts localisés dans le bas des nervures disparaissent pour faire place à des compressions situées dans la partie médiane de la voûte, en particulier le long des liernes, de l'arc diagonal secondaire et des formerets. Dans les deux premiers cas, elles suivent la direction des nervures, mais elles sont perpendiculaires au formeret. Elles suivent essentiellement la ligne de plus grande pente[266]. De plus, on observe que ces compressions sont importantes sur la moitié interne de ces arcs seulement. Elles ne dépassent plus nulle part les 100 kPa.

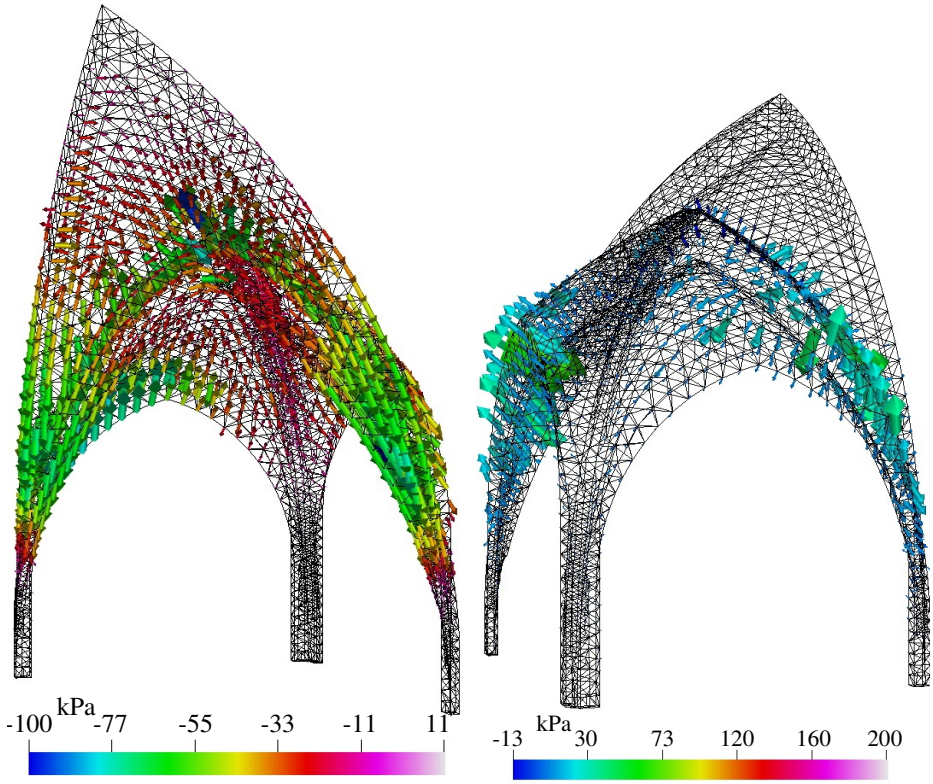


Figure 122. Les contraintes dans la voûte du clocher, en supposant qu'elle soit supportée par les murs au niveau des formerets. À gauche, les compressions σ_1, à droite les tractions σ_3. On n'a pas représenté les tractions σ_3>100 kPa localisées à la clef de l'extrados des formerets.

Les tractions sont très faibles[267], elles n'excèdent pas les 100 kPa. Ces dernières tractions sont essentiellement perpendiculaires aux compressions qui apparaissent au dessus des formerets : au niveau de cet appui il y a naturellement un cisaillement, c'est à lui que correspond la traction.

La partie supérieure de la voûte se comporte comme une sorte de coupole, d'une grande stabilité et d'une faible poussée. Celle-ci repose sur les arcs diagonaux secondaires, et les quarts de voûte qui les relient aux formerets, au niveau desquels la voûte repose sur les murs. Ces quarts de voûtes d'angle remplissent en quelque sorte l'office de trompes, supportant la partie centrale. Ainsi,

266 Si l'on excepte quelques compressions qui apparaissent sur la moitié supérieure de la lierne, perpendiculairement à celle-ci. Cependant ces dernières sont très faibles (de 20 kPa à 30 kPa).

267 Si l'on excepte une traction de l'ordre de 150 kPa à 200 kPa sur les murs latéraux au niveau de l'extrados de la clef des formerets. Celle-ci semble être un artefact de la modélisation.

quoique l'aspect du dispositif soit assez proche de celui de la voûte sur croisée d'ogives d'Île-de-France, son comportement mécanique est radicalement différent, et très efficace lui aussi. Le remplissage des reins doit l'améliorer encore, mais il ne nous a pas été possible tenir compte de celui-ci dans notre modèle.

3. Conclusion

1. L'église de Brion

1.A. Une restauration de grande qualité, mais dont l'optique a évolué

La restauration réalisée par l'architecte Duvêtre à Brion s'est étalée dans le temps sur une période qui coïncide approximativement avec le Second Empire. Dans les travaux du chœur, les premiers en date (1855), Duvêtre a fait preuve d'un travail en grand respect de la maçonnerie ancienne, se limitant à remplacer les parties détruites. Il s'agissait en quelque sorte d'une "dérestauration", de la suppression des modifications de la fin du XVIII^e^ siècle, en vue du retour à l'état antérieur, que l'on peut comparer à d'autres restaurations, effectuées plus récemment et en d'autres endroits, et qui se sont efforcées de gommer les apports du XIX^e^ siècle.

Dans le transept (1861-1863), ce n'est déjà plus la reconstitution de l'état précédant la dernière restauration qui est visée mais, en particulier en ce qui concerne les grandes fenêtres, la restitution d'un état médiéval présumé, conformément à une théorie qui avait cours à l'époque, si bien décrite par Viollet-le-Duc[1]. De plus, on cherche à "rétablir" une unité de style et une symétrie qui n'ont jamais existé. Dans la nef, le restaurateur en vient à sculpter des chapiteaux qui ne l'avaient jamais été, et la restauration s'achève en 1871 par la reconstruction d'une façade en harmonie avec le reste de la construction (du moins selon le goût de ce temps). Elle devait même se poursuivre par à une construction tout à fait nouvelle, dans le projet de la chapelle Saint-Joseph et de la nouvelle sacristie[2] qui n'a pas été réalisé.

Peut-être les goûts personnels de Duvêtre le conduisaient-ils vers une restauration respectueuse de l'ancien, mais il était avant tout un architecte scrupuleux, et soucieux de répondre le plus exactement possible aux souhaits de sa clientèle. Cela apparaît dans le soin avec lequel il rédige les divers documents, dans l'opinion que l'évêque a de lui, et dans la réception de ses travaux à Brion par l'opinion publique et le clergé. Les clients sont un groupe d'entrepreneurs ayant à la fois le contrôle de la mairie et du conseil de fabrique, et qui sans doute drainent ainsi une grande partie des revenus de la commune et de la paroisse, à la fois pour faire vivre leurs entreprises et pour réaliser les projets qui leur tiennent à cœur. L'évolution de la restauration correspond vraisemblablement à celle de leurs moyens et de leurs ambitions durant la période où ils conservent le pouvoir. Les changements politiques consécutifs à la chute de Napoléon III les obligent à consacrer les ressources de la paroisses à d'autres projets[3], peut-être aussi à laisser d'autres entrepreneurs en profiter.

Quelle qu'aient été la part de l'amour de l'art et celle de la piété dans cette restauration, on doit remarquer qu'elle ne concerne que l'église : les bâtiments conventuels ont dû être détruits peu après l'achat du nouveau presbytère en 1870[4]. La description que nous en gardons ne permet pas de juger de leur intérêt architectural ; ce qui est clair est que personne à l'époque ne s'y est intéressé. Duvêtre n'en fait pas figurer la moindre indication sur ses plans et devis, pourtant tous antérieurs à la destruction de ces bâtiments.

---

1 Viollet-le-Duc, *Dictionnaire...*, *op. cit.* n. 176 (p. 118 ci-dessus), t. 8, p. 14 *sq.*.

2 *Archives de Brion*[4], p. 324 *sq.*

3 Les *Archives de Brion*[4], p. 326, mentionnent les levées et une école de filles.

4 *Cf. supra*, p. 186 et n. 172.

La restauration s'est faite par la volonté de la mairie et du conseil de fabrique, et son objet était d'abord de répondre aux besoins de la paroisse. Depuis la construction de la sacristie à la fin du XVIII[e] siècle[5], il n'était plus nécessaire que le presbytère soit voisin de l'église. Les bâtiments prioraux étant devenus inutiles, on n'y portait plus aucun intérêt. Ce point de vue "pragmatique" dans la restauration apparaît aussi dans les échanges avec la commission pour les demandes de subventions, où des arguments sur les besoins du culte prennent plus de place que les considérations relatives à l'art ou à l'archéologie.

D'autre part, si la réfection des parties apparentes, qui se confond à très peu près avec celle des maçonneries, cherche à conserver l'existant et à reconstituer les parties manquantes d'un état médiéval supposé, en ce qui concerne les charpentes, l'attitude est très différente. Si le charpentier a réutilisé le plus possible les pièces de bois et les fermes existantes, c'était pour faire une nouvelle charpente qui, hormis son matériau, n'avait rien de commun avec l'ancienne : c'est une réparation et non une restauration à proprement parler.

1.B. Édifices successifs.

On sait par la documentation écrite qu'un édifice existait déjà avant l'arrivée des moines de Saint-Aubin en 1055. Nous avons relevé des traces de constructions antérieures à l'église actuelle dans les murs de la nef, dans la tour du clocher, dans le chœur. De plus, l'analyse métrologique a amené à penser que les dimensions de l'édifice actuel étaient en plusieurs lieux tributaires de son implantation antérieure. Ces traces permettent de supposer que l'édifice antérieur avait une extension sensiblement égale à celle de l'église actuelle, quoique moins élevée. Correspondent-elles à l'église qui existait avant le milieu du XI[e] siècle, ou à une éventuelle reconstruction datant de la seconde moitié de celui-ci ou du tout début du XII[e] ? Dans l'état actuel des connaissances, il est impossible de le dire. Peut-être des fouilles permettraient-elles d'en savoir plus.

Selon la chronologie proposée par J. Mallet[6], la construction de l'église de Brion s'est étalée sur environ un siècle. L'impression que laissent, d'une part la façon dont les différentes parties de l'église actuelle s'articulent entre elles, d'autre part leur relations avec les maigres traces que l'on a pu identifier de constructions qui l'ont précédée, est que la construction de celle-ci n'a pas été effectuée d'un seul jet, mais qu'elle a plutôt procédé par adjonctions ou améliorations successives. Des traces de baies murées dans les parois de l'escalier du clocher, qui n'ont pas pu être étudiées en détail dans cette thèse, entre autres, témoignent de remaniements.

Cette façon de faire n'était pas originale, mais en beaucoup de lieux on a aussi procédé à des agrandissements, ce qui ne semble pas avoir été le cas ici, ou l'avoir été dans une faible mesure. Les reconstructions dont le but plus pragmatique était de fournir de nouveaux espaces au culte pour une population accrue, ou de remplacer un édifice détruit par un incendie ou tout autre accident, font oublier celles qui ne faisaient qu'augmenter la qualité de la construction et la richesse de son ornementation, ce qui pourrait être le cas ici.

En l'absence d'autre autorité, on voit mal qui d'autre que le seigneur de Brion aurait pu financer la construction de l'église qui existait avant 1055. Le prieuré, qui n'était composé que de deux moines à sa fondation, s'étoffe ensuite : le premier prieur apparaît en 1107. On peut penser qu'avant cette date, il n'avait pas les moyens de reconstruire l'église ; ce serait donc encore au seigneur que serait due cette reconstruction possible.

---

5 *Archives de Brion*[4], p. 200 *sq.*

6 J. Mallet, art. cit. n. 120, p. 154, et *supra*, p. 178.

Quant à la construction de l'église actuelle, elle peut avoir été financée par les moines ou par le seigneur. L'abbaye de Saint-Aubin possédait de très gros moyens, et si elle avait désiré les investir dans cette construction, celle-ci aurait été réalisée rapidement. Est-il vraisemblable que l'abbaye, qui intervient souvent assez activement dans les affaires du prieuré, puisque les litiges avec les seigneur à son sujet se règlent à Angers (du moins ceux dont on a gardé mémoire), et manifestement très intéressée par les ressources du prieuré, ait laissé le prieur s'engager dans un projet de construction tellement ambitieux qu'il ait dû resté inachevé après un siècle de travaux ?

On constate par ailleurs, d'après les chartes, l'intérêt que les seigneurs de Brion portent à cet établissement, tant du point de vue du salut de leur âme que dans leur intérêt temporel. Il serait donc tout à fait naturel qu'ils aient souhaité et financé ce bel édifice. De plus, nous avons suggéré que son inachèvement était lié au développement de la paroisse concurrente de Sobs, qui aurait entraîné une récession[7]. Sont-ce les revenus propres du prieuré qui ont été touchés par celle-ci, ou ne seraient-ce pas plutôt ceux du seigneur ? Il peut paraître étrange que l'abbaye de Saint-Aubin ait elle-même ruiné son propre prieuré, l'empêchant de développer ses projets. Si ceux-ci sont ceux du seigneur laïc, cette difficulté disparaît. Ces considérations tendent à nous faire attribuer la maîtrise d'ouvrage au seigneur de Brion. Que pouvons nous dire au sujet de la maîtrise d'œuvre ?

L'église de Brion, quoique relativement modeste, fait appel à des techniques élaborées, en particulier pour la construction de ses voûtes, qui dépassent de loin celles que requiert la construction des habitations paysannes, et vraisemblablement aussi celle d'un petit seigneur comme celui de ce village. Sa construction requérait donc l'intervention d'un spécialiste. On a vu que la nouvelle église ne devait pas être sensiblement plus grande que l'ancienne, de plus, puisque des pans de murs de belle maçonnerie de tuffeau ont été conservés de l'une dans l'autre, il est peu probable que ce soit la vétusté qui ait motivé la reconstruction. Et le coût de celle-ci, relativement aux ressources locales, exclut un caprice. On peut donc pratiquement considérer comme établi que l'édifice antérieur avait une qualité bien moindre, sans doute non voûté, en particulier.

Doit-on en déduire que le seigneur a dû attendre, pour entreprendre une église à son goût, que l'abbaye de Saint-Aubin soit en mesure de lui fournir un maître d'œuvre compétent ? La ressemblance très étroite entre la coupole de croisée de Brion et celle de l'étage de la tour Saint-Aubin tendrait à confirmer cette hypothèse. Cependant, cela ne préjuge pas statut du maître d'œuvre, qui pourrait aussi bien être un religieux (la participation active de ceux-ci à la conception architecturale n'est pas exclue à cette date), qu'un serviteur des moines, ou un artisan indépendant connu de l'abbaye. De plus, la durée du chantier, qui s'étend sur environ un siècle, et les nombreuses interruptions qui l'ont marquée, excluent qu'un seul maître d'œuvre soit intervenu. Que le premier soit venu de Saint-Aubin ne dit rien des suivants. Il faut cependant constater qu'ils étaient au fait des développements angevins de la construction.

Les ressemblances entre l'église de Brion et celle voisine de Mouliherne, maintes fois soulignées, structure du chœur, parenté des croisées d'ogives primitives du transept, voûtes angevines bombées de la nef, clocher, et même la ressemblance entre la voûte du clocher de Brion et celle de la première travée de la nef de Mouliherne, tout rapproche ces deux édifices, comme si l'équipe travaillant sur l'une d'elles, quand les fonds venaient à manquer, s'était chaque fois retrouvée sur l'autre, pendant la longue période de leur construction. L'histoire de l'église de

7 *Cf. supra,* p. 170.

Mouliherne est fort peu documentée[8], mais il est clair qu'elle n'avait aucun rapport avec Saint-Aubin d'Angers. Il est donc exclu qu'un maître d'œuvre de Brion qui ait appartenu à Saint-Aubin ait travaillé à Mouliherne, et ce rapprochement parle fortement en faveur de constructeurs indépendants de l'abbaye. Cependant, un maçon indépendant aurait pu se former à Brion auprès d'un maître venu de l'abbaye, puis aller travailler à Mouliherne. De façon générale, il est probable que, là où des religieux ont effectivement assuré la maîtrise d'œuvre, et il y en eu quelques-uns au moins à une époque reculée, leur savoir s'est transmis aux laïcs de cette manière. La question reste donc ouverte.

L'analyse métrologique a mis en évidence les traces de proportions issues de l'harmonie musicale[9], qui appartient au domaine des lettrés, c'est-à-dire des moines. Cela n'implique pas que l'architecte lui-même soit un religieux : même les plus ténues des relations entre ces derniers et l'architecte évoquées plus haut suffisent à expliquer la propagation de telles connaissances.

Quoiqu'il en soit de l'origine des architectes de Brion, la qualité de leur technique est remarquable. On sait aujourd'hui que l'usage du tuffeau n'est pas l'indice d'une construction postérieure au XI^e^ siècle[10], d'autant plus qu'à Brion c'était le matériau le plus immédiatement disponible. La carrière semble s'être étendue jusque sous l'église elle-même. Mais les techniques de voûtement utilisées montrent la compétence des maîtres d'œuvre : berceaux brisés à pénétrations dans le chœur, croisée d'ogives primitives dans le transept, voûtes bombées apparentées à celles de Saint-Maurice d'Angers dans la nef, voûte du clocher rappelant celles du chœur de Saint-Serge. Malgré l'absence de datation précise, tout ceci atteste de relations étroites et directes avec la meilleure architecture d'Angers.

2. La construction des voûtes

2.A. Les question oubliées

La théorie "fonctionnaliste" de Viollet-le-Duc fait dériver toutes les caractéristiques de la construction, du plan d'ensemble aux détails, des contraintes techniques, et en particulier de celles dues au voûtement. Cette théorie est exagérée, par sa tendance à récuser les choix dictés *a priori* par l'esthétique, et à négliger ceux entraînés par d'autres contraintes, liées à la fonction religieuse de l'édifice, que celles-ci soient d'ordre symbolique ou pratique ; mais aucune théorie ne peut rendre compte de la totalité de la réalité, et je ne crois pas que cela doive être son but. Il n'est pas de notre propos ici de discuter cette théorie, ni même de sortir d'un point de vue lié à la fonction, mais de constater la prépondérance qu'elle donne au voûtement, point de vue partagé par bien d'autres auteurs[11], et sans doute avec raison. Elle ne doit cependant pas être exagérée, car cela peut occulter

8 *Cf.* J. Mallet, *L'art roman..., op. cit.* n. 121 (p. 176), p. 206a, et M. Deyres, *Anjou Roman*, *op. cit.* n. 127 (p. 110), p. 221.

9 Dans le chœur et la croisée notamment, *cf. supra* pp. 207 et 248.

10 *Cf.* Daniel Prigent, "Les débuts du moyen appareil : l'exemple de l'Anjou-Touraine (X^e^-XIII^e^ siècles)", dans François Blary, Jean-Pierre Gély & Jacqueline Lorens (dir.) *Pierres du patrimoine européen : Économie de la pierre de l'antiquité à la fin des temps modernes* (Paris, Château-Thierry, CTHS et Patrimoine vivant, 2008), pp 295-308, et *ibid.*, "Techniques de construction et de mise en œuvre de la pierre du IX^e^ au XI^e^ siècle, nouvelles approches", dans Dominique Iogna-Prat, Michel Lauwers, Florian Mazel, Isabelle Rosé, Daniel Russo, Christian Sapin, *Cluny : les moines et la société au premier âge féodal* (Presses universitaires de Rennes, 2013), pp. 439-458.

11 On lit par exemple dans *L'Architecture romane*[336] d'Édouard Corroyer, p. 159 : "le principal caractère

d'autres aspects tout aussi techniques de la construction.

Certains de ces aspects ont été mis en évidence par notre analyse, en particulier des problèmes posés par les percements. Les grandes fenêtres en plein cintre du transept, qui sont une restitution de Duvêtre, auraient présenté selon l'analyse élastique une fragilité au niveau de la clef, sans conséquence pour la stabilité de l'ensemble, mais pouvant conduire à une fissuration de l'arc à la clef, à la fois disgracieuse et inquiétante. L'extradossement des arcs peut être considéré comme une réponse technique à ce problème. La colonnette centrale des baies géminées en fournit une autre, sans amoindrir son intérêt esthétique.

Un autre problème qui est rarement pris en considération, et dont les impératifs techniques ont cependant pu avoir une influence sur les formes architecturales est la facture de la partie supérieure de la voûte de la croisée, à cause de l'ouverture ménagée pour le passage des cloches. Les tensions qui apparaissent dans la maçonnerie au voisinage de celui-ci peuvent être importantes, et la mouluration qui entoure le trou a pour fonction de consolider la voûte à ce niveau. Notre analyse met alors en évidence une interaction entre choix esthétique et impératif technique. En effet, le choix d'une nervure saillante, plutôt qu'entièrement intégrée à la voûte, est essentiellement un choix esthétique. Mais la saillie de cette nervure circulaire elle-même présente une certaine fragilité : les nervures diagonales y remédient. Elles apparaissent ainsi comme une réponse technique à un choix dicté *a priori* par l'esthétique[12], ce qui est essentiellement différent de l'idée d'une esthétique découlant naturellement des choix techniques, que défend la théorie fonctionnaliste. Cependant, d'un point de vue comme de l'autre, il s'agit du même type d'interactions entre technique et esthétique. Quelle que soit celle des deux que l'on jugera être la cause première, l'analyse de ces interactions restera pertinente.

Un point important concernant la stabilité des voûtes est souvent négligé, sans doute dans bien des cas parce que l'information est plus difficilement accessible, est la forme de l'extrados. La théorie mathématique des voûtes telle qu'elle s'est développée du XVII^e^ au XIX^e^ siècle montre pourtant que c'est une caractéristique essentielle, et que changer la forme de l'extrados transforme souvent une voûte stable en voûte instable et vice-versa.

Dans les voûtes sur croisée d'ogives de Brion, les voûtains ne se composent pas d'un simple voile de pierre. Leur épaisseur comprend plusieurs assises, l'intrados étant soigneusement appareillé, alors que l'extrados est formé d'un moellonnage très irrégulier, initialement recouvert d'une épaisse couche de mortier. Des trous percés dans l'extrados des différentes voûtes au cours des diverses altérations et restaurations qu'elles ont subies, et dont la profondeur est dans certains cas de plusieurs dizaine de centimètres, permettent d'observer cette structure. Cette structuration augmente la cohésion de la maçonnerie, et vraisemblablement aussi sa résistance à la traction. Les reins de la voûte sont remplis jusqu'à une hauteur assez élevée. L'analyse élastique montre que ce remplissage modifie considérablement les conditions de stabilité, et en général augmente fortement celle-ci. Il faut cependant signaler une exception à cela, ce sont les voûtes bombées de la nef. Leur

---

de l'architecture romane, c'est la voûte," et dans son *Architecture gothique*[336], p. 12 : "La *croisée d'ogives* étant le caractère essentiel de l'architecture dite *gothique.*" Auguste Choisy écrit dans son *Histoire de l'architecture* (*op. cit.* n. 350, t. 2, p. 140) : "Pour l'une et pour l'autre [époque romane et époque gothique], le programme est le même : voûter la basilique latine ; c'est dans la façon de bâtir et de maintenir les voûtes que les procédés diffèrent, que le progrès se manifeste."

12 *Cf. supra*, pp. 233-234 et 255-256. Cela ne signifie pas que c'est la seule raison qui puisse avoir motivé l'emploi des nervures diagonales de la coupole.

forme est telle, qu'aucune traction n'apparaît dans celles-ci, même en l'absence du remplissage. Celui-ci ne fait alors qu'alourdir l'ensemble, et donc augmenter les autres efforts mécaniques, sans stabiliser la voûte en rien. L'architecte a utilisé ici un procédé traditionnel qui avait prouvé son efficacité, dans une voûte d'une forme nouvelle tout à fait performante. Comment aurait-il pu savoir que ce procédé n'était plus adapté, et n'apportait plus que des inconvénients ?

2.B. Efforts mécaniques et appareil

La théorie évoquée plus haut, et essentiellement due à Viollet-le-Duc, ne se limite pas à affirmer que le système de voûtement détermine l'ensemble de la construction. Elle attribue une rôle mécanique important aux nervures, ainsi qu'à la stéréotomie. Deux problèmes techniques se posent, quant à la détermination précise de la forme architecturale. L'un est une question de géométrie dans l'espace : comment définir ces formes de façon à pouvoir les réaliser dans la matière ? L'autre est une question de mécanique : quelles caractéristiques doit on leur donner pour que l'édifice soit stable et résistant ? Ces questions concernent toutes deux des constructions, mais dans des sens bien différent, construction géométrique dans le premier cas, et dans le sens le plus concret et matériel du mot dans le second. Une certaine confusion entre ces deux aspects de la "construction" se laisse percevoir en divers lieux, du Moyen-Âge à Viollet-le-Duc. On constate en plusieurs endroits du *Dictionnaire* que ce dernier, ayant annoncé une description ou une explication mécanique d'une forme, en donne une épure détaillée, c'est à dire donne la construction géométrique en réponse au problème de la construction au sens mécanique du terme. De même, les arguments théoriques des experts consultés lors de la construction de la cathédrale de Milan ne concernent que la forme géométrique de l'édifice, quoi qu'ils prétendent en garantir la solidité[13]. Mais si une telle attitude est commune aux XIV^e^ et XIX^e^ siècles, les méthodes du dessin technique se sont considérablement développées entre les deux, et il est fort peu probable que des résultats obtenus avec des outils si différents aient pu être voisins.

Ces considérations, et d'autres développées dans la première partie de la thèse, nous laissent penser que les maîtres d'œuvre médiévaux en général, et il n'est pas vraisemblable que ceux de Brion aient fait exception, ne séparaient pas l'aspect géométrique de la conception architecturale de son aspect mécanique. Ainsi, par exemple, les voûtes du transept et de la nef, malgré leur aspect bien distinct, utilisent essentiellement la même technique les unes que les autres, aussi bien pour ce qui est de la forme des voûtains qu'en ce qui concerne la maçonnerie de leur extrados.

La stéréotomie occupe une place intermédiaire entre géométrie et mécanique. En effet, quoique par nature celle-ci consiste en constructions géométriques, elle sert à déterminer la direction des joints, qui n'est pas indifférente à la stabilité de l'édifice. Mais n'exagère-t-on pas ce dernier point ? Une certaine approche utilisée dans la théorie mathématique des voûtes a donné une importance mécanique essentielle à la direction des joints. Mais cette importance était initialement liée à ce qui était techniquement faisable avec l'outillage mathématique du XVIII^e^ siècle. Dès 1773, Coulomb a développé une approche théorique dans laquelle les fissures qui apparaissent dans la maçonnerie ne suivent pas les plans de joints[14]. Cependant la complexité de cette approche ne permettait pas de grands développements pratiques.

Les goûts architecturaux de cette époque, parallèlement, ont amené les praticiens à développer

13 *Cf. supra,* p. 79 et n. 135.
14 *Cf. supra*, p. 98 et n. 48.

une technologie en grande partie basée sur la taille de gros blocs. Or ce type de maçonnerie est mieux décrite par une approche qui considère chaque bloc comme un solide indéformable. De ces théories et de cette pratique, il résulte l'idée que la direction des joints, et l'appareil en général, déterminent la direction des forces au sein de la maçonnerie.

L'expérience a pourtant montré depuis longtemps que les fissures qui apparaissent dans une maçonnerie ne coïncident ne général pas avec les plans des joints, et préfèrent dans bien des cas rompre les blocs que suivre leurs contours. Ceci est d'autant plus vrai que le matériau mis en œuvre est tendre, comme l'est le tuffeau. L'analyse élastique ignore délibérément la stéréotomie, dont elle ne veut ni ne peut tenir compte. En revanche, elle permet d'envisager toutes les directions possibles pour le plan de rupture, d'une façon bien plus commode que l'approche de Coulomb, grâce aux outils mathématiques et aux instruments de calcul qui ont été développés depuis son temps, et qui permettent cela aujourd'hui.

Cette approche est cependant loin d'être parfaite. Son principal défaut est de ne pas tenir compte d'une propriété importante de la maçonnerie, qui est la plasticité, c'est-à-dire l'aptitude à se déformer de façon permanente sous l'action de sollicitations extérieures. Ces déformations en effet peuvent modifier considérablement la répartition des efforts mécaniques au sein de la maçonnerie. Il serait intéressant de pouvoir en tenir compte de façon quantitative, mais cela accroîtrait appréciablement le niveau de difficulté technique de l'analyse physique. L'analyse élastique reste abordable, et rend bien compte du comportement de la maçonnerie tant que celle-ci reste homogène, c'est-à-dire avant l'éventuelle formation de fissures. Elle est donc bien adaptée à notre objectif, qui est l'étude du fonctionnement de la maçonnerie saine, même si d'autres méthodes peuvent être préférables en vue de réparer les dégradations ou d'en éviter de nouvelles.

Quoique nous n'ayons pas pu faire une étude détaillée de l'appareil, notre analyse montre que les directions des lits des pierres, dans les voûtes nervées de Brion, n'ont rien à voir avec les directions des forces, et même, ne coïncident pas avec les directions des courbures des voûtains. Dans la nef et les bras du transept, les directions principales des contraintes forment, en plan, des cercles centrés sur la verticale de la clef, et des lignes droites divergeant à partir de celle-ci, alors que l'appareil n'est en rien celui d'une coupole.

Du point de vue géométrique, la direction des assises ne détermine pas non plus la forme des voûtains. On pourrait s'attendre à ce que la direction de plus grande courbure soit perpendiculaire aux assises, comme dans le cas d'une voûte en berceau. Ce n'est pas le cas. Les voûtains n'ont pas la forme de triangles sphériques supposée par la théorie de Viollet-le-Duc et l'usage de l'instrument qu'il appelle cerce. Ils restent cylindriques, l'axe du cylindre faisant un angle donné avec le sol et les murs, qui ne semble pas déterminé par la direction des assises.

Ainsi, à Brion du moins, l'appareil de la voûte n'a d'influence directe ni sur sa forme ni sur les effort mécaniques qui s'y exercent. Cette constatation incite à relativiser considérablement l'importance de l'appareil par rapport aux théories du XIX^{e} siècle. La théorie de Corroyer a le mérite, en plus du simple fait d'être une des rares à tenter de proposer un autre point de vue que celui de Viollet-le-Duc, de prendre davantage en compte certains aspects de l'art médiéval, notamment les arts où règne la nef unique, églises à files de coupoles d'Aquitaine, gothique languedocien, et gothique angevin dit Plantagenêt. Elle n'est certes pas exempte d'erreurs, et ne peut pas prétendre remplacer la théorie dominante, mais l'erreur qui la discrédite le plus, et peut même être considérée comme une fraude, est de prétendre que les pendentifs de Saint-Front étaient appareillés normalement à leur intrados. Si l'importance que l'on donne à l'appareillage est

exagérée, comme il ressort de l'analyse précédente, cela ne diminue-t-il pas considérablement la portée de cette erreur ?

Quoi qu'il en soit, les relations entre voûte sur croisées d'ogives et coupoles sont mises en valeur par les deux auteurs, et les voûtes angevines, ainsi que le confirment nos analyses effectuées à Brion, sont issues de la coupole et non de la voûte d'arêtes.

2.C. Les nervures

Une autre question qui a fait couler beaucoup d'encre est le rôle des nervures. Notre analyse mécanique nous a permis d'étudier celui-ci dans les diverses parties de l'édifice. Seules les nervures de la voûte du clocher n'ont pas pu être modélisées, à cause de la trop grande complexité de la géométrie de cette voûte. Dans le chœur, on a constaté l'efficacité des doubleaux, sur lesquels se concentre une partie appréciable de la poussée. Dans la coupole de croisée, les nervures diagonales réduisent quelque peu l'effort qui porte sur la colonne d'angle, mais surtout soulagent la nervure annulaire qui entoure le trou de passage des cloches. On a constaté par contre que les fortes nervures des croisées d'ogives primitives du transept n'ont pas d'efficacité mécanique : les efforts dans la voûte sont les mêmes avec et sans elles. Pour ce qui est des voûtes de la nef, nous n'avons pas effectué de calcul sans les nervures ; mais on constate qu'aucune concentration de contraintes n'apparaît à leur niveau. Elles ne jouent donc aucun rôle mécanique spécifique[15].

Nous aboutissons ainsi au résultat assez surprenant, que ce sont justement dans les voûtes à croisées d'ogives que les nervures n'ont aucun rôle mécanique. Il serait imprudent d'étendre ce résultat à l'ensemble des voûtes de ce type. Certains auraient peut-être pu en conclure que les architectes de Brion n'avaient rien compris à la voûte sur croisée d'ogives. Il me semble cependant plus prudent de se garder de toute extrapolation dans un sens ou dans l'autre.

Ce que nous constatons à Brion, est d'abord l'efficacité des doubleaux de la voûte en berceau : il n'est pas nécessaire d'attendre le développement de l'art gothique et des voûtes sur croisées d'ogives pour qu'une nervure puisse avoir un rôle mécanique. Notre analyse confirme de plus le fait déjà pressenti que les voûtes angevines bombées ont une poussée très faible, et se comportent pratiquement comme des coupoles. Leurs nervures n'ont plus de rôle mécanique. Elles ont donc une fonction essentiellement esthétique sur laquelle on reviendra. Même si d'autres structures, contemporaines de celle-ci, ont un fonctionnement différent, la qualité des voûtes de Brion est assez grande, et on ne peut pas dire que l'architecte ait mal copié son modèle. Le progrès, ici, ne va pas dans le sens d'une augmentation de la fonction mécanique des nervures.

3. Quelques indications sur la composition architecturale

Il semble que l'église ait été définie dans sa forme présente, c'est à dire comme un édifice à nef unique, muni d'un transept dont les deux bras ont les mêmes dimensions que la croisée, d'un chœur, d'une abside et deux absidioles, le tout surmonté par une tour de croisée, dès avant le début de la construction de l'édifice actuel. Une version au moins de cet édifice aurait existé avant l'actuel. Le nouveau projet visait à l'embellissement de l'existant, et probablement à son voûtement, car on peut conjecturer que l'église précédente n'était pas voûtée, quoi qu'on n'ait aucune information à ce sujet. Il incluait peut-être aussi un agrandissement du chœur, mais nous ignorons la profondeur qu'avait celui-ci dans l'état antérieur. À ce détail près, on peut penser que le nouveau projet ne

15 *Cf. supra*, pp. 212, 256, 233, et 284.

remettait pas en cause le plan, mais la forme des baies, les appuis secondaires tels que les colonnes engagées, les voûtes, et la décoration.

Le nouveau projet était donc un projet d'embellissement. Même s'il s'agissait davantage d'une image mentale que d'un dessin préliminaire, il devait reposer sur un système de proportions, dont nous avons identifié quelques éléments. Les solutions techniques utilisées faisaient-elles partie intégrante du projet, ou venaient-elles s'y inscrire au fur et à mesure de sa réalisation ? On peut imaginer que le projet initial se limitait à la définition des volumes dans lesquels devraient ensuite s'inscrire une construction de fonction déterminée, avec quelques éléments caractéristiques fixés à l'avance. Nos observations indiquent en effet que les volumes devaient être définis dès l'époque de la construction du chœur, alors qu'ils utilisent une technique de voûtement postérieure. Il semble qu'il en ait été de façon analogue pour la nef. On peut aussi penser que la tour de croisée était prévue avec deux niveaux et deux baies par face au second niveau dès l'époque de la construction du chœur, et que ces baies n'ont été définies dans leur forme actuelle qu'au moment de leur exécution, 50 ou 100 ans plus tard. Et de fait, nous avons observé des traces d'ouvertures correspondant à une version antérieure du clocher et répondant à ce schéma.

Dans la conception des fenêtres du transept aussi, on trouve un espace délimité par un vaste arc, à l'intérieur duquel on a pu établir aussi bien une baie simple qu'une double. L'architecte crée d'abord un espace, et est ensuite libre de fixer les détails de la structure qui le remplira.

3.A. Schémas modulaires

Au Moyen Âge, le nombre est entier. Les proportions, comme celles qui interviennent dans la théorie musicale par exemple, sont pas perçues comme deux nombres ayant entre eux une certaine relation, jamais comme un nombre rationnel. Des quantités irrationnelles comme $\sqrt{2}$, $\sqrt{3}$, ou le nombre d'or sont *a fortiori* impensables. La théorie médiévale de l'harmonie telle qu'elle apparaît en musique, et les rares documents écrits concernant les proportions de l'architecture, montrent que l'existence de schémas modulaires utilisant une unité prédéfinie est vraisemblable *a priori.* Notre analyse métrologique de l'église de Brion, quoiqu'elle tende à confirmer cela, montre cependant qu'on doit renoncer à l'idée qu'une unité (pied) unique ait été utilisée tout au long de la construction. Rien n'empêche que deux systèmes modulaires basés sur des longueurs entières, mais utilisant deux unités de mesure distinctes, aient été utilisés successivement dans deux parties d'un édifice, et même dans deux états successifs d'une seule et même partie de celui-ci. Cette éventualité est assez fâcheuse, car elle réduit considérablement les conclusions que l'on peut tirer des observations. Par exemple, le fait d'observer des mesures incommensurables ne prouve en aucune façon qu'aucun système modulaire n'ait été utilisé. L'approche qui consiste à rechercher un système homogène et complet de mesures dans une unité unique n'est pas une façon adéquate d'identifier le schéma initial. Ces nouvelles incertitudes viennent s'ajouter à celles déjà connues, mentionnées en particulier par Choisy[16]. Nous avons cependant pu identifier plusieurs schémas modulaires. Mais un tel système peut aussi coexister avec un système "géométrique", dans lequel les dimensions sont construites et non mesurées ; nous en avons observé un exemple dans la composition du clocher.

Plusieurs auteurs ont montré que l'architecture médiévale pouvait utiliser les proportions correspondant à la théorie musicale de l'harmonie[17]. Nous avons nous aussi observé ces rapports à

16 *Cf. supra*, p. 38.

17 *Cf.* les études de A. Özdural et E. de Bruyne mentionnées cid-dessus , pp. 46 et 66 respectivement.

Brion. Cela pose une difficulté, car la théorie musicale était une science réservée aux lettrés, et que l'on se demande comment elle serait parvenue à la connaissance des praticiens de la construction. On peut donc se demander si ces observations sont une coïncidence, provenant de la seule recherche de rapports simples pour des raisons pratiques, l'expression d'une communauté de goût ou l'application plus ou moins directe de la théorie.

Plus précisément, nous avons constaté des proportions de $2/1$, $3/2$, $5/4$ dans les mesures du chœur et de la nef. Les arcs brisés sont caractérisés par le rapport du diamètre de l'arc à son ouverture, qui est toujours de la forme $n/(n-1)$ [18] ; les rapports obtenus dans les arcs de la croisée, l'arcature extérieure du clocher, etc., sont $2/1$, $3/2$, $4/3$, $5/4$, $6/5$, $9/8$. Or, ceux qui relèvent de l'harmonie musicale médiévale sont $2/1$ (octave), $3/2$ (quinte), $4/3$ (quarte), $9/8$ (ton). Les rapports $5/4$ et $6/5$ correspondent respectivement aux tierces majeure et mineure pures, mais le caractère consonant de cet intervalle n'était pas encore établi au XIII^{e} siècle[19]. De fait, les théoriciens médiévaux de la musique semblent avoir préféré les tierces de la gamme de Pythagore, correspondants aux rapports $32/27$ (tierce mineure) et $81/64=(9/8)^2$ (tierce majeure de deux tons)[20]. Il est donc indubitable que les deux systèmes suivent la même logique, se restreignant à des objets mathématiques du même type, les rapports de la forme $\frac{n+1}{n}$, ceux que Boèce appelait superparticuliers. Ils ne sont cependant pas identiques, puisque certains rapports sont exclus de l'un et pas de l'autre.

On sait qu'à une époque antérieure et pour de grand édifices au moins, les autorités religieuses se sont mêlés, voire chargées de la conception architecturale[21]. Ces personnages étaient des lettrés qui connaissaient la théorie de l'harmonie. Ils ont pu laisser celle-ci en héritage aux architectes, et cet héritage a pu se développer dans le milieu des constructeurs indépendamment de celui des lettrés. Le fait qu'il ne s'agisse pas d'une application directe expliquerait l'inclusion de rapports supplémentaires dans l'harmonie architecturale.

3.B. La géométrie et le cintrage des voûtes

On a constaté que les voûtains de la nef et du transept étaient des portions de cylindres, dont l'axe est oblique. L'intersection de deux cylindres est en général une courbe gauche, mais devient plane quand les deux cylindres sont symétriques par rapport à ce plan. Dans ce cas particulier qui, selon notre reconstitution, est réalisé si la voûte est exécutée parfaitement, cette courbe est une ellipse. Mais il est vraisemblable que, du point de vue du constructeur médiéval, l'ellipse n'est pas davantage une forme "géométrique" que ne l'est une courbe gauche, et que les seules courbes reconnues sont les cercles et les droites[22]. La nervure qui s'applique sur cette intersection elliptique

18 Ou $(n+1)/n$, ce qui revient exactement au même.

19 *Cf.* Jacques Viret, "L'enseignement musical au Moyen Age", *Chant Floral* n°45 (1985), http://medieval.mrugala.net/Musique%20medievale/Enseignement%20musical.htm.

20 Dans *Ars Nova*, un traité musical écrit vers 1320 et dont le titre sert à désigner tout un courant de la musique du XIV^{e} siècle, on trouve : "Le sixième est la tierce mineure, dont l'expression numérique enferme 27 plus 5, comme le rapport 32 à 27. Le septième est la tierce majeure, dont l'expression numérique enferme 64 plus 17, comme le rapport 81 à 64" (Philippe de Vitry, *Ars Nova*, trad. André Gilles, Jean Maillard, http://centrebombe.org/livre/Ars.Nova.html). Voir aussi Éric Decreux, *Mathématiques, sciences et musique : une introduction historique* (Paris, Ellipses, 2008), p. 118 *sq.*

21 *Cf. supra*, p. 49 et suivante.

22 *Cf. supra*, p. 88.

est, elle, circulaire. Elle permet de remplacer l'intersection des deux cylindres, qui n'est pas une ligne "géométrique" par une autre courbe, qui en soit une. C'est un rôle de couvre-joint, le terme a déjà été utilisé. Je ne crois pas cependant que son but ait été d'éviter une difficulté de taille de pierre. Celle-ci était un problème important dans l'architecture néo-classique, mais au Moyen-Âge, le module de l'appareil est bien plus petit, et les joints plus épais, et le raccord peut dans bien des cas être réalisé par un ajustement adéquat, sans résoudre de problème de stéréotomie difficile. De plus, le tuffeau est si facile à tailler, qu'un ajustage des blocs pendant et même après la pose ne présente pas de difficulté. A titre d'exemple, dans les voûtes d'arêtes du niveau inférieur du grenier Saint-Jean à Angers, les arêtes sont formées de la simple imbrication des blocs parallélépipédiques des assises des voûtains. Les constructeurs ne se sont même pas donnés la peine, dans cet espace utilitaire, de retailler ces blocs après pose pour régulariser l'arête.

D'autre part, il semble qu'à l'époque qui nous intéresse, les constructeurs pensaient que la "bonne" forme architecturale, à la fois belle et répondant aux normes de qualité et de solidité, devait être une forme "géométrique", c'est-à-dire dans ce cas un arc de cercle. Pour qu'elle le devienne, on ajoute une nervure. De fait, l'intrados des nervures est circulaire, et leur épaisseur varie pour s'adapter au profil réel de l'arête qui ne l'est en général pas : c'est bien ce qu'il faut pour remplir la fonction que l'on vient d'évoquer.

La direction des axes cylindres qui forment ces voûtains est déterminée par les angles qu'ils font avec l'horizontale et avec les murs. Ces angles peuvent être déterminés simplement, en reportant un certain nombre de fois une longueur suivant une direction, puis une autre nombre de fois la même longueur dans la direction perpendiculaire, suivant un procédé attesté dans le Carnet de Villard de Honnecourt[23]. Comme dans les schémas modulaires évoqués plus haut, la géométrie s'appuie ici sur l'emploi d'un quadrillage. Les rapports observés sont $1/3$, $1/4$, $3/2$, ou $5/6$, c'est-à-dire entiers, puisque $1/n$ et $n/1$ représentent ici la même proportion, ou superparticuliers, comme les rapports issus de l'harmonie vus plus haut.

On peut par conséquent supposer que les cintres de ces surfaces cylindriques étaient bâtis à partir de pièces de bois établies dans la direction fixée. Ceci est très différent d'un cintrage appuyé sur les nervures, qui ne présentent d'ailleurs aucune espèce de mouluration qui l'aurait permis.

Ce dispositif suppose un travail important de charpente pour la construction d'un système de cintrage complet de la travée. Celui-ci s'accompagnait nécessairement d'un système d'échafaudage, dont nous ne savons rien. De nombreux trous de boulin subsistent à l'extérieur de l'édifice, notamment dans les murs de la nef. Dans les croisillons et le chœur ils sont à première vue moins nombreux, et ont été bouchés. Une étude détaillée de ceux-ci pourrait nous renseigner sur le système d'échafaudage, si elle nous montre que la fonction de ces orifices était de contenir les supports de celui-ci, comme on peut l'imaginer. D'autres trous de boulin auraient été observés sur les murs de fondation, que seules des fouilles permettraient d'étudier. Je n'ai observé aucune trace de cette sorte à l'intérieur. Doit-on en conclure que le système d'échafaudage intérieur suivait un procédé totalement différent, ou bien la disparition de ces traces est-elle l'effet du zèle des restaurateurs du XIX^{e} siècle ? Peut-être une étude très détaillée de l'appareil intérieur permettrait-elle de le dire.

---

23 *Cf. supra*, pp. 225-226 ; voir aussi la n. 194, p. 275.

3.C. La sculpture après la pose

On a constaté que les sculptures les plus anciennes, celles de l'extérieur du chœur, avaient dû être réalisées immédiatement avant la pose, en s'adaptant aux caractéristiques de blocs de forme parfois très complexe, comme ces éléments d'angle de larmier, courbés aussi bien dans le plan horizontal que dans le plan vertical, et de dimensions variables. A l'intérieur, la taille a été appréciablement standardisée, sans qu'il soit possible de savoir si c'est là le fruit d'une évolution, ou du seul fait que la forme des blocs et la dimension des motifs s'y prêtait davantage. Mais quand on en vient à la nef et au clocher, sans doute à la fin du XII^{e} siècle et au début du XIII^{e}, on constate que les sculptures sont inachevées, quoique les blocs épannelés devant les recevoir soient en place. C'est donc qu'il était prévu de réaliser ces sculptures après la pose.

On sait que les constructeurs de cette époque se sont efforcés de s'affranchir de impossibilité qu'il y avait de pratiquer la maçonnerie l'hiver à cause des intempéries et du gel. Pour cela, il était nécessaire de dissocier la taille de la pierre de sa pose. Les méthodes les plus couramment constatées consistaient à pousser au maximum la standardisation des blocs, ce qui permettait d'en tailler un grand nombre à l'avance[24]. Quoique ce qu'on a observé dans l'abside puisse suivre cette logique, dans les parties les plus récentes de l'édifice (et en ce qui concerne la sculpture uniquement), on est confronté à un procédé inverse, qui poursuit cependant le même but : la sculpture après la pose. La grande facilité de taille du tuffeau n'est évidemment pas étrangère à cette spécificité.

Ce procédé nécessite des échafaudages. Utilisait on ceux qui avaient servi lors de l'établissement des voûtes, ou en montait-on de nouveaux ultérieurement ? Le second procédé semble *a priori* à rejeter parce que plus coûteux. Il est clair que, que cela ait été normal ou accidentel, le montage d'un nouvel échafaudage ne pouvait qu'accroître le prix de la sculpture. Ce surcoût a t il un rapport avec le fait que les sculptures n'ont jamais été réalisées dans la nef et le haut du clocher ?

4. Perspectives

Il reste de nombreux points sur lesquels il n'est pas possible de se prononcer dans l'état actuel de la recherche. Une meilleure connaissance des édifices ayant précédé l'église actuelle, outre sont intérêt propre, permettrait de mieux cerner la nature du projet constructif de celle-ci. Des fouilles dans le sol de l'église, et autour de celle-ci, pourraient apporter des informations sur ce ou ces édifices, mais aussi sur l'environnement de l'église, en particulier les bâtiments prioraux et le cimetière. Rappelons à ce sujet que les textes mentionnent une crypte, "rocha", dont on aimerait retrouver des traces. L'articulation de celle-ci, et de l'église elle-même, avec les carrières qui devaient être très proches, est importante du point de vue de la construction.

Pour notre problématique cependant, il serait encore plus intéressant de fouiller les remplissages de voûtes. On a vu en effet que les propriétés mécaniques de celles-ci dépendent de la nature et la cohésion de ces remplissages. Cependant cette observation montre aussi le danger de retirer une grande quantité de matière à ce niveau. Par ailleurs, on sait que des sculptures ont été trouvées au XIX^{e} siècle, remployées comme matériaux de tout-venant dans ces remplissages. Peut-

24 *Cf.* par exemple Dieter Kimpel, "Structures et évolution des chantiers médiévaux", dans Francesco Aceto, Maria Andaloro, Roberto Cassanelli, *et al.*, *Chantiers médiévaux* (Saint-Léger-Vauban, Zodiaque ; Paris, D. de Brouwer, 1996), pp. 11-51, en particulier pp. 16 et 41.

être la fouille de ceux ci fournirait-elle quelques informations sur les édifices antérieurs. Enfin, de telles investigations apporteraient des éléments nouveaux quant aux usages qui ont été faits des parties hautes de l'église depuis sa construction. Ces éléments pourraient peut-être nous amener à revoir nos conclusions et à envisager que la tradition suivant laquelle l'église aurait été fortifiée pendant la guerre de Cent Ans ne soit pas qu'une légende.

D'autres éléments sont actuellement inaccessibles à l'étude, en particulier les restes de l'absidiole méridionale, masqués par les plâtres de la sacristie, situés dans les combles ou dans le sol de celle-ci.

Par ailleurs, la réalisation d'un relevé détaillé des maçonneries permettrait sans doute de préciser de nombreux points dans l'évolution du chantier. S'il n'est pas certain que les détails de l'appareil doivent apporter une très grande quantité d'informations, car la restauration en a vraisemblablement gommé une grande part, une étude des traces d'outils devrait en particulier permettre de cerner avec davantage de précision les interventions et les reprises locales du XIX^{e} siècle, et par conséquent les lacunes et irrégularités qui existaient avant 1850.

Si dans les parois visibles, l'analyse des mortiers pourrait être compromise par le fait que les joints ont vraisemblablement été fortement recreusés lors de la restauration, cette difficulté n'apparaît pas à l'extrados des voûtes, qui était recouvert d'un épais enduit en majeure partie conservé. On peut espérer que celui-ci remonte à l'origine de la construction ; son analyse physico-chimique permettrait éventuellement de confirmer cette hypothèse, et améliorerait notre connaissances de la structure de ces voûtes. Il serait en particulier intéressant de savoir si la même technique a été utilisée à ce niveau tout au long de la construction, ou si celle-ci a évolué.

L'étude métrologique est incomplète, l'abside n'ayant pas été traitée. De plus, l'utilisation d'un relevé précis réalisé avec du matériel de topographie professionnel permettrait d'accroître la précision de nos estimations, ce qui rendrait les conclusions beaucoup plus sûres. Mais surtout, une étude statistique des modules des appareils pourrait être comparée aux résultats celle-ci. Les renseignements attendus sont divers. S'il devait s'avérer que les dimensions de l'appareil relèvent de mesures effectuées avec une unité donnée, on aurait peut-être la confirmation de l'utilisation celle-ci, et donc du schéma modulaire correspondant. Par ailleurs, une telle étude nous renseignerait sur la mise en œuvre de la pierre, et les variations des modules à travers l'édifice donnerait des informations sur l'évolution de sa construction.

L'étude mécanique demanderait elle aussi des améliorations, dont la plus importante serait de prendre en compte la plasticité de la maçonnerie. Il ne s'agirait plus là d'une simple modélisation statique, mais d'une étude dynamique, beaucoup plus difficile tant du point du vue théorique que purement numérique.

Enfin, on souhaiterait voir confirmer les observations faites à Brion sur d'autres édifices. Les doubleaux sont ils toujours efficaces pour soulager une voûte en berceau ? Qu'en est-il dans la nef de Notre-Dame de Nantilly à Saumur ou dans le transept de l'église de Vernoil-le-Fourier ? La forme particulière, cylindriques, observée pour les voûtains des voûtes sur croisée d'ogives, se rencontrent-ils ailleurs ? On pense plus spécialement à l'église de Mouliherne, si proche de celle de Brion, et à la cathédrale Saint-Maurice d'Angers, qui semble en être le prototype.

4. Bibliographie

1. Documents d'Archives

Documents manuscrits

- Archives départementales du Maine-et-Loire :
  - Documents relatifs à la restauration de l'église de Brion, 4T38.
  - Cartulaire de Brion, H 224, H 225.
  - *Tables de comparaison entre les mesures anciennes et celles qui les remplacent dans le nouveau système métrique*, vers 1800, texte manuscrit ; cote : BIB 184-2.
- Archives diocésaines d'Angers :
  - Cotes P 215, P 228, P 251, OP 41.

En particulier

  - Registre des Délibérations du conseil de fabrique, P 251.
  - *Archives de Brion* (2 vol. manuscrits), P 215.

Documents graphiques

- Archives départementales du Maine-et-Loire :
  - Dessins de Duvêtre, 4T38.
  - Coll. iconographique C. Port, n° 11 Fi 3068 à n° 11 Fi 3075.
  - Plan du cadastre napoléonien.
- Médiathèque de l'Architecture et du Patrimoine (Base Mérimée), *cf.* p. 173.
- Musée Joseph-Denais, Beaufort-en-Vallée, inv. BF 2982.

Documents imprimés

- Archives départementales du Maine-et-Loire :
  - *Tableau des anciennes mesures du département de Maine-et-Loire comparées aux mesures républicaines,* Paris, Imprimerie de la République, An VI, 1798 ; BIB 183.
  - *Tables de comparaison entre les mesures anciennes et celles qui les remplacent dans le nouveau système métrique, avec leur explication et leur usage*, Paris, Imprimerie de la République, an IX, 1800-1801 ; BIB 184-1.
  - Benaben, *Tables de comparaison entre les anciennes mesures du département de Maine et Loire, et celles qui les remplacent dans le nouveau système métrique,* Angers, Imprimerie nationale, an VII, 1799 ; BIB 188.
  - Barreau, *Tableau dénominatif et de comparaison des mesures en usage dans l'arrondissement communal de Saumur, et de celles qui les remplacent dans le nouveau système métrique*, Saumur, Degouy frères, vers 1800 ; BIB 185.
  - Guyot L. D., *Tables et instructions pour opérer facilement dans tous les départemens de la France, et dans les pays étrangers, la conversion des anciennes mesures en celles du système métrique,* Angers, Mame, vers 1800 ; BIB 187.

2. Sources publiées (tous supports)

- *Cartulaire de l'abbaye de Saint-Aubin d'Angers*. Publ. par le comte Bertrand de Broussillon ; avec une table des noms de personnes et de lieux par Eugène Lelong (Angers, Germain et Grassin, 1903).

- Psautier d'Eadwin, Trinity-College in Cambridge, MS R. 17.I ; http://libraries.slu.edu/a/digital_collections/mssexhibit07/images/eadwine04.jpg.

- Mortet Victor, *Recueil de textes relatifs à l'histoire de l'architecture et à la condition des Architectes et France, au Moyen-Âge*, XI-XIe siècles (Paris, Picard, 1911).

- Mortet Victor et Deschamps Paul, *Recueil de textes relatifs à l'histoire de l'architecture et à la condition des Architectes et France, au Moyen-Âge*, XII-XIIe siècles (Paris, Picard, 1929).

- Ruffhead Owen, *The statutes at large: from Magna Carta to the end of the last parliament*, 1761 [i.e. 1763], vol. 9, p. 28 (imprimé par M. Baskett, 1765).

- *Vita Meinwerci*, MGH SS rer. Germ. 59.

- Adamnanus, *de Locis Sanctis,*

Éditions :

- PL. 88, col. 0779 - 0814D.

- *Pilgrimage of Arculfus in the holy land about the year a.d. 670, translated and annotated by the rev. James Rose MacPherson, B.D.*, (Londres, 1895).

- Charton Édouard, *Voyageurs anciens et modernes* (Paris, 1854).

Manuscrits :

- Paris, BN lat. 13048, fol. 1-28.

- Vienne, Österreichische Nationalbibliothek (ÖNB), Cod. 458, fol. 1r-26v

- Zürich, Zentralbibliothek, Rheinau 73, http://www.stgallplan.org/stgallmss/viewItem.do?ark=p21198-zz0028rnww&pageArk=p21198-zz0028s9sz.

- Bibliothèque Royale de Belgique, 3921-2, fol. 1-52v, http://lucia.kbr.be/multi/KBR_2921-22Viewer/imageViewer.html.

- Aimery Picaud, *Le guide du pèlerin de Saint-Jacques de Compostelle*, éd. Jeanne Vielliard, (Mâcon, Protat, 1938, Paris, Vrin, 1984)

- Al Farabi, *Kitab ihsa' al-'ulum*, éd. Angel Gonzalez Palencia, *Alfarabi, Catalogo de las ciencias* (Madrid, 1932), qui contient l'original arabe, une traduction en Castillan (http://www.documentacatholicaomnia.eu/04z/z_0870-0950__Alpharabius__De_Scientiis_Ihsa_Ulum__ES.pdf.html).

- Saint Augustin, *Opera omnia*, http://www.augustinus.it/latino/index.htm,

- *Ibid., De Genesi ad Litteram libri duodecim*, traduction de M. Citoleux, http://www.abbaye-saint-benoit.ch/saints/augustin/genese/genlit/gen3d.htm#_Toc23143016

- Euclide, *Éléments* : Hubert L.L. Busard et Menso Folkerts, *Robert of Chester's (?) redaction of Euclid's Elements, the so-called Adelard II version: Vol. 2* (Birkhäuser, Bâle, 1992).

- Grégoire le Grand, *Homélies sur Ézéchiel*, II, I, 3, (Sources Chrétiennes n° 360, Éd. du Cerf, Paris 1990, p. 50-51).

- Dominicus Gundissalinus, *De divisione philosophiae*, éd. Ludwig Baur (Münster, 1903).

- Honorius d'Autun, *De gemma animae*, livre I, PL 172.

- Hugues de Saint-Victor, *Didascalicon*, livre II, chap. 7, PL 176, col. 755.

- Jordanus de Nemore, *Scientia de ponderibus*, E.A. Moody et M. Clagett (éd.), *The medieval science of weights (Scientia de ponderibus), Treatises ascribed to Euclid, Archimedes, Thabit ibn*

Qurra, Jordanus de Nemore, and Blasius of Parma (Madison, Wis., 1952).

- *Ibid.* “The Liber philotegni of Jordanus de Nemore”, dans Marshall Clagett, *Archimedes in the Middle Ages*, vol. V, part II, p. 145 *sq.*

- Otloh de Saint Emmeram, *Dialogus de tribus quæstionibus*, chap. 34, PL 146.

- Philippe de Vitry, *Ars Nova*, trad. André Gilles, Jean Maillard, http://centrebombe.org/livre/Ars.Nova.html

- Philon d’Alexandrie, *œuvres, 1, de opificio mundi*, Roger Arnaldez, éd. et trad., (Paris, éditions du Cerf, 1961).

- Richard de Saint-Victor, *In visionem Ezechielis,*

Éditions :

- PL t. 196, col. 527-600.

Manuscrits :

- Paris, Bibl. Nat. lat. 14516.

- Londres, British Library, Harley 461, http://www.bl.uk/catalogues/illuminatedmanuscripts/searchMSNo.asp,

- Oxford, Bodleian Library, Ms Bodley 494, http://www.artstor.org/index.shtml.

- Cambrai (Bibl. Mun. Ms 305 fols. 240-257), http://www.culture.gouv.fr/documentation/enlumine/fr/BM/cambrai_437-01.htm.

- Troyes (Bibl. Mun. MS544, fols. 1-31). http://bvmm.irht.cnrs.fr/resultRecherche/resultRecherche.php?COMPOSITION_ID=698

- *Roberti Grosseteste episcopi quondam Lincolniensis epistolae*, édité par Henry Richards Luard (Londres, Longman, 1861)

- Mathieu Roriczer, *Büchlein von der Fialen Gerechtikait* (Ratisbonne, 1486) ; http://www.hs-augsburg.de/~harsch/germanica/Chronologie/15Jh/Roriczer/ror_pu00.html

- *Ibid.*, *Wimpergbüchlein* (Ratisbonne, vers 1488),

- *Ibid*., *Geometria deutsch*, http://www.hs-augsburg.de/~harsch/germanica/Chronologie/15Jh/Roriczer/ror_ge00.html

-Hans Schmuttermayer, *Fialenbüchlein* (Nuremberg, vers 1488), http://de.wikisource.org/wiki/Hans_Schmuttermayers_Fialenbüchlein

Édition : Lon R. Shelby, *Gothic design techniques : the fifteenth-century design booklets of Mathes Roriczer and Hans Schmuttermayer* (Carbondale, Southern Illinois University Press, 1977).

- Suger, *de consecratione ecclesiae sancti Dionysii*, A. Lecoy de La Marche (éd), *Œuvres complètes de Suger* (Renouard, Paris, 1867),

- Théophile, *Essai sur divers arts en trois livres*, trad. chanoine J. J. Bourassé, revue par André Blanc (Paris, Picard, 1980).

- Saint Thomas d’Aquin, *Somme Théologique*

- *Ibid., Sententia Metaphysicae,* (éd numérique et traduction dominicaine, 1984, bibliothèque des éditions du Cerf, http://docteurangelique.free.fr/index.html).

- Chanoine Charles Urseau, *Églises et chapelles d’Anjou* (manuscrit édité en 2011 par les Archives diocésaines).

- Villard de Honnecourt, *Carnet*, BNF, Manuscrit, Fonds français, 19093. http://fr.wikisource.org/wiki/Carnet_%28Villard_de_Honnecourt%29

- Vincent de Beauvais, *Speculii maioris vincenti burgundi preasulis bellovacensis, t. II : Speculum doctrinale*, fac-similé de l’édition publiée à Douai, chez B. Beller en 1624 (Graz, Akademische Druck-und Verlagsanstalt, 1964).

- Vitruve, *de Architectura*.

- Wolfram von Eschenbach, *Parzifal*, nach der ausgabe Karl Lachmanns, éd. Eberhard Nellmann et Dieter Kühn, (Frankfurt, Deutscher Klassiker Verlag, 1994).
Traduction française de Danielle Buschinger, Wolfgang Spiewok et Jean-Marc Pastré (Paris, Christian Bourgeois, 1989).

- Région Hauts-de-France - Inventaire général, "Ensemble de deux graffitis : dessins de roses", https://inventaire.picardie.fr/dossier/ensemble-de-deux-graffitis-dessins-de-roses/6869a16b-21cc-4dfb-91b0-a74466de0009

- Carte topographiques et cartes anciennes de l'I.G.N., http://www.geoportail.gouv.f.

- Cartes géologiques du B.R.G.M., en particulier la "carte géologique 1/50 000 vecteur harmonisée avec MNT", http://infoterre.brgm.fr/viewer/MainTileForward.do.

3. Publications antérieures à 1900

- BÉRARD Joseph-Balthazard, *Statique des voûtes* (Paris, Firmin Didot, 1810).

- BODIN Jean-François, *Recherches historiques sur la ville de Saumur, ses monuments et ceux de son arrondissement*, t. I (Saumur, Degouy, 1812).

- BOISTARD Louis-Charles, *Recueil d'expériences et d'observations faites sur différents travaux..exécutés pour la construction du pont de Nemours, pour celle de l'arsenal et du port militaire d'Anvers, et pour la reconstruction du port de Flessingue* (Paris, J.-S. Merlin, 1822).

- BOSSUT, abbé Charles, *Cours de Mathématiques, tome III, Mécanique, nouvelle édition, revue, et à laquelle l'auteur a ajouté un ouvrage analogue, intitulé : Recherches sur l'équilibre des voûtes*, (Paris, Firmin Didot, 1802).

- *Ibid.*, "*Recherches sur l'équilibre des voûtes*", *Histoire de l'académie royale des sciences*, année 1774, pp. 59-64, et *Mémoires*, pp. 534-566 et pl. V et VI.

- *Ibid.*, "Nouvelles recherches sur l'équilibre des voûtes en dôme", *Histoire de l'académie royale des sciences*, année 1776, pp. 43-45, et *Mémoires*, pp. 587-596 et pl. XIX.V et VI.

- BOUGUER Pierre, "Sur les lignes courbes qui sont propres à former les voûtes en dômes", *Histoire de l'Académie royale des sciences*, année 1734, *Mémoires*, pp. 149-166.

- CHOISY Auguste, *Histoire de l'architecture* (Paris, Gauthier-Villars, 1899).

- CORROYER Édouard, *L'Architecture romane* (Paris, Quantin, 1888) et *L'Architecture gothique* (*ibid.*, 1891).

- COULOMB Charles Augustin, "Essai sur une application des règles de maximis et minimis à quelques problèmes de statique, relatifs à l'architecture, avec 2 planches", dans *Mémoires de mathématiques et de physique présentés à l'Académie royale des sciences par divers savants, et lus sans ses assemblées*, vol. 7, pp. 343-382, 1773, imprimé en 1776, reproduit dans C.A. Coulomb, *Théorie des machines simples, en ayant égard au frottement de leurs parties et a la roideur des cordages* (Paris, Bachelier, 1821), pp. 318-363 et pl. X.

- COUPLET Pierre, "De la poussée des voûtes", *Histoire de l'Académie royale des sciences*, année 1729, *Mémoires*, pp. 79-117, et "Seconde partie de l'examen de la poussée des voûtes", *ibid.*, année 1730, pp. 117-141.

- DERAND François, *L'architecture des voûtes, ou l'art des traits et coupe des voûtes, traicté très-util, voire nécessaire à tous architectes, maistres massons, appareilleurs, tailleurs de pierre et généralement à tous ceux qui se meslent de l'architecture, mesme militaire* (Paris, S. Cramoisy, 1643).

- GODARD-FAULTRIER Victor, *Monuments antiques de l'Anjou ou Mémoire sur la topographie Gallo-Romaine du département de Maine-et-Loire* (Angers, Cosnier, 1864).

- FRÉZIER Amédée, *La théorie et la pratique de la coupe des pierres et des bois, pour la construction des voûtes et autres Parties des Bâtimens Civils & Militaires ; ou : Traité de stéréotomie à l'usage de l'architecture* (Strasbourg, J.D. Doulsseker, Paris, L.H. Guerin, Ch.-A. Jombert, 1737-1739).

- FRISI Paolo, *Instituzioni di meccanica, d'idrostatica, d'idrometria e dell'architettura statica, e idraulica* (Milan, 1777).

- GREGORY David, "*Davidis Gregorii M. D. Astronomiae Professoris Sauiliani & S. R. S. Catenaria, Ad Reverendum Virum D. Henricum Aldrich S. T. T. Decanum Aedis Christi Oxoniae*", *Philosophical Transactions of the Royal Society*, vol. 19, pp. 637-652 (1695-1697).

- LA HIRE, *Traité de mécanique, où l'on explique tout ce qui est nécessaire dans la pratique des Arts, et les propriétés des corps pesants lesquelles ont un plus grand usage dans la Physique* (Paris, Imprimerie Royale, 1695).

- LA HIRE, "Sur la construction des voûtes dans les édifices", *Histoire de l'Académie royale des sciences*, année 1712, *Mémoires*, pp. 69-77.

- LAMÉ G. et CLAPEYRON É., "Mémoire sur la stabilité des voûtes", *Journal du génie civil, des sciences et des arts à l'usage des ingénieurs...*, t. 5, pp. 68-85 (1829).

- LAMÉ G. et CLAPEYRON B., "Mémoire sur l'équilibre intérieur des corps solides homogènes", *Journal für die reine und angewandte Mathematik* vol. 7, pp. 145-169, 237-252, et 381-413 (1831).

- LASSUS Jean-Baptiste-Antoine, *Album de Villard de Honnecourt architecte du XIIIe siècle* (Paris, Impr. impériale, 1858).

- *Ibid.*, "de l'arc aigu appelé ogive", *Annales Archéologiques*, t. 2, pp. 40-44 (1845).

- LORGNA Antonio-Maria, *Saggi di Statica e Meccanica Applicate alle Arti* (Vérone, 1782).

- *Ibid.*, "*De curuarum in concamerationibus impulsu, noua Theoria*", *Acta Academiae Scientiarum Imperialis Petropolitanae*, année 1779, 2e part., pp. 156-187.

- MABILLE Émile, "Notice sur les divisions territoriales et la topographie de l'ancienne province de Touraine [deuxième article]", *Bibliothèque de l'école des chartes*, vol. 24, n° 24, pp. 388-428 (1863).

- MASCHERONI L., *Nuove Ricerche sull'equilibrio delle volte* (Bergame, Francesco Locatelli, 1785).

- MÉRY Édouard, "Sur l'équilibre des voûtes en berceau", *Annales des ponts et chaussées. Mémoires et documents...,* 1840, n° CCCXCVII, pp. 50-70.

- NAVIER Claude, *Résumé des leçons données à l'école des Ponts-et-Chaussées, sur l'application de la mécanique à l'établissement des constructions et des machines* (Paris, Firmin-Didot père et fils, 1826), et 2e édition (Paris, Carilian-Gœury 1833).

- PAUCTON Alexis J. P., *Métrologie, ou, Traité des mesures, poids et monnaies des anciens peuples & des modernes* (Paris, 1780).

- PORT Célestin, *Dictionnaire historique, géographique et biographique de Maine-et-Loire* (J.-B. Dumoulin, Paris, et P. Lachèse, Belleuvre et Dolbeau, Angers, 1874 - t. 1 -, 1876 - t. 2 - 1878 - t. 3 -).

- RÉVOIL Henry, *Architecture romane du midi de la France, dessinée, mesurée et décrite par Henry Révoil* (Paris, Vve A. Morel et Cie, 1873).

- ROBIN Claude, *Le Mont-Glonne ou recherches historiques sur l'origine des Celtes, angevins*

etc ... et sur la retraite du 1er solitaire... au Mont-Glonne (Paris, Valade, 1774).

- RONDELET Jean-Baptiste, *Traité théorique et pratique de l'art de bâtir* (Paris, de Gillé, de Fain, 1802-1817).

- RUSSON, René de, *Notice sur Brion* (Baugé, Daloux, 1889).

- UNGEWITTER Georg Gottlob, *Lehrbuch der Gotischen Constructionen* (Weigel, Leipzig, 1859-1864)

- VILLARCEAU Antoine Yvon, "Mémoire sur l'établissement des arches de pont", *Mémoires présentés par divers savans à l'Académie royale des sciences de l'Institut de France*, vol. 12, pp. 503-822, 2 pl. (1854).

- VIOLLET-LE-DUC Eugène, *Dictionnaire raisonné de l'architecture française du XI^e^ au XV^ie^ siècle* (Paris, B. Bance, puis A. Morel, 1854-1868).

- *Ibid.*, *Entretiens sur l'architecture* (Paris, 1863).

- VOGÜÉ, Melchior de, *Syrie centrale : architecture civile et religieuse du Ier au VIIe siècle* (Paris, Noblet et Baudry, 1865).

4. Études

- ABRAHAM Pol, *Viollet-le-Duc et le rationalisme médiéval*,..(Paris, Vincent, Fréal, 1934).

- ACKERMAN James S., ""Ars Sine Scientia Nihil Est" - Gothic Theory of Architecture at the Cathedral of Milan", *The Art Bulletin*, vol. 31, n° 2, pp. 84-111 (1949).

- ADAMSON Rose Harris, "Stonemasons' drawings on building fabric : diversity, form and function", *Archaeological Journal*, vol. 171-1, pp. 258-288 (2014).

- AITA Danila, FROLI Maurizio, "Tra stereotomia, statica e cinematica : indagine teorico-sperimentale sull'equilibrio allo scorrimento di archi tozzi a conci rigidi", dans *Atti del XVI Congresso AIMETA di Meccanica Teorica e Applicata*, Ferrare, 9-12 septembre 2003.

- ANHEIM Étienne, "La musique polyphonique à la cour des papes au xiv siècle. Une sociologie historique", *Bulletin du centre d'études médiévales d'Auxerre*, hors-série n° 2, p. 9 (2008).

- AUZAS Pierre-Marie (éd.), *Actes du Colloque International Viollet-le-Duc, Paris 1980* (Paris, Nouvelles Editions Latines, 1982).

- BARNES Carl F., *The portfolio of Villard de Honnecourt, Paris, Bibliothèque nationale de France, MS Fr 19093: a new critical edition and color facsimile*, AVISTA Studies in the history of medieval technology, science and art; Special publication (Farnham, Burlington, Ashgate, 2009).

- *Ibid.*, "The Gothic architectural engravings of the cathedral of Soissons", *Speculum* vol. 47, pp. 60-64 (1972).

- *Ibid*., "Villardman.net", http://www.avista.org/villard/archived-villardman-net-bibliography/.

- BEAUJOUAN Guy, *Par raison de nombres: l'art du calcul et les savoirs scientifiques médiévau*x (Aldershot/Brookfield, Variorum reprints, 1991).

- BECHMANN Roland, *Villard de Honnecourt: la pensée technique au XIIIe siècle et sa communication* (Paris, Picard, 1991).

- BECK Kevin, *Étude des propriétés hydriques et des mécanismes d'altération de pierres calcaires à forte porosité*, Thèse de doctorat, université d'Orléans, 2006.

- BESNARD Charles-Henri, "La coupole nervée de la tour Saint-Aubin d'Angers", *Congrès Archéologique de France, LXXVIIe session tenue à Angers et à Saumur en 1910* (Paris, A. Picard, et Caen, H. Delesques, 1911), t. II, pp. 196-202.

- BILLINGTON David P. et MARK Robert, “The cathedral and the bridge: structure and symbol”, *Technology and Culture*, vol. 25, n° 1, pp. 37-52 (1984).

- BINDING Günther, *Baubetrieb im Mittelalter* (Darmstadt, Wissenschaftliche Buchgesellschaft, 1993).

- BLOMME Yves, *Anjou gothique* (Paris, Picard, 1998).

- BONTEMPS Daniel, CALVEL Patrice, SAINT-JOUAN, Arnaud de, *Charpentes de la région centre du XII^e^ au XIII^e^ siècle* (Monum, Éditions du Patrimoine, 2002).

- BORG Alan et MARK Robert, “Chartres cathedral: a reinterpretation of its structure”, *The Art Bulletin*, vol. 55, n° 3, pp. 367-372 (1973).

- BORK Robert, MARK Robert et MURRAY Stephen, “The openwork flying buttresses of Amiens cathedral: “postmodern Gothic” and the limits of structural rationalism”, *Journal of the Society of Architectural Historians*, vol. 56, n° 4, pp. 478-493 (1997).

- BRANNER Robert, “Villard de Honnecourt, Archimedes, and Chartres”, *Journal of the Society of Architectural Historians*, vol. 19, n° 3, pp. 91-96 (1960).

- BRUTAILS J.-A., “Tiers-point” et “quint-point”, *Bulletin archéologique du comité* (1902), pp. 273-279.

- BUCHER François, “Design in gothic architecture”, *Journal of the Society of Architectural Historians*, vol. 27, n° 1, pp. 49-71 (1968).

- *Ibid.*, “Medieval Architectural Design Methods, 800-1560”, *Gesta*, vol. 11, n° 2 (1972), pp. 37-51.

- *Ibid.*, “a rediscovered tracing by Villard de Honnecourt”, *The Art Bulletin*, vol. 59, n° 3, pp. 315-319 (1977)

- CADOU Yves, “Le pont de saint-Martin de la place (Maine-et-Loire) le uicus de Chênehutte les communications et Robrica”, *Caesarodunum*, XXXIII-XXXIV, 1999-2000, pp. 73-85, dans BEDON Robert, MALISSARD Alain (éds.), *La Loire et les fleuves de la Gaule romaine et des régions voisines* (Presses Univ. Limoges, 2001).

- CAHN Walter, “Architectural draftsmanship in twelfth-century Paris: the illustrations of Richard of Saint-Victor’s commentary on Ezekiel’s Temple vision”, *Gesta*, vol. 15, n° 1/2, *Essays in Honor of Sumner McKnight Crosby*, pp. 247- 254 (1976).

- *Ibid*., “Architecture and exegesis: Richard of St.-Victor’s Ezekiel commentary and its illustrations”, *The Art Bulletin*, vol. 76, n° 1, pp. 53-68 (1994).

- CHAILLOU Christelle et CULLIN Olivier, “La mémoire et la musique au Moyen Âge”, *Cahiers de civilisation médiévale* vol. 49, n° 49-194, pp. 142-161 (2006).

- CHARBONNIER Pierre et POITRINEAU Abel, *Les anciennes mesures locales du Centre-Ouest d’après les tables de conversion* (Clermont-Ferrand, Presses universitaires Blaise-Pascal, 2001).

- CHAUVIN Yves, “À propos des moulins du temporel de Saint-Serge d’Angers aux XI^e^ et XII^e^ siècles”, dans PRIGENT D. et TONNERRE N.Y. (éds.), *La construction en Anjou au moyen Age. Actes de la table ronde d’Angers des 29 et 30 mars 1996* (Presses de l’Université d’Angers, 1998), pp. 217-231.

- CLAGETT Marshall, *Studies in medieval Physics and Mathematics* (Variorum reprints, Londres, 1979), chap. 1 : “Some general aspects of physics in the Middle Ages”, et *ibid*., *Isis*, vol. 39, pp. 29-44 (1948).

- CLARK William W. et MARK Robert, “The first flying buttresses: A new reconstruction of the nave of Notre-Dame de Paris”, *The Art Bulletin*, vol. 66, n° 1, pp. 47-65 (1984).

- CLAVAL Florence, “Les épures de la cathédrale de Clermont-Ferrand”, *Bulletin Archéologique du comité des Travaux Historiques et Scientifiques* n.s. 20-21, pp. 185-224 (1988).

- CONANT Kenneth John, *Cluny, les églises et la maison du chef d’ordre* (Cambridge, Massachusetts, Mediaeval Academy of America, et Macon, Impr. Protat Freres, 1968).

- CORSEPIUS Katharina, *Notre-Dame-en-Vaux : Studien zur Baugeschichte des 12. Jahrhunderts in Châlons-sur-Marne* (Stuttgart, Steiner, 1997),

- COSTE Anne, *L’architecture gothique, lectures et interprétations d’un modèle* (Publications de l’Université de Saint-Étienne, 1997).

- DE BRUYNE, Edgar, *Études d’esthétique médiévale* (Slatkine Reprints, Genève, 1975).

- DECREUX Éric, *Mathématiques, sciences et musique : une introduction historique* (Paris, Ellipses, 2008).

- DEYRES Marcel, PORCHER Jean, *Anjou Roman* (2e éd., Zodiaque, 1987).

- DILKE Oswald A.W., *Les arpenteurs de la Rome antique* (APDCA, Sophia Antipolis, 1995).

- DU COLOMBIER Pierre, *Les chantiers des Cathédrales* (Paris, Picard, 1973).

- DUHEM Pierre, *Les origines de la statique* (Paris, Hermann, 1905).

- EBBESEN Sten et ROSIER-CATACH Irène, “Le trivium à la faculté des arts”, dans Olga Weijers et Louis Holtz (éd.), *L’enseignement des disciplines à la faculté des arts. (Paris et Oxford, XIII-XV siècles)* (Turnhout, 1997), pp. 97-128.

- ECO Umberto, *Art et beauté dans l’esthétique médiévale*, traduction de JAVION Maurice(Paris, Grasset, 1997).

- ERLANDE-BRANDENBURG Alain, *De pierre, d’or et de feu, La création, artistique au Moyen Âge IVe-XIIIe siècle* (Paris, Fayard, 1999).

- ERLANDE-BRANDENBURG Alain *et al*., *Carnet de Villard de Honnecourt : d’après le manuscrit conservé à la Bibliothèque nationale de Paris (no 19093) présenté et commenté* (Paris, Stock, 1986).

- FERGUSSON Peter J., “Notes on two cistercian engraved designs”, *Speculum*, vol. 54, n° 1, pp. 1-17 (1979).

- FERNIE Eric, “The ground plan of Norwich cathedral and the square root of two”, *Journal of the British Archaeological Association*, vol. 129, pp. 77-86 (1976).

- FÉVRIER Denis, *Un historique du mètre*, http://archive.wikiwix.com/cache/?url=http://www.industrie.gouv.fr/metro/aquoisert/metre.htm&title=Un historique du mètre

- FOCE F. et SINOPOLI A., “Sull’analisi limite dell’arco murario errori e insegnamenti dalla storia della meccanica strutturale”, dans *Atti del XVI Congresso AIMETA di Meccanica Teorica e Applicata,* Ferrare, 9-12 septembre 2003.

- FOCE Federico, “Heyman *ante litteram*: un inedito Saint-Venant sulla teoria dell’arco in muratura”, *Atti del XX Congresso AIMETA di Meccanica Teorica e Applicata*, Bologne, 12 septembre 2011.

- GLOC Marie, “Édouard-Jules Corroyer (1835-1904) : la construction romane, moment décisif dans l’histoire de l’architecture médiévale”, *Livraisons d’histoire de l’architecture*, n° 9, pp. 99-111 (2005).

- GUERREAU Alain, “Vingt et une petites églises romanes du Mâconnais : irrégularités et métrologie”, dans BECK Patrice (éd), *L’innovation technique au moyen âge - Actes du VIe Congrès International d’archéologie médiévale* (Paris, Errance, 1998), pp. 186-210.

- HAHNLOSER Hans R., *Villard de Honnecourt : kritische Gesamtausgabe des Bauhüttenbuches ms. fr. 19093 der Pariser Nationalbibliothek* (Vienne, A. Schroll, 1935) ;

- HARVEY John, *The Mediaeval Architect* (Londres, Wayland, 1972)

- HEITZ Carol, *Recherche sur les rapports entre architecture et liturgie à l'époque carolingienne* (Bibliothèque de l'École Pratique des Hautes Études, Paris, 1963).

- *Ibid*., "Architecture et symbolique des nombres au Moyen-Âge", *Artium Quaestiones*, n° 1, pp. 7-26 (1979).

- HEYMAN Jacques, "The stone skeleton", *International Journal of Solids and Structures*, vol. 2, pp. 249-279 (1966).

- *Ibid*., *The stone skeleton, structural engineering of masonry architecture* (Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni, 1995).

- HORN Walter et BORN Ernest, "On the selective ue of sacred numbers and the creation in Carolingian architecture of a new aesthetic based on modular concepts", *Viator*, vol. 6, pp. 351-390 (1975).

- HOXHA Dashnor, DO Duc-Phi, BELAYACHI Naima, "A fully coupled thermo-hydro mechanical analysis of the impact of temperature and humidity variation on the state of historical stone buldings", *8th International Symposium on the Conservation of Monuments in the Mediterranean Basin*, Grèce (2010), http://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00684168.

- HUERTA FERNÁNDEZ Santiago, AROCA HERNÁNDEZ-ROS Ricardo, "Masonry domes: A study on proportion and similarity", dans DEL POZO F. et DE LAS CASAS A. (éds.), *10 years of progress in shell and spatial structures: 30th anniversary of IASS, 11-15 September*, 1989, Madrid, (Madrid, CEDEX-Laboratorio Central de Estructuras y Materiales, 1989).

- KIMPEL Dieter, "Structures et évolution des chantiers médiévaux", dans ACETO Francesco, ANDALORO Maria, CASSANELLI Roberto, *et al.*, *Chantiers médiévaux* (Saint-Léger-Vauban, Zodiaque ; Paris, D. de Brouwer, 1996), pp. 11-51.

- C.H. Krinsky, "Representations of the Temple of Jerusalem before 1500", *Journal of the Warburg and Courtauld Institutes*, vol. 33, pp. 1-19 (1970).

- KOYRÉ Alexandre, *Études galiléennes* (Hermann, 1966).

Hervé Leblond, "Recherches métrologiques sur des plans de bastides médiévales", *Histoire & Mesure*, vol. 2, n° 3-4, pp. 55-87 (1987).

- MACHABEY Armand (Jr), *La métrologie dans les musées de province et sa contribution à l'histoire des poids et mesures en France depuis le treizième siècle*, Thèse pour le doctorat de l'Université soutenue en Sorbonne le 19 juin 1959, publiée avec le concours du CNRS.

- MALLET Jacques, "L'église de Mouliherne", dans *Congrès Archéologique de France, CXXIIe session, 1964, Anjou* (Société Française d'Archéologie, 1964), pp. 116-137.

- *Ibid.*, "L'église de Brion", dans *Congrès Archéologique de France, CXXIIe session, 1964, Anjou* (Société Française d'Archéologie, 1964), pp. 138-154.

- *Ibid.*, *L'art roman de l'ancien Anjou* (Paris, Picard, 1984).

- MARK Robert, *Experiments in Gothic structure* (MIT Press, Cambridge, Massachusetts, 1982).

- *Ibid.*, *Light, Wind and Structure: the Mystery of Master Builders* (MIT Press, Cambridge, Massachusetts, 1994).

- MARK Robert et BILLINGTON David P., "Structural Imperative and the Origin of New Form", *Technology and Culture*, vol. 30, n° 2, Special Issue: *Essays in Honor of Carl W. Condit*, pp. 300-329 (1989).

- MARK Robert et JONASH Ronald S., "Wind loading on Gothic structure", *Journal of the Society of Architectural Historians*, vol. 29, n° 3, pp. 222-230 (1970).

- MARK Robert et PRENTKE Richard Alan, “Model analysis of Gothic structure”, *Journal of the Society of Architectural Historians*, vol. 27, n° 1, pp. 44-48 (1968).

- MÉRIMÉE Prosper, *Correspondance générale,* PARTURIER Maurice, JOSSERAND Pierre, MALLION Jean (éds.) (Paris, Le Divan, 1946), t. V, p. 458, note 1.

- MEYER Christian, “Polyphonies médiévales et tradition orale”, *Cahiers de musiques traditionnelles*, vol. 6, polyphonies, pp. 99-117 (1993).

- MEYER Heinz, *Die Zahlenallegorese im Mittelalter : Methode und Gebrauch* (München, W. Fink, 1975).

- MOLLAND A. George, “Colonizing the world for mathematics : the disversity of medieval strategies”, dans GRANT Edward, MURDOCH John E. (éds.), *Mathematics and its applications to science and natural philosophy in the Middle Ages* (Cambridge, 1987), pp. 45-66.

- MURRAY Stephen, “Gothic façade drawings in the Reims palimpsest”, *Gesta*, vol. 17, n° 2, pp. 51-55 (1978).

- *Ibid.*, *Notre-Dame, Cathedral of Amiens: The power of change in Gothic*, (Cambridge University Press, 1996).

- MUSSAT André, *Le style gothique de l’Ouest de la France (XIIe-XIIIe siècles)* (Paris, Picard, 1963).

- NÈGRE Valérie, “Some considerations on traité de l’art de bâtir by Rondelet and the technical literature of his time”, *Proceedings of the Third International Congress on Construction History*, 2009, p. 1089 *sq*..

- NEVEUX Marguerite, *Le nombre d’or, Radiographie d’un mythe* (Paris, Seuil, 1995).

- PERALES Robert, *Modélisation du comportement dynamique par éléments discrets des ouvrages maçonnés tridimensionnels. Contribution à la définition d’éléments de contacts surfaciques*, Thèse de doctorat, université Montpellier II, 2007.

- PORTET Pierre, “Les techniques du calcul élémentaire dans l’Occident médiéval : un choix de lectures”, dans Natacha Coquery, François Menant et Florence Weber (éd.) *Écrire, compter, mesurer : vers une histoire des rationalités pratiques* (Paris, Éd. Rue d’Ulm, 2006), p. 51-66.

- PRIGENT Daniel, “Les débuts du moyen appareil : l’exemple de l’Anjou-Touraine (X^{e}-XIII^{e} siècles)”, dans François Blary, Jean-Pierre Gély & Jacqueline Lorens (dir.) *Pierres du patrimoine européen : Économie de la pierre de l’antiquité à la fin des temps modernes* (Paris, Château-Thierry, CTHS et Patrimoine vivant, 2008), pp. 295-308.

- *Ibid*., “Techniques de construction et de mise en œuvre de la pierre du IX^{e} au XI^{e} siècle, nouvelles approches”, dans Dominique Iogna-Prat, Michel Lauwers, Florian Mazel, Isabelle Rosé, Daniel Russo, Christian Sapin, *Cluny : les moines et la société au premier âge féodal* (Presses universitaires de Rennes, 2013), pp. 439-458.

- PRIGENT Daniel et BERNARD Émile, “Les nécropoles à sarcophages des Pays de la Loire”, *Revue archéologique de l’ouest*, tome 2, pp. 101-106 (1985).

- PROVOST Michel, *Carte archéologique de la Gaule. 49. Maine-et-Loire* (Paris, Académie des inscriptions et belles-lettres, 1988).

- *Ibid*., *le Val de Loire dans l’Antiquité* (Paris, CNRS éditions, 1993).

- QUACQUARELLI Antonio, “L’ogdoade patristica e suoi riflessi nella liturgia e nei monumenti”, *Quaderni di “Vetera Christianorum”,* n° 7 (Bari, 1973).

- RAUCH Thomas M. Jr. et MARK Robert, “Model study of buttressing the piers in Chartres cathedral”, *Gesta*, vol. 6, pp. 21-24 (1967).

- RECHT Roland (éd.), *Les bâtisseurs de cathédrales gothiques* (Strasbourg, 1989).

- RECHT Roland, *Le dessin d'architecture* (Paris, Adam Biro, 1995).

- RHEIN André, "Les voûtes de l'église de Mouliherne", *Congrès archéologique LXXVII, Angers et Saumur, 1910*, pp. 224-233.

- ROUSTEAU-CHAMBON Hélène, *Le gothique des Temps modernes* (Paris, Picard, 2003).

- SCHÖLLER Wolfgang, "Eine mittelalterliche Architekturzeichnung im südlichen Querhausarm der Kathedrale von Soissons", *Zeitschrift für Kunstgeschichte,* vol. 43, pp. 196-202 (1980).

- SIMSON Otto von, *The Gothic cathedral* (New York, 1956).

- SKINNER F. G., "The English yard and pound weight", *Bulletin of the British Society for the History of Science*, vol. 1, n°. 7, pp. 179-187 (1952).

- TAYLOR William et MARK Robert, "The Technology of Transition: Sexpartite to Quadripartite Vaulting in High Gothic Architecture", *The Art Bulletin*, vol. 64, n° 4, pp. 579-587 (1982).

- THOMSON Ron B., "Jordanus de Nemore and the University of Toulouse", *British J. Hist. Sci.* vol. 7, n° 26, pp. 163-165 (1974).

- *Ibid.*, "Jordanus de Nemore : Opera", *Mediaeval Studies*, vol. 36, pp. 97-144 (1976).

- *Ibid.*, *Jordanus de Nemore and the mathematics of astrolabes: "De Plana Spera". Studies and Texts*, 39 (Toronto, PIMS, 1978).

- VACCARO Daniel Silvio, "La tensión entre estática y dinámica desde la Antigüedad hasta el Renacimiento", *Scientiæ studia*, vol. 6, n° 4, pp. 509-449 (São Paulo, 2008).

- VELTE Maria, *Die Anwendung der Quadratur und Triangulatur bei der Grund- und Aufrissgestaltung der gotischen Kirchen*. Basler Studien zur Kunstgeschichte, n° 8 (Bâle, Birkhauser, 1951).

- VIRET Jacques, "L'enseignement musical au Moyen Age", article extrait de *Chant Floral* n° 45 (1985), http://medieval.mrugala.net/Musique%20medievale/Enseignement%20musical.htm.

- WATSON Charles M., "The origin of English measures of length", *Journal of the Royal Society of Arts*, vol. 64, n° 3293, pp. 125-131 (1915).

- WHITE Stephen D., "Proposing the ordeal and avoiding it: strategy and power in western French litigation, 1050-1110", dans Thomas N. Bisson, *Cultures of power: lordship, status, and process in twelfth-century Europe*, chap 5, p. 89.

- WOLFE Maury I. et MARK Robert, "The Collapse of the Vaults of Beauvais Cathedral in 1284", *Speculum*, vol. 51, n° 3, pp. 462-476 (1976).

- WU Nancy Y. (éd), *Ad Quadratum, The practical application of geometry in medieval architecture*, AVISTA studies in the History of Medieval Technology, Science and Art, vol. 1 (Aldershot, Burlington, Ashgate, 2002).

- ZINK Michel, *Littérature française du Moyen Age* (Paris, PUF, 1992).

Ce à quoi il faut ajouter les références scripturaires, les dictionnaires & encyclopédies (Wikipedia en particulier), les sources non consultées directement, et les sources de logiciels libres.

Troisième partie. Documents et annexes

1. Dossier de restauration de l'église de Brion

1. Documents graphiques

1.A. Dessins de Duvêtre

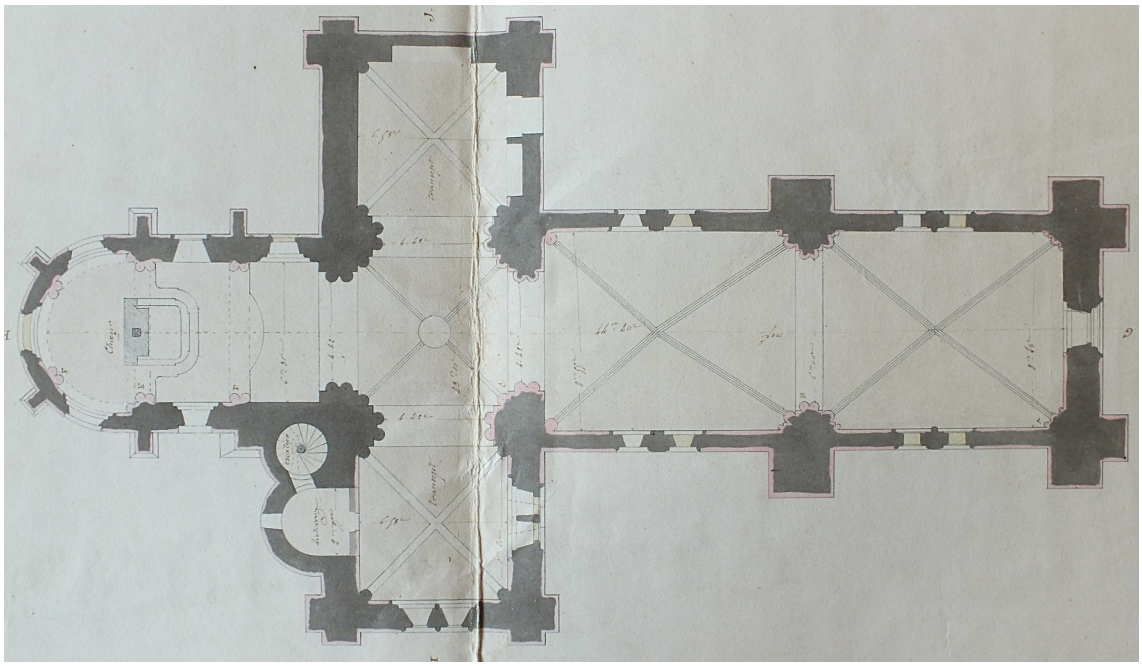


Figure 123. Plan de l'église de Brion, Duvêtre, 1850. © Archives départementales du Maine-et-Loire, 4T38.

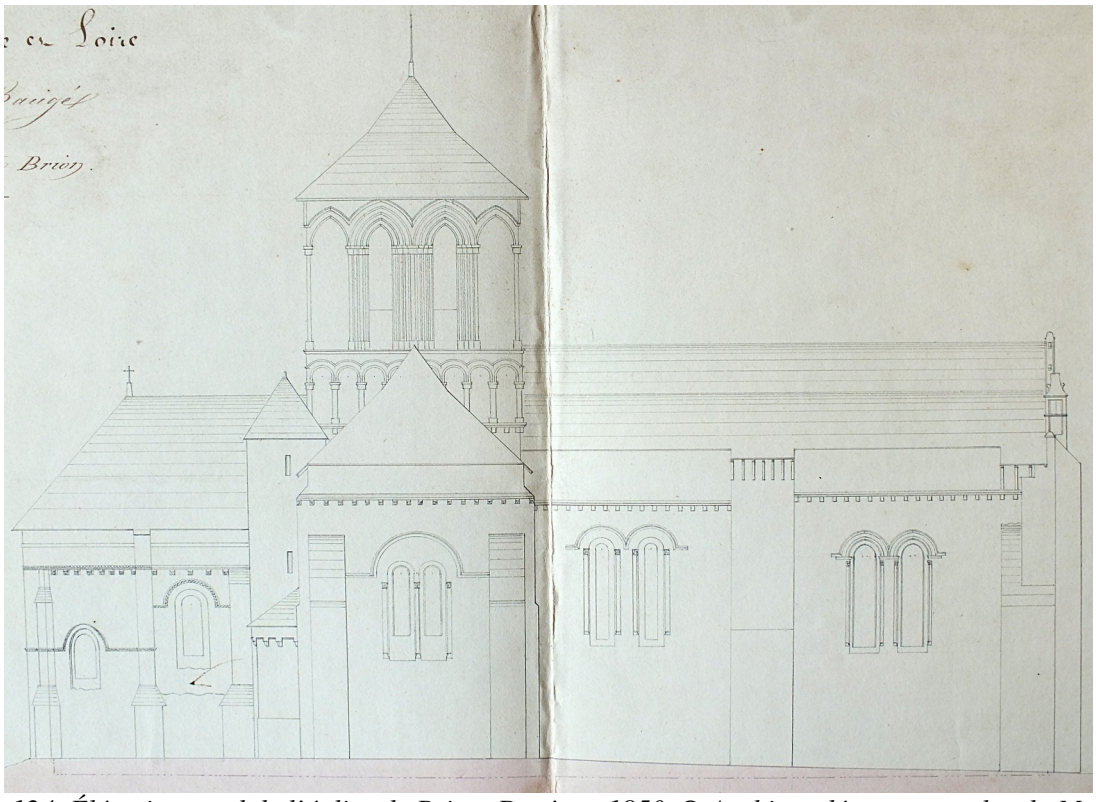


Figure 124. Élévation nord de l'église de Brion, Duvêtre, 1850. © Archives départementales du Maine-et-Loire, 4T38.

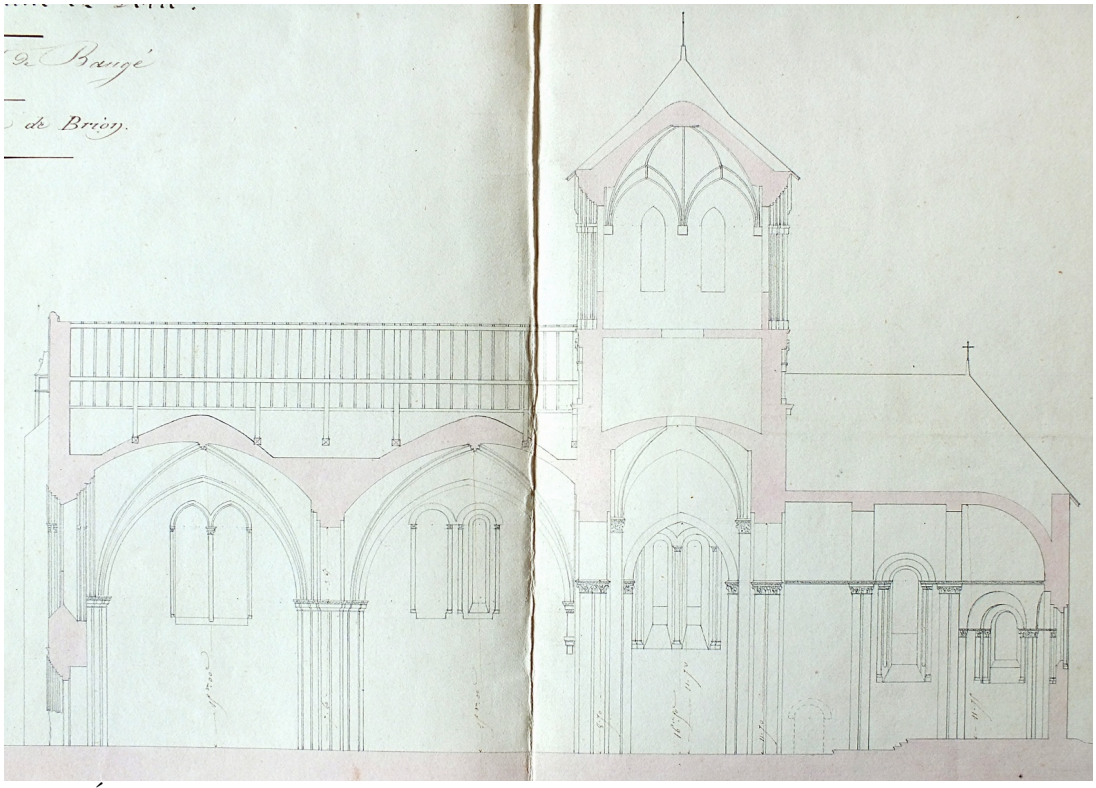


Figure 125. Église de Brion, coupe est-ouest. Duvêtre, 1850. © Archives départementales du Maine-et-Loire, 4T38.

Figure 126. Élévation ouest de l'église de Brion, Duvêtre, 1850. © Archives départementales du Maine-et-Loire, 4T38.

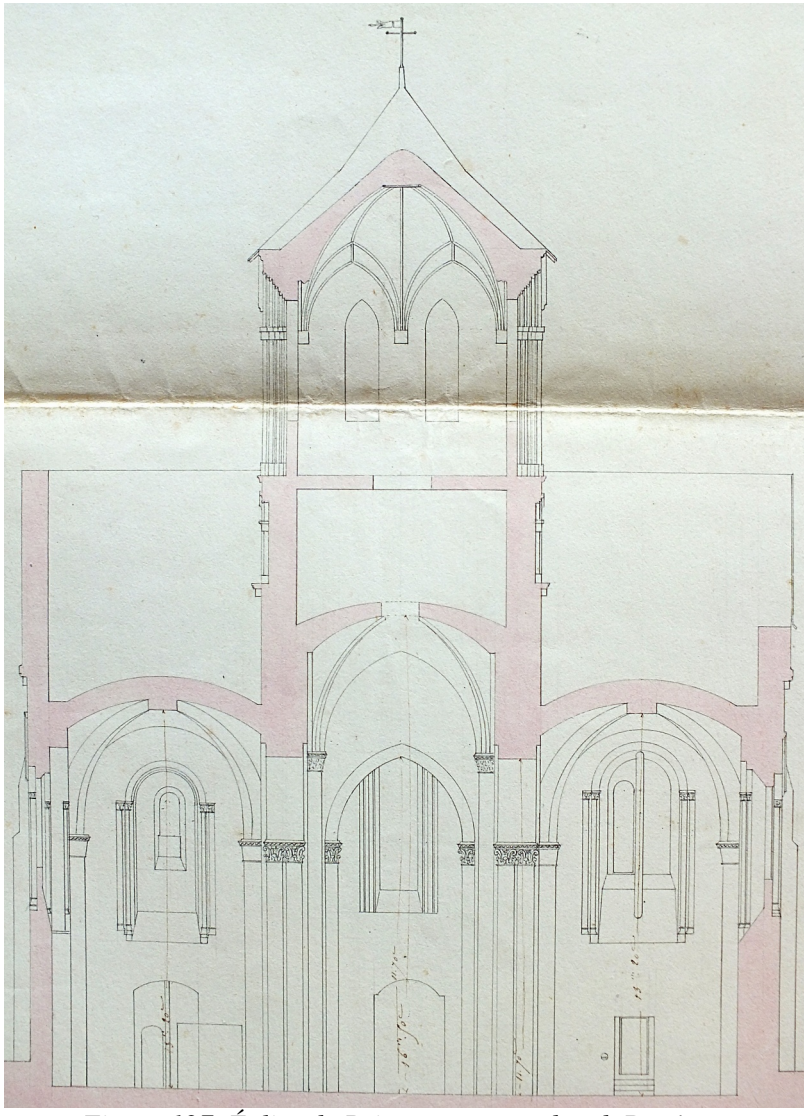


Figure 127. Église de Brion, coupe nord-sud, Duvêtre, 1850. © Archives départementales du Maine-et-Loire, 4T38.

1.B. Dessins de Galembert

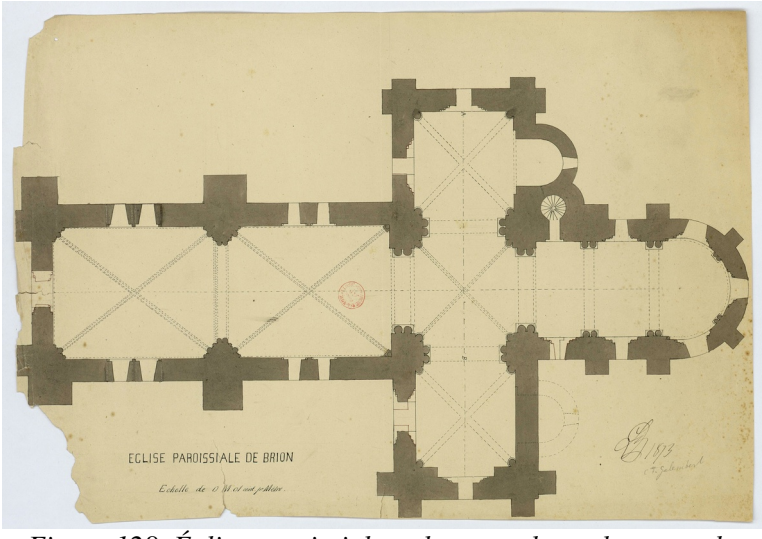


Figure 128. Église paroissiale : plan au sol, par le comte de Galembert. © Archives départementales du Maine-et-Loire, Coll. iconographique C. Port, n° 11 Fi 3068.

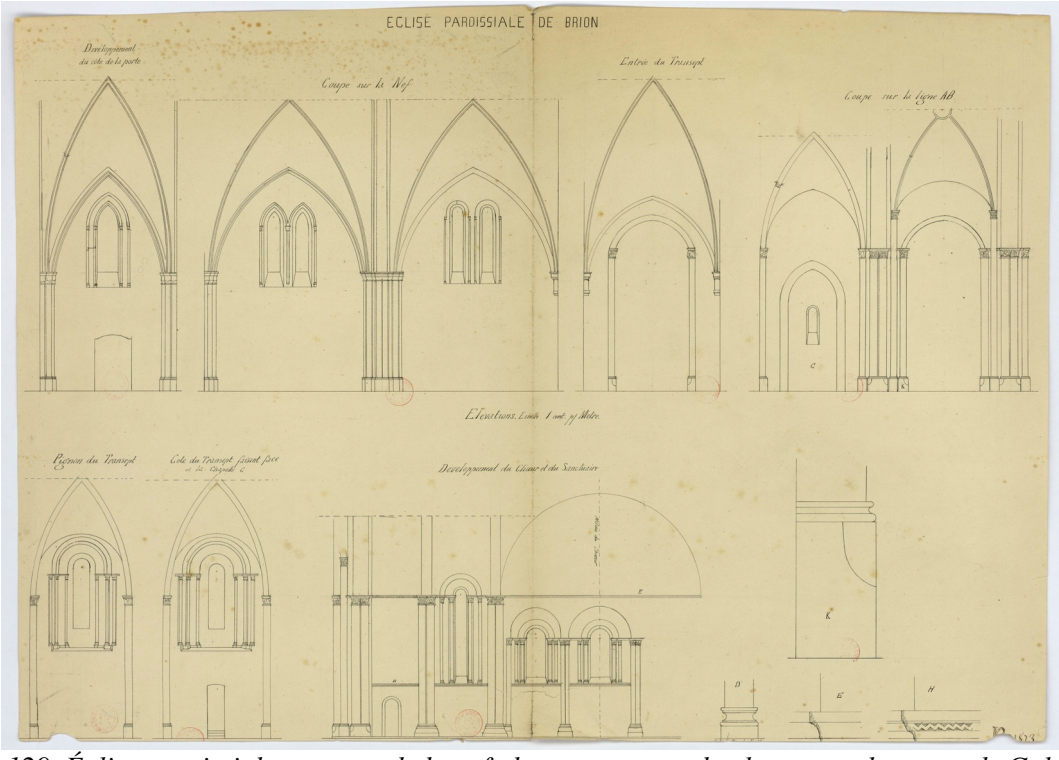


Figure 129. Église paroissiale : coupes de la nef, des transepts et du chœur, par le comte de Galembert. © Archives départementales du Maine-et-Loire, Coll. iconographique C. Port, n° 11 Fi 3069.

Figure 130. L'église, côté abside, par le comte de Galembert. © Archives départementales du Maine-et-Loire, Coll. iconographique C. Port, n° 11 Fi 3070.

Figure 131. L'église, façade occidentale,par le comte de Galembert. © Archives départementales du Maine-et-Loire, Coll. iconographiqueC. Port, n° 11 Fi 3071.

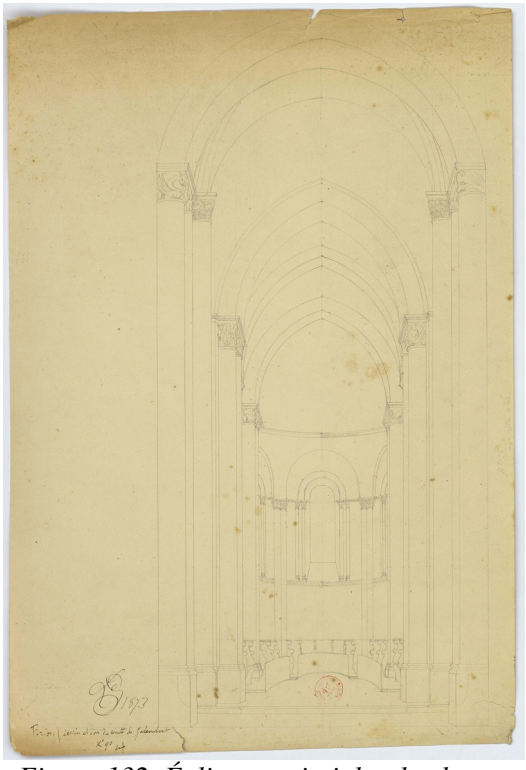


Figure 132. Église paroissiale : le chœur, par le comte de Galembert. © Archives départementales du Maine-et-Loire, Coll. iconographique C. Port, n° 11 Fi 3072.

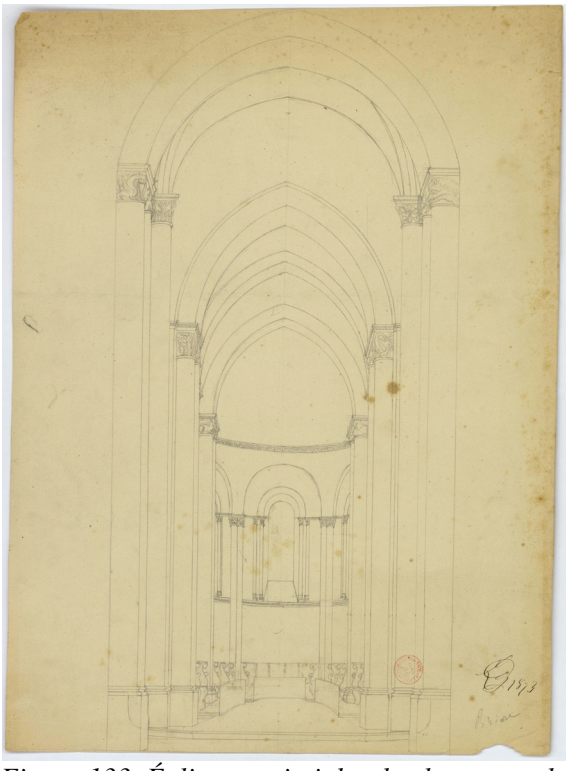


Figure 133. Église paroissiale : le chœur, par le comte de Galembert. © Archives départementales du Maine-et-Loire, Coll. iconographique C. Port, n° 11 Fi 3073.

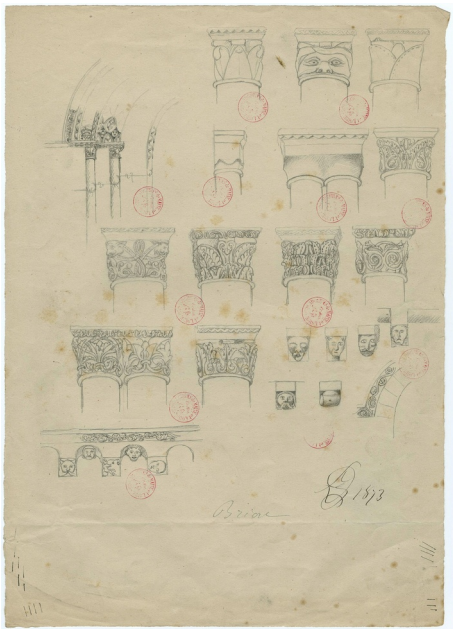


Figure 134. Décorations des chapiteaux et voussures de l'église, par le comte de Galembert. © Archives départementales du Maine-et-Loire, Coll. iconographique C. Port, n° 11 Fi 3074.

Figure 135. Fresque murale retrouvée sur la première travée de la nef, à l'entrée dans le transept à droite, lors des travaux de restauration, par le comte de Galembert, don en décembre 1890. © Archives départementales du Maine-et-Loire, Coll. iconographique C. Port, n° 11 Fi 3075.

Sur le dessin de la Fig. 13, on lit :
Ces peintures sont faites sur le mur même, et ce mur a été piqué pour mettre un enduit sur lequel on a fait d'autres peintures qui ont été badigeonnées.

Brion. Eglise St Gervais et St Protais
1ere Travée de la Nef à l'entrée dans le Transept à droite.
Echelle de 0m.10 pour 1 Mètre.

1.C. Photographies anciennes conservées par la médiathèque de l'Architecture et du Patrimoine (Base Mérimée)

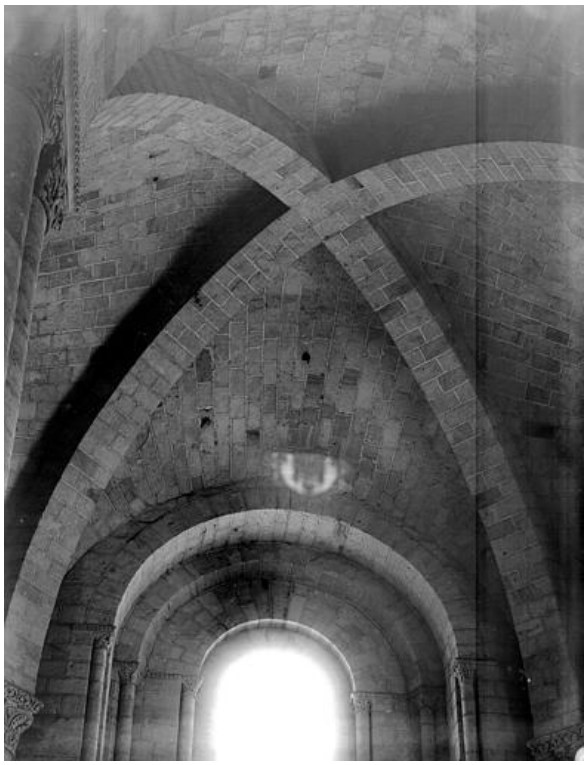


Figure 136. Intérieur, voûte. Lefèvre-Pontalis, Eugène.

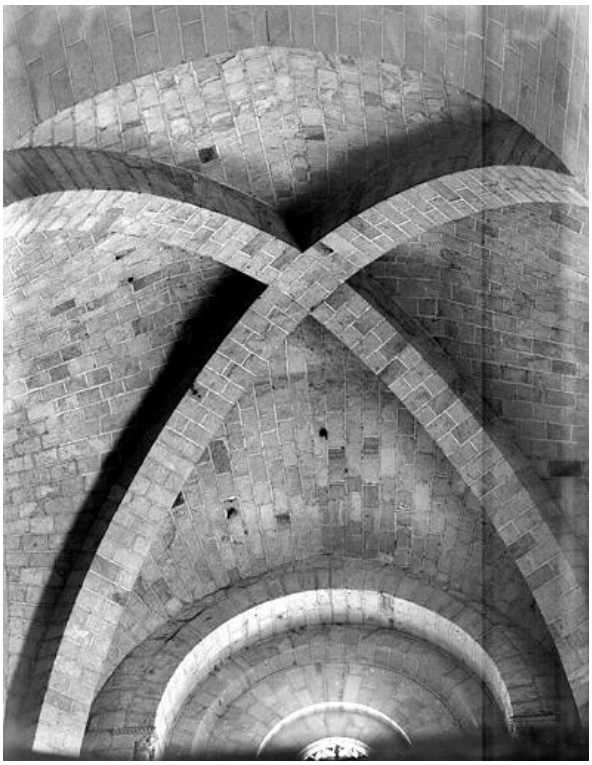


Figure 137. Intérieur, voûte. Lefèvre-Pontalis, Eugène.

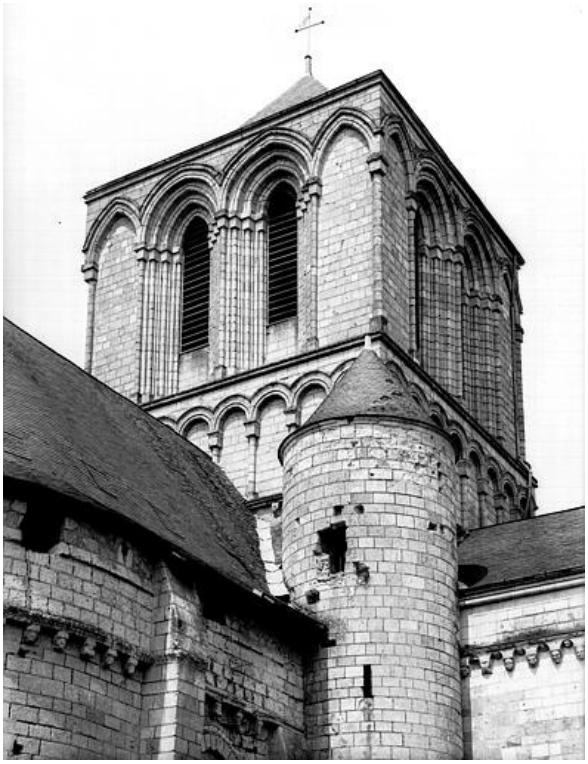


Figure 138. Extérieur, clocher. Lefèvre-Pontalis, Eugène.

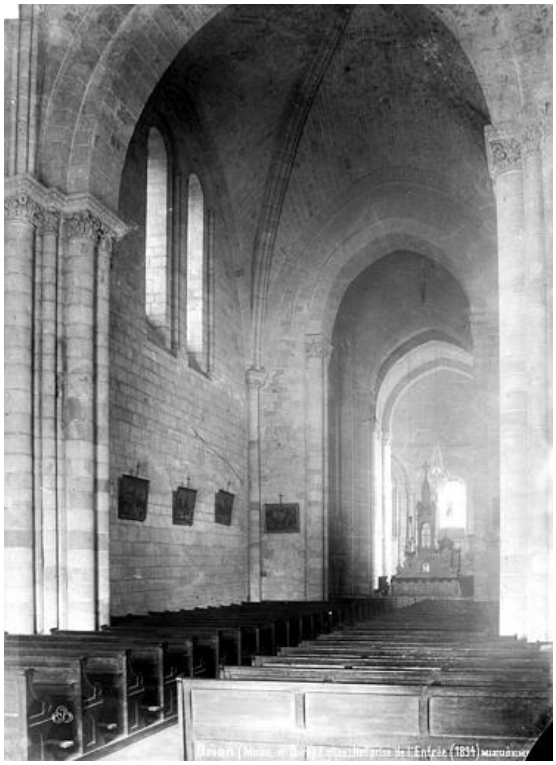


Figure 139. Nef, vue de l'entrée. Mieusement, Médéric.

Figure 140. Abside. Mieusement, Médéric.

Figure 141. Ensemble sud. Estève, Georges.

Figure 142. Angle nord-est. . Estève, Georges.

Figure 143. Abside, côté sud-est. Estève, Georges.

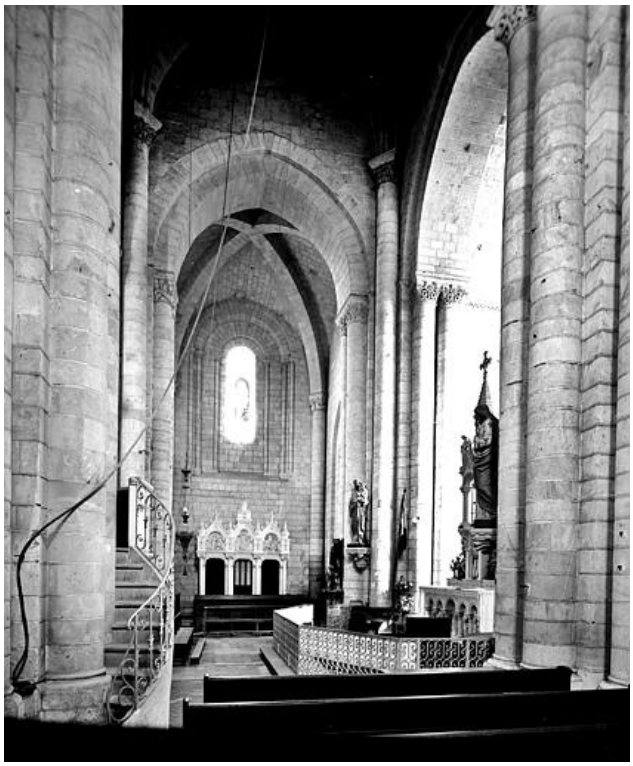


Figure 144. Vue intérieure du transept vers le nord. Estève, Georges.

Figure 145. Vue intérieure de la nef vers le chœur. Estève, Georges.

1.D. Tableau conservé au musée de Beaufort-en-Vallée

Figure 146. Achille Chanciergues Dubord, l'église de Brion, huile sur toile, 1846, inv. BF 2982, Musée Joseph-Denais, Beaufort-en-Vallée.

2. Devis et comptes de réception

Archives du Maine-et-Loire, 4T38

2.A. Devis pour le clocher, 1832

Devis estimatif de dépense pour réparations à faire aux murs de l'église et dans le clocher de la commune de Brion

Savoir

Repicages des murs de l'église		mètres cent.	mètres carrés	Argent
un éperon du côté de la cure	longueur	3m. 33c.		
	hauteur	2m.	6m. 66.	
derrière la sacristie en carraudage	longueur	4m. 66.		
	hauteur	2m. 33.	10. 86.	
deux éperons à côté de la sacristie ensemble	longueur	6.		
	hauteur	1. 50.	9m	
ces mêmes éperons en carraudage	longueur	6.		
	hauteur	2.	12m	
un autre pilier	longueur	3m.		
	hauteur	1m.	3m.	
un autre	longueur	3m		
	hauteur	3m	9m	
a côté de la petite porte de l'église	longueur	14.		
	hauteur	1. 50	21m.	
le pilier suivant en carraudage	longueur	7.		
	hauteur	1. 66.	11m. 62.	
ce même pilier en pierre dure	longueur	7m		
	hauteur	1. 50c	10m. 50	
un remplissage entre deux piliers	longueur	10m.		
	hauteur	1. 50	15.	
à côté de la grande porte	longueur	11.		
	hauteur	1. 50	16m. 50c	
le dessus en carraudage	longueur	11m.		
	hauteur	1. 70c	18m. 70	
un pilier dans la cour de Mr le curé	longueur	2. 50		
	hauteur	2.	5m	
Total			148m. 84	

	Argent
Les 148m.84c carrés au prix de 8 francs le mètre vu la difficulté fait	1190.72
Ces repicages seront faits à 50c de profondeur en moellon dur pris sur la lande de cuon et en carraudage des tuffeaux pris dans les carrières de Brion avec chaux hydraulique prise aux fourneaux de St Maur.	
pour la grande porte il y aura trois assises en grais formant pour coupé de chacune 2ent elles formeront 1m de hauteur elles produisent ensemble 12 mt a 10 francs tout posé	120F
deux assises en grais à la petite porte pour entrer de la cour à Mr le curé dans l'église formant ensemble 8mt à 10 francs	80F
~~le plan~~ quatre croisées à remplir pour empêcher l'eau de tomber sous le plancher en dessous des cloches produisent 8mt à 10 francs	80F
le plancher en dessous des cloches en planche de chêne de 06 centimètres d'épaisseur a de longueur 7mt sur 7mt produit 49mt carré a raison de 10 francs	490F.
une pièce de bois a remettre dans le clocher de 3mt33c de longueur et 25c carrés produit 2081 millimètres[1] à 108 francs le mètre cube	22F.47
quatre soliveaux de plus à remettre au plancher de chaque 6.m50c de 19c carrés produisent 14079 millimètres à 94F. 50c le mètre cube[2]	133F04
une trappe de 2mt sur 2mt et 04c d'épaisseur en bois de chêne produit 4mt carré a 10 francs	40F.
Total	2156F.23

fait à Beaufort le 22 octobre 1832 signé L Riobé
Pour approbation Le Maire signé Bréchet

2.B. Devis supplémentaire, 1852

Département de Maine et Loire
Arrondissement de Baugé
Commune de Brion
Restauration du Clocher de l'Eglise de cette Commune
Devis supplémentaire
Exposé

Les travaux de restauration du clocher de l'Eglise de Brion ont été adjugés le 30 7bre 1851 et leur exécution a commencé le [blanc] par le chaînement indiqué. Jusqu'à ce jour les travaux ont marché avec activité et arrivent à leur terme. Leur mise en œuvre a démontré l'urgence de remplacer en plus grand nombre les tuffeaux prévus au devis et d'ajouter en quelques parties des crampons reconnus indispensables.

Les sablières de la Charpente sont aussi détériorées et ont disparu en parties ; elles sont dépourvues de goussets dans les angles ; quelques chevrons et empanons ont échappé des arêtiers et

1 C'est-à-dire en fait 0,2081 m^3.
2 Probablement six soliveaux en fait : $6\times6{,}5m\times(0{,}19m)^2=1{,}4079m^3$.

de l'enrainure principale, de sorte qu'il nous paraît urgent aujourd'hui de consolider ces divers travaux. Le présent devis a pour objet d'obtenir les fonds nécessaires pour l'exécution des ces ouvrages non compris au devis primitif.

600 tuffeaux en supplément p^{r} reprise au clocher ; Article 2 de l'avant-métré à 0^{F},60 l'un	360^{F}.00
2^{m},50 Cubes de tuffeaux de commande à 27^{F}.00 l'un compris taille, montage et pose, le ravalement restant en dehors ci	67^{F}.50
120$^{kilog.}$,00 de Crampons employés pour la consolidation des diverse pièces de charpente à 1^{F}.20	144^{F}.00
A reporter	571^{F}.50

		Report	571^{F}.50
Charpente			
Sablières du clocher- Développement	74.40		
4 Goussets ensemble	10.00		
	84.40	3^{m}.800^{3}	
Equarrissage	18.25		
Bois de chêne employé en recherche dans le comble		0,600	
	Total	4^{m}.400	
Les 4^{m}, 400^{c} Cubes de charpente en bois de chêne de premier choix sans aucun vice et de trois années d'abat au moins à 100^{F} l'un mis en œuvre ci			440^{F}.00
Evaluation approximative des chanlattes dans les entrevous trop espacés des chevrons			50,00
		Total Général	1061^{F}.50
Somme à valoir pour ouvrages imprévus 1/20			53.07
			1114^{F}.57
Honoraires de l'architecte 1/20			55.72
		Total définitif	1170^{F}.29

Le présent devis montant à la somme totale de Onze cent soixante-dix francs vingt-neuf centimes dressé par l'Architecte soussigné
A Angers le 8 7^{br}e 1852
Signé Duvêtre, Arch^{te}

Vu pour être approuvé par Mr le Préfet
Baugé le 15 9^{bre} 1852
Le Sous-Préfet Signé Beaumont

3 Les nombres 18 et 25 sont les deux côtes en cm de la section : 84,40×0,18×0.25=3,798m^{3}.

Vu et approuvé
Angers le 17 9bre 1852
Le préfet Signé Vallon

Pour copie Conforme
Le Maire [signature illisible]

2.C. Réception du clocher, 1853[4]

Département du Maine-et-Loire.
Arrondissement de Baugé
Commune de Brion
Réception des travaux exécutés pour la restauration du clocher de l'Eglise paroissiale de cette commune
Année 1852

[Fin page de titre]

Département du Maine-et-Loire.
Arrondissement de Baugé
Commune de Brion
Restauration de l'Eglise paroissiale de cette com ne par Annuités.

Adjudication passée le 30 7bre 1851en faveur des sieurs Roger Charles, Guislard Jean Juteau Jacques, Gaudais Jean moyennant 0F 03 c de rabais par franc.

1re Annuité, travaux exécutés pour la consolidation du clocher. Lesdits travaux sous la direction de Mr Duvêtre, archte à Angers
Année 1852

Quantités	Travaux prévus aux devis	Sommes partielles	et Totales	Quantités	Travaux exécutés	Sommes partielles	et Totales	Observations
	1° Couverture du Clocher			178.m32	Superficiels de couverture mesurés sur la flèche du clocher et sur la tour de l'escalier à 2F.70 l'un	476F.06		
204.m20	Superficiels de couverture sur le clocher à 2.F70	551.F34						
204.20	id. de démolition avant de recouvrir à 0F.10	20.42		203m92	id. de démolition avant de recouvrir à 0.F10	20.39		
	Total	571.F76	571.F76			496.45	496.45	Le métré diffère en raison de la saillie des anciens coyaux
	2° Maçonnerie			831m.74	id de ravalement et jointoiement des 4 faces du clocher compris l'intérieur, les évas des fenêtres à 1F.15	956.F50		Les anciennes maçonneries vues de près étant plus avariées qu'on ne l'avait supposé avant les échafaudages
828.00	Superficiels de ravalement et jointoiement des 4 faces du clocher, compris les evans des fenêtres à 1.F15 l'un	952.F20		1829	Tuffeaux du pays employés séparément avant le ravalement à 0.F 60c l'un	1097F.40		
1200	Tuffeaux du pays employés séparément avant le ravalement à 0.F 60c l'un	720.00		3m10	Cubes de tuffeaux en pierres de commande pour appareils à 27F.00 l'un compris taille, montage, mortier, le ravalement compté ci-dessus	83.70		
2.50	Cubes de tuffeaux en pièce de commande pour appareil~~ler~~ à 27F.00 l'un compris taille, montage, mortier, le ravalement compté ci-dessus	67F.50		30m.82	Cubes de démolition des masses dans les entrepieds des 8 fenêtres du clocher à 8.F00 l'un en raison de la difficulté pour descendre les vidanger	246F.56		
				3m.35	Cubes de tuffeaux du pays employés pour boucher en parties les ouvertures du clocher provisoirement pendant la pose des chaînements à 25F.00	83F.75		
					Mettre d'aplomb et retailler les 8 évas des fenêtres pour la pose des persiennes, travail évalué à 5F.00 par évas ensemble	40F.00		

4 L'architecte Duvêtre a dressé deux devis en 1849, tous deux datés 15 décembre, l'un de restauration générale, pour la somme de 50 103,31 F, le second, extrait de celui-ci, pour le montant de 4 487,34 F. Ces deux documents sont conservés aux archives départementales du Maine-et-Loire (cote 65 AC 1 M 4). L'essentiel du contenu du second de ces devis est recopié dans le compte de réception ci-dessous.

	Total	1739F.70	1739.F70		Evaluation de la maçonnerie	2507F.90	
					Sur laquelle somme il y a déduire la valeur des tuffeaux repris par l'entrepreneur et provenant des fenêtres bouchées provisoirement	16F.80	
					Reste à compter	2491F.10	2491F.10
	3° Menuiserie et Peinture						
41m.60	Superficiels de persiennes en chêne pour le clocher aux 8 fenêtres à 14.F00 l'une	582.F40		33m.20	Superficiels de persiennes en chêne posées aux 8 fenêtres du clocher à 14.F00 l'une	464.F80	
124.80	Superficiels de peinture brune à 3 couches pour ces persiennes à 1,F00 l'un	124F80		119.14	Superficiels de peinture brune à 3 couches pour ces persiennes à 1,F00 l'un	119.14	
	Total	707F.20	707F.20		Total	583.94	583.94
	A reporter		3018F.66		A reporter		3571F.50

	Report		3018F.66		A reporter		3571F.50
	4° Serrurerie			860k,60	de fer employé pour le chaînement du clocher à 1F50 l'un compris frais d'échafaudages, montage ~~et~~	1290F.90	
858k	de fer employé pour le chaînement du clocher à 1F50 l'un compris frais d'échafaudages, montage etc	1287,F00		57k.50	de fer employés pour étriers, boulons, crampons et pendant l'exécution des travaux à 1F20 l'un	69F.00	
120k	de fer employés pour la consolidation des diverses pièces de la charpente à 1F20c l'un	144.F00		76.50	de fers loués pendant la durée des travaux et posés provisoirement à 0F.40c l'un	30.F60	
96	crochets avec pitons à scellement dans le tuffeau pour les 8 persiennes à 2F.00 l'un	192.00		80	crochets avec pitons à scellement dans le tuffeau pour les 8 persiennes à 2F.00 l'un	160.00	
	Total	1623.00	1623.00		Evaluation de la serrurerie	1550F.50	1550.F50
	5° Charpente			3m.609	Cubes de bois de chêne neuf employés pr remplacer des bois hors de service dans la charpente du clocher 100F	360F.90	
4m.40	Cubes de bois de chêne pour remplacer les pièces pourries et hors d'état de servir dans la charpente du clocher à 100F.00 l'un	440F.00		568m.00	linéaires de contrelattes à 0,F2250 le mètre	127F.80	
	Chanlattes dans les entrevous des chevrons trop séparés	50F.00		200.00	id de démolition de chevronnage sur le clocher à 0,F05	10.00	
	Total	490F,00	490.F00	200m.00	id de mise en cuivre dedits chevrons à 1,F30 l'un	60,00	
				6,k00	de pointes pour fixer les chanlattes à 1F.00 l'un	6,00	
					Evaluation de la charpente	564F.70	564.70
					Fournitures diverses		
				1	Etau en zinc placé sur le clocher	5F.00	
				1	Chapeau en plomb cuivré posé au pied de la croix	6.00	
				49.050	de zinc employé en dalles sur l'église à 1F.00	49.05	
						60.05	60.05
			5131.F66		Totaux		5746F75
					Couverture en recherche sur l'église nécessitée par les réparations et le mauvais état des toitures		
					1°. 33m.93 superficiels de couverture à 2.F55	86F.52	
				53.13	id de couverture en ardoises vieilles et lattis vieux 0.62	32.94	
				47.52	id. id. de lattis neuf et ardoise vieille à 1.F69	80.31	
				54.34	id. id. id. vieux et ardoise neuves à 1F.82	98.90	
	dépenses imprévues 1/20 de la dépense		256F.58			298F.47	
			5388.24		à Reporter	298.47	5746F75

			5388.24		Report	298.47	5746F75
					Sur cette somme il y a à déduire les dégradations à la charge de l'entrepreneur par suite de la chute des pierres et le service des travaux	106F00	
					Reste à tenir compte de	192F.67	192F.67
					Sur la demande de Monsieur le Maire il a été descendu 122m.20 cubes de décombres en dépôt sur la voûte du transept sud . les Entrepreneurs devant enlever et descendre ceux provenant du déchet de leurs travaux à 1F.25 l'un sans rabais à		152F.75
							6092F.17
					Rabais de 0F.03 par franc consenti par l'entrepreneur sur la somme de 5939F.42c à		178.18

	honoraires de l'architecte 1/20		269.41
			5657F.65

Vu pour être approuvé par M le Préfet de Maine et Loire
Baugé le 17 Août 1853
Le Sous Préfet [signature illisible]

	Reste à compter		5913.F99
	honoraires de l'architecte 1/20		295.69
	Totaux généraux		6209F.68

Le présent décompte montant à le somme totale de six mille deux cent neuf francs soixante huit centimes dressé par l'architecte soussigné
A Angers le 8 mai 1853
[signé :] Duvêtre archte. Guislard Gaudais Roger et Juteau
Pour copie conforme Le Maire (signature illisible)

Vu et approuvé
Angers, le 22 Août 1853
Pr le Préfet empêché
Le Conseiller secrétaire général
[Signé:] Bergeux

2.D. Devis pour le chœur, 1855

Département du Maine-et-Loire.
Arrondissement de Baugé
Commune de Brion
Devis estimatif des travaux à exécuter pour la restauration intérieure du chœur de l'église paroissiale comprenant le déplacement du Maître-Autel
Le présent devis dressé par Mr Duvêtre, Archte à Angers

Année 1855

[fin page de titre]

Département du Maine-et-Loire.
Arrondissement de Baugé
Commune de Brion près Beaufort en Vallée
Restauration intérieure du chœur de l'église paroissiale comprenant le déplacement du Maître-Autel

Chapitre 1er Exposé

Par délibération du 15 Septembre 1850 approuvé le 7 Décembre de la même année par Monsieur le Préfet, le conseil municipal de la commune de Brion appelé à statuer sur un projet général de restauration de son Eglise s'élevant à 50103F.30c, a décidé que ce chiffre était hors de proportion avec les ressources disponibles et qu'il serait pourvu par annuités avec celles ordinaires à l'exécution des réparations qui ne permettent plus d'attendre, sans compromettre la salubrité de l'Eglise

Les travaux de restauration du clocher, comme étant les plus urgents ont été les premiers exécutés et réglés le 2 Mai 1853 par application du devis primitif.

Aujourd'hui sur la demande de Monsieur le Maire et du conseil de fabrique, agissant de concert en réunissant les fonds dont ils peuvent disposer, la restauration intérieure du chœur a été décidée et le devis ci-après exprime les divers éléments dont se compose la dépense.

Préalablement il y a lieu de faire connaître que les dimensions du chœur de l'Eglise sont tellement resserrées que la circulation au pourtour du maître autel est à peu près impossible et qu'en outre ce maître-autel est placé de telle sorte que les fidèles occupant le transept sont privés complètement de la vue de l'officiant. pour obvier à ce grave inconvénient, le maître autel, dans le projet que nous présentons, serait rapproché de la nef, de manière à être en vue du transept.

La Sainte Table nouvelle, en fer forgé, prendrait un développement plus considérable que

l'ancienne tout en permettant un accès facile à droite et à gauche. Les tambours des anciennes colonnes en tuffeau des piliers du chœur, mutilés pour la pose de bancs sans aucun style, seraient rétablis ainsi que des vitraux coloriés aux trois ouvertures du fond. Le carrelage [fin de page] actuel usé en partie et formé d'éléments disparates serait remplacé par celui dont nous donnons le dessin. Enfin les murs seront nettoyés et privés des couches de blanc qui sont venus successivement les salir, telles sont les principales dispositions du projet ci-après.

Chapitre 2e Evaluation de la Dépense
Travaux compris au devis primitif du 15 Xbre 1849 approuvé
Maçonnerie

Etaiement pour reprise d'un des piliers supportant le clocher au nord travaux évalués			140F.00	
Remplacement de la 1ère assise	3.50×2.80×0.30	2.94		
2e assise	4.00×2.80×0.30	3.36		
Pour 2 piliers 8 autres assises produisent ensemble en réduite		25.20		
1ère pile du chœur une assise	1.50×0.80×0.30	0.36		
2e assise	1.80×1.00×0.30	0.54		
13 autres assises semblables, traduisent [5]		5.85		
Reprise des piliers de l'abside du chœur côté nord produisent ensemble		13.50		
Pour base des colonnes des fenêtres et en recherche		2.00		
Le côté vers midi même produit		53.75		
Métré du tuffeau nécessaire		107.50		
Les 107m.50 cubes de tuffeau blanc d'échantillon pour assises réglées à 21F.55 l'un comme au devis primitif à			2316.63	
Total des travaux compris au devis primitif			2456.63	2456.63
Jointoiement, nettoyage des assises paremens et ravalement à neuf du dessus du clocher compris les piles et l'intérieur du chœur				
Une pile développement	7.10	63.90		
Hauteur sur chapiteau	9.00			
3 autres piles semblables		191.70		
Un des côtés du chœur développement	16.50	148.50		
Hauteur sur corniche	9.00			
L'autre côté du chœur semblable		148.50		
Plus value pour les évasemens de croisée		50.00		
à Reporter		602m.60		2456F.63

5 Duvêtre compte un volume moyen par assise de (0,36+0,54)/2 m3.

Report		602m.60	2456F.63
Voûte sous le clocher un tympan	6.00	27.00	
Hauteur réduite	4.50		
3 autres tympans semblables		81.00	
1 Doubleau déploi	2.00	18.00	
Longueur pour les 2 côtés	9.00		
3 autres semblables		54.00	
1 Portion de voûte déploi de nervures	7.00	17.50	
Largeur réduite	2.50		
7 autres parties semblables		122.50	
Portion de colonnes au-dessus des naissances des voûtes		20.00	
Chœur, voûte longueur	10.00	120.00	
Développement	12.00		
Calotte sphérique		30.26	
Surface totale à ragréer et jointoyer		1092m.86	
Les 1092m.86 de mur, pilier et voûtes à nettoyer, ragréer et jointoyer à 1F.05c l'un			1147.50
Carrelage du sanctuaire en damier en carreaux de pierre de Tonnerre et ardoises polies épaisseur 0m.035 avec incrustation ainsi que du reste il est indiqué au plan ci-joint			
1ère partie en avant de l'autel ci		20.000	
Autre partie à la suite	13.00×6.00	78.00	
Partie circulaire		19.23	
		117m.23	
Massif d'autel à déduire		2.00	
Reste à compter		115m.23	
Les 115m.23 superficiels de carrelage ci-dessus détaillé à 10F.00 le mètre			1152.30
Démolition de 115m.23 superficiels de carrelage actuel compris déblais à 0F20c l'un			23.05
Déplacement de l'autel actuel pour le reporter en avant travail évalué la somme de			60.00
Massif en moellon sous l'autel déplacé 4m.00 cubes de maçonnerie sans enduit à 7F00 le mètre			28.00
Un marche-pied d'autel en pierre de Tonnerre, marches massives épaisseur 0m.16 14m.00 à 15F.00 le mètre			210.00
Dallage du marche-pied en pierre de Tonnerre épaisseur 0m.05c 2m.00 superficiels à 12F.00 l'un			24.00
12m.50 linéaires de marches massives en pierre de Tonnerre			
à Reporter			5101F.48

Report		5101F.48
pour la nouvelle Ste Table largeur 0m.40c épaisseur 0m.18c avec moulure en tête à 15F.00 le mètre		187.50
Maçonnerie pour tenir ces marches, fouilles pour ces massifs & travail évalué la somme de		35.00
Sainte Table		
Une Sainte Table en fer forgé semblable au dessin ci-joint montans 0m.016 carrés traverses idem, les montans seront renforcés à la base pour les scellemens développement 12m.40 qui fera 30K.00 le mètre ensemble 372K.00 à 1F.50 l'un compris tous scellemens, porte à 2 battans au centre dans addition pour les fermetures ni la ferrure la somme de		558.00
Sculptures		
30 Chapiteaux du chœur et de la voûte sous le clocher à nettoyer, refouiller à nouveau et gratter estimés à 5F00 l'un toute partie détériorée à remplacer sans addition au prix ci-dessus		150.00
24 chapiteaux des fenêtres au pourtour du chœur même réparation à 2F.00 l'un		48.00
30m.00 Linéaires de frise au pourtour du chœur à réparer nettoyer et refouiller & comme il est dit ci-dessus à 3F.00 l'un		90.00
20m.00 Linéaires de frise au pourtour des fenêtres du chœur comme ci-dessus à 3F.00 l'un		60.00
Vitraux coloriés		
Vitraux coloriés en grisailles simples style XIIe siècle entourés de filets couleur unie dans les fenêtres du chœur chacune 1m30×3m00=	3.90	
Une autre fenêtre semblable	3.90	
Total	7m.80	
Les 7m.80 superficiels de vitrerie ci-dessus coloriée en grisailles avec mettage en plomb à 65F.00 le mètre		507.00
La fenêtre au fond du chœur sera établie avec vitrerie coloriée, représentant un personnage en pied, dimension de la fenêtre comme celles ci-dessus 1m30×3m00=3m.90		
Les 3m.90 superficiels de cette vitrerie avec bordure à 150F.00 le mètre		585
Armatures des Fenêtres		
Développement 30m.00 linéaires de fer de 0m01c d'épaisseur sur 0m.03c de largeur à 2K.350 le mètre produit 70K.500g à 1F50c l'un		105.75
à Reporter		7427F.73

Report		7427F.73
Peinture		
Peinture à 3 couches de ces armatures		12.00
idem de la Ste Table en gris blanc à 3 couches développement compté double 12m.40 sur 1m. 50c produit 18.60 à 1F.00 le mètre		18.60
		7458F.33
1/20 pour dépenses imprévues		372.91
		7831F.24
Honoraires de l'Architecte 1/40e sur la somme de 2456F.63c, comprise au devis relaté au précédent, et sur lequel il a été perçu 1/40e. ci[6]	61F.42	
1/20e sur celle de 5374F.61 ci	268.73	
Total des honoraires	330.15	330.15
Total général		8,161F.39

Le présent devis montant à la somme totale de huit mille cent soixante -un francs trente neuf centimes dressé et arrêté par l'architecte soussigné
à Angers le 2 Mars 1855. [signé :] Duvêtre Archte

Vu et approuvé
Angers, le 2 Août 1855
Le Préfet [signé :] Vallon

2.40 Enregé à Beaufort le Vingt -Neuf Décembre 1955 80/77
[quelques caractère illisibles] Reçu deux francs et deux dixièmes de vingt centimes
[signature illisible]

2.E. Réception du chœur, 1857

Département de Maine-et-Loire.
Arrondissement de Baugé
Commune de Brion
Restauration intérieure du chœur de l'église de cette Commune
Le présent décompte dressé par Mr Duvêtre, Archte sous la direction duquel les travaux ont été exécutés

Année 1857

[fin page de titre]

Département du Maine-et-Loire.
Arrondissement de Baugé
Commune de Brion

Réception définitive des travaux exécutés par voie d'économie sur autorisation spéciale de Monsieur le Préfet, pour la restauration intérieure du chœur de l'église paroissiale de Brion, compris

6 On vérifie que 2456,63+5374,61 =7831,24.

les piliers d'angle des transepts.

Nous Louis Duvêtre, Architecte chargé de la direction des travaux dont il s'agit, après les avoir vérifiés lors de leur achèvement, reconnaissons que les Entrepreneurs ont rempli leurs engagemens conformément au devis et qu'il y a lieu de les solder d'après le décompte établi ci-après

Travaux à la charge de la Commune

24m.00 Linéaires d'étais posés à 1F00 l'un	24.00	
Déplacement et nouvelle mise en place des dits étais		
24m.00 à 0F.50c l'un	12.00	
14m.00 d'étais de petite dimension pour piles à 0F50c	7.00	
Montant des Etais	43.00	43F.00
212m.466 cubes de tuffeaux ont été employés aux travaux de reprises à 21F55c l'un prix du devis	4578F.64	
7m.848 cubes de commande à 21F55c l'un	169.12	
Note L'augmentation notable du cube de tuffeau provient de la restauration des piliers d'angle de la nef, non comprises au projet et qui ont été réparés d'urgence, suivant autorisation de monsieur le Maire du 27 8bre 1856		
1042.52 superficiels de ravalement des parties reprises et pose à 1F.05c l'un	1094.64	
Carrelage de chœur en blocs de Langeais de 0m.22 de côté à 4F.75c l'un les 10^{0}.07	478.55[7]	
25m.00 de cordon rapporté décoré de dents de scies à 0F.50	12.50	
4 morceaux de chapiteaux avec dents de scie évalués	4.00	
6 idem de Rairie pour marche-pied à 3F50c l'un	21.00	
à Reporter	6,358F.45	43F.00

Report	6,358F.45	43F.00
Pose de 1m.95 de vieilles marches pour le clocher et la sacristie à 1F50c l'un	2.92	
2 Entrepieds en briques sur champ sous croisées en bois	3.00	
Déplacement et pose de l'autel comme au devis	60.00	
Massif en maçonnerie dessous id.	28.00	
Maçonnerie sous la marche 12m.70 à 2F75 l'un	35.00	
Mac à dam sous le carrelage 14m.00 cubes à 4F50c l'un	63.00	
Sable à la même destination 5m.00 cubes à 3F.00 l'un	15.00	
Démolition des petits autels 28 Journées 2/3 à 2F25c	64.48	
Chaux employée en recherches évaluée	5.00	
Déblais du chœur 25m.00 cubes à 0F.50 l'un	12.50	

7 4,757×10,07=47,833.

Pierre de Tonnerre pour marche-pied du maître-autel 7^{m}.50^{c} linéaires à 9^{F}.00 l'un	67.50	
Un ambon en pierre, pour chaire à prêcher avec son escalier, évalués	824.00	
Total de la Maçonnerie	7538.85	7,538^{F}.85
Ferronnerie		
La Ste Table pèse 469^{K}.00 à 1^{F}50^{c} l'un	703^{F}.50	
3 Tubes en cuivre rouge étamé pour le passage des cordes du clocher dans la voûte	12.00	
80^{K}.00 de fer pour les croisées du chœur à 1^{F}.50^{c} l'un	120.00	
Monté deux croisées du chœur	3.00	
9 Pattes à scellement pour l'autel	5.00	
9^{K}.00 de fer pour la chaire et les consoles à 1^{F}.00 l'un	9.00	
6 Pattes et 6 vis pour la porte de la chaire	1.80	
12 idem à scellement et 4 à pointe pour les stalles	3.60	
11 Kilos de pattes pour les liens de la voûte à 1^{F}. 20^{c} l'un	13.20	
2 Crochets pour les cordes et 4 pattes pour des consoles	2.00	
Total de la Ferronnerie	873^{F}.10	873^{F}.10
Sculptures		
11 Chapiteaux aux croisées à 8^{F}00 l'un	88^{F}.00	
2 Grands chapiteaux à 12^{F}00 l'un	24.00	
8^{m}.90 linéaires de frise à 15^{F}00 l'un	133.50	
5^{m}.95 de dents de scie à 3^{F}.00 l'un	17.85	
Total	263.35	263^{F}.35
Démontage des boiseries du chœur par le menuisier		32.00
à Reporter		8,740^{F}.30[8]

	Report	8740^{F}.30
Vitraux coloriés.		
Les vitraux coloriés ont été exécutés conformément au devis	1092.00	1092.00
		9,832^{F}.30
A déduire 3 pour cent de rabais suivant marché consenti par les entrepreneurs		294^{F}.96
		9537.34
Honoraires dus à l'Architecte, en raison du 40^{e} touché antérieurement par lui		146.01[9]
Total général		9,683^{F}.35

8 Le total est 8750,30.

9 Ce devrait *a priori* être 9537,34/40=238,43.

Le présent décompte définitif montant à la somme totale de neuf mille six cent quatre-vingt-trois francs 35c dressé et arrêté par l'Architecte soussigné
à Angers le 14 février 1858, [signé :] Duvêtre Archte

Vu pour être approuvé par Mr Le Préfet de Mne & Loire
à Baugé Le 22 Mars 1858,
Le sous Préfet [signature illisible]

Vu et approuvé,
Angers le 31 Mars 1858
Le Préfet, [signé :] Bourion de Rouvre

2.20 Enregé. à Beaufort le quinze avril 1858 [n° peu lisible]
Reçu deux francs en paymt [signature illisible]

2.F. Devis pour le transept sud, 1861

Département de Maine et Loire
Arrondissement de Baugé
Commune de Brion
Devis estimatif des travaux à exécuter pour la restauration extérieure du Transept Sud de l'église paroissiale de cette Commune ; et réfection de la toiture de la Nef

Chapitre 1er Exposé

Le présent devis a pour objet la restauration du transept sud de l'Eglise de Brion, et la réfection de la couverture de la nef ; il n'est du reste qu'une partie d'un devis général de restauration complète, tant intérieure qu'extérieure de l'église, devis général présenté par nous à la date du 15 xbre 1849, mais divisé aujourd'hui en raison de l'exiguité des ressources de la commune.

Déjà deux parties du projet ont été exécutées, celle du clocher et du chœur ; ces derniers travaux dont la réception a été dressée le 15 juin 1857, ont nécessité une dépense de 5985F.88c.

Nous croyons devoir aujourd'hui nous occuper seulement de l'extérieur du transept sud comme ayant sur toutes les autres parties, le plus impérieux besoin de réparations ; ce travail se compose de deux parties distinctes, une modification complète de la charpente, et des reprises en sous-œuvre dans toutes les parties extérieures, mutilées ou déterriorées.

La charpente actuelle au-dessus du transept d'une construction défectueuse et peu solide, est postérieure à celle de l'Eglise, le pignon brisé dans sa rampe est formé de deux lignes, qui ne peuvent s'expliquer, que par la satisfaction momentanée d'une exigence, qui a rendu nécessaire de grossières maçonneries au-dessus des corniches.

[p.suivante]

Le dessin joint à ce devis, présente par la teinte jaune, l'aspect disgracieux de cet exhaussement et le peu de soin apporté à son exécution ; aujourd'hui nombre de tuffeaux ont disparu, le reste tombe de vétusté, laissant la charpente et l'extrados des voûtes exposées aux ravages du vent et de la pluie. Le même remaniement de charpente est à faire sur la nef ; mais seulement, en ce qui concerne les bois rapportés, car les fermes du comble sont en bon état, la toiture seule laisse à

désirer.

Il est donc extrêmement urgent de remplacer les coyeaux posés sur les murs, trop peu inclinés et le système vicieux de la charpente ; deux fermes en chêne, avec moises en sapin sont rétablies sur le transept dans le projet, les vieux bois seront employés pour les semelles, et le chevronage du nouveau comble.

Les tuffeaux déterriorés sur les façades seront enlevés, descendus et remplacés avec tout le soin qu'exige un pareil travail ; autant que possible, les scellements en fer seront évités, on ne les emploiera que dans le cas où la solidité des nouveaux remplissages deviendrait douteuse. Les profils de moulures, les détails, et jusqu'au mode d'exécution seront analogues à ceux qui existent déjà, les joints en chaux seront proprement retouchés lors du ravalement, quant aux claveaux sculptés de la porte romane, ils seront une imitation complète du peu qui reste encore aujourd'hui.

Les remplissages en maçonnerie qui obstruent la porte et une partie des croisées, seront démolis et remplacés, à la porte par une boiserie en chêne à bois debout avec garnitures ornées, en fer forgé, et aux croisées par des verrières à petits plombs (verre grisaille) occuperont la place de la vitrerie à petit bois et de la maçonnerie, ces verrières seront maintenues par des armatures en fer, avec des chassis ouvrant pour l'aération de l'église.

Le montant de ces travaux s'élève à la somme totale de [blanc] dont le détail suit.

[p. suivante]

Chapitre 2ème Avant Métré

1° Couverture			
Demolition de l'ancienne couverture			
Transept un long pan 9.00×8.00		72m.00	
un autre semblable		72m.00	
Nef. Un côté. long-pan 25.00×8.50		212,50	
glacis de 2 éperons ens.		15.00	
Un autre côté semblable		227.50	
	Métré superficiel	599.00	599.00
Couverture neuve. Transept . 2 cotés de chacun 7m.00 de hauteur	14.00×8.00	112	
Nef 2 long-pans ch. 8.50 de haut	17.00×25.00	425	
cache-gouttière ens.	66.00×0.40	26.40	
	Métré superficiel	563.40	563.40
faîtage en tuiles neuves Transept		8.00	
Nef		25.00	
	Métré linéaire	33m,00	33.00
Pente de gouttières en brique . Transept 2 côtés ch. 8m.00 de longr ens.		16.00	
Nef 2 idem ch. 25.00		50.00	
	Métré linéaire	66m.00	66.00

2° Maçonnerie					
Démolition Transept rampe de l'ancien pignon	15.00×1.00×1.00			15.000	
façades latérales partie au-dessus de la corniche long[r] d'une 8.00	16.00×1.00×1.00			16.000	
Nef. Murets en ruine au-dessus de la corniche. 2 côtés ch. 25.00 ens.	50.00×0.60×1.60			48.000	
suppression des claveaux endommagés de la porte romane	3.00×1.00×2.00			6.000	
idem pour la croisée au-dessus	4.00×1.00×2.00			8.000	
démolition de remplissages en vieux tuffeaux évalués approximativement à				3.000	
			Métré cube de la démolition	96.000	96.000
Reprises en tuffeau blanc de Brion N[a] le tuffeau au mètre cube est seulement compté pour taille des lits et joints, bardage, fichage, mortier et pose sans ravalement					
Reprises des jambages de la porte d'entrée					
remplaçant dans l'archivolte, les tuffeaux détruits et détériorés. ens.	8.00×2.50	20.00	0.23	4[m].600	
reprise dans un angle	2.00×3.00	6.00	0.23	1.380	
idem arêtier de l'éperon coté de la porte romane développant	3.00×3.00	9.00	0.60	5.400	
remplacement de la corniche au-dessus de la grande croisée modillons, frise &[a]	6.00×1.00	6.00	0.60	3.600	
exhaussement au-dessus de cette corniche	8.00×1.00	8.00	0.50	4.000	
glacis de la fenêtre	2.50×1.00	2.50	0.23	0.575	
reprise de l'éperon à hauteur de la corniche		2.00	0.23	0.460	
tuffeaux à reprendre sur la hauteur de cette façade en totalité		5.00	0.23	1.150	
Nef. reprise de la corniche et des modillons					
Un côté	25.00×1.00	25.00	0.50	12.500	
glacis sur 2 éperons ens.	6.00×2.00	12.00	0.23	2.760	
un autre côté semblable		37.00		15.260	
pignon du transept, partie triangulaire à refaire, développement	10.00×3.00	30.00	0.23	6.900	
remplacement de modillons dans la corniche ens.	3.00×1.00	3.00	0.23	0.690	
reprises dans la partie inférieure	5.00×3.00	15.00	0.23	3.450	

façade en retour vers le clocher, exhaussement au-dessus de la corniche, même produit que l'autre façade	8.00×1.00	8.00	0.50	4.000	
Modillons de la corniche	6.00×1.00	6.00	0.60	3.600	
tuffeaux en totalité pour boucher des trous sur la façade		4.00	0.23	0.920	
		198m.50		71m.245	
Métré cube des tuffeaux de Brion à remplacer					71m.245
idem superficiels des ragréages, ravalements et moulures des parties neuves ens.					198m.50
ravalement et ragréage des parties anciennes en totalité, rejointoiement des assises, et nettoyage, travail exécuté au moyen d'outils en bois et avec soin					
Une façade latérale du transept mesurée y compris les éperons ens.		9.00×14.00		126.000	
pignons et éperons de idem		13.00×15.50		201.50	
façade en retour idem		9.00×15.50		139.m50	
Métré superficiel				467.m00	467.00
Maçonneries en recherche à faire en différents endroits					
approximées à 20.m00 superficiels					20.00
seuils et marches en grès de Baugé 3m.00 superficiels					3.m00
une croix en pierre de chauvigny placée sur le sommet du pignon, évaluée en place 20F,00					20F,00

3° Sculptures

Un chapiteau pour la porte romane	6F.00	
3 autres semblables ens.	18.00	
sur cette même façade 14 modillons à 6F.00	84.00	
frise au-dessus de modillons 8.m00 à 8F.00 le m	64.00	
50 claveaux pour la porte romane à 5F.00	250.00	
crochets autour des claveaux 7m.00 linéaires à 6F.00	42.00	
pignon du transept 16 modillons à 6F,00	96.00	
façade en retour vers le chœur 8m.00 de frise 8F.00	64.00	
20 modillons à 6F.00 l'un	120.00	
Nef 50m.00 de frise à 8F.00 le mètre	400.00	
80 modillons à remettre en état à 6F.00	480F.00	
Evaluation de la Sculpture	1624F.00	1624F.00

4° Charpentes				
Démolition de la charpente actuelle sur le transept et d'une portion de celle de la nef. travail évalué				80F.00
transept ferme. Une moise en sapin, longueur		6.50×0.22×0.16	0.229	
2 arbalétriers en chêne ch. 6,10		12.20×0.12×0.22	0.322	
2 sous-arbalétriers ch. 3.00		6.00×0.10×0.18	0.108	
Une autre ferme semblable			0.659	
		Métré cube de bois neuf	1.318	1.318
Vieux bois ferme	Un poinçon		2.80	
	2 aisseliers ch. 1.80		3.60	
	2 blochets ch. 1.00		2.00	
	4 échantignoles ch. 0.35		1.40	
	2 liens de faîtage ch. 1.50		3.00	
Une autre ferme semblable			12.80	
1 faîtage, 2 sablières et 4 filières ch. 8,00			56,00	
34 chevrons ch. 6.60			224.4	
Nef 100 coyeaux en vieux bois à placer sur les chevrons ch. 1m.70 de long ens.			170.00	
entretoises pour tenir les sablières ens.			20.00	
		Métré linéaire	496.00	496.00
lambourdes delardées servant de cache-gouttières en bois de chêne neuf. Transept et nef ens.			66.00	66.00

5° Ferblanterie			
Gouttières en zinc N° 14 sur le transept et la nef placées derrière lambourdes 56m.00 linéaires par 0m.45 de largeur ce qui produit		25m.20	
6 descendants en même zinc Dtre 0,12c de diamtre ch. 16m.00 de hauteur ens 96,00×0.38		36.48	
Clocher, gouttières placées sur la couverture en zinc N° 14, quatre côtés ch. 4.00 ens 16.00×0.45		7.20	
2 descendants ch. 15.00 ans. 30,00×0.38		11,40	
2 cuvettes pour recevoir l'égout de ces descendants sur les transepts évaluées ch 2m.00 carrés		4,00	
	Métré superficiel	84m.28	84.28
crochets en fer forgé pour descendants		120	120

6° Menuiserie		
Une porte en chêne à bois debout, épaisseur 0m.06 hauteur 3.60×2.00	7m.20	7m.20
persiennes en chêne, épaisseur des lames 0.03c battants 0.20 de largr, épaisr .0m.06 2.00×0.70	1.40	1.40
7° Serrurerie		
ferrure de la porte romane. Une panture et gonds développant 3m.00 linéaires, épaisr 0.005m pesant 1k.056 grammes[10] à 2F.00 le kilo	9F.36	
8 clous à 0F.30 l'un	2F.40	
prix d'une panture posée	11.76	
5 autres pantures semblables ens	58F.80	
panture fausse dans l'imposte pesant 6 kilos à 2F.00 l'un	12.00	
12 clous à 0F.30	3.60	
une serrure besnarde de façon avec clefs	20.00	
10 fortes pates à scellement 0F.50 l'une	5.00	
un loquet poucier ouvragé estimé	10.00	
butoir scellé sur le seuil en grès	10.00	
2 verrous haut et bas à 6F.00 l'un	12.00	
ferrure complète de la porte	143F.16	
20 kilos de fer pour crampons destinés à retenir les tuffeaux dans les parties difficiles à 1F.00 l'un compris scellement	20.00	
Boulons pour ferme, 5m.00 de fer rond de 0.02 de diamètre pesant 2k,450 le mètre, soit 12,250 à 1F.20 le kilogramme	14.70	
à Reporter	157.86[11]	

Report	157F.86	
Chaînements divers non prévus, 100 kilos à 0F.90 l'un	90.00	
Evaluation de la serrurerie	267F.86	267F.86
8° Peinture et Vitrerie		
15m.00 superficiels de porte en chêne passé à l'huile et vernis, ci	15m.00	15m.00
peinture de ces ferrures évaluées	15F.00	15.00
fers pour chaînements passés au minium	10F.00	10F.00
peinture couleur bois à 3 couches de la persienne, surface triplée	4.20	4.20

10 1,56 kg par mètre de penture :3×1,56×2=9,36.
11 Pour 177,86F.

Chapitre 3ème Sous détail des Prix

N° 1 Mètre superficiel de couverture en ardoise dite poil taché 0.10m de pureau

50 ardoises à 23F.00 le 0/000 rendu à Brion	1.15	
lattis de peuplier, 0.025 d'épaisseur, et 0m.20 de largeur le mètre superficiel	1.25	
clous ens	0.22	
façon par mètre	0.45	
	3.07	
faux frais	0.16	
bénéfices	0.32	
Prix du mètre superficiel	3.55	3.55

2 enfaîteaux en tuile. 3 enfaîteaux par mètre à 0F.20 l'un

	0.60	
façon et mortier	0.25	
	0.85	
faux frais	0.05	
bénéfices	0.10	
Prix du mètre linéaire	1.00	1.00

3 Chaux de Rainé éteinte

Le mètre cube de chaux vaut rendu à Brion	23.00	
extinction	1.50	
	24F.50	

Le mètre de chaux vive, cubant après l'extinction 1m.250 celui de chaux éteinte revient à 19F.60

3. Mortier. 1m.00 cube de chaux	19.60	
2m.00 cubes de sable du pays à 2F.25 l'un rendu à pied d'œuvre	4.50	
façon	2.10	
	26.20	

Le mélange produisant 2m,500 le mètre cube revient à 10.48

bénéfices	1.02	
prix du mètre cube	11.50	11.50

Tuffeau du pays pour reprises de façades et parements 1.00 cube de tuffeau taillé en échantillon ordinaire vaut à Brion 13F.00

montage sur l'échafaudage	1.00	
à Reporter	14.00	

Report	14.00	
pose par mètre cube compris garniture etc.	3.00	
Mortier pour pose à grands joints, ainsi que ceux qui existent 0m.150 à 11F.50	1F.73	
	18.73	
faux frais	0.94	
bénéfices	1.88	
prix du mètre cube de tuffeau	21.55	21F.55

5 Ravalement et ragréages des tuffeaux neufs sur place

ravalement compris moulure et parement droits	1F.50	
ragréages des joints	0.50	
mortier	0.15	
	2.15	
faux frais	0.11	
bénéfices	0.22	
prix du mètre superficiel	2.48	2F.48

6 Grattage avec outils de bois et ragréages des joints sur les anciens parements

Le mètre superficiel compris échafaudages	0.25	
mortier pour joints	0.15	
	0.40	
faux frais et bénéfices	0.10	
prix du mètre superficiel	0.50	0.50

7 Parement en pierre de grès de Baugé

Le mètre superf. de 0.20 d'épaisseur, vaut à la carrière	8F.00	
taille compris lits et joints	9.00	
transport à Brion	5.40	
pose et mortier	1.50	
	23.90	
faux frais	1.18	
bénéfices	2.37	
Prix du mètre superficiel	27.45	27F.45

Chapitre 4. Evaluation de la Dépense

quantités		N^ro du S. Détail	Prix	Sommes Partielles	Sommes Totales
	1° Couverture				
599.00	superficiels de couverture démolie, y compris le choix des ardoises pouvant être réemployées		0F.10	59.90	
563.40	superficiels de couverture neuve en ardoise voir au sous détail N°	1	3F.55	2000,07	
33m.00	linéaires d'enfaîteaux en tuile	2	1F.00	33.00	
66.00	idem de pente de gouttière en briques		1F.00	66.00	
	Evaluation de la Couverture			2158F.97	2158F.97
	2e Maçonnerie				
96.000	Cubes de démolition de mur		1F.00	96.00	
71.245	idem de tuffeaux à remplacer	4	21.5 5	1535.32	
198m.50	superf. de ravalement sur ces tuffeaux	5	2.48	492.28	
	à Reporter			2123F.60	2158F.97
			Report	2123F.60	2158F.97
467m.00	superficiels de ragréages et rejointoiement voir au sous détail N° 6		6F50	223.50	
20.00	superf. de maçonnerie à faire en différents endroits à 5F.00 le mètre		5F.00	100.00	
3.00	superf. de parement de grès de Baugé		27.45	82.35	
20F.00	Une croix en pierre de chauvigny évaluée			20.00	
	Evaluation de la maçonnerie			2559.45[12]	2559.45
	3° Sculpture				
1624F.00	Evaluation de la sculpture détaillée à l'avant-métré			1624.00	1624.00
	4° Charpente				
80F,00	Démolition des anciennes charpentes V[oir] A[vant] M[étré]			80.00	
1.318	cubes de bois neuf pour fermes		90F.00	118.62	
496.00	linéaires de vieux bois en place, évalué compris sciage, le mètre		0.35	173.60	
66.00	linéaires de lambourdes délardées pour cache gouttières (bois de chêne)		1F.50	99.00	

12 Pour 2549,45.

	Evaluation de la charpente		471F.22	471.22
	50° Ferblanterie			
84.28	superf. de zinc N° 14 pour gouttières et descendants	9F.00	758.92[13]	
120.	crampons enfer forgé pour descendants	0.25	30.00	
	Evaluation de la ferblanterie		788.92	788.92
	6° Menuiserie			
7m.20	superficiels de portes à bois de bout en chêne. le mètre	18.00	129.60	
1.40	superf de persiennes en chêne	14.00	19.60	
	Evaluation de la menuiserie		149.20	149.20
	7° Serrurerie			
267F.86	Voir l'évaluation et le détail de la serrurerie, portée à l'avant Métré		267.86	267.86
	8° Peinture			
15.00	superficiels de menuiserie passée à l'huile et vernie	1F.00	15F.00	
15F.00	peinture des ferrures. V. A. M.		15.00	
10F.00	fers pour chaînements passés au minium, évalués ens.		10.00	
4.20	superf. de peinture à 3 couches, et en			
	à Reporter		40F.00	8019.62

	Report		40F.00	8019.62
	couleur brune à 1F.00 le mètre		4.20	
	Evaluation de la peinture		44.20	44.20
	Total			8063F.82
	Dépenses imprévues 1/20 du montant			403.19
				8467F.01
	Honoraires de l'architecte 1/20			423.35
	Total			8890F.36

Le présent devis montant à la somme totale de huit mille huit cent quatre vingt dix francs, 36c dressé et arrêté par l'architecte soussigné.
Angers le 18 Mars 1861 [signé :] Duvêtre Archte

Vu pour acceptation
Brion, le 6 Avril 1861
Le Maire [signé :] Dogreau fils [tampon :] Mairie de Brion Maine-et-Loire

13 Pour 758,52.

lu et approuvé Roger frères

Vu et approuvé
Angers le 17 Juin 1861
Pour le Préfet empêché
Le secrétaire général délégué, [signature illisible]

2.20 Enregistré à Beaufort le vingt quatre Juillet 1861
f.1.Q.P.4.
Reçu deux francs ; dixième vingt centimes [signature illisible]

2.G. Réception du transept sud, 1863

Département de Maine et Loire
Arrondissement de Baugé
Commune de Brion

Réception générale et définitive des travaux exécutés pour la restauration extérieure du Transept Sud et de la Réfection de la Toiture sur la Nef de l'Eglise de cette Commune.

La présente réception dressée par M^r^ Duvêtre Architecte à Angers

Année 1863

Département de Maine et Loire
Arrondissement de Baugé
Commune de Brion

Réception générale et définitive des travaux exécutés pour la restauration extérieure du Transept Sud et de la Réfection de la Toiture sur la nef de l'Eglise de cette Commune, par les sieurs Roger frères, entrepreneurs de travaux publics, qui s'en sont rendus adjudicataires le 15 juillet 1861, moyennant un rabais de 0.08^c^ par franc sur les prix du devis ; la dite adjudication approuvée le 3 Août suivant, par M. le Préfet de Maine et Loire.

1° Couverture		
503^m^.94 superficiels de démolition à 0^F^.10 le m		50^F^.39
Couverture neuve. Transept. 2 long-pans d'une surface de 110.04 à 3^F^.55		390.64
Nef. 2 long-pans ens 395,94 de couverture en ardoise poil taché et volige mine à 3^F^,20 le m		1267.00
Evaluation de la couverture		1708.03
2° Maçonnerie		
Démolition. Transept. Pignon	85.390	
une partie au-dessus de la voûte	8.400	
dessus de corniche, modillons compris. 2 côtés ens.	54.600	
porte romane	4.000	
Nef, partie sur la Corniche 2 cotés ens.	150.150	

12 trous pour moises ens.		18.000	
Métré cube		320.54	
Les 320.54 de démolition de vieux murs à 1F.00			320.54
Tuffeaux remplacés Transept	Surface	Cube	
Porte romane	28.32	7.080	
Corniche et modillons	16.00	6.000	
à Reporter	44.32	13.080	320.54
Report	44.32	13.080	320.54
Un éperon	16.70	4.175	
une petite partie	4.98	0.659	
Pignon et corniche rampante	20.20	8.550	
1e corniche et modillons	16.66	5.815	
partie au-dessus de la croisée	4.35	1.088	
idem idem socle	12.29	3.073	
Eperon gauche	6.51	1.665	
idem droit	25.10	5.603	
têtes au-dessus de ces éperons	5.40	1.050	
façade sur la sacristie. Eperon	23.26	6.062	
Corniche et modillons	9.18	4.239	
attique au-dessus	12.87	3.217	
Clocher face Sud	7.14	1.738	
Nef. Corniche pour les 2 côtés	50.82	6.940	
modillons et carraudages	" "	5.290	
Eperons ens.	16.81	3.760	
Métrés cubes à 21F.55	276.59	76.004	1637F.89
Les 276.m59 superficiels de ravalement sur tuffeau neuf à 2F.48 le mètre			685F.94
Ragréage et rejointoiement sur vieux tuffeaux			
Façade de l'entrée		119.85	
2 côtés d'éperons ens.		13.00	
Pignon		162.61	
4 côtés d'éperons ens.		42.75	
façade sur la sacristie		52.98	

éperons	43.80	
Métré superficiel	434.99	
à déduire la surface neuve	239.53	
	195.46	
moins 1/10 de cette surface neuve, p. développements	19.54	
Reste à compter	215.00	
Ravalement du clocher sur les parties neuves	14.00	
Métré superficiel	229.00	
Les 229.00 de ravalement et rejointoiements sur vieux tuffeau à $0^{F}.50$ le mètre		$114.^{F}50$
à Reporter		$2758^{F}.87$

Report		2758.87
Maçonnerie neuve derrière les tuffeaux		
Transepts pignon, rampant et pointe	16.200	
partie au dessus de la corniche pour les 2 côtés	6.164	
Nef Maçonnerie derrière la corniche	29.560	
piles sous les filières et trous pour moises	14.000	
Métré cube	65.924	
Les 65.924 de murs en vieux moellons pour garnissage derrière les tuffeaux à $5^{F}.00$ le m		$329^{F}.62$
Enduits en chaux et sable de Loire au pied des murs, 16.30×1.80=29.34 superf. à $0^{F}.70^{c}$		20.53
Reparé le pignon de la nef et mis en état travail évalué, pour fournitures et main d'œuvre		$20^{F}.00$
Un seuil en grès de baugé 0.26 superf. à $27^{F}.45$ le mètre		$7^{F}.14$
Un vieux seuil reparé		$2^{F}.00$
20 modillons sur le rampant du pignon à $1^{F}50$		30.00
Cordon festonné 13.80 à $1^{F}.50$ le mètre		20.70
Evaluation de la maçonnerie		3188.86
3° Sculpture		
Porte romane 4 chapiteaux à $6^{F}.00$	24.00	
31 Claveaux neufs à $6^{F}.00$	186.00	
21 idem vieux reparés à $2^{F}50$	52.50	
1ere Moulure 6.60 linéaires à $8^{F}.00$	52.80	435.93
$12^{m}.65$ de tartalettes à $8^{F}.00$ le mètre lin.	101.20	
5.50 idem reparées à $1^{F}.50$	12.38[14]	

4[m].70 linéaires de dents de scie à 1[F].50	7.05	
30.20 linéaires de frise à 8[F].00		241.60
50 modillons à 6[F].00		300.00
49 têtes d'arcatures à 3[F].00		167.00[15]
Nef. 87 modillons à 6[F].00		522.00
10 idem au clocher		60.00
Une croix en chauvigny estimée		60.00
Evaluation de la Sculpture		1786.53

4° Charpente

Démolition des anciennes Charpentes évaluées au devis la somme de 80[F].00 ci à Reporter 80[F].00

Report		80[F].00
pour descendre le bois qui était sur les voûtes		12.00
Transsept, semelles, poteaux et blochets ens.	0.344	
4 arbalétriers ens.	0.620	
8 moises ens.	0.266	
2 entraits et 4 contre fiches ens.	0.450	
Nef 8 blochets ens.	0.480	
24 moises ens.	0.744	
12 arbalétriers	1.260	
Métré cube	4.164	
Les 4.164 de bois de chêne neuf à 90[F].00 le mètre		374[F].76
Transept 2 blochets, 2 poteaux en vieux bois ens.	5.80	
2 poinçons 4 liens de faîtage ens	11.10	
faîtage	8.50	
filières, tasseaux et échantignoles	37.80	
sablières	17.00	
Chevrons ens.	228.00	
Nef sablières	50.00	

14 5,5×1,5=8,25.
15 49×3=147.

filières ens.		100.00	
faîtage et sous faîte ens.		48.00	
poinçons et contrefiches ens.		64.80	
jambettes et sous arbalétriers		60.00	
tasseaux et échantignoles		21.60	
tirants ens.		67.50	
poteaux et blochet		14.80	
Chevrons ens.		714.40	
coyeaux ens.		154.70	
	Métré linéaire	1604.00	
les 1604.00 de vieux bois réemployé à 0^{F}.35c compris sciage			561^{F}.40
Evaluation de la Charpente			1028^{F}.16

4° Ferblanterie

Transept Gouttières en zinc	crochets	zinc	
2 côtés ens.	18	6.98	
1 tuyeau de descente	10	4.68	
à Reporter	28	11.66	
Report	28	11.66	
Clocher gouttières ens.	60	18.00	
Descendants ens		9.50	
Nef gouttières	45	20.92	
Descendants ens	40	15.64	
2 cuvettes et un morceau de zinc ens		3.30	
Totaux	173	80.02[16]	
Les 80.02 superficiels de zinc N° 14 pour gouttières et descendants à 9^{F},00 le mètre			720.18
173 crochets pour ces mêmes gouttières et descendants à 0^{F}25 l'un			43.25
18 kilos de plomb pour les crochet en fer de la nef à 1^{F},10			19.80
Descendants en fonte 101^{k}.25 à 0^{F}.55			55.68
plus value pour crochets en fer			4^{F}.00
Evaluation de la Ferblanterie			842.91

16 En fait 79,02.

6° Menuiserie		
Une port en chêne à bois debout 8.25 superf. à 18F.00 le mètre		148.F50
Une persienne en chêne pour le pignon 0.83 à 14F.00 le mètre		11.62
Evaluation de la menuiserie		160.12
7° Serrurerie		
Ferrure de la porte romane, panture et gonds pesant ens. 30k.500 à 2F.00 le kilo	61.00	
78 clous pour ces pantures à 0F,30	23.40	
12 boulons à écrous p bandes à 0F,30	3.60	
7 pattes à scellement pour l'imposte	3.50	143F.50
1 loquet poucier	10.00	
Serrure besnarde de façon, avec clefs	20.00	
buttoir scellé sur le grès	10.00	
2 verrous haut et bas ens.	12.00	
57k.500 de fer pour crampons tenant les tuffeaux à 1F.00 le kilogramme		57.50
16k.00 de fer pour les boulons de la Charpente		
à Reporter		201,00

Report	201F,00
à 1F.20 le kilogramme	19.20
ferrure de la persienne de pignon	5F.00
Nef 10k300 de fer pour liens de faîtage et de sablière à 0F.90	9.27
20 boulons à vis pesant 23.7000à 1F.20 le kilo	28.44
24 ftes Chevillettes à 0F 30 l'une	7.20
10 Crochets pour les couvreurs à 1F.00	10.00
Evaluation de la serrurerie	280.11
9° Peinture	
Porte vernie à l'huile bouillante, 2 couches. 16.28 superficiels à 1F.00	16.28
peinture des pantures	11.25
1 persienne peinte en brun surface triple 2.49 à 1F.00	2F.49
8 verres doubles placés sur le toiture de la nef ens. 2.25 superf. à 8F.00 le mètre	18.00
Evaluation de la peinture	48.02

Récapitulation

1° Couverture	1708F,03
2° Maçonnerie	3188,86
3° Sculpture	1786.53
4° Charpente	1028.16
5° Ferblanterie	842.91
6° Menuiserie	160.12
7° Serrurerie	280.11
8° Peinture	48.62
Total	9043F.34
Rabais de 0.08c par franc à déduire	723.46
Reste	8319.88
Honoraires de l'architecte 1/40 du montant (l'autre 1/40 ayant été touché antérieurement)	207F.99
Total général	8527F.87

La présente réception montant à la somme totale de huit mille cinq cent vingt sept francs 87, dressée et arrêtée par l'architecte soussigné,
Angers le 8 janvier 1863 [signé :] Duvêtre Archte

Vu pour être approuvé par mr le préfet
Baugé, le 23 mars 1863, Le sous-Préfet [signature illisible]

Vu et approuvé, Angers le 30 Mars 1863
Pour le préfet, le secrétaire général délégué [signature illisibles]
Pour acquit de la somme de huit trois cent dix neuf francs quatre vingt huit centimes, à Brion le 18 novembre 1867 [signé :] A Roger, C Roger

(Dans la marge de gauche, verticalement)
vu par nous maire de la commune de Brion le présent procès-verbal de réception s'élevant à la somme de huit mille trois cent dix neuf francs quatre vingt huit C. pour être payé aux entrepreneurs Roger frères.
Brion le 15 9bre 1967. [signé :] Riobé [tampon :] mairie de Brion Maine-et-Loire.

2.H. Devis pour le transept nord, 1862

Département de Maine et Loire
Arrondissement de Baugé
Commune de Brion
Restauration de l'Eglise de cette Commune divisée en annuités
Devis estimatif des travaux à exécuter pour la restauration extérieure du transept nord
Année 1862

[fin p. de titre]

Département de Maine et Loire
Arrondissement de Baugé
Commune de Brion
Restauration de l'Eglise de cette commune divisée en annuités
Devis estimatif des travaux à exécuter pour la restauration extérieure du transept nord.

Chapitre 1er Exposé.

Ce devis n'est que la reproduction partielle de celui de la restauration générale de l'édifice, présenté par nous à la date du 15 xbre 1849 et subdivisé, en raison de l'exiguité des ressources de la commune.

Le transept sud est restauré, tant à l'intérieur qu'à l'extérieur, nous proposons aujourd'hui de faire la même opération à celui du nord dont la solidité est aussi compromise, tout en rétablissant les croisées dans leur état primitif. La restauration intérieure de ce même transept serait exécutée simultanément avec les fonds de la fabrique et d'après les éléments du devis approuvé, présenté le 18 Mars 1861.

Ce travail, comme celui du transept sud, se compose de deux parties distinctes, une modification complète de la charpente, et les reprises en sous-œuvre dans toutes les parties extérieures mutilées ou détériorées.

[17]La charpente actuelle qui couvre ce transept, d'une construction défectueuse et peu solide, est postérieure à celle de l'Eglise. Le pignon brisé dans sa rampe est formé de deux lignes, qui ne peuvent s'expliquer que par la satisfaction momentanée d'une exigence qui a rendu nécessaires de grossières maçonneries au-dessus des corniches.

Le dessin joint à ce devis, présente par la teinte jaune, l'aspect disgracieux de cet exhaussement et le peu de soin apporté à son exécution. Aujourd'hui beaucoup de tuffeaux ont disparu, le reste menace de tomber, laissant la charpente et l'extrados des voûtes exposées aux ravages du vent et de la pluie.[18]

Il est donc extrêmement urgent de remplacer les coyaux trop peu inclinés posés sur les murs et le système de la charpente. Deux fermes en chêne, avec moises idem sont établies sur ce transept, les vieux bois y seront en partie employés des même que les chevrons.

---

17 À partir de ce point, le devis recopie celui du transept sud, à quelques détails infimes près.

18 Ici finit la copie du texte relatif au transept sud, la suite le reprend avec des différences significatives.fin du Deux lignes concernant la nef sont supprimées du texte relatif au transept sud, la copie continue ensuite.

[19]Les tuffeaux détériorés sur les façades seront enlevés, descendus et remplacés avec tout le soin qu'exige un pareil travail ; autant que possible les scellements en fer seront évités, les profils de moulures, les détails, et jusqu'au mode d'exécution seront analogues à ceux existant déjà. Les joints en chaux seront proprement retouchés lors du ravalement[20] et la sculpture rétablie dans l'état primitif.

Les croisées à petit bois sont remplacées par la fabrique qui y substitue des barrettes en fer avec des verrières dans le style du monument.

Le montant de ces travaux du présent devis s'élève à la somme totale de 5245^{F}.52^{c} dont le détail suit.

Le présent exposé dressé par l'Architecte soussigné à Angers le 22 Mai 1862
[signé :] Duvêtre Arch

Chapitre 2^{e} Avant Métré

1° Couverture

Démolition de l'ancienne couverture surface					110^{m}. 04
Couverture neuve 2 côtés de		8^{m}.40=	16^{m}.80×	6^{m}.55	110.04
Faîtage en tuiles à refaire en entier					8^{m}.00
Pentes de gouttières 2 côtés ensemble					16.00
2° Maçonnerie					
Démolition au-dessus des modillons				Cube	
2 côtés ensemble	7^{m}.00	7^{m}80×	1.00=	54.60	
	à Reporter			54^{m}.60	

Report				54^{m}.60	
Pignon partie carrée	11.50×	3.50×	1^{m}.00=	40.25	
	11.50×	5.50	1.00	63.25	
Partie au-dessus des voûtes	7.00	2.00	0.60	8.40	
				166^{m}.50	166^{m}.50

Maçonnerie en tuffeaux du pays en recherche

	Dimensions		surface	Epais-seur	cube
Reprise dans un angle	2^{m}.00	3^{m}.00	6^{m}.00	0.25	1.50
id. de l'arrêtier côté de la place	3.00	3^{m}.00	9.00	0.60	5.40
Remplacement de modillons et frise de la corniche	6^{m}.00	1^{m}.00	6.00	0.60	3.60

19 Début d'un 2^{e} passage copié textuellement de l'autre devis.
20 Fin de ce passage.

Exhaussement sur la corniche	8.00	1m.00	8.00	0.50	4.00	
Glacis de la fenêtre	2.50	1m.00	2.50	0.25	0.63	
Reprise de l'éperon à hauteur de la corniche	2.00	1.00	2.00	0.25	0.50	
Tuffeaux à reprendre	5.00	1.00	5.00	0.25	1.25	
Pignon partie à refaire	10.00	3.00	30.00	0.25	7.50	
Remplacement des modillons dans la corniche	3.00	1.00	3.00	0.25	0.75	
Reprise de la partie inférieure	5.00	3.00	15.00	0.25	3.75	
Exhaussement au-dessus de la corniche	8.00	1.00	8.00	0.50	4.00	
Modillons de la corniche	6.00	1.00	6.00	0.60	3.60	
1,100 Tuffeaux en recherche en divers endroits de 0m.50	550m.00	0.30	165.00	0.30	49.50	
Cube de tuffeaux neufs					85m.98	85m.98
Ragréage des tuffeaux neufs			265m.50			265m.50
Ragréage sur les vieux tuffeaux						
Façade côté de la nef			14.10	8.50	119m.85	
2 côtés d'éperon ensemble			1.30	10.00	13.00	
Pignon réduit			10.10	2.00	20.20	
Partie au-dessous			14.10	10.10	142.41	
4 côté d'éperons de ch[aque] c[ôté] q[ui] f[ont] ensemble			3.80	10.25	42.75[21]	
Façade côté du choeur			7.50	6.17	46.28	
Partie à côté			8.37	0.80	6.70	
à Reporter					391m.19	

Report				391m.19	
Eperon		14.60	3.00	43.80	
				434.99	
A déduire la surface du ragréage en tuffeaux neufs				238.95	
				196.04	196m.04
Maçonnerie en Moellon				Cube	
1° En recherche				8m.40	
2° Pignon partie carrée	2.00	9.00	0.45	8.10	
id ; en pointe	1.80	10	0.45	8.26[22]	

21 42.75=3.80×11.25
22 8.26=1.8×10.20×0.45

				24.76	24.76
Une croix en pierre de Chauvigny à placer sur le sommet du pignon comme celle du sud					20F.00
3° Sculptures					
Face côté de la nef 8m.00 de frise à			8F.00	64F.00	
10 Modillons à			6.00	60.00	
14 têtes d'arcature à			3.00	42.00	
4 chapiteaux de croisée à			5.00	20.00	
Face côté du chœur 8m.00 de frise à			8.00	64.00	
14 modillons à			6.00	84.00	
14 têtes d'arcatures à			3.00	42.00	
Pignon 16m.00 de frise à			8.00	128.00	
26 modillons à			6.00	156.00	
21 Têtes d'arcatures à			3.00	63.00	
6m.60c de dents de scie à			1.50	9.90	
2 Chapiteaux de croisée à			5.00	10.00	
				742.90	742F.90
4° Charpenterie					
Démolition évaluée					20F.00
Bois de chêne neuf					
4 Semelles sous poteaux à 0m.60c ensble	2.40	15×[23]	30=	0.108	
2 Poteaux de 1m.50c ensble	3.00	20×	20=	0.120	
2 Blochets de 1.40 ens	2.80	18×	23	0.116	
	à Reporter			0.344	
Report				0m.344	
Un arbalétrier	5.35	17×	17	0.155	
3 Autres arbalétriers				0.465	
8 Moises de 2m.50[24] ensble	20.80	08×	16	0.266	
2 Entraits de 4.20 ens	8.40	20×	25	0.420	
4 Contrefiches de 1m.20 ens	4.80	12×	12=	0.069	
				1.719	1m.719
Réemploi du bois à provenir des démolitions environ pr chevrons					320m.00

23 Les mesures de cette colonne et de la suivante sont en cm

24 Le total est calculé pour2,60m.

5° Ferblanterie				
Les deux côtés du transept. Gouttières	16m.00	0.45	7.20	
2 Tuyaux de descente	28.00	0.33	9.24	18m.04
1 Cuvette	2.00	0.80	1.60	
50 Crochets de gouttières et descendants				50.00
6° Menuiserie				
Persienne de la croisée du pignon y compris cintre		1m.67	0.50=	0m.83
Porte d'entrée		2.20	1.00	2.20
7° Serrurerie				
40 Kilos de fer pour crampons destinés à retenir les tuffeaux dans les parties différentes à		1F.00	40F.00	
50 Kilos idem pour chaînement à		0.80	40.00	140F.00
Ferrure de la porte et des persiennes comme au sud			60.00	
8° Peinture et Vitrerie				
Peinture de la porte surface double			4m.40	6m.89
id. des persiennes id. triple			2.49	
Rechampissage des fers évalué				10F.00
Chapitre 3e Sous détails des prix				
1m.00 carré de couverture en ardoises dites poil taché avec 0m.10c de pureau				
50 ardoises à 23F.00 le mille rendu			1.15	
lattis en peuplier			1.25	
		à Reporter	2F.40	
		Report	2F.40	
clous et main d'œuvre			0.67	3F.55
faux frais et bénéfices			0.48	
1m.00 cube de maçonnerie en tuffeaux du pays				
Le mètre cube rendu à pied d'œuvre			13F.00	
Bardage			1.00	
Pose et garniture			3.00	21.55
mortier			1.73	
faux frais et bénéfices			2.82	

1m.00 Carré de ragréages de tuffeaux neufs ravalement compris moulures et paremens droits		1.50	
Remplissage des joints		0.50	2.48
Mortier pour les joints		0.15	
Faux frais et bénéfice		0.33	

1m.00 Carré de ragréage de tuffeaux vieux			
Grattage avec outils de bois et ragréage des joints sur les anciens parements		0.25	
Mortier pour joints		0.15	0.50[c]
Faux frais et bénéfice		0.10	

Chapitre 4° Evaluation de la dépense

1° Couverture

110[m].04	Superficiels de couverture démolie y compris choix des ardoises à	0[F].10[c]	11[F].00	
110[m].04	Superf[ls] de couverture neuve à	3.55	390.64	
8[m].00	Linéaires d'enfaîteaux à	1.00	8.00	
16.00	de pentes de gouttières en briques à	1.00	16.00	
	Evaluation de la couverture		425[F].64	425[F].64

2° Maçonnerie

166[m].50	Cubes de murs démolis à	1[F].00	166.50	
	à Reporter		166[F].50	425[F].64

	Report		166[F].50	425[F].64
85[m].98	Cubes de tuffeaux à remplacer à	21[F].55	1,852.87	
265.50	Superficiels de ragréages sur tuffeaux neufs à	2.48	658.44	
196.04	id id id vieux à	0.50	98.02	2919.63
24.76	Cubes de maçonnerie en moellons à	5.00	123.80	
	Une croix en pierre de chauvigny sur le pignon		20.00	
	3° Charpenterie			
	Démolition évaluée		20.00	
1[m].719	cubes de bois de chêne neuf à	90[F].00	154.71	286.71
320[m].00	Linéaires de bois réemployé à	0.35	112.00	
	4° Sculpture			
	Evalué à l'avant métré			742[F].90

	5° Ferblanterie			
18.04	Carrés de zinc N° 14 à	9F.00	162F.36	174.86
50	Crochets à	0.25	12.50	
	6° Menuiserie			
0m.83	Carrés de persiennes en chêne à	14.00	11.62	51.22
2.20	id. de porte en chêne bois debout à	18.00	39.60	
	7° Serrurerie			
	Evalué à l'avant métré			140.00
	8° Peinture et Vitrerie			
6m.89	Carrés de peinture et vernis à	1.00	6F.89	16.89
	Rechampissage des fers évalué		10.00	
				4757.85
Dépenses imprévues 1/20e				237.89
				4995F.74
Honoraires de l'Architecte 1/20e				249.78
			Total général	5245F.52

Le présent devis montant à la somme totale de cinq mille deux cent quarante-cinq francs 52c dressé et arrêté par l'Archte soussigné. à Angers le 22 Mai 1862
[signé :] Duvêtre Archte

Vu pour être approuvé par Mr le Préfet de Mne & Lre
Baugé le 7 juillet 1862
Le sous Préfet [signature illisible]

Vu et approuvé
Angers le 8 juillet 1864
Pour le Préfet,
Le secrétaire général
[signature illisible]

[Verticalement dans la marge de gauche :]
2.40 Enreg[istr]é à Beaufort le vingt trois juillet 1862 f° 37 [suite illisible]
Reçu deux francs et deux décimes quarante centimes [signature illisible]

2.I. Réception du transept nord, 1863

Département de Maine et Loire
Arrondissement de Baugé
Commune de Brion

Réception générale des travaux exécutés pour la Restauration extérieure du Transept Nord de l'Eglise de cette Commune

La présente réception dressée par Mr Duvêtre Architecte à Angers.

Année 1863

[fin p. titre]

Département de Maine et Loire
Arrondissement de Baugé
Commune de Brion

Réception générale et définitive des travaux exécutés pour la restauration extérieure du Transept Nord de l'Eglise de cette Commune par les Sieurs Roger frères, entrepreneurs de travaux publics, qui s'en sont rendus adjudicataires le 5juillet 1862 moyennant un rabais de 0.05^{c} par francs, sur les prix du devis ; la dite adjudication approuvée le 8juillet de la même année par Monsieur le Préfet de Maine-et-Loire.

1° Couverture

Partie neuve, 2 long pans ens. 101^{m}.34 superf. à 3^{F}.55 le mètre			359^{F}.75
Démolition 101.34 à 0^{F}.10 le mètre			10.13
	Evaluation de la couverture		369.88

2° Maçonnerie

Démolition des murs au-dessus de la corniche. Pignon		70.840	
2 côté ens.		42.520	
partie au pied des murs		16.010	
	Métré cube	129.37	
les 129^{m}.37 de démolition à 1^{F},00 le mètre			129^{F}.37
Tuffeau neuf remplacé, côté de la petite porte			
cordons et parties ens.		4.230	
carraudages et modillons ens.		1.380	
glacis de la fenêtre au socle		7.310	
Eperon		3.760	
Côté du chœur			
Cordons aux parties dessus et dessous		3.810	
Modillons et carraudages		4.890	
	à Reporter	25.380	129.37

	Report		25.380	129.37
Partie entre la tourelle et l'Eperon			0.750	
Côté de la Chapelle de la Vierge			0.840	
Eperon			5.170	
Pignon rampes ens.			1.180	
cordon et parties au-dessous			8.260	
Modillons et carraudages ens.			4.710	
partie en trapèze et autres ens.			1.570	
carraudages sous la croisée ens.			3.960	
Eperons ens.			7.270	
Tuffeau remplacé au clocher			0.930	
une autre partie de			1.060	
une idem près l'entrée			0.900	
	Métré cube		61.980	
Les 61.980 de tuffeau neuf à $21^{F}.55$ le mètre				1335.67
Ravallement sur tuffeau neuf et vieux				
Pignon et petits contreforts ensemble		Neuf	Vieux	
une surface de		37.85		
denticules		12.06		
parties en côté de la fenêtre		6.44	2.78	
Eperons ens.		46.03	37.48	
Côté de l'entrée Cordon		10.42		
modillons		7.65		
diverses parties jusqu'à la porte		" "	21.65	
de la port au socle		28.55	3.69	
Eperon		11.16	9.33	
Côté de la Chapelle, Cordon et modillons		16.86	6.86	
diverses parties jusqu'au socle ens.		6.36	4.55	
Eperon		18.64	9.99	
Clocher côté Nord		2.24	18.16	
idem idem		3.62	14.28	
	Métrés superficiels	207.88	128.77	

Les 207m.88 de ravalement sur tuffeau neuf à 2F.48 le mètre		515F.54
128m.77 de ragréage et de rejointoiement à 0F50		64.39
à Reporter		2044F.97

Report		2044F.97
Maçonnerie en vieux moellons derrière le tuffeau. Pignon	16.920	
Les 2 côtés ens.	23.240	
Métré cube	40.160	
Les 40m.160 de ces murs en vieux moellons à 5F.00 le mètre cube		200F,80
Socle en grès épanelé, jointoyé en ciment romain 16.00 superficiels à 20F.00 le m.		320.20[25]
Grès peigné et smillé pour les jambages de la porte 14m.98 superficiels à 27F.45 le m.		411.20
0.58 superf. de pierre de rairie taillée à 25F.00		14.50
20 modillons sur les rampants du pignon à 1F.50		30.00
Cordon festonné 13.80 à 1F.50 le mètre		20.70
Evaluation de la maçonnerie		3042F.37
3° Sculpture		
Petite porte, frise à l'archivolte 3m.20 à 8F.00	25.60	
11 Claveaux à 5F.00	55.00	94.10
2 Chapiteaux et dents de scie 1m,00	13.50	
27.30 de Corniche et frise à 8F.00		218F.40
56 modillons à 6F.00		336.00
49 têtes d'arcatures à 3F,00		147,00
1 Croix en Chauvigny estimée		60.00
Evaluation de la sculpture		855F.50
4° Charpente		
Démolition de la vieille Charpente (devis)		20.00
pour avoir descendu et remonté le bois		30F.00
Bois neuf 4 arbalétriers ens.	0.524	
5 filières[26] ens.	0.952	

25 Au lieu de 320.00.

26 Pièce de bois qui sert pour la couverture des bâtiments et sur laquelle portent les chevrons (*Dictionnaire portatif piémontais-français suivi d'un vocabulaire français des termes usités dans les arts et métiers, par ordre alphabétique et de matières, avec leur explicatio*n, Louis Capello (comte de Sanfranco), Impr. de V. Bianco, 1814 ; et Wikitionnaire)

Mètre cube	1.476	
Les 1.476 cubes de bois de chêne neuf à 90F.00		132,84
Vieux bois, sablières et entretoises ens.	34.20	
tirants et jambettes ens.	21.20	
Contrefiches et poinçons ens.	15.50	
faîtage et liens	16.00	
à Reporter	86.90	182.84

Report		86.90	182.84
filières, tasseaux et échantignoles ens.		13.00	
Chevrons ens.		204.00	
Métré linéaire		303.90	
Les 303.90 de vieux bois à 0F.35 le mètre, compris sciage			106.37
Evaluation de la charpente			289.21
5° Ferblanterie	crochets	zinc	
Gouttières en zinc. 2 côté ens.	17	6.97	
zinc derrière la tourelle		1.12	
1 tuyau de descente	10	4.13	
Totaux	27	12.22	
Les 12.22 superf. de zinc N° 14 à 9F.00 le m.			109.98
27 crochets en fer forgé à 0F.25			6.75
fonte au pied des descendants 20m.25 à 0F.55			11F.14
crochets plus gros ens.			1F.00
Evaluation de la ferblanterie			128.87
6° Menuiserie			
Une imposte en chêne, 0.77 de surf. à 7F.50 le m.			5.77
mise en état et ajustage de la vieille porte			1.50
une persienne en chêne de 0.77 à 14F.00 le m			10.78
Evaluation de la menuiserie			18.05
7° Serrurerie			
38k.050 d'étriers pour les fermes à 1F.00			38.05
8 chevillettes à 0F30 l'une			2.40
ferrure de la persienne évaluée			5F.00
réparé la porte d'entrée . 7 pattes à scellement (vieilles)			2,10

3 idem neuves à 0F.60		1F.80
Pour les tuffeaux, 18k.950 de crampons à 1F.00		18.95
14.000 de goujons à 0F.80		11.20
Evaluation de la serrurerie		79.50
8° Peinture		
Une porte peinte en couleur brune à 3 couches		
surface doublée	6.16	
Une persienne même couleur (surface triplée)	2.31	
	8.47	8F.47

[p. suivante]

Récapitulation

1° Couverture	369F.88
2° Maçonnerie	3042.37
3° Sculpture	855.50
4° Charpente	289.21
5° Ferblanterie	128.87
6° Menuiserie	18.05
7° Serrurerie	79.50
8° Peinture	8.47
Total	4791F.85
Rabais de 0.08c par francs à déduire	383.34
Reste	4408.51
Honoraires de l'architecte 1/40 du montant (l'autre 1/40 ayant été touché antérieurement)	110.21
Total général	4518.72

La présente réception montant à la somme total de quatre mille cinq cent dix-huit francs 72c dressée et arrêtée par l'architecte soussigné
Angers le 8 janvier 1863 [signé:] Duvêtre Archte

Vu pour être approuvé par mr le Préfet. Baugé, le 23 mars 1863. Le Sous Préfet [signature illisible]

Vu et approuvé. Angers, le 30 Mars 1863.
Pour le Préfet, le Secrétaire Général délégué [signature illisible]

2.J. Devis intérieur de la nef, 1868

Devis estimatif des travaux à exécuter pour la restauration intérieure de l'Eglise de Brion

Année 1868

[fin p. titre]

Département de Maine-et-Loire
Arrondissement de Baugé
Commune de Brion

Exposé

En même temps que la Commune emploie une partie de ses ressources à la restauration extérieure de L'Eglise paroissiale ; la fabrique de la dite Eglise désireuse d'apporter autre chose que de la bonne volonté à l'œuvre commune, se charge dans les limites de son budget, de la restauration intérieure ; afin que l'édifice n'ait pas à souffrir à plusieurs reprises de l'exécution de travaux qui peuvent être simultanés.

C'est dans ce but que les projets de restauration intérieure et extérieure sont présentés à la même époque, et viennent se grouper pour ne former qu'une seule adjudication.

L'intérieur du monument est endommagé par l'humidité, des fûts de colonnes ont été détruits et quelques mutilations ont eu lieu dans les parements. Il y a lieu en outre de nettoyer les sculptures et compléter celles qui sont restées inachevées.

Tel est le but du présent devis, dont les bases d'évaluation sont conformes à celles précédemment adoptées.

Le présent exposé fait et dressé par l'Architecte soussigné
à Angers le 29 Janvier 1868
[signé :] Duvêtre Arch^{te}

Restauration intérieure

					F	C
1° Sculpture						
Nettoyage et restauration de 8 gros chapiteaux à 10^{F}00 l'un					80	00
12 autres plus petits à 6^{F}.00 l'un					72	00
16 chapiteaux des fenêtres de la nef à 10^{F}·00 l'un					160	00
divers travaux détail évalué					50	00
				Evaluation de la sculpture	362^{F}	00
2° Maçonnerie						
Démolition de la nef 2 travées est de chacune 9^{m}.50	19."	0.25	3.50	16 625		
2 piliers de 3.00	6."‥	1.50	0.50	4 50		
Côté nord, 2 travées ch 9.50	19."	0.25	1.25	5 937		
2 piliers ens.	6."	1.25	0.50	3. 750		
Mètres cubes				30^{m} 812		

Les 30m.812 cubes de démolition évalués compris enlèvement de décombres et transport au lieu désigné par l'Administration à 1F10 le mètre cube				33 89
Reprise en tuffeau blanc de Brion Est	3.50	19."	66 50	
2 piliers ch. 5m.00, ens.	10"	1.50	15 .	
Côté Nord 2 travées ens.	1.25	19"	23 75	
piliers ens.	1.25	10"	12 50	
Mètres superficiels			117m 75	
Les 117m.75 sup de parement de tuffeau ayant une épaisseur moyennes de 0m,25 produisant un cube de 29m.437 auxquels il faut				
A reporter				33 89

Report					33 89
ajouter 0m.563 pour reprises diverses qui forme un total de 30m.000 à 23F70					711 00
Les 117m.75 sup. de ravalement sur ces tuffeaux évalués compris la pôse à 2F,75 le M					323 81
Ravalement et jointoyage sur les vieux tuffeaux					
4 travées ch 9m.50	38"	12"	456	"	
4 piliers ens.	20"	8"	160	"	
fond	7"	13	91	"	
A déduire les parties neuves	117.75		707	m"	
celles faites par la commune 78."+60"+60	198."				
	315	75	315	75	
			391m	25	
Les 391m.25 superf. de jointoyage et nettoyage des parements et moulures à 1F.05 l'un					410 81
Evaluation de la maçonnerie					1479 51
3 Armatures en fer					
Une fenêtre géminée			12	m"	
Quatre autres sur la face latérale ch 14m"			56	"	
			68	m00	
Les 68m00 linéaires de fer ayant 0m.01×0m.03 pesant 238 kilos à 1F,10c l'un					261 80
4 Vitraux coloriés					
Grisaille quadrillé et dépoli du 12e siècle					
1 croisée au centre	2."	3.50	7 00		
imposte	2"	1"	2 "		
M superficiel à 65F.00			9		585 00
A reporter					585 00

Report	585 F00
Petit plomb losangé avec bordure en verre bleu au pourtour : les reste dépoli blanc : 4 croisées de la nef ch. 2."=8"×4,25=34"00 sup à 15F.00	510 00
Peinture à 3 couches des armatures et étamages à l'étain dans les scellements ; le tout évalué	35 00
Evaluation des vitraux	1130 F00
Résumé	
1° Sculpture	362 00
2° Maçonnerie	1479 51
3° Armatures	261 80
4° Vitraux	1130 00
	3233 F31
Dépenses imprévues 1/10	323 33
	3556 64
Honoraires de l'Architecte	178 32[27]
	3734 96

Le présent devis montant à la somme totale de trois mille sept cent trente quatre francs 96c et arrêté par l'Architecte soussigné
Angers, le 29 Janvier 1868 [signé :] Duvêtre [illisible]
Vu pour être approuvé
Baugé le 20mars 1868
le sous-Préfet [signature illisible]
vu et approuvé
Angers le 23 juin 1868
Pour le Préfet,
Le Secrétaire général délégué [signature illisible]

2.K. Devis extérieur de la nef, 1868

Devis estimatif des travaux à exécuter pour la restauration extérieure des façades principales et latérales de la Nef

Année 1868

[p. suivante]

Département de Maine et Loire
Arrondissement de Baugé
Commune de Brion

27 Erreur de calcul (ou sur le montant précédent) : 178.32=(1/20)×3566.40 .

Restauration de l'Eglise de cette Commune divisée en annuité.

Devis estimatif des travaux à exécuter pour la restauration extérieure des façades principales et latérales de la nef.

Chapitre 1er Exposé.

Ce devis n'est que la reproduction partielle de celui de la restauration générale .de l'édifice présenté par nous à la date du 15 Xbre 1849 et subdivisé en raison de l'exiguité des ressources de la Commune

L'Eglise dont il s'agit est une des plus remarquables du diocèse ; les deux transepts et la nef appartiennent à la plus belle époque du style roman, la travée de la nef la plus rapprochée des transepts est moins pure, celle vers la porte rajoutée depuis, se rapproche du 14e siècle ; enfin la façade est composée d'éléments divers, de plusieurs époques Il nous a semblé que la restauration de cette façade devait se rapporter au style roman qui est le plus suivi dans la décoration de l'édifice. C'est sur cette donnée, que nous avons dressé le projet ci-joint qui n'est en définitive que le complément de la restauration générale

Les tuffeaux détériorés sur les façades seront enlevés, descendus et remplacés avec le soin qu'exige un pareil travail ; autant que possible les scellements seront évités ; les profils des moulures, les détails et jusqu'à l'ancien mode de construction, seront reproduits avec soin ; les joints en chaux seront proprement rebouchés, lors du ravalement, et les sculptures rétablies dans l'état et le style primitif

Dans les façades latérales, il existe des croisées de bois de peu de valeur ; elles seront remplacées par des barrettes en fer.

Les matériaux du pays seront employés à cette restauration ; ils sont les mêmes que ceux qui ont servi à la construction primitive, du reste jusqu'à ce jour, rien n'a été changé en ce qui concerne les matériaux, dans les diverses fractions successives de la restauration de l'édifice.

Le présent exposé dressé par l'Architecte soussigné

à Angers, le 29 Janvier 1868 [signé :] Duvêtre [illisible]

Chapitre 2. Avant métré.

1 Sculpture

	F. C
Face principale sur la place. Porte d'entrée	
Billettes et ornements sur les tambours des colonnes de la place 8 ch. 2m.60=20m.80 à 3F.00 le mètre	62. 40
8 chapiteaux de la porte à 20F.00 l'un	160. 00
2 consoles à 15F." l'une	30. 00
dents de scie 10m.00 à 1F.50c	15. 00
22 claveaux ornés à 5F.00 l'un	110. 00
chevrons brisés, billettes &a 7m.00 à 5F." l'un	35. 00
fronton rampant orné 9m.00 à 2F.00	18. 00
8 modillons sous un petit cordon à 6F."	48. 00
Ornement de ce cordon 5m." à 8F.00 le mètre	40. 00

Croisée. 5 chapiteaux à 12F.00 l'un	60 00
Archivolte en dents de scie doubles 5m.00 à 2F.50	12. 50
moulures 8m.00 à 6F.00	48. 00
fronton. balustrade, 16 modillons à 5F.00 l'un	80, 00
2 id. plus forts à 8F."	16. 00
2 chapiteaux à 12F."	24. 00
Cadran, moulures du rampant 3m.00 à 10F.00	30. 00
fleuron au-dessus en chauvigny évalué compris fourniture de pierre	30. 00
2 autres ronds de bosse placés sur les pinacles évalués compris fre de pierre (chauvigny) ch. 50F.00	100. 00
Ecailles sur ces pinacles évalués ens.	60. 00
18 têtes sur les modillons de ces pinacles à 3F." l'une	54. 00
Croix au sommet évaluée, compris pierre	200. 00
façades latérales. 8 têtes pr les modillons (corniche) à 3F."	24. 00
16 chapiteaux des croisées de la nef, avec dents de scie, à 10F."	160. 00
Evaluation de la sculpture	1416F ,90c

2° Maçonnerie

Démolition du pignon principal entre les 2 éperons, la pointe mesurée carrément compense les pinacles non mesurés	21.50	7."	1.70	255,850	
4 éperons sur les faces latérales ch.	2.50	3."	1.20	36."[28]	
bâse des 6 éperons ch. 5.00	30."	0,25	2,50	18.750	
4 croisées à modifier dans celles actuelles évaluées l'une 20m."				80."'	
Mètres cubes				390m,600	
Les 390m.600 de démolition évalués compris enlèvement des décombes et transport au lieu désigné par l'administration à 1F.10 le m. C.					429.66
reprise en tuf blanc de Brion de la façade principale 1ère partie		7,50	16."	120.00	
Na Les vides non déduits compenseront les tambours de colonnes, ressauts, &a					
face intérieure		1,30[29]	6."	78.00	
pointe		8."	5."	40.00	
balustrade doublée		8."	1.80	14,40	

28 2,5×3×1,2=9m3 par éperon.

29 Pour 13.

2 pinacles avec couronnements d'éperons et retour de corniche	1° bâse	3."	3."	9."		
	fût	4."	3."	12."	31.25[30]	
	Corniche	2,50	2,50	6,25		
	Pyramide	6."	2."	6."		
		2				
Un autre côté semblable					31.25	
2 bâses d'éperon ch.4.00			8."	2,50	20."	
face latérale, 2 éperons ch. 2."		4."	3."	12."		
2 croisées ch. 10[m].00 pour les 2 faces		20."	6."	120."	162."	
bâse de ces éperons ch. 5."		10."	3."	30."		
Un autre côté semblable					162."	
	A reporter				658.[m]90	429.[F]66

			Report	658. [m]90	429. [F]66
Les 658[m].90 de parement de tuf blanc ayant un épaisseur moyenne de 0[m],25 produisent un cube de 164[m], 725 auxquels il convient d'ajouter 5[m].275 pour reprises diverses ; le tout forme un total de 170[m]."' à 23[F].70[c] le mètre cube					4029. 00
Les 658[m].90 sup. de ravalement sur ces tuffeaux, évalués compris la pôse à 2[F].75 le m. s.					1811. 97
Ravalement et jointoyage sur les vieux tuffeaux. 1 éperon face principale		4,50	13"	58, 50	
1 id semblable				58, 50	
face latérale. 4 éperons ch. 5.00		20."	13."	260. "	
4 arrière corps ch.		9,50	14."	532. "[31]	
				909. [m]00	
A déduire les parties basses et les ouvertures comptées en tuffeaux neufs				344. "	
Reste à compter				565, [m]00	
Les 565[m].00 sup. de ravalement sur vieux tuffeaux à 0[F].55 le mètre					310. 75
Maçonnerie neuve en moëllons du pays et mortier de chaux de la Rairie, face principale de	7.[m]50	16."	1,30[32]	4. 80	
pointe	8."	5."	1."	20. "	
	2				

30 9+12+6,25+6=33,25

31 Chacun 9,5×14=133m^2

32 Chiffres obscurs, le produit est très loin de 4,80.

2 pinacles ch. 1.00	2."	1."	6."	12. "	
4 têtes d'éperons ch. 2.50	10."	0,50	1,20	6. "	
4 croisées, N^t au pourtour ch.	14."	1."	0,50	28."	
M. Cubes				70. m80	
Les 70m.80 de maçonnerie de remplissage évalués 5F.50 le mètre Cube					389. 40
2 marches en grès de Baugé pour la porte					
A reporter					6970 F.78

Report	6970 F.78
d'entrée de ch. 2,m50×0.40=2m.00 superficiels à 30F." l'un	60. "
Evaluation de la Maçonnerie	7030 ,F78

3. Charpente.

Etaiement de la charpente, des murs, des voûtes, cintres de la porte d'entrée et des ouvertures 500m.00 linéaires à 0F.30c	150. 00
Chevrons destiné à ouvrir l'emplacement du pignon actuel, en chêne de bris 40m.00à 1F."	40. 00
Evaluation de la Charpente	190. 00

4. Couverture

Couverture réfection des 2 rives ens. 20m.00 superficiels à 3F.75 le m. s.	75. 00

5. Ferblanterie

Déplacement des descendants et modification des gouttières actuelles, le tout évalué	25. 00

6 Menusierie

Une porte en chêne à bois debout de 0m.05c d'épr 2.80×3.60=10m.08 à 18F." le mètre sup.	191. 46[33]

7° Serrurerie

ferrures de la porte. 40 kilos pour pantures et gonds à 2F." l'un	80. 00
100 clous à tête carré pour ces pantures à 0F.30c	30. 00
A reporter	110. 00

33 au lieu de 10,08×18=181,44.

Report	110. F00
25 boulons à écrou pour les bandes à 0F.30	7. 50
pattes à scellement 14 droites à 0F.40	5. 60
6 à langue à 0F.50c	3. 00
serrure à bosselle de façon avec clef	25, 00
loquet poucier	10. 00
butoir en fonte scellé	6. 00
2 verrous haut et bas à 10F.00	20 .00
2 targettes à 5F."	10. 00
100 kilos de fer pour cramponner les tuffeaux à 1F.00	100. 00
Evaluation de la Serrurerie	297. 10

8. Peinture

Porte d'entrée passée à l'huile bouillante 2 couches et une de vernis ens. surface double 20m.00 à 1F.00l'un	20. 00
ferrure de la porte peinte en gris fer et minium	15. 00
Evaluation de la Peinture	35. 00

Résumé

1° Sculpture	1416. F90
2° Maçonnerie	7030. 78
3° Charpente	190. 00
A reporter	8637 F,68

Report	8637 F,68
4° Couverture	75. 00
5° Ferblanterie	25. 00
6° Menuiserie	191. 46
7° Serrurerie	297. 10
8° Peinture	35. 00
	9261. 24
Dépenses imprévues 1/10	926. 12
	10187, 36
Honoraires de l'Archte 1/20	509, 36
Déboursés de voyages évalués	200. 00
	10896. 72

Le présent devis montant à la somme totale de dix mille huit cent quatrevingt-seize francs. 72^{c}, dressé et arrêté par l'Architecte soussigné
Angers, le 29 Janvier1868
[signé :] Duvêtre Arch^{te}
Vupour être approuvé
Baugé le 20 Mars 1868
Le Sous-Préfet [signature illisible]
vu et approuvé
Angers le 23 Juin 1868
Pour le Préfet
Le Secrétaire général délégué
[signature illisible]

2.L. Réception de la nef, 1871

Département de Maine et Loire
Arrondissement de Baugé
Commune de Brion
Réception générale des travaux exécutés pour la restauration de l'Eglise de Brion

Département de Maine et Loire
Arrondissement de Baugé
Commune de Brion

Réception générale et définitive des travaux exécutés par le sieur Roger entrepreneur de maçonnerie, pour la Restauration de l'Eglise de Brion suivant adjudication en date du 4 Août 1868, moyennant un rabais de 0^{F}.02^{c} par franc sur les prix du devis ; la dite adjudication approuvée le 4 Août 1868 par M^{r} le Préfet de Maine et Loire.

Nous Louis Duvêtre architecte à Angers chargé de la direction des travaux dont [il] s'agit :

Vu les charges et conditions générales de l'adjudication De même que celles imposées par la commune de Brion à l'entrepreneur, acceptées par lui au moment de l'adjudication

Contrôlé les matériaux vieux, et ceux fournis par le Sieur Roger.

Sous les réserves des garanties imposées par la loi et celles résultant des pièces de l'Adjudication, nous avons dressé la présente réception dont le détail est ci-après.

Démolition et Maçonnerie

	m	F	F
Surface de démolition	158,281	1,10	174,11
Etaiements et cintres	105,05	0,30	31,51
à Reporter			205.62

Report					205,62
	ravalement				
Reconstruction	Neuf	vieux	volumes		
Eperon A	41.93	36.17	9.650		
contrefort dessus	2.98	4.72	0.745		
Raccord de la corniche pour nef	1.30	"	0.325		
Eperon B	17.08	25.04	3.596		
id C	19.64	22.48	4.098		
id D	47.07	17.17	10.525		
Contrefort dessus	6.33	2.28	1.583		
Partie sous le pinacle	1.70	"	0.425		
Pinacles ens.	78.92	"	7.963		
Façade principale 1°	142,47	24.57	28.020		
2°	16.26	"	5.936		
Ravalement neuf	375.68			2.[F]75	1033.12
id vieux		132.43		0.55	72.83
Cube de tuffeau de Brion			72.866	23.70	1726.92
Pierre employée en recherche			3.000	23.70	71.10
plus-value pour retaille d'un glacis sur l'éperon A			18.72	0.50	9.36
Plus-value pour tuf blanc de Saumoussay			12.586	25...	314.65
Chapiteaux de la fenêtre en tuf de Saumoussay			7	1,...	7...
Quartiers de rairie			44	3.50	154...
socle en grès smillé et bouchardé 3.26×2 = 6.52×0.66 =			4.30	30...	129...
Seuil de la porte d'entrée			6.25	30...	187.50
grès placés en remplissage sous les éperons			15.01	20...	300.20
Maçonnerie en vieux moellons			64.122	[34]	352.67
Restauration extérieure des croisées			11.826	23.70	280.28
		A reporter			4844.25

Report				4844.25
Ravalement des 4 croisées	99...	2.[F]75	272.25	
Recoupé les jambages des 4 croisées et 4 colonnes prises dans le vieux mur	6.40	1...	6.40	
Démolition pour ces croisées	11...	1.10	12.10	

34 Le prix unitaire (5,50) manque.

Ardoise dans les pinacles en remplissage	16.80	2.50	42.00	
Journées pour modification au contrefort qui reçoit la corniche	7...	3.50	24.50	
Evaluation de la maçonnerie			5201.50	5201.50
Sculpture				
1 croix pour le couron^{t} du pignon, pierre comprise			200...	
1 tête à l'intersection des rampes			12...	
7^{m}.10 de frise à l'entablement couron^{t} les modillons à		12...	85.20	
12 têtes sous frises ch.		5...	60...	
11 id ou mascarons ch.		3...	33...	
6^{m}. 24 de dents de scie dans les petites arcatures		1.50	9.36	
8^{m} de frise ornant l'archivolte		15...	120	
Oculus boudin orné 2^{m}.25		5...	11.25	
Cintre id. 3^{m}.04		5...	15.20	
7 chapiteaux à la fenêtre, ch.		12...	84...	
4^{m}.16 de tailloirs ornés de frise		6...	24.96	
1 frise chapiteau du meneau 1^{m}.22		6...	7.32	
9^{m} de dents de scie double autour du cintre		2.50	22.50	
2 têtes de côté, contreforts au midi		5...	10...	
2 fleurons pinacles compris pierre		50...	100...	
1 id très orné couronnant la porte			100...	
A reporter			894.79	5201.50
Report			874.79[35]	5201.50
Sculpture de la porte d'entrée, 8^{m}.60 de frise dans le chevron brisé		20...	172.00	
7^{m}.66 id id id		20...	153.20	
6.66 id		15...	99.90	
Grande frise 6^{m}.00		20...	120...	
20 clous		3...	60...	
6 chapiteaux ch.		20...	120...	
7.06[36] tailloir orné		10...	70...	
4 têtes ch.		5...	20...	
2 consoles de tympan ch.		20...	40...	
Tympan dressé compris pierre pose et montage			160...	

35 Erreur de report : 894,79 F.
36 Seulement 7,00 m sont comptés.

Cadran de l'horloge estimé pierre et pôse		100...	
Evaluation de la sculpture		1989.89	1989.89
Vitraux Truffier			
Face principale, mettage en plomb 7^{m}.48 pour la croisée	15...	112.20	
Feuillards et vergettes 23^{K}	1.20	27.60	
Faux frais de voyage, transport et pôse		16...	
Face latérale 8 croisées ens. 27.48	15...	412.20	
Ferrure 103^{K}	1.20	123.60	
Treillage en fil de fer 30^{m}.53 à	5...	152.65	
Evaluation des vitraux		844.25	844.25
Charpente,			
Chevrons remplaçants ceux manquant		6...	6...
Couverture			
Refection de la couverture derrière le pignon 29^{m}.96	3.75	112.35	112.35
A Reporter			8153.99

Report			8153.99
Menuiserie			
Porte en chêne avec barres et écharpes 10^{m} superficiels	30...	300.00	
porte provisoire évaluée		8.50	
Evaluation de la menuiserie		308.50	308.50
Serrurerie			
Ferrure de la porte principale		385...	
Chaînements 98^{K}.950	1...	98.95	
id cloche 58^{K}	1...	58...	
Tubes pour conduits		50...	
Evaluation de la Serrurerie		591.95	591.95
Ferblanterie			
zinc pour couvrir le fronton 16^{m}.09 superficiels	8...	128.72	
70 noquets ch.	0.25	17.50	
165^{K} de plomb pour contreforts	1.10	181.50	
6 chassis à tabatière ch.	4...	24...	
Evaluation de la ferblanterie		351.72	351.72
Total			9406.16

Rabais de deux pour cent			188.12
Reste			9218.04
Honoraires de l'architecte 1/20		460.90	
Déboursés de voyage		138.72	
		599.62	599.62
Total général			9817.66

La présente réception montant à la somme totale de neuf mille huit cent dix-sept francs 66^{c} faite et dressée par l'architecte soussigné
Angers le 28 Janvier 1871
[signé :] Duvêtre Arch^{te}
Vu Par nous Maire de la Commune de Brion, qui autorisons le Receveur Municipal a Payer à M. Roger Amand la somme de quatre mille deux cent dix huit francs 04 C^{es}
Brion le 1er février 1871
Le Maire de Brion [signé :] Riobé [tampon :]Maine-et-Loire Brion
Pour acquit de la somme de quatre mille deux cent dix huit francs 04C^{es}
à Beaufort le 15 février 1871
[signé : A Roger]

3. Comptes et délibérations de la fabrique

Archives diocésaines d'Angers

3.A. Budget de l'église de Brion pour l'année 1870

Cote OP 41

[C'est un formulaire imprimé de 4 pages, dont certaines rubriques sont remplies à la main. Je recopie les rubriques renseignées uniquement, avec les mentions manuscrites en italique]

Buget de l'église de *Brion* pour l'année 18*70*
Président du Conseil, M. *Blotin*
Secrétaire du Conseil, M. *Riobé*
Président du Bureau, M. *Gaudais*
Secrétaire du Bureau, M. *Hervé*
Trésorier M. *Juteau*
Simples membres du Conseil, MM. *Gaudais et de Livonnière*
Simple membre du Bureau, M. *Le curé*
Situation Financière
[...]
Budget de l'année 1870

[...]			
Total des recettes ordinaires	*2.758*		
Recettes extraordinaires			
Boni sur les exercices précédent, constaté par le dernier compte général ci-dessus	*5.041*	*70*	
vente de matériaux *(anciens bancs)*	*550*	..	
Vente d'objets divers			*autorisation de*
Emprunt de 10.000 pour travaux et acquisitions à l'intérieur de l'Eglise	*10000*		*Monseigneur en date du 17 Mai 1869*
Total des recettes extraordinaires	*15591*	*70*	
Total des recettes ordinaires	*2.758*	..	
Total des recettes présumées	*18.349*	*70*	
[...]			
Total des dépenses ordinaires	*1.035*	..	
Dépenses extraordinaires			
Dette constatée par le dernier compte général	..	..	

Achats de meubles d'église			
~~-d'ornements~~ *Annuité de 1000^{F} pour*			
- ~~de linge~~ *remboursement du cap^{al} de 10.000^{F}*		*1,000*	..
- ~~de Vases sacrés~~			
~~Décorations.~~ *Intérêts de la somme de 10.000^{F}*		*500*	..
Réparations	de l'église	*3.700*	..
	~~du presbytère~~		
Décorations (acquisitions)	*Autel*	*3.500*	..
	Confessionnaux	*3.000*	..
	Chandelier	*585*	..
	Bancs	*4.000*	..
	carrelage	*900*	..
Total de la dépense extraordinaire		*17.185*	..
Total de la dépense ordinaire		*1.055*	..
Total des dépenses présumées		*18.240*	..

Récapitulation générale
Montant des recettes présumées [...] 18.349.70
Montant des dépenses présumées [...] 18.240...
Différence Boni présumé 109.70
vu et arrêté [...]
A *Brion* le dimanche de Quasimodo, le *4* du mois d'*Avril* 186*9*
Signé
Hervé Louis, [illisible] *Juteau, Riobé, S de Livonnière, Gaudais, J Manceau*
Vu par nous évêque d'Angers et approuvé *sauf la modification ci-dessus* [37].
Angers le *20 Décembre* 186*9* [illisible] *V.G.*

3.B. Registre des Délibérations du conseil de fabrique

Cote P 251

[C'est un cahier assez épais et d'assez petit format, dans lequel des mains diverses ont consigné des délibérations du conseil de fabrique, de 1810 à 1904 environ]

3.B.1. - 1862, la restauration du transept

Le vingt-sept avril mil-huit-cent-soixante-deux, les membres du conseil de fabrique de la paroisse de Brion réunis au presbytère, lieu ordinaire de ses séances, a nommé pour son président M. Blotin et son secrétaire M. Raveneau. Le Bureau après la sortie de M. Raveneau s'est occupé à réélire in autre membre, le sort est tombé sur M. Gaudais. Le conseil se trouve composé de MM. le Maire, le Curé, Blotin, Corvaisier, Raveneau, Juteau et Gaudais, et le Bureau de MM le curé,

37 Il s'agit de la mention de l'autorisation du prêt.

Corvaisier, Gaudais et Juteau. Le Bureau a choisi pour son président M. Corvasier, pour secrétaire M. le curé et pour trésorier M. Juteau.

Le conseil s'est ensuite occupé à examiner les comptes présentés par M. le trésorier, pendant sa gestion mil-huit-cent-soixante-un tant de recette que de dépenses. Le conseil a reconnu que la recette annuelle est de 1738 francs joints à 5576,37, Boni des années précédentes, donnent une somme de 7314,27^{cen}. Et la dépense annuelle monte à 808,10^{cen} somme ajoutée à 5544,40^{cen} qu'on a donnée pour les travaux intérieurs de restauration du transept. Ces deux dépenses réunies, donnent 6352,50^{cen}
retranchée de la recette 7314,37^{cen}, reste un boni de 962,27^{cen}[38] que la fabrique a maintenant en caisse.
Fait en la salle du presbytère, les date jour, an et mois que de l'autre côté. Tous les membres ont signé, excepté M. Blotin que ne signe
[signé :]
Chaboisseau prêtre, Raveneau Corvaisier, Gauudais, Juteau.

3.B.2. - 1867, continuation des travaux

[Le compte rendu débute par le compte du budget de 1866]

Le conseil dans la même séance a été invité par M^{r} Le Curé à prendre une délibération relative à la continuation des travaux de restauration intérieure de l'Eglise de Brion. Vous savez, Messieurs dit-il que la reprise de ces travaux interrompus depuis plusieurs années est vivement désirée par tous. J'ai sur votre demande fait dresser les plans et devis qui incombent à la fabrique.

Le conseil accorde un examen sérieux aux plans et devis qui lui sont présentés et considérant :

1° La pressante nécessité de poursuivre les réparations commencées.

2° Que le montant du devis peut être facilement couvert par l'encaisse de la fabrique.

3° que M^{r} Le Maire et son conseil pleins de bonne volonté pour cette œuvre viennent de décider la continuation des restaurations extérieures, adopte à l'unanimité la proposition faite par M^{r} Le Curé et le prie de soumettre la présente délibération à l'approbation de l'autorité Episcopale.

Fait en la salle du presbytère de Brion, les dits jour, mois et an que ci-dessus

[signé :] J. Manceau curé, Riobé maire, Gaudais, Juteau.

3.B.3. - 1871, compte de 1870 et détail des travaux

L'an mil huit cent soixante onze, le seize avril, les membres du conseil de la fabrique de l'Eglise de Brion se sont réunis au presbytère, lieu ordinaire des séances sous la présidence et sur la convocation de M De Livonnière.

M De Livonnière a été élu Président du conseil, M Riobé secrétaire.

Le bureau a nommé M De Montesquiou Président, M^{r} Hervé secrétaire, M^{r} Juteau Trésorier, M^{r} le curé est membre du Conseil, M Gaudais est membre du bureau.

Le conseil ainsi composé est passé à l'examen des comptes de M^{r} Juteau trésorier pendant l'année 1870 pour les recettes et pour les dépenses. Il a été reconnu que les recettes se sont élevées à

la somme de	8110^{F}.[39]	(Déduction faite de l'emprunt de 10.000^{F}.)
Les Dépenses se dont élevées à	18155. ..	
Déficit de la fabrique	10.045^{F}. ..	

38 Erreur de 40c : 7314,37- 6352,5 = 961,87.

39 Les chiffres "18" sont écrits ici, d'une autre encre, mais ils ne font pas partie du montant.

Fait et clos les Jour, mois et an sus-dits, et ont signé tous les membres présents.

Détail des travaux

soldé à Bariller sculpteur à Angers	
2 confessionnaux	3000F
grand Autel	3500..
Carreaux à Chantoiseau	420..50
Bancs d'église à Robineau	1845
" " à Gaudais	1925
Yvon Md de grès à Angers	575 51
Roger entrepreneur devis	3903 04
Travaux supplémentaires	745. 75
Truffier vitraux, quotepart	1270 38
	17,185.18

3.B.4. - 1872, compte de 1871 mentionnant encore quelques travaux

L'an 1872, le 7 Avril. Le conseil s'occupe du règlement des comptes de l'année 1871.
Les recettes ordinaires s'élèvent à 2938F
Les dépenses se partagent savoir :

Déficit antérieur	10,045..
Dépense actuelles	1155..
Intérêt d'emprunt de 10,000F	500..
Robert peinture des clefs des voûtes	230..
Bariller sculptures d'intérieur	1506..64
Gaudais menuiserie des 2 confessionnaux	469..48
Bariller carreaux du sanctuaire	573..
Duvêtre architecte	596..98
Plot vernissage des bancs	470..54
Truffier vitrage de façade	1320..15
Dussause tapis	27..50
Guy transports divers	43..71
Balance	16938..00
Recettes	2938..00
Déficit	14,000..

3.B.5. - 1878, achat du presbytère

Achat du Presbytère

Le 14 Juillet 1878, le conseil est réuni. M de Livonnière président expose qu'il est prévenu par M Le Maire que le conseil municipal a accepé à l'unanimité la promesse de vente consentie par Mme Vve Dupont Nolin, suivant acte de M Meffray notaire à Beaufort en date du 26 Juin dernier de l'immeuble de la Bonnetterie à destination d'un presbytère pour remplacer le presbytère actuel fort insuffisant et nuisant à l'Eglise.

L'immeuble de la Bonnetterie maison, et dépendances est compris au plan cadastral de la

commune de Brion, Section B sous les N^{os} suivants	584 vigne contenant	99 ares
	585 Jardin	9 " 80
	586 maison et cour	9
		1,17 " 80

Nous connaissons tous la maison qui vient d'être mise en bon état, elle est bâtie sur cave possède un rez-de chaussée comprenant cuisine, office, salle à manger, bibliothèque, à l'étage six chambres à coucher.

Les servitudes forment corps de bâtiment séparé ; elles comprennent écurie, bûcher, pressoir, et un vaste cellier en appentis. A côté les communs, et plus loin une buanderie avec pompe. Le clos de la Bonnetterie est enclos moitié par des murs moitié par une haie vive. Il a accès sur la route par un portail pour les servitudes et par une porte sur la même route. La vigne a une seconde issue par son côté ouest.

L'habitation est à 268 mètres de l'église et n'a aucune communauté avec les voisins.

Le conseil de Fabrique après en avoir délibéré félicite l'administration qui vient de doter la commune de bâtiments scolaires parfaitement installés et témoigne le désir de remplacer le presbytère qui tombe de vétusté et déshonore l'Eglise par une demeure vraiment digne.

L'immeuble par sa composition compense surabondamment son éloignement de l'église et c'est une occasion heureuse d'être à même de l'acquérir.

Le conseil témoigne le regret que la situation de son budget surchargé d'une dette de Dix mille francs ne lui permette pas de venir en aide à la commune dans le sacrifice qu'elle s'impose mais elle donne une entière adhésion au projet qui lui est soumis.

[signé :]de Livonnière, Manceau, Riobé, Juteau, Gaudais.

4. *Archives de Brion*

Archives diocésaines d'Angers, P215

Il s'agit d'un ouvrage en "2 volumes manuscrits d'histoire de France, d'histoire de l'Anjou et de Brion :

1er volume : "Archives de Brion", 785 pages.

2ème volume : "Notes biographiques", 760 pages.

le 1er volume porte, à sa dernière page, la date de janvier 1909"[40].

Le 1er volume traite uniquement d'histoire générale, les textes spécifiques à Brion se trouvent dans le 2d volume. Je retranscris ici ce qui est relatif à l'histoire de l'église, et peut présenter un intérêt du point de vue historique ou historiographique, en sautant les passages d'une généralité excessive.

[p. 174] Les Fondateurs de l'Eglise de Brion

L'Eglise est le seul joyau de la paroisse, c'est un édifice Roman des plus remarquables de l'Arrondissement de Baugé. Le visiteur s'informe de suite du nom de celui qui a eu l'honneur de doter d'un tel monument un aussi petit lieu. Les Archives ne fournissent pas le renseignement désiré, car le premier document qui nous parle de l'Eglise la signale comme prête à dédier. Ce document est l'acte par lequel Ranulphe et Guillaume de Sablé fils de Robert duc de Bourgogne[41] créé Seigneur de Brion par le 8e comte d'Anjou Foulques le Réchin donnent en 1080 aux moines Bénédictins de St Aubin d'Angers, la tierce partie de l'Eglise des Saints martyrs Gervais et Protais de Brion. C'est à savoir les Dismes de toute la paroisse de St Gervais et St Protais et le tiers des sépultures, afin qu'après la dédicace de l'Eglise il y soit [p. 175] établi deux moines. Peut on conclure de là que ces jeunes seigneurs nouveaux venus avaient pris à leur charge la construction très avancée de l'édifice ?

L'Architecte Duvêtre qui conduisit avec tant de sollicitude les travaux de restauration commencés en 1852 [sic] et poursuivis jusqu'en 1870 a étudié avec le plus grand intérêt l'Eglise, son travail peut nous éclairer.

Suivant son rapport il est très apparent que la construction a été faite à trois reprises espacées d'un certain [en marge : 1)] nombre d'années. Le Chœur, les Transepts et la masse du clocher jusqu'à la naissance des croisées furent [en marge : 2)] élevés les premiers. En second lieu on éleva la Nef dont la jonction avec la première partie est très visible par la différence des assises. Les travaux se poursuivirent [en marge : 3)] par la masse cubique du clocher que couronne une voûte aussi hardie qu'imprudente.

[suivent quelques lignes sur les comtes d'Anjou]

Monographie de l'Eglise de Brion

L'Eglise est bâtie à mi-côte de la butte, son chevet au levant, son plan celui d'une croix latine ;

40 Ce descriptif est celui de l'Inventaire des Archives Diocésaines.

41 Robert le Bourguignon (1035-1098), seigneur de Craon, est fils du comte de Nevers ; l'auteur doit le confondre avec Robert Ier le Vieux, duc de Bourgogne de 1032 à 1076.

[p. 177] autour d'elle s'étagent coquettement les habitations du Bourg. L'emploi du tuffeau provenant des carrières du lieu se prête bien à la construction, il donne aux maisons un extérieur d'aisance et de propreté, son exposition au midi a été heureusement choisie.

L'Eglise a ses parois extérieures et intérieures revêtues en entier de pierres de taille en tuffeau disposées en assises bien régulières aux arêtes vives, les joints sont épais, à gros sable et mortier durci. Elle mesure du portail jusqu'au fond de l'abside quarante quatre mètres. La nef longue de [au crayon] 22^{m} a une largeur intérieure de huit mètres cinquante, elle comprend deux travées ayant chacune et de hauteur sous clef de voûte.

La première travée est éclairée par la magnifique croisée géminée de façade et par deux croisées de 3^{m}50 de haut sur 0,80 de large sur chaque flanc. Ces croisées s'ouvrent à du sol et ne sont séparées de chaque côté l'une de l'autre que par un trumeau d'un mètre. La croisée géminée de façade n'est brisée que par un meneau de 0,20.

Les bras de la croix ou transepts mesurent chacun, [au crayon] 6^{m}65 de long, et [au crayon] 6^{m}60 de large ; l'élévation de leur voûte sous clef est de ; Ils sont tous les deux éclairés à leur fond par une croisée géminée aux dimensions de celles de la nef et par une autre croisée sur le flanc. Sont attenantes à ces deux transepts deux chapelles latérales ou absidioles orientées comme le chœur et munies de voûtes ex fornice sont dédiées : celle du Nord à la S^{te} Vierge et la méridionale à S^{t} Pierre.

[suit une description sans originalité]

[p. 180] L'Eglise de Brion mise en état de siège contre les anglais en 1421

Pendant la malheureuse guerre de Cent ans qui de 1337 à 1443 causa tant de deuils à la France, les Anglais avaient toujours envisagé l'Anjou comme une terre promise qu'il leur fallait à tout prix conquérir et leurs nombreuses invasions n'eurent pas d'autre objectif. Ils comptaient sur cette province pour promener leurs entraves du Sud Est au Sud Ouest de pays qu'ils convoitaient. Dès 1335 un corps de malandrins Anglais avaient surpris l'Abbaye du Loroux chassé les Moines et gaspillé tout le trésor de l'Eglise. En 1360 ils poussent leur occupation jusqu'à La Flèche ; en 1362 et 1363 ils occupent Beaufort et Baugé, promenant leurs orgies à travers nos campagnes, maltraitant les gens, enlevant les vivres et les bestiaux ; la surrexcitation [sic] était à son comble on décida de se mettre en état de défense ainsi que venait de le faire le Loroux repris par Duguesclin et Mouliherne, l'Eglise de Brion est convertie en forteresse. Les murs sont exhaucés [sic] tout autour et percés de meurtrières. Les fenêtres sont fermées par de la maçonnerie, on y établit des cheminées et des fourneaux. Le vaisseau de l'Eglise reçoit un plancher qui reçoit les minages des défenseurs et le rez de chaussée se remplit de bestiaux et de fourrages. La façade et toute la partie méridionale est protégée par un fossé large de quatre mètres et profond de deux. On ne procède pas à ce travail dans la partie nord adossée à la butte pour une cause tenue secrète. La tranchée aurait découvert un souterrain qui par un puisard dans une cour voisine pouvait mettre en communication [p. 181] les assiégés avec le dehors. On achève à la hâte les préparatifs lorsqu'on apprend qu'une nouvelle armée Anglaise commandée par le duc de Clarence a échoué devant Angers et se dirige sur Beaufort. Les succès de Pontvallain, la reprise du Loroux, la résistance opposée à l'Abbaye de S^{t} Maur avaient fortifié les projets de défense et suscité la formation de nombreux contingents Angevins décidés à toute épreuve [L'auteur fait alors un récit de la bataille de Vieil-Baugé (1421)]. Les Anglais en se retirant avaient juré de revenir se venger de leur défaite, on les savait gens à tenir parole et toute la contrée Beaugoise se tenait sur la défensive.

Les gens de Brion apprirent comment les soldats de Jean de La Croix n'ayant pas eu le temps de rejoindre les volontaires de Guérin s'étaient réfugiés dans l'Eglise de Baugé et du haut du clocher firent pleuvoir sur la cavalerie de Clarence qui passait aux pieds une grêle de projectiles. Ce fait probablement les décidé à préparer les mêmes moyens de défense pour le cas échéant où l'ennemi tenterait de s'emparer de la tourelle du clocher attenant au transept Nord renfermant l'escalier [p. 183] dont les premières marches masquaient l'ouverture du conduit souterrain d'évacuation. Les défenseurs procèdent aussitôt à la démolition de la pointe du pignon du transept Nord jusqu'au niveau du sommet des voûtes et en répartissent les matériaux à proximité des créneaux ; des croisillons en charpente le remplace[nt]. Fort heureusement tous ces préparatifs ne furent pas utilisés, mais pendant plusieurs années les frontières de l'Anjou furent sans cesse menacées. [La section se finit par un résumé des diverses opérations militaires en Anjou dans la 1e moitié du XVe siècle].

L'Eglise de Brion pendant la période de lutte entre les Protestants et les Catholiques

[... p. 184 ...]

Brion n'avait rien de plus pressant que e remaniement de l'Eglise pour exercice du culte. Le travail de restauration demeura incomplet faute de moyens ; la moitié des fenêtres restèrent murées, le pignon du transept Nord ne fut pas relevé et les créneaux sur tout le pourtour restèrent béants. Pour rendre aux fidèles un accès plus facile on combla le large fossé d'enceinte et en souvenir des jours d'inquiétude on planta en avant de la façade deux ormeaux.

[Passons quelques généralités sur les guerres de religion.]

[p. 188, ...]

Les vicissitudes de l'Eglise de Brion

Notice Archéologique

Le onzième siècle se distingue tout particulièrement par l'apparition du goût de l'Art et des grandes oeuvres en Architecture. Foulques III dit Nerra, comte d'Anjou donne en notre contrée une impulsion vigoureuse par ses nombreux travaux à ce développement des belles conceptions, Brion doit peut-être à ses libéralité la première partie de la construction de sa magnifique église.

Douzième siècle

[après quelques généralités sur le même ton que précédemment, p. 189, ...]

Le douzième siècle fut nommé de Transition parce qu'il est l'époque de l'introduction dans l'architecture du style ogival qui sans détruire les beaux modèles du plein cintre, a porté si haut la perfection de l'Art religieux.

Ce passage d'un style à l'autre est parfaitement reconnaissable dans la structure de l'Eglise de Brion, on remarque au premier aspect que les berceaux romans des voûtes marquent un légère tendance vers l'ogive. Les arcades Romanes de la base du clocher sont un dernier effort pour garder le style plein cintre de toutes les ouvertures, chapiteaux et décors, mais les baies et la voûte du clocher annoncent le nouveau goût ogival.

[Il n'y a que des généralités pour les XIIIe et XIVe siècles. Pour le XVe, p. 191, après avoir mentionné le siège d'Angers de 1420 ...] L'Eglise de Brion prêtant à la défense on en fit une forteresse et un lieu de refuge ; fort heureusement la glorieuse bataille du 22 Mars 1421 au Vieil Baugé rendit ces préparatifs inutiles, mais le danger avait été si grand que les travaux de défense furent maintenus car les bandes ennemies reparurent à Baugé dans les années 1435, 1436 et jusqu'en 1465 brûlèrent le Halles et les Châteaux des environs. [...]

Seizième siècle

[...] La Fatalité voulut que l'Anjou et le Baugeois fussent témoins d'une lutte très violente [p. 192] parce que Baugé avait été désigné par le traité d'Amboise en 1563 comme le seul lieu en Anjou accordé aux protestants pour y établir un Presche. Pour ce motif le pays n'avait aucune paix, le culte ne pouvait plus s'exercer car l'Eglise avait repris son rôle de forteresse et était occupée militairement comme au temps de la lutte avec les Anglais. Cet état déplorable ne prend fin qu'en 1598 [...]

Dix-septième siècle

[L'auteur donne encore des généralités, avec une belle tirade sur les mauvais traitements faits aux édifices médiévaux à cette époque]

En lisant cet article on est tenté de le croire écrit pour flageller les mutilations opérées dans l'Eglise de Brion ; nous allons chercher à en faire le rappel suivant leurs dates. Nous devons remonter plus haut pour bien établir l'agencement des faits.

[...] Il [le Roi René] dirigeait de préférence ses secours pour le relèvement des monuments religieux afin de les rendre à leur destination. La transformation de l'Eglise de Brion en forteresse avait nécessité divers travaux qui n'avaient plus leur utilité, il importait de remettre le lieu en son état primitif, on ne procéda que partiellement à ces réfections suivant les ressources qui n'étaient que le produit des dons. [p. 194]

Il ne fallait pas entreprendre le débouchage de toutes les croisées pour la raison qu'on ne pouvait fournir que la moitié des croisées ; la toiture avait de grandes avaries pour y remédier et protéger les voûtes on établit des caniveaux pour conduire les eaux pluviales à des gargouilles qui bavaient le long des murailles, les traces en sont encore visibles. Pour rétablir les abords de l'Eglise on combla la tranchée qui protégeait toute la partie méridionale et le devant.

Pour témoigner de ces travaux on planta au fond du fossé devant la façade deux ormeaux qu'on entoura de soins. ces arbres ne furent abattus qu'en 1767 lors de l'érection au même lieu de La galerie devant le grand Portail.

Le temps des grandes épreuves semblait passé [...] Lorsque des meurtres étaient commis dans les environs, lorsque des bandes pillardes de Huguenots se rendaient au Presche approuvé de Baugé ou bien au Presche adjoint de Beaufort on montait la garde régulièrement à l'Eglise toutes les nuits avec armes de toutes sortes. Ces mesures eurent certainement l'avantage de préserver la commune de graves désordres signalés en maints endroits, [p. 193] car dit La Chronique Angevine de ... Le guet de Brion avait une renommée toute particulière de surveillance active et de fermes représailles; ses patrouilles armées qui parcouraient la campagne trouvaient partout des volontaires qui s'offraient pour relever la garde et donner des renseignements.

La vieille église de Brion remplissait donc pour la seconde fois le rôle de forteresse, cette transformation avait nécessité des mutilations importantes et pour surcroît les ressources faisaient défaut pour entreprendre les travaux de restauration d'où dépendait l'existence même de l'édifice. En 1634 on reconnaît qu'il n'y a plus à surseoir au renouvellement de la charpente et de la couverture. Le renouvellement de la charpente était devenu indispensable par suite de la surélévation des murs du pourtour de l'Eglise où étaient les créneaux et meurtrières.

Afin de simplifier l'opération, on décida de conserver la membrure principale et sur chaque chevron on appliqua un nouveau chevron ou coyau long de $3^{m}50$ qui vint se reposer sur le mur crénelé. Ce travail était bon mais peu gracieux, il faisait paraître le toit beaucoup trop aplati. Afin de corriger ce défaut on en commit un autre en établissant une nouveau faîtage supérieur de 2 Mètres : Cet agencement donnait satisfaction pour l'aspect du toit mais il engloutissait la base de clocher

jusqu'à la naissance des croisées, et noyait la belle guirlande de Baies Romanes son principal ornement.

Les critiqueurs, il y en eut en tout temps, reconnurent plus tard qu'il eût été plus simple d'abattre le fameux exhaussement crénelé et refaire l'état primitif, mais nos ancêtres ne partagèrent pas ces vues, ils voulurent garder leur édifice crénelé qui avait protégé leur détresse et leur en rappellait [*sic*] le souvenir.

[... p. 196, ...] Monsieur Louis Le frère nommé Curé en 1641 poursuivit son ministère jusqu'en 1681 [...]

Il ne réussit pas à enlever de l'Eglise le mécanisme de l'horloge qui installé dans le transept sud avait nécessité pour le passage des contrepoids moteurs une large déchirure à la voûte mais il fit enfermer dans une guérite close ce mécanisme dont le tric-trac était une cause de distraction.

Bénédiction des trois cloches

M Le Curé Le Frère baptisa le 12 Juin 1673 une cloche dite Moyenne [...]

M Le Curé Le Frère baptisa le 6 7^{bre} 1675 une grosse cloche dite Le Bourdon. [...]

M Le Curé Le Frère baptisa le 10 9^{bre} 1675 une 3^{e} cloche dite La Petite. [...]

[p. 197, ...] Construction de La Galerie

En 1767M. Pinson curé de Brion voyant avec peine que l'Eglise était un lieu de réunion où avaient lieu les votes, où se prenaient les délibérations pour l'administration civile et religieuse, où se traitaient même les affaires commerciales conçut le projet d'élever en dehors de l'Eglise un préau qui sous le prétexte d'offrir parfois un refuge aux fidèles pourrait débarrasser l'Eglise de ces réunions parfois inconvenantes.

Les ressources ne lui permettant pas d'élever une construction capable de flatter ceux qu'on voulait évincer, M Le curé se borna à un simple appentis élevé sur de maigres piliers. Cet appentis occupait toute la façade de l'Eglise à laquelle il était simplement accolé. Il mesurait 3 mètres de largeur sur cinq mètres de hauteur. Le public fit un accueil peu sympathique à la construction de M Le curé, il maintint la dénomination de Hangard Pinson à l'édifice qu'on voulait désigner sous le nom de Galerie.

Le but était manqué, La Galerie servit de dépôt aux échelles des couvreurs et de Préau aux enfants des Ecoles jusqu'en 1867, à ce moment la réfection de la Façade de l'Eglise l'a f[a]it disparaître comme un lèpre.

[... p 199, ...]

Achat des Fonds Baptismaux et d'un grand Bénitier

LA fabrique de l'Eglise complète son mobilier par l'achat au marbrier Sérues, Les fonds Baptismaux et le Grand Bénitier en marbre noir pour le prix convenu de Cent vingt livre suivant reçu du 26 Mars 1771.

Achat d'un nouveau grand Autel dit à La Romaine

Monsieur Le curé Pinson se décide en 1779 à reprendre la Truelle, son projet est d'avoir un nouvel autel et de lui assigner son emplacement au fond du chœur. En vain on lui objecte que l'emplacement actuel au croisement du chœur et des transepts est préférable parce que toute l'assistance voit le Prêtre officier. De plus M Le curé exige que le nouvel Autel soit construit de forme à La Romaine : Personne dans l'entourage n'y comprenait rien ; M Le curé [p. 200] explique alors avec emphâse [*sic*] que le grand Autel qu'on vient d'ériger à St Maurice d'Angers (1757) est un magnifique Autel à La Romaine dont on peut prendre une réduction artistique enrichie d'un baldaquin en bois sculpté et doré tous les automates Fabriciens firent de la tête un signe affirmatif

d'adoption.

Muni de ce plein pouvoir M Le curé Pinson se met à la recherche d'un ouvrier sculpteur et dès le 7 Mars 1780 il passe un traité sur devis présenté par M. Gaultier sculpteur doreur domicilié à Angers paroisse S^{t} Maurille. [...]

L'autel à La Romaine fut installé au fond du chœur, il y garda sa place jusqu'en 1869, où un Autel en pierre œuvre de Bariller fut édifié au croisement du chœur et des Transepts.

Construction de La Sacristie

Le succès dans l'entreprise de l'élévation d'un autel à La Romaine ne fit que développer l'activité audacieuse de M Le curé Pinson, son rêve nouveau fut la construction d'une sacristie.

Jusqu'au dix-septième siècle le besoin de Sacristie dans les églises rurales et même urbaines ne s'était pas fait sentir car généralement le Presbytère touchait ou était très proche de l'Eglise, on renfermait [p. 201] dans une chambre les ornements et les ustensiles du Culte et le Clergé arrivait à l'Eglise tout habillé.

Messieurs les administrateurs de l'Eglise de Brion étaient loin d'être hostiles à toute amélioration. À leurs yeux la création d'une Sacristie devait être une adjonction digne et en rapport avec le monument principal ; dans la circonstance rien ne leur semblait justifier une précipitation qui les conduisait à une œuvre de mauvais goût.

M Le curé Pinson n'ignorait pas les dispositions hostiles de la population contre son projet de démolition de la chapelle St Pierre formant absidiole à haute voûte et ornant très bien le Transept Sud de l'Eglise. Pourquoi démolir cette chapelle ? y établir une Sacristie dont on s'est bien passé ; une autre année pour n'importe quelle fantaisie on démolira la chapelle de La Vierge !...

Le Public a parfois du bon sens, l'avenir le prouvera.

Mais M Le curé a sa tête et pour arriver à ses fins il prépare ses batteries. Il fait procéder à une estimation des travaux à faire à la chapelle S^{t} Pierre pour réparer les ruines que la vicissitude des temps avait causées, cet état est habilement amplifié. En regard il fait établir les frais que causerait la transformation de la dite chapelle en sacristie mais avec parcimonie. Cette tactique amène un résultat presque identique.

A la séance du règlement des comptes, M^{r} Le curé Pinson fait part à MM les Fabriciens de substituer à la chapelle S^{t} Pierre, une Sacristie dont l'Eglise avait besoin. Cette ouverture fut très froidement accueillie par MM les administrateurs qui [disent] ouvertement que le projet ainsi conçu semblait une mutilation ! M^{r} le curé proteste énergiquement de son respect pour l'œuvre de l'Eglise, puis d'un ton plus adouci il ajoute : Messieurs le projet que je vous soumets ne concerne qu'une appropriation [p. 202] transitoire dont les frais atteindront à peine Trois cents Francs. La mise en réparation de la chapelle S Pierre dont la solidité est très compromise atteindrait facilement le même chiffre.. Voyez et décidez... Ce boniment adroit amène un peu de calme, on prend note des déclarations de M Le curé et on l'invite à fournir état de ce qu'il vient d'avancer. M. Le curé étale ses notes qu'on lit distraitement car l'appropriation ne devant être que transitoire et ne coûter que trois cents francs... il faut en finir.

Dans l'intervalle on régularise plans et devis puis on broche un cahier des charges. Le 7 Novembre 1779 l'adjudication des travaux se fait publiquement sous La Galerie aux enchères au rabais. L'adjudication est accordée au maçon Bigaillon pour le prix de Deux cent soixante quinze francs.

Le procès verbal est reproduit au volume des Archive Folio 55, c'est un quart d'heure de joie ménagé au lecteur.

Rien ne résiste mieux que transitoire, la sacristie du curé Pinson existe toujours et la chapelle de

la vierge dans le transept Nord fut supprimée quelques années plus tard par un autre iconoclaste qui en fit un dépôt du matériel des pompes funèbres. Ce n'est qu'en 1855 que cette jolie chapelle fut rendue au culte de La S^te^ vierge.

[Puis vient la mort du curé Pinson. ... p 203, ...]

Le 27 Mai 1788 Mr L'Abbé de Villeneuve Doyen de l'Eglise d'Angers vint faire visite dans notre Eglise, il trouva l'Autel de La Sainte vierge situé dans l'emplacement de la sacristie provisoire où est la porte du clocher ; celui de S^t^ Augustin situé devant le pilier du clocher près de la dite sacristie ; celui de S^t^ René situé devant le pilier près de la sacristie nouvelle du côté de la Cure en fort mauvais état et peu décents, il ordonna qu'on les supprimât, tant à cause de leur indécence qu'à cause du grand nombre d'Autels existant dans l'église, on en compte encore Sept : S^t^ René, S^t^ Augustin, S^t^ Jacques sous lequel fut inhumé en 1559 Guillaume Couet recteur et Maistre des écoles de Brion, S^t^ Laurent, S^t^ Roch, Notre-Dame de Pitié, Les Trépassés. L'autel de la vierge, comme il était inscrit sur le tuffeau avait été construit en 1544 ; nous n'avons trouve aucune indication sur la construction des autres.

M le vicaire général ordonna pareillement la construction d'une chaire ; le déblai[e]ment des terres du côté du prieuré adjacentes à l'Eglise afin de dessécher les murs humides et verts du côté du Nord à la hauteur de douze pieds. Pour satisfaire la Piété de nos paroissiens M^r^ le vicaire général accorda la permission de donner à l'issue des vêspres, les premiers dimanches de mois la bénédiction avec l'ostensoir, et, les jours de Fêtes de première classe, savoir : Pâques, L'Ascension, La Pentecôte, L'Assomption, la Toussaint, Noël, L'Epiphanie d'exposer [p. 204] le Très saint Sacrement au commencement des vespres ; alors le célébrant revêtu de l'Etole et de la chappe l'expose et l'encense et le chantre entonne l'antienne avec verset.

Le jour de la Fête de S^t^ Gervais et de S^t^ Protais patrons de cette Paroisse le S^t^ sacrement est exposé tout le jour suivant un usage très ancien.

Le Procureur de la Fabrique rappelle aux administrateurs la Notification de M Le vicaire général pour l'exécution de divers travaux à l'Eglise

Aujourd'hui dix neuf octobre Mil sept cent quatre vingt huit à l'issue des vespres, en l'Assemblée des membres du bureau de La Fabrique de l'Eglise de Brion convoqués par Louis Ossand procureur en exercice de la dite Fabrique, Lequel Louis Ossand a dit que Monsieur de Villeneuve Doyen de l'Eglise d'Angers, commissaire député par Monseigneur l'Evêque du Diocèse avait par son procès verbal de visite de cette église du 27 Juin dernier déclaré l'interdit des Autels de La Vierge, de S^t^ René et de Saint Augustin ainsi que de la chaire pour être, ces dits trois Autels démolis et la chaire refaite, le tout dans le délai d'un An. Qu'en conséquence il y avait à prendre décision pour la construction d'une nouvelle Chaire, que jusqu'à ce moment on ne s'était occupé que de la démolition des trois Autels suivant la décision prise par le Conseil dans sa délibération du six Juillet. Laquelle délibération disait que les trois Autels de la Croix seraient démolis, que les colonnes qui avaient été scindées seraient réparées jusqu'au niveau du carrelage, [p. 205] que les deux croisées du Nord restées bouchées seraient ouvertes dans toute leur étendue ainsi que la croisée de façade, qu'à ces croisées il sera mis des vitres et fermetures convenables.

Que le déblai des terres qui dominent au Nord de la dite Eglise sera fait au meilleur compte possible. Comme la démolition des trois Autels est urgente et peu conséquente les délibérants dispensent M Le curé et Le Procureur de la Fabrique actuel de marchander au rabais ces travaux et de les faire exécuter par qui bon leur semblera ainsi que les réparations que causeront ces démolitions et qu'on en soldera le prix sur un simple mémoire.

Le Procureur Ossant ajoute qu'il y a lieu de croire que, à la prochaine visite de Monseigneur

d'Angers l'interdit sera mis sur les Autels S^{t} Laurent et des Trépassés à cause de leur vétusté et qu'il y aura injonction d'en faire la reconstruction.

Il y a bien encore en très mauvais état L'Autel de St Roch sis désagréablement près de la grande porte et sous lequel fut ensépulturé le 7 Avril 1630 Pierre Lebreton par le vicaire Marmin mais on [ne] peut tout entreprendre !

Les Délibérants observent que avant de décider de la construction des dits Autels et de la chaire il convenait que le dit Ossant rendît ses comptes afin de s'assurer du montant des deniers restant à la Fabrique.

Le Procureur représente aussitôt que les dépenses faites dans les deux ailes de l'Eglise s'élèvent à 400 livres et que le reliquat est d'environ 700 Livres.

D'après cette déclaration les Délibérants ont décidé sur la demande de M Le curé qu'il soit procédé incessamment à la construction des deux Autels en place de ceux de S^{t} Laurent et des Trépassées conformément au plan présenté [p. 206] par M Le curé et ils désignent deux membres parmi eux MM Ploguin et Meffray pour de concert avec M^{r} Le curé en surveiller l'exécution. Ils acceptent que leurs mandataires agissent avec les ouvriers et fournisseurs par Marché ou autrement, promettant avoir le tout pour agréable.

Le registre est signé F Bréche ; Boullet, Chevard, Ploguin, Michel Raveneau, Pierre Meffray, Lembert, Laumonier, Gaultier, René Blotin, Boussard curé,

Construction de deux petits autels collatéraux dans l'Eglise de Brion

Nous Gaspard Boussard, Curé de Brion, Jacques Ploguin marchand, Pierre Meffray couvreur tous demeurant au bourg de Brion soussignés d'une part. Et René Riobé, tailleur de pierre et Entrepreneur de bâtiments demeurant paroisse de Mazé, aussi soussigné, d'autre part ; a été entre Nous fait, convenu le dit Marché qui suit, savoir :

Nous curé de Brion, Jacque Ploguin et Pierre Meffray, au nom et comme commissaires députés par le bureau de la Fabrique du dit Brion, avons marchandé au dit Riobé, ce acceptant, la démolition des deux autels qui sont dans la Nef de l'Eglise du dit Brion à côté des bancs de Madame Vallée et de Madame Veuve Marmin ; Et la reconstruction de deux Autels collatéraux nouveaux à adosser dans l'angle des piliers de la voûte du clocher et les murs de la dite Eglise proche les bancelles de l'un et l'autre côté adoptées[42] aux dits murs.

En la forme et les proportions ainsi que les Règles figurées au dit plan présenté par M Le curé et les dits [p. 207] commissaires de la Fabrique au sus dit Riobé entrepreneur, de lui et de Nous coté et paraphé Ne varietur, à la charge par lui procédant à la reconstruction des dits Autels de les rendre l'un et l'autre conformes au dit Plan, tant à la hauteur que largeur et aux dessins et sculptures cy démontrées, à l'exception de La Gloire qui sera par lui laissée en bossage, et d'un gradin en bois qui sera fait et fourni par la Fabrique. Les marchepieds de chacun des deux Autels auront chacun un pied d'élévation.

Sera tenu le dit Riobé de carreler le terrain vide qui se trouvera dans les balustres. En outre de rifler les murs de chaque côté des dits Autels, dans sa hauteur depuis le rez de chaussée jusqu'à la ceinture et dans la largeur de quatre pieds.

Pour le tout rendre Fait et Parfait conformée au dit Plan dans le dernier jour de Mai prochain au dire d'experts et gens connaisseurs, sous peine contre le dit Riobé de toutes pertes dépens et intérêts.

---

42 Pour "adossées".

Tous les matériaux nécessaires à la construction des dits Autels fournis aux frais de la dite Fabrique et rendus au devant de la porte de l'Eglise sauf l'eau qui sera prise au puits de La Cure.

Tel est le présent marché fait et accepté de la part de moi Riobé sous les dites conditions moyennant la somme de Deux cent trente livres que Nous Curé et commissaires sus-dits nous obligeons à faire payer au dit Entrepreneur des deniers de La Fabrique au fur et à mesure que les dits travaux s'avanceront, le tout de manière cependant qu'il reste au moins à la fin un tiers de la dite somme restant due en garantie de la Parfaiture du travail.

Le tout ainsi fait et accepté par les soussignés à Brion le huit Mars 1789. Signé Boussard, Ploguin, Meffray, Riobé,

[p. 208] Etat des Réfections et aménagements dans l'Eglise de Brion au cours de 1789

Les travaux de démolition de l'Autel de La Vierge furent suivis de la fermeture de la chapelle par un parpaing en tuffeau qui clôtura complètement l'absidiole ainsi qu'on l'avait fait précédemment dans le transept Sud en établissant la Sacristie en supprimant la chapelle S^{t} Pierre.

La tourelle donnant accès par une porte à l'escalier du clocher vit cette porte prendre une autre place que celle du chœur, on la dissimula dans l'absidiole fermée dont le restant fut abandonné aux pompes funèbres. Le peuple vit cette profanation avec dégoût on vénérait dans cette chapelle Notre Dame de Pitié très secourable aux petits enfants malade[s]. Ce culte a continué mais on semble aujourd'hui ignorer à quel protecteur on s'adresse.

L'enlèvement des Autels de S^{t} René et de S^{t} Augustin fit découvrir sous les plâtras que pour obtenir une surface plane on avait osé scinder par moitié les belle colonnes qui décorent et renforcent la base du clocher.

Pour fournir place en retrait à l'installation de la nouvelle chaire, œuvre de menuiserie sans cachet, on supprima jusqu'à hauteur de six mètres, où on la coupa en sifflet, la magnifique colonne qui dans le pilier ouest du clocher monte jusqu'à la voûte du croisillon. Pour ces gens-là supprimer une colonne n'était rien d'important. Lors de l'érection des deux autels collatéraux on s'aperçut que les colonnes d'Angles où ces autels devaient s'élever nuisaient au couronnement, on coupe aussitôt en sifflet ces deux colonnes qui semblent rester suspendues sur un maigre fronton grec importé on ne sait d'où et acheté d'occasion.

La réouverture des deux hautes croisées du chœur [p. 209] restées fermées depuis la guerre avec les Anglais eut lieu sans difficulté, il n'en fut pas de même pour la croisée de la façade. La construction de cette croisée répondant à toutes celles de l'Eglise était Romane et géminée sous un grand arceau à plein cintre ; nos profanateurs estimant sans doute ce luxe d'ouverture inutile et trop coûteux rebâtirent une croisée simple et ogivale ; on ne peut taire son impatience en voyant défigurer à tel point un monument de cet importance.

Comme complément de ces tristes arlequinades on fit procéder au blanchiment à la chaux de toute l'église.

Réunion du Conseil de Fabrique le 8 Juillet 1789. M Le Curé propose deux modèles de Bancs uniformes - ajournement de ce projet - Réfection importante à la base de la muraille et aux contreforts du chœur partie Est ainsi que de la tourelle de l'absidiole de la vierge rongée par le salpêtre.

Aujourd'hui deuxième dimanche de Juillet Mil sept cent quatre vingt neuf, en l'Assemblée du bureau de La Fabrique de l'Eglise de Brion, composée de M Boussard curé ; de Messieurs Jean François Bréchet Notaire Royal et Procureur fical ; du sieur Jacques Ploguin, de Louis Ossant, René Blotin, François Gaultier, Pierre Meffray, Charles Chevard, Michel Raveneau, Pierre Guion, Jean

Blot, Pierre Boullé L'aisné, convoqués de la manière accoutumée ; lesquels ont délibéré et ont convenu de ce qui suit :

1° Que sur les deux plans proposés par M Le curé pour l'arrangement uniforme à donner aux bancs placés en cette église, il y avait lieu avant de décider du choix de communiquer ces plans aux propriétaires par concession de ces dits bancs et de remettre toute décision à l'Assemblée [p. 210] générale qui sera convoquée à cet effet pour aujourd'hui en quinze.

2° Le Bureau observe qu'il est un travail plus urgent ; la paroi extérieure de la muraille du chœur des quatre contreforts, de la tourelle de l'Autel à La vierge est tellement rongée par le salpêtre qu'il faut presque à 2 mètres de hauteur en certaine partie, et plus ailleurs un repiquage et revêtissement complet .

Le Procureur fiscal consulté dit que la réserve peut couvrir les frais de cette réfection . Le bureau aussitôt en vote l'urgence et charge M Le curé d'en assurer l'exécution sans plus de formalité et dans les meilleures conditions.

Le Registre ainsi que l'adjonction sont signées : Boussard curé de Brion, Meffray, Taugourdeau, François Bréchet Notaire, René Blotin, Boullé, Ambroise Riviere, Ploguin, Raveneau, Delaunay (de La Mothaye) Syndic Municipal, Brechet-Le Jeune, Greffier.

Période Révolutionnaire

[Après des généralités, p. 263]

Rachat du Presbytère
Entretien de l'Eglise

Aujourd'hui 25 Germinal An onze de la République Française une et indivisible (15 Avril 1803), Le conseil Municipal de Brion s'est Assemblé sous la présidence du citoyen Charles Louis Renoult Dubreil Maire, assisté de Jean François Bréchet, Adjoint, dans le local désigné par eux.

Les dix conseillers étant présents ont nommé l'un d'eux Charles Urbain Chevalier pour Secrétaire.

M Le Maire met sous les yeux du Conseil l'arrêté Préfectoral portant que les conseils Municipaux s'assembleront avant le 1er Floréal (21 Avril) et délibéreront sur les dispositions qui seraient à prendre par la commune savoir :

1° L'Acquisition, Location ou Réparations des bâtiments destinés au Culte.

2° L'Etablissement ou la Réparation du Presbytère.

Les conseils Municipaux auront à délibérer sur le mode le plus convenable pour lever les sommes à fournir par la commune pour subvenir à ces dépenses.

Le Maire a également donné lecture de l'Article onze de la Loi de Germinal an X qui dit : Les conseils dé[li]béreront

1° Sur l'augmentation du Traitement à accorder sur les revenus communaux aux Curés, Vicaires ou Desservants.

2° Sur les frais d'ameublement des Maisons Curiales.

3° Sur les frais d'achat et d'entretien de tous les objets nécessaires au service du Culte dans les Eglises Paroissiales ou Succursales.

[p. 264] Mr Le Maire observe que la délibération de ce jour doit porter, savoir :

1° sur l'acquisition ou prise à loyer d'une maison convenable pour servir de Presbytère.

2° Dans le premier cas faire l'estimation des réfections et réparations urgentes et nécessaires pour rendre le Presbytère logeable et habitable de suite.

3 Faire l'estimation des réfections et réparation urgentes dont l'Eglise a besoin.

4 Indiquer le mode le plus convenable pour lever les sommes auxquelles pourront monter les dépenses que nécessitent les trois articles ci-dessus.

5 Déterminer par estimation et approximation les dépenses nécessitées pour l'entretien annuel du Bâtiment servant d'Eglise et de celui du Presbytère

6 Augmentation ou Supplément de traitement à accorder à M[r] Le Desservant.

L'Assemblée se disposait à délibérer sur le premier article lorsque est entré dans son sein le citoyen Peschard Sébastien, boulanger demeurant en cette commune.

Le Maire lui donne la parole et aussitôt il dit que par acte passé devant Maitre Ferrière Notaire à Baugé, le 22 ventôse an Six, 12 Mars 1798, il aurait acquis de Jean Baptiste Barthélemy Chalopin que lui-même aurait eu par adjudication en date de Fructidor an 4, faite devant l'administration centrale de ce Département (18 juillet 1796) la maison Curiale et Presbytère de cette commune avec toutes les circonstances et dépendances, dont actuellement lui, Sébastien Peschard fait son habitation. Il ajoute que autant par son propre désir que pour satisfaire au vœu général de la commune, il est disposé à en céder la toute propriété pour le prix modique de Deux mille francs payable [p. 265] sans intérêt à la Toussaint prochaine, époque d'entrée en jouissance, la portion dont mes détail suit, formant la majeure partie de la dite Maison Curiale qui est située au-devant et près de l'Eglise.

Désignation. La portion que le dit Citoyen Peschard déclare céder à la commune de Brion consiste dans le principal et plus grand bâtiment ; il est composé en bas d'un salon à cheminée, d'un petit cabinet à côté, d'une chambre ensuite à cheminée s'exploitant par un corridor, d'un petit cabinet au-devant de l'escalier, d'un cellier derrière l'escalier. Par haut : Deux chambres à cheminées, ayant chacune un cabinet, au milieu une chambre sans cheminée dans laquelle est un escalier nouvellement construit ; En haut d'y celui, existe d'un côté une fruiterie et, de l'autre côté une chambre sans cheminée. Au dessus : un grenier couvert en ardoises régnant sur tout le Bâtiment. Les dites chambres et cabinets sont carrelés.

Dans une petite cour entre l'Eglise et la partie de la maison sus désignée existera un mur qui séparera la partie concédée et celle restant au citoyen Peschard. Ce mur prendra dans l'alignement de l'arrêtier du mur septentrional de la dite partie de maison cédée et se terminera avec retour d'angle au mur de l'Eglise. Ce mur sera fait pour compte de la commune. Dans la partie restante au Citoyen Peschard et au retour d'angle désigné existe un puits qui restera commun avec le citoyen Peschard, il y accédera par une porte fermant à clef établie dans le mur de séparation et contribuera pour moitié à son bon entretien.

Plus une petite chambre dite Buanderie mais en réalité communs bâtie en bas côté dans l'angle de la cour joignant la petite porte de l'Eglise à laquelle le public ne peut accéder.

[p. 266] Jardin et enclos. Un jardin entouré de murs et tel qu'il existait autrefois à l'exception et à la réserve de la partie qui est vis à vis la grande salle qui faisait partie de la maison curiale et qui est contiguë mais reste en réserve au citoyen Peschard. Cette portion du jardin de environ 7 mètres de largeur sera close par un mur construit aux frais de la commune ; ce mur prendra dans l'arrêtier du mur du bâtiment cédé à la commune et aboutira en droite ligne à l'arrêtier du mur de la cour de la maison du Citoyen Michel Raveneau l'aîné.

Pour oter toute communication intérieure de la partie du bâtiment vendu avec la salle réservée par le citoyen Peschard, la commune fera à ses frais murer la porte actuelle.

Les Bâtiments, cour et jardin sus désignés contiennent une superficie de environ 22 ares ; ils joignent au Nord l'Eglise, au sud Est la petite rue montant au tertre et le chœur de l'Eglise ; au Nord Ouest la partie réservée par le Citoyen Peschard ; la cour et les appartenances du Citoyen Raveneau,

de Louis et de Pierre Boulé et de la Veuve Joseph Riobé.

La commune entrera en propriété dès ce jour et en jouissance le jour de la Toussaint prochaine.

Le Citoyen Peschard donne la garantie de ces faits, rappelle les conditions qu'il propose et s'engage à signer aussitôt que le Conseil aura déclaré les accepter.

Ici un membre du conseil dit que la cession offerte mérite d'être prise en considération. Il fait observer que dans le moment actuel le Gouvernement paraît désirer que [dans] chaque commune où le Presbytère a été aliéné on fasse l'acquisition d'un local pour le remplacer. Aujourd'hui l'administration serait embarrassée [p. 267] pour en trouver un aussi convenable et aussi décent que celui ci-dessus désigné ; il semble donc dans l'intérêt de la commune d'accepter la proposition du citoyen Peschard après un nouvel examen.

Le conseil après délibération estime que les bâtiments dont on offre la cession sont en bon état à cela près de quelques réfections ; qu'un jardin assez vaste en dépend ; que la distribution du logement est moderne et fort de manière à n'en pas exiger de nouvelles, qu'on y peut loger commodément Mr le Desservant, un vicaire et un domestique. Il considère que la situation des bâtiments s'adapte parfaitement à l'objet auquel on les destine et pour lequel ils avaient été consacrés dans leur origine.

Le Conseil continue ses observations en disant qu'il est du respect dû à la religion de rendre permanente et décente l'habitation de ses ministres, qu'il convient de répondre au vœu du gouvernement et que de la sorte l'un et l'autre de ces devoirs était rempli. C'est pourquoi il déclare accepter, sauf l'approbation de l'autorité supérieure, la cession offerte par le citoyen Peschard, de la majeure partie, sus désignée de la maison curiale de cette commune, aux charges et clauses spécifiées ci-dessus. Puis on rédige le procès-verbal que chaque membre signe avec le Citoyen Peschard. On procède ensuite à la formation d'une commission de trois conseiller MM Laumonier, Ploguin et Raveneau aux fins de faire l'estimation et devis des réfections et réparations nécessaires, savoir :

1° A la maison curiale pour la tenir habitable au 1^{r} 9^{bre}.

2° Réparations urgentes à faire à l'Eglise.

3 Prévision des travaux d'entretien de l'Eglise.

4° Prévision des travaux de réparation annuelles du presbytère.

[p. 268] M^{r} Le Maire après consultation demande aux conseillers de la commission de tenir leurs rapports et devis dressés séparément dans l'espace de trois jours, et fixe la réunion de l'Assemblée au 28 prochain à 9 heures du matin.

Signatures Dubreil, Bréchet, Ploguin, Guitton, Raveneau, Boulé, Laumonier, Peschard, Chevalier.

[passons quelques informations sur le financement de l'entretien de l'Eglise, du presbytère, et la rétribution du desservant... p 281, ...]

on annonça [...] que les places de bancs seraient affermées aux enchères publiques [...]

Pour stimuler le goût on procéda au carrelage de l'allée de la nef, large de 1^{m}50, partant de la S^{te} table et allant jusqu'à la grande porte ; le reste était de la terre battue avec un peu de chaux.

L'Autel étant presque au fond du chœur, la Sainte table faisait clôture à la porte de la sacristie ; on occupa l'espace libre depuis cette porte jusqu'au croisement des transepts par huit bancs neufs, de modèle uniforme avec parquet surélevé, accoudoir, banquette. Ces places de choix excitèrent l'envie et mises en adjudication elles furent enlevées avec enthousiasme au prix de 6 à 8^{F} l'une.

[...] chaque année on construisait quatre bancs et en six ans on en compta vingt quatre.

En cette circonstance l'excès de zèle devint un défaut car pour avoir un plus grand nombre de places on se permit d'entailler à moitié les bases des colonnes ! Ce dommage inconscient fut réparé plus tard lors de la grande réfection totale de la magnifique Eglise.

On utilisa les meilleures parties des vieux bancs pour en façonner quelques nouveaux qui garnirent les deux transepts ; ces places furent peu recherchées parce qu'elles [p. 282] n'avaient pas de vue à l'autel. [..., p.287,...]

Projet de Restauration de l'intérieur de l'Eglise de Brion comprenant le chœur et les deux transepts.

Le 21 Mars 1855 le conseil étant réuni M Le Maire rappelle que le devis général des réparations à faire à l'Eglise de Brion a toujours paru aux yeux des administrateurs porté à un chiffre trop élevé pour les ressources ordinaires de la commune. M[r] Le curé m'ayant informé que La Fabrique offrait son concours pour que la réfection intérieure du chœur et des transepts soit exécutée j'ai sur votre avis demandé à [p. 288] M[r] l'Architecte de dresser un devis des travaux en vue ; je vous prie d'examiner cet état et de donner votre avis.

Le conseil après délibération dit que les ressources budgétaires ne peuvent à elles seules couvrir les dépenses évaluées à 8161 Francs, mais que si la Fabrique s'engage à fournir une part contributive de cinq mille francs il y a lieu de poursuivre la réfection si désirée et d'inscrire au budget de 1855 un crédit de la somme incombant à la commune.

Il exprime le désir que les ouvriers de Brion obtiennent la faveur d'exécuter les travaux.

Signatures : Béconnais Maire, Brivain adjoint, Guy, Réveillon, Pananceau, Soyer, Bruneau, Desfoyers, Souillet.

[..., p. 289]

Madame de La Motte rouge sollicite l'autorisation de rouvrir la chapelle de La Vierge dans l'Eglise de Brion.

On n'a pas oublié la fantaisie criminelle du curé Pinson qui vers 1780 fit démolir la chapelle de S[t] Pierre dans le Transept Sud de l'Eglise pour y établir une Sacristie. Quelques années plus tard le Doyen de l'Eglise d'Angers inspectant l'Eglise trouva en fort mauvais état les chapelles de La Vierge, de S[t] Augustin et de S[t] René, il en demanda la démolition.

Les démolisseurs en train de besogne pensèrent que puisqu'il n'y avait plus de statue et d'Autel la chapelle de La vierge devenait inutile et de leur autorité ils clôturèrent l'absidiole par un mur ainsi qu'on l'avait fait dans l'autre Transept pour l'absidiole de S[t] Pierre.

En 1855 Madame de La Motterouge qui avait son mari Le général de La Motterouge au siège de Sébastopol promit à la Vierge de rétablir sa chapelle.

Pour réaliser son projet Mme de La Motterouge demande l'autorisation à la Municipalité qui refuse assez durement son concours. Voici le compte rendu de la séance :

Le 20 Avril 1856 Le Conseil Municipal étant réuni, M Béconnais Maire après avoir déclaré la séance ouverte donne lecture d'un lettre de M Le Sous Préfet de Baugé, datée du 11 courant, relative à une demande formée par M[me] de La Motterouge tendant à l'érection d'un chapelle à la Vierge dans l'Eglise de Brion, il invite le conseil à donner son avis.

Le conseil persistant dans un refus précédent est d'avis que Mme de la Motterouge fasse faire à ses frais, comme elle paraît le vouloir tous les travaux nécessaires à la restauration de la chapelle en question qu'il laisse à sa disposition [p. 290] à la condition que les travaux ne laisse[nt] à sa charge aucune dépense pour la raison qu'il a déjà voté une somme assez élevée pour la restauration de

l'Eglise Paroissiale, et que d'autres nombreuses dépenses non acquittées grèvent suffisamment son budget.

Pour ces motifs le conseil refuse tout allocation pour l'érection d'une chapelle laissant à Madame de La Motterouge née Clémentine de Livonnière le soin de payer la dépense du projet qui lui est présenté, et qu'il approuve sans changement le plan et devis dressés par M Duvêtre architecte.

Signatures : Béconnais Maire, Brivain adjoint, Souillet, Bruneau, Soyer, Guy, Pananceau, Desfoyers, Bellanger, Laigle, Huguet, Roger.

Projet de restauration du Transept Sud de l'Eglise et de la toiture de la Nef.

Le dix-huit décembre Mil huit cent soixante. Le conseil étant réuni sois la présidence de M Charles Dogreau Maire, il est donné connaissance de la situation déplorable de la toiture de l'Eglise. Messieurs les ouvriers couvreurs ont déclaré ne plus pouvoir fixer leur ardoises sur les lattes pourries ou tombant de vétusté, que les voûtes de la Nef ne sont plus à l'abri. Devant cet exposé le Conseil invite M Le Maire à faire dresser par M l'architecte Duvêtre un devis des travaux nécessaires pour la restauration de la toiture de la Nef et du Transept Sud de l'Eglise qui est en fort mauvais état.

Le six Avril 1861 Le Conseil Municipal est réuni au lieu ordinaire des séances sous la présidence de M^{r} Dogreau dûment autorisé.

Sont présents : Messieurs Dogreau Maire, Soyer adjoint,

p 291, ph 753

Pruneau Jean, Guy Jean, Réveillon, Huguet, Pananceau, Laigle, Desfoyers, Guy Louis, Riobé, Roger, Chatelin, Blot, Guitton, Tessier membres élus au scrutin de Mai dernier.

Il a été conformément à la Loi procédé à la nomination du secrétaire ; M Bruneau Jean ayant obtenu la majorité des suffrages, a pris place au bureau.

M Le Maire déclare la séance ouverte et met sous les yeux du Conseil un devis de Restauration du Transept Sud de l'Eglise et de la réfection de la toiture de la nef qu'il a fait dresser par M Duvêtre architecte conformément au vœu exprimé par MM les conseillers dans la séance du 18 décembre dernier, cd devis compose savoir :

Maçonnerie	2559^{F}	45
Couverture	2158,	97
Sculpture	1624	
Charpente	471	22
Ferblanterie	788	92
Menuiserie	149	20
Serrurerie	267	86
Peinture	44	20
Travaux imprévus	402	19
Honoraires	323	35
Total	8890	36

Le conseil accorde aux pièces qui lui sont présentées l'examen le plus attentif et les approuve dans leur ensemble. Il sollicite de M Le Préfet l'autorisation de faire exécuter ces travaux par voie d'économie, c'est-à-dire sans avoir recours à une adjudication, mais en traitant de gré à gré avec MM Roger Frères, entrepreneurs qui ont déjà exécuté les travaux du Clocher et de l'intérieur du chœur de l'Eglise avec un soin qui ne laisse rien à désirer.

Le conseil ajoute que les montant des travaux sera soldé sur les fonds disponibles de la commune. L'autorisation [p. 292] de traiter ne fut pas accordée et l'adjudication fut faite le 15 Juillet 1861 à MM Roger Frères sur un rabais de 8 centimes par Franc avec engagement de terminer les travaux avant la Toussaint prochaine.

Nota : Les travaux de restauration qui font l'objet de la présente adjudication sont de la plus haute importance pour la conservation de l'Eglise.

Le Transept Sud avait sa base compl[èt]ement minée à l'extérieur par le salpêtre, l'intérieur avait été outrageusement détérioré par une entaille pratiquée dans le vif sans précaution pour loger l'horloge, il résulta de cette situation que l'Architecte n'osa pas reproduire la croisée géminée primitive de peur d'un effondrement qui eut entraîné à de grands frais. Il ne maintint dans son projet que la reconstitution d'une croisée simple du modèle de celle existant à côté. Cette disposition approuvée par les membres de la Commission civile départementale eut l'heureux effet de commander la même disposition pour la réfection du Transept Nord dont la situation était encore plus précaire. En effet son pignon détruit pour fournir des matériaux à l'élévation des créneaux avait été remplacé par un cloison ardoisée qui formait gouttière sur son mur d'appui. La gelée avait pourri les cinq ou six assises qui surmontaient le grand arceau de la croisée géminée, et ce grand arceau lui même formé par 25 Claveaux n'en conservait plus que 4 non avariés.

La réfection du toit de la Nef respecta la grosse membrure de la charpente mais elle abaissa le faîtage de deux mètres ; l'enlèvement des murs du pourtour construits pour l'établissement des cré[ne]aux et meurtrières en 1420, au moment où les [p. 293] Anglais menaçaient Baugé eut pour résultat l'abaissement des sablières supportant les chevrons, de $1^{m}50$, ce qui laissait le toit à l'équerre.

Cette opération dégagea la base du clocher, lui rendit son élégance et découvrit la belle colonnade Romane qui l'entoure. Le toit du Transept fut établi dans la même proportion. Les charpentiers ont l'usage de graver avec la rouanne la date de leur travail sur une pièce importante de la charpente qu'ils établissent ; j'ai vu sur le faîtage la date de 1634.

Les travaux principaux furent exécutés savoir :

Maçonnerie par Roger Frère
Couverture par Goislard, Raveneau,
Charpente par Moutardeau de Beaufort
Serrurerie chaînements par Juteau
Sculpture par Foucault de Longué
Ferblanterie par Prévost de Beaufort.

Projet de restauration du Transept Nord de l'Eglise de Brion

L'an Mil huit cent soixante deux le 14 Juillet.

Le conseil Municipal s'est réuni au lieu ordinaire des séances sur la convocation de M Dogreau Charles, Maire. Tous les membres étant présents, M Le Maire déclare la séance ouverte, il rappelle que pour répondre au vœu de MM Les conseillers, il a fait dresser par M L'architecte Duvêtre les plans et devis de restauration du Transept Nord de l'Eglise dont la dégradation est telle qu'il a fallu par précaution faire décharger la voûte qu'encombraient vingt mètres cubes de vidanges et débris.

La restauration n'est plus facultative elle s'impose sous risque d'effondrement ; le devis très étudié s'élève à 5245 francs 50. [p. 294]

M Duvêtre observe que l'exécution des travaux nécessitera la plus grande attention et qu'il

importe de ne le confier qu'à des ouvriers capables.

Le conseil suit avec intérêt les explications qui lui sont fournies, et donne son adhésion ; il exprime le vœu qu'il soit adressé à M Le Préfet la demande d'autorisation pour que les ouvriers qui ont exécuté à la satisfaction générale les travaux de réfection de la Nef et du Transept Sud soient déclarés adjudicataires des travaux nouveaux avec le même rabais de huit centimes par Franc. Qu'une tentative d'adjudication pourrait être infructueuse vu le long délai que le budget allait imposer pour le paiement qui ne pourra s'effectuer que de la manière suivante : Le premier paiement ne se fera que deux ans après la réception, il sera de 3000^{F}, le surplus sera disponible six mois après, le tout sans intérêt.

Signatures : Dogreau Maire, Soyer adjoint, Desfoyers, Guitton, Bruneau, Tessier, Roger, Pananceau, Riobé, Chatelin, Blot, Réveillon, Guy, Laigle, Huguet. [...]

Projet de restauration de la façade de l'Eglise avec adjonction des travaux intérieurs pour la réfection de la Nef et achat de vitraux.

Le neuf Février Mil huit cent soixante huit.

Le conseil est réuni sous la présidence de M. Riobé Maire ; tous les membres étant présents, la séance est ouverte. M Le Maire rappelle au conseil que lors de la formation du budget pour l'exercice 1868, il a été ouvert un crédit de Trois Mille Francs en vue de la continuation des travaux de restauration de l'Eglise.

L'état délabré de la façade de cet édifice fait craindre que des pierres se détachent et la vétusté des croisées latérales de la nef ainsi que celle de la façade n'offre plus d'abri, nous avons tous à désirer l'achèvement des travaux si savamment exécutés dans les deux transepts, le chœur et le clocher.

Le[s] devis des nouveaux travaux m'ont été remis par notre zélé architecte M Duvêtre, ils s'élèvent à la [p. 296] somme de 10,896 Francs, il comprend les travaux de réfection extérieure et intérieure.

Le conseil de Fabrique se déclare en demeure de faire face à la charge qui lui incombe comprenant la restauration intérieure, croisées, vitraux dont la dépense figure au devis pour 3734^{F}90. La différence restant à payer par l'administration est de 7161^{F}10. le budget peut couvrir cette dépense en deux annuités, c'est le mode de paiement ordinaire.

Le conseil après examen reconnaît que l'ensemble de ces nouveaux travaux répond à ses vues en continuant dignement l'œuvre commencée, il les approuve à l'unanimité et prie Monsieur le Maire d'en assurer la prompte exécution.

Signatures : Riobé Maire, Bruneau adjoint ; Chatelin, Roger, Guy Jean, Guitton, Tessier, Pananceau, Laigle, Huguet.

Les travaux de restauration de la façade de l'Eglise donne[nt] satisfaction à tous les visiteurs, et ils sont nombreux ; le grand portail fait surtout leur admiration, la photographie le reproduit bien des fois. Les décors de ce portail ont été empruntés aux cloîtres de S^{t} Aubin d'Angers, ils on été sculptés par un ouvrier de M Barriller d'Angers nommé Alexandre. Les ferrures de la porte sont l'œuvre de M Juteau serrurier à Brion. M Duvêtre en reconnaissait la valeur en les désignant comme œuvre remarquable. Le sculpteur qui a fait les modillons de la façade et les chapiteaux de l'intérieur est M^{r} Bariller (la plupart de ces chapiteaux étaient restés simplement taillés. C'est en voulant visiter les modèles que M Bariller avait en regard [p. 297] sur son échaffaudage aux colonnes qui séparent les deux travées de la nef, flanc sud, que M Le curé Manceau fit un faux pas

qui le précipitait dans le vide sans l'intervention rapide du sculpteur qui le retint péniblement par le collet de sa soutane.

L'adjudication des travaux concernant spécialement la maçonnerie et s'élevant à 9261 francs 24 ; les autres parties étant réservées pour les traiter à l'amiable ; eut lieu le 9 Août 1868 sous la présidence du Maire assisté des conseillers municipaux Bruneau, Guy, Tessier, Pananceau, de M[r] Le curé Manceau, de M Duvêtre Architecte, Guérin receveur municipal. M[r] Roger Amand seul soumissionnaire[43] fut déclaré adjudicataire moyennant un rabais de deux centimes par Francs. L'exécution des travaux ne s'acheva que dans les premier jours d'Août 1870. La guerre avec La Prusse avait été déclarée dans le mois précédent.

Les travaux de maçonnerie sont faits par les ouvriers de Brion.
de Serrurerie sont faits par M Juteau
de Menuiserie id id par M Gaudais.
de Sculpture par Mr Bariller.
Les vitraux par Truffier d'Angers
La peinture des clefs de voûte par Robert d'Angers.

La Fabrique veut doter l'Eglise d'un mobilier nouveau, elle fait un emprunt.

La restauration exécutée à l'intérieur de l'Eglise lui avait donné un tel cachet que les Administrateurs décidèrent de compléter leur œuvre par l'achat d'un mobilier nouveau.

Le projet était gros, il comportait l'achat d'un Autel en pierre de Poitiers ; de deux confessionnaux également [p. 298] en pierre et du renouvellement des bancs.

La fabrique avait en caisse à la clôture de l'exercice 1870 la somme de 5210[F]18, elle comptait sur cette valeur pour solder les notes du maçon entrepreneur s'élevant au chiffre de 4478[F]79

de Truffier pour quote part des vitraux	1270,38
de Duvêtre architecte	596,98
Total du passif	6346[F]15
Total de l'actif	5210[F]18
Le déficit était de	1135[F]97

Cette situation n'était pas chargée puisque les recettes annuelles s'élevaient à 2938 et les dépenses ordinaires à 1155[F] le Boni de chaque exercice pouvait être de 1783 Franc .

Les administrateurs estimaient dans les prévisions que les bancs nouveaux offriraient cinquante places de plus, dont les prix moyen atteindrait Sept Francs : Soit donc 350 à ajouter à 1783, soit 2133 francs d'excédent de recette disponibles chaque année.

Ce calcul était juste et dans le cours ordinaire des choses on pouvait compter réaliser progressivement des améliorations importantes.

On ne s'en tint pas là ; Messieurs les Administrateurs firent dresser des devis d'Autel ; de confessionnaux, de Bancs, dépassant dix mille francs et obtinrent l'autorisation de contracter un emprunt de cette somme avec intérêt à 5% et remboursable en huit années. audaces fortuna juvat !

Compte du 16 avril 1871 servant de base à l'emprunt

Actif

Excédent en caisse de La Fabrique	5210[F]18
Recette ordinaire de l'année	2900 "
	8110,18

43 Le ms. porte "somnissionnaire".

[p. 299]

Passif, Dépenses extra

Prix de l'Autel en pierre par Bariller	3500F
id id des confessionnaux	3000"
Bancs neufs Note Gaudais	1925"
id Note Robineau	1845"
Note Roger Entrepreneur 1er devis	3903"04
Travaux supplémentaires	745"75
Note Truffier quote part des vitraux	1270"28
Note Chantoisseau carrelage	420"50
Note Yvon grès marche Ste table	575"61
Dépenses ordinaire[s]	970"
Total du passif	18155"18
Total de l'actif	8110"18
Déficit	10045F

La Fabrique fait un emprunt de dix Mille Francs.

Le sept Avril 1872 a lieu la réunion dans laquelle se fait l'examen des comptes et la formation des budgets. Cette séance toujours importante méritait encore plus d'attention car les travaux étaient achevés et il fallait les payer. Pour plus d'exactitude nous allons reproduire le compte.

Recette ordinaire de l'année	2938"	
Recette extraordinaire, emprunt	10000"	
	12938"	
Dépenses ordinaires	1155"	
Déficit antérieur	10045"	
	11200"	

Nouvelles dépenses extraordinaires

Intérêt de l'emprunt pendant un an	500"
Note Robert pour peinture des clefs de voûte	230"
Note Bariller sculpture d'intérieur chapiteaux	1506"64
Note Gaudais menuiserie d'intérieur confessionnaux	469"48
à reporter	2706"12

[p. 300]

Report	2706"12
Note pour la Mosaïque du Sanctuaire	573"
Honoraires de l'Architecte Duvêtre	596"98
Note Plot passage à l'huile des bancs	470. 56
Note Truffier pour vitrail de façade	1320"15
Note Dussauze tapis du sanctuaire	27"50
Note Guy transports divers	43"71
	5738"02

Balance

Les Recettes de toute nature sont de 12938"

	Dépenses
Dépenses ordinaires	1155"
Déficit antérieur	10045"
Nouvelles dépenses	5738"
Total des dépenses	16938"
Total des Recettes	12938"
Nouveau Déficit	4000"

Le résultat du compte est que la Fabrique s'est endettée à nouveau de Quatre Mille Francs ce qui monte sa dette totale à quatorze mille francs. La situation est chargée, elle demandera beaucoup d'ordre et un plus grand nombre d'années pour se libérer.

Fort heureusement la Providence qui récompense toujours les bonnes actions et les bonnes volontés vint en aide en suscitant une Bienfaitrice. Mademoiselle Louise Marie Dogreau propriétaire célibataire domiciliée à Brion fait offre à la Fabrique de la somme de Douze mille Francs, à charge de faire dire à perpétuité chaque année dans l'Eglise de Brion, à ses intentions, cinquante deux messes basses, à partir du jour de l'acceptation régulière de la présente donation.

[p. 301] Le conseil de Fabrique considérant avec le tarif des Messes fixé en pareil cas par l'autorité Episcopale à $2^{F}50$ l'une laisse à l'Eglise un surplus de revenus précieux en ce moment, accepte la donation offerte par Mademoiselle Louise Marie Dogreau avec la charge stipulée et prie son président de solliciter l'approbation Diocésaine et Préfectorale. Cette délibération ayant obtenu les autorisations nécessaires, la somme de Douze mille Francs fut employée à l'achat d'un titre de rentes 3% sur l'Etat de six cent dix sept francs, inscrit au grand livre de la dette publique de la trésorerie Générale sous le Numéro 4282. Le titre est inscrit au nom de Brion. La Fabrique de l'Eglise succursale, à charge de Service Religieux suivant Donation de Louise Marie Dogreau. Décret du 19 Décembre 1873. Enregistré le 25 Février 1874 et délivré à Angers le même jour.

Signatures : de Livonnière ; Comte de Montesquiou ; Juteau trésorier, Manceau curé, Riobé Maire, Gaudais Jean, Hervé Louis.

Honneur aux Administrateurs de l'Eglise qui sans orgueil et sans faiblesse maintinrent leurs efforts pour faire face aux dépenses que nécessitait la dignité du culte et arriver à l'extinction de l'emprunt qui eut lieu au règlement du budget de l'année 1898.

Le conseil de Fabrique approuve le projet d'achat du nouveau presbytère mais déclare ne pouvoir y participer.

L'an Mil huit cent soixante dix huit, le 14 Juillet ; les membres du conseil de Fabrique sur la convocation de M Le curé sont réunis au presbytère. M^{r} de Livonnière [p. 302] président, annonce qu'il a été informé officiellement par M Le Maire, de la délibération prise par le Conseil Municipal de la commune de Brion, le 30 Juin dernier, de l'acceptation à l'unanimité par le dit Conseil de la promesse de vente consentie par Madame Veuve Dupont Nolin, suivant acte de M^{r} Meffray Notaire à Beaufort, en date du 26 Juin dernier de l'immeuble de la Boneterie sise commune de Brion à destination d'un Presbytère pour remplacer le Presbytère actuel. Nous connaissons tous la maison de La Boneterie sise au bourg à 268 mètres de l'Eglise bordant une rue, je vous soumets les plans et la composition du corps de bâtiment principal et des servitudes, le tout en parfait état d'habitation.

Le prix de vente demandé est de 30,000F.

Le conseil Municipal manifeste son intention d'abandonner à la voie publique la partie du presbytère actuel condamnée par le plan d'alignement de la commune dûment approuvé le 14 Juin 1869 et de vendre par lots aux enchères la partie restante des terrains et les matériaux.

Le conseil de Fabrique après examen reconnaît tout l'importance du projet qui lui est présenté, il sait que l'éloignement à 268 mètres de l'Eglise est parfaitement compensé par l'installation complète de la nouvelle demeure et son vaste enclos.

La disparition des constructions du Presbytère actuel est vivement désirée, l'Eglise y gagnera un dégagement précieux et la place du bourg une régularisation nécessaire. La vente du reliquat des terrains et des matériaux allégera la charge de l'acquisition .

Pour ces motifs le conseil de Fabrique à l'unanimité donne son adhésion au projet de conseil Municipal. [p. 303] Le registre est signé : de Livonnière, Manceau curé, Riobé Maire, Juteau, Gaudais.

[..., p. 324,...]

Réfection projetée de l'extérieur du Chœur de l'Eglise - Rétablissement de la Chapelle et construction d'une Sacristie

Ce gros projet fut mis à l'étude en 1873.

La grosse membrure de la charpente du chœur ne devait pas être modifiée, on trouvait son élévation très en harmonie avec les autres toits de l'édifice. La couverture seule était à renouveler.

L'exhaussement du mur construit en moëllons pour l'établissement des meurtrières devait être maintenu mais avec un parement en tuffeau de taille appropriée au genre du reste de l'Eglise et dans lequel serait reproduite la guirlande festonnée qui couronne les pignons des Transepts.

La Lézarde produite au fond du chœur devait être reprise dans toute son élévation par des assises en pierre de Poitiers reliées entre elles dans la jointure par des crampons.

On conservait la base des contreforts du côté de la tourelle du clocher avec sa reprise en pierre dure que l'on enduisait de ciment en figurant des assises ordinaires.

La chapelle devait reproduire les proportions de la chapelle de la Vierge dont elle était le parallèle sauf la profondeur qui était diminuée de 0,25 pour donner un passage de plus de largeur à celui qui [p. 325] conduisait du chœur à la Sacristie. Ne pouvant prendre jour par une croisée à cause de cet accolement, la chapelle devait être éclairée par un vitrage en ovale pratiqué dans la voûte.

L'Architecte voulant donner à l'ensemble des nouvelles construction un aspect satisfaisant s'était attaché à ce que la tourelle de la chapelle quoique noyée dans son accolement avec la future sacristie laissât cependant son couronnement se dégager et qu'on pût voir en élévation sa forme circulaire ornée de modillons sculptés. Son toit assez élevé ne pouvait être qu'un tronc de cône dont les sommet apparaîtrait brillant car il serait un vitrail donnant seul la lumière à la chapelle.

Dans le projet, la nouvelle sacristie au lieu d'être comme l'ancienne adossée en apprentis au mur Ouest du chœur de l'Eglise, formait groupe avec la tourelle et s'orientait au Levant. Les constructions prenaient alors la forme d'un carré régulier de dix mètres de côté empruntant la muraille du chœur jusqu'au deuxième contrefort. Evidemment la Façade se prêtait seule aux ornementations. Que faire en l'espace de dix mètres ? On ouvre deux croisées Romanes, on les surmonte d'un fronton avec triangle aigu orné d'un fleuron rappelant en réduction le couronnement des 2 pilastres de façade de l'Eglise. Tout le pourtour est réhaussé par un Cache gouttière en pierre de Poitiers de 0,30 de haut avec sculpture de l'époque. On ne laisse au toit que l'élévation suffisante

pour l'égout de telle sorte que la chapelle apparaît bien dégagée et sans lourdeur.

L'intérieur de la Sacristie se réduisait à une vaste pièce munie d'une cheminée et d'un cabinet d'aisance [p. 326] bien dissimulé dans l'épaisseur des murs.

Le devis de ces travaux s'élevait à la somme de Quatorze Mille francs. La fabrique soutenue par la générosité d'un bienfaiteur pouvait entrer en participation pour six mille francs.

L'Administration Municipale estimant qu'elle devait couronner son grand acte de restauration par un dernier sacrifice n'hésita pas à se charger de la différence. Cette décision restera à son honneur ; l'abandon du projet n'est pas son fait, il n'est imputable qu'aux obstacles imprévus qui soudain se présentèrent ; ce fut le début de la question des levées qui entraîna à une dépense de plus de 20,000 Francs de construction et de 10,000 pour l'achat de l'immeuble Ecole des Filles.

Grave avarie à la toiture du chœur. Dernière réfection avec participation de la Fabrique.

Dans la nuit du 13 au 14 Février 1900 une tempête épouvantable sévit sur notre contrée Beaufortaise qu'elle joncha de débris ; arbres abattus, cheminées démolies, fourrages disséminés à travers champs. La toiture du chœur de l'Eglise qui laissait beaucoup à désirer céda dans toute sa partie Ouest il n'y eut que la grosse membrure qui put résister. La saison commandait d'aviser à une réparation immédiate. la réfection estimée à cinq cent Francs fut soldée par les deux Administrations locales, la Fabrique participa dans les frais pour la somme de Deux cents Francs qui figurent au budget supplémentaire de 1900.

[..., p. 474,...]

La Mairie s'établit dans une chambre du Prieuré

Le premier acte de la nouvelle Municipalité fut de chercher une chambre convenable pour les réunions, celle qui jusqu'à ce jour servait de Mairie n'étant qu'un appartement étroit, sans cheminée, sur un palier commun dans la maison Boulé sur la place de l'Eglise à l'angle de la haute et basse grande rue.

Le vingt et un Novembre Mil sept cent quatre vingt dix, le Conseil général Assemblé, Le Procureur de La Commune a dit qu'il était urgent de se pourvoir d'un Loyer convenable où La Municipalité pût librement et commodément tenir ses séances, qu'il jugeait que la chambre haute du Prieuré ayant vue sur la Place étant à louer remplirait cet objet et qu'il requérait La Municipalité d'en délibérer :

La Municipalité désireuse de répondre à cette invitation a fait prier M Bréchet Notaire, fermier du dit Prieuré de se rendre à l'assemblée pour convenir du prix du loyer de la dite chambre. Le sieur Bréchet comparant a demandé pour loyer de la dite chambre, plus un emplacement dans le pressoir afin d'y déposer le bois nécessaire au chauffage pour d'ici à la Toussaint 1791 la Somme de [p. 475] vingt quatre livres. La quelle somme le Conseil Général a consenti de payer à l'époque indiquée de la Toussaint prochaine. Il a été pareillement convenu que le Conseil général serait tenu aux réparations des vitres de la dite chambre ainsi que du carrelage, observant cependant que les deux carreaux actuellement brisés ne seront pas à sa charge !

Fait et arrêté en Assemblée générale Municipale de Brion les jour, mois et an que dessus

Signatures : Boussard curé, Corvaisier, Blotin, Meffray, Perrier, Peschard, Pelé desservant de Sobs, Laumonier, Giraud, Ploguin, Procureur, Dubreil Maire, Bréchet.

[..., p. 532,...]

La municipalité sollicite de louer [pour] y établir Mairie l'ancienne Maison Curiale, le District lui en accorde un partie, l'autre sera louée.

Ce jour 21 Fructidor An second de la République Française une et indivisible (7 7bre 1794)

Les Maire, officiers Municipaux et Membres du Conseil Général de la Commune de Brion, assemblés, L'un des Membres a dit :

Citoyens, le Directoire du District vient de prendre un Arrêté relatif aux cy devant Presbytères et Maisons Curiales. Ces établissements vont être, ainsi qu'il paraît par cet arrêté, affermés pour deux années, à partir du 11 brumaire prochain (1er Novembre 1794).

Nous n'avons dans cette commune aucun local qui présente, pour tenir les séances du Conseil et celles de La Municipalité, un logement plus convenable et plus sûr que la cy devant Cure.

La Municipalité a déjà présenté au District une pétition tendant à obtenir le logement qu'elle y occupe déjà. Il paraît, d'après le rapport de celui qui a été chargé de remettre cette pétition au Administrateurs que la demande ne sera pas écoutée.

Je pense donc que pour conserver ce logement qui convient mieux que tout autre, il serait nécessaire que le Conseil Général s'entendît avec la [p. 533] Municipalité pour que celle-ci fût autorisée à prendre à titre de ferme, au nom de la Commune La Totalité de La Maison Curiale aux conditions qui seront faites par l'Administration du District.

L'agent National entendu dans ses conclusions.

Le Conseil Général, délibérant, arrête :

La Municipalité demeure autorisée à prendre à titre de Ferme, pour le temps, prix, charges et conditions qui conviendront La dite Maison Presbytérale.

A cet effet la Municipalité nommera quatre Commissaires pris dans son sein. Ces Commissaires auxquels il sera donné tout pouvoir se transporteront au Directoire du District de Baugé pour prendre à ferme La dite Maison dans le plus bref délai.

Procédant à la nomination des quatre commissaires, Les Citoyens Renoult, Laumonier, Ploguin, Peschard élus ont accepté leur fonction.

Fait et arrêté en Assemblée du Conseil Général de la Commune les jour et An que dessus.

Signatures : Renoult Maire, Peschard, Besnard, Ploguin officiers Municipaux, Laumonier Agent National Procureur, Bellanger, Boulé, Meffray, Perrier, Guitton Notables, Bréchet.

Adjudication a ferme d'une partie de la Maison Curiale sous réserve de la portion occuppée par la Municipalité.

Ce jour 20 Vendémiaire An 3 de la République Française une et indivisible (11 octobre 1794)

Nous officiers Municipaux et Membres du Conseil Général de la Commune de Brion soussignés :

D'après publications faites, tant en cette commune que celles voisines, à la diligence de l'Agent National annonçons à nouveau à tout le public la location [p. 534] pour trois, six ou neuf années à partir du onze brumaire prochain (1 9bre 1794), de chambres et cabinets par bas, dépendant de la maison cy devant Presbytérale de cette commune ; greniers au-dessus des chambres hautes occupées par la Municipalité, cour, hangard, grange, latrines puits, cave et jardin, le tout en un même tenant, situé au Bourg et joignant la cy devant Eglise de Brion ; aux charges par l'adjudicataire, savoir :

1° De payer chaque année au dit jour du onze Brumaire le prix de fermage aux mains du Receveur de La Municipalité.

2° De ne louer tout ou partie des appartements qu'à des gens sûrs, dont le civisme soit connu et qui ne professent d'état pour endommager le Bâtiment.

3 d'entretenir les carrelages, vitrages, serrures et fermetures des objets affermés et rendre le tout en l'état constaté à l'entrée en jouissance

4 De balayer et de nettoyer chaque Décadi les trois chambres hautes dont la Municipalité se réserve la jouissance

5 De souffrir les Officiers Municipaux et Notables se promener dans le jardin, passer par le Salon, jouer au jeu de boules qui est dans le jardin ; lequel jeu de boules sera entretenu convenablement par l'adjudicataire.

Avons procédé à l'adjudication de la dite Location sur les enchères de plusieurs Citoyens qui on fait les offres suivants

Le Citoyen Jacques Delouche maçon demeurant en cette commune a offert sous les conditions sus dites la somme de Soixante livres ;

Le Citoyen Jean Perrier aussi maçon demeurant en cette commune a offert Soixante cinq livres.

[p. 535] Le Citoyen Sébastien Peschard, boulanger en cette commune, a offert la somme de Cent livres !

Aucune surenchère ne s'étant produite, Nous officiers Municipaux et Membres du Conseil Général, après avoir entendu l'Agent National en ses conclusions avons adjugé au dit Citoyen Peschard le dit immeuble bien désigné ci-avant pour le prix de fermage annuel de Cent Francs aux conditions stipulées.

Il est bien entendu que dans la présente location ne sont pas comprises les vignes dépendant du ci-devant presbytère. le Conseil Général se réserve de statuer plus tard à l'égard de ces vignes.

Fait et Arrêté en Assemblée du Conseil Général de la commune de Brion, les jour et An que sessus.

Signatures : Renoult Maire, Ploguin, Pierre Meffray, S. Peschard, Bellanger, Laumonier Agent National, Besnard, Perrier, Bréchet Secrétaire.

[..., p. 591,...]

La Métairie et la Chapelle de Sobs

Immeubles sis à l'extrémité de la paroisse de Brion dans la direction de Cuon comprenant de vastes terrains concédés aux Moines de S^{t} Aubin d'Angers qui au Treizième siècle y élevèrent une chapelle aux dimensions d'une église desservie par un Prieur. En 1233 les habitants de cette région éloignée de plusieurs heures de marche d'autre communes constituent en Paroisse distincte, en reconnaissant qu'ils doivent leurs dîmes au Prieur de leur chapelle bien qu'elle soit construite dans les limites de la paroisse de Brion. On fait les sépultures dans un cimetière entourant la chapelle. Le Prieur fait les baptêmes et entretient les registres à partir de 1638. Le dernier desservant de La Chapelle fut M Henri Pelé, originaire de Beaufort transporté en Espagne en Septembre 1792, comme Prêtre insermenté, avec les deux prêtres de Brion. Le domaine fut confisqué comme Bien de religieux et vendu nationalement le 2 thermidor an 4 (20 juillet 1796) au Citoyen Jean Julien Béconnais de la ville de Beaufort.

[..., p. 592]

Le Prieuré de Brion

Nous avons dit au Folio 167 comment Robert duc de Bourgogne, époux de Blanche de Sablé était devenu possesseur de La Châtellenie de Brion ; pour donner plus de valeur à son domaine, Robert comprit qu'il avait à multiplier les travaux de défrichement pour y substituer l'agriculture ainsi qu'il avait été fait dans certaines parties de la Province d'Anjou ; il avait été témoin des améliorations de culture dues aux travaux entrepris par des Moines de divers ordres S^{t} Aubin d'Angers, S^{t} Maur de S^{t} Jean et de l'Abbaye de Vendôme. En 1077 il offre aux Moines de l'Abbaye de Vendôme un droit de pâturage dans la forêt de Brion pour l'élevage de cent Porcs ! le Moines vinrent mais débordés eux-mêmes d'entreprises, ils ne construisirent qu'une simple Garderie dont les vestiges sont disparus depuis longtemps. La Châtellenie étant passée aux fils de Robert, Rainulfe et Guillaume, ces nouveaux possesseurs reprirent l'œuvre en s'adressant

[p. 593] aux Bénédictins de S^{t} Aubin d'Angers ; ils offrirent à ces Moines de leur construire un Prieuré à Brion, et assurèrent l'entretien de deux Moines en dotant ce Prieuré des Dîmes de toute la Paroisse et le tiers des bénéfices sur les sépultures, c'était déjà une largesse plus que suffisante ; il[s] y ajoutèrent la clause que tout ce qui serait donné aux Moines ou acheté par eux, leur serait concédé pour l'édification du Lieu et leurs besoins personnels.

Les Moines arrivèrent à Brion vers 1100, ils trouvèrent un petit village composé de quelques maisons groupées autour d'une Eglise à grandes proportions à moitié construite, il y manquait la Nef. Les Moines firent choix d'un terrain inculte, vaste et situé au Chevet de l'Eglise, ils se hâtèrent d'y élever une habitation, les matériaux abondaient. Ce petit noyau paraissait faible pour un si vaste champ de travail, il comptait que l'exemple et la direction intelligente de la culture dans un terrain neuf produiraient des résultats suffisants pour exciter l'émulation. Bientôt en effet ces infatigables pionniers attirèrent l'attention et la confiance de nombreux imitateurs.

Guillaume des Roches devenu possesseur de La Châtellenie de Brion par son mariage avec Marguerite de Sablé petite-fille de Robert se montre désireux d'activer l'amélioration si bien commencée et en 1202 il accorde aux Moines de Sablé les Décimes des terres défrichées dans la Forêt de Brion. Le Prieuré de Brion n'a rien à souffrir de cette [p. 594] transaction, sa situation est devenue tellement florissante que ses Prieurs sont choisis parmi les plus hauts dignitaires et figurent aux Archives.

Voici la Liste des Noms avec les remarques qu'ils comportent.

1 Adulfus en 1107

2 Peregrinus en 1135

3 Ernaldus en 1140

4 Lucas de La Taille 1178

5 Radulfus 1250

6 Emery Marteau 1300

Brion en 1290 reçut la visite de Guillaume Lemaire 56^{e} Evêque d'Angers ; Ce prélat voulut se rendre à Tours pour faire confirmer son élection par son Métropolitain l'Archevêque de Tours. Il suivit la grand Route Romaine insubmersible passant par Brion. Le prélat craignant de ne pas trouver un asile convenable à Beaufort qui n'était alors qu'un îlot de roseaux poursuivit sa marche jusqu'à Brion et resta l'hôte du curé pendant deux jours. Le prélat visita avec le plus grand intérêt l'Eglise achevée depuis peu d'années, en admira les voûtes en pierre dont peu d'églises étaient

pourvues et témoigna son étonnement qu'un aussi petit village possédât un pareil édifice.

Le Prieur vient présenter ses souhaits [p. 595] les plus respectueux de Bienvenue au digne visiteur. Le lendemain M^g^ Guillaume Lemaire se rendit a Prieuré occupé par trois Bénédictins et le Prieur qui faisait l'école à quelques enfants . Monseigneur l'encouragea dans son ministère.

7 Dubourg 1375

8 Bernier 1412

[...]

Revenus et charges du Prieuré de Brion

Nous Jean Baptiste Biteau, négociant demeurant au Puy Notre Dame, fermier du Prieuré de Brion fondé et desservi, dans l'Eglise Paroissiale du dit [p. 596] Brion, Diocèse d'Angers, Sénéchaussée de Baugé, soussigné En vertu de la Procuration de Monsieur Louis Levêque, Prêtre, chanoine de l'Eglise Collégiale de St Thugal de Laval, Province du Maine, y demeurant, paroisse de St Thugal, et Titulaire du dit Prieuré de Brion, en date du 14 Février 1790,

Signé Levêque ; déclare à la commune de Brion par ces présentes que les Revenus et charges du dit Prieuré, consistent :savoir, Revenus

1° Une maison comprenant quatre chambres basses dont une avec four et cheminée ; quatre chambres hautes dont deux à cheminées, grenier au-dessus, pressoir à côté, le tout couvert en ardoises ; Deux caveaux sous plancher ; une grange couverte en ardoises ; Ecurie, grenier au-dessus couvert en tuiles ; un toit à porcs couvert en ardoises, cour, jardin, le tout contenant environ six boisselées

Un morceau de terre labourable, actuellement ensemencé en sainfoin, joignant la cour susdite et contenant environ quinze boisselées ; le tout situé dans le bourg et entouré en partie de murs.

2° un bois tailles contenant environ Trente boisselées[44] divisé en trois coupes.

3° Le Tiers des Fruits vendables au Prieuré, de la quantité de Cent soixante dix boisselées de vignes situées au Lieu appelé le Fol quartier.

4° La Dîme dans presque toute l'étendue de la Paroisse des récoltes de vin, grains, millet, bled noir, chanvre, cochons, agneaux et autres [p. 597] Productions décimables :

5° Le Moulin à eau et godet situé au Canton dit L'ailleraie, consistant en deux chambres basses, dont une avec un Four et cheminée, grenier au-dessus, le tout couvert moitié en tuiles et moitié en ardoises ; un vieux toit à porcs, cour, jardin attenant, le tout contenant environ six boisselées.

6° Un pré joignant le ruisseau du dit Moulin contenant environ dix-huit boisselées. De plus un autre morceau de terre sis à côté contenant douze boisselées.

7° Un autre Pré contenant environ 25 boisselées sis au dit Canton de l'ailleraie ; le tout faisant partie du dit Moulin.

8 Le Fief du dit Prieuré produisant annuellement : Cinquante huit boisseaux d'avoine mesure de Brion et de Beaufort ; Treize Poulets et chapons Neuf livres et dix-huit sols d'argent.

[autres revenus en nature, charges,...]

[...]

Sobs

[..., p. 606, ...] La chapelle dédiée à S^t^ Jacques comprend une Nef de 12 mètres de long sur 8 de large, sans transept, le chœur est voûté en pierre et de forme ronde ; la façade mesure extérieurement 10 mètres de largeur sur 15 de hauteur, à pignon surmonté d'un Campanile. La grande porte est ogivale aux dimensions de 2 Mètres de large sur 2m 80 de haut. Deux autres portes

44 Une boisselée vaut environ 660 m² , et donc 30 boisselées valent environ 2 ha.

à plein cintre avec double archivolte s'ouvrent dans le murs latéraux, assurés par deux contreforts . Quelques sépultures ont eu lieu dans la chapelle, d'autres devant la grande porte, le long des murs et le plus grand nombre dans le cimetière adjacent.

Le desservant remplit tout le ministère du prêtre [..., p. 608.]

La succursale de Sobs Métairie et Chapelle furent vendus nationalement le 2 Thermidor An 4, vingt Juillet 1796 à Jean René Béconnais dit Languedoc Citoyen de Beaufort. Ce Nouveau propriétaire fit détruire le Chœur de la chapelle et convertit la nef en maison d'habitation.

[..., p. 611, ...] Les sept chapelles de l'Eglise de Brion

L'Eglise de Brion compta sept chapelles dont cinq étaient pourvues de Bénéfices avec charges. Les chapelles Paroissiales étaient celle de La Sainte vierge sous le vocable de Notre Dame de Pitié. Et la chapelle S^{t} Pierre. ces deux chapelles furent supprimées en 1780 par le Curé Pinson, ce fut un vandalisme inexcusable (voir note Folio 366.)

Les cinq chapelles pourvues de Bénéfices avec charges étaient savoir : La Chapelle S^{t} Jean Baptiste ; La Chapelle S^{t} René ; La Chapelle de La Boneterie, Chapelle des Haies, Chapelle de La Passion. [pp. 612 à 618 : chaque chapelle possède une maison, des terres agricoles et quelques rentes, le tout attribué à un ecclésiastique des environs et donné en fermage.]

5. Documents divers

5.A. Rapport de Godard Faultrier à La Commission, 1855

(Archives du Maine-et-Loire, 4T38)

Eglise de Brion arrond[t] de Baugé

Restauration du chœur

Messieurs

Les travaux de l'église de Brion confiés aux soins de M[r] Duvêtre consistent -1° dans un déplacement de l'autel que l'on rapproche davantage des transepts.

-2° dans le posage de trois fenêtres en vitraux style fin du XII[e si.]

-3° dans un carrelage nouveau.

-4° dans une S[te] table en fer forgé.

-5° dans le rétablissement des tambours des anciennes colonnes des piliers du chœur, mutilés autrefois par suite du placement de bancs.

- 6. dans le nettoyage et le débadigeonnage des murs.

Le prix total de ces travaux se monte à 8565[F]39[c].

Commune et fabrique sont d'accord pour faire cette somme, la fabrique dans la proportion de 5000[F], la commune pour le reste.

Celle-ci souhaite d'être autorisée à traiter de gré à gré avec des ouvriers du pays.

Il est remarquable qu'elle s'abstient de toute demande de fonds, à l'autorité supérieure.

Examen du plan, coupes et devis, il me semble que le projet de M[r] Duvêtre est parfaitement acceptable. La solidité de l'édifice ne s'y trouve en aucune façon compromise ; le style ne subit aucune altération, tout au contraire.

l'autel plus rapproché sera plus en vue.

Des grisailles XII[e si] iront bien avec l'architecture du fond du chœur.

la S[te] table en fer forgé parait avoir eu pour motif la grille XII[e si] de l'église de conques (aveyron).

Le rétablissement des tambours de colonnes est fort louable et le débadigeonnage des murs l'est encore davantage.

Le carrelage seul n'est point de style, on trouve celui adopté par M[r] Duvêtre au 14[e] siècle mais non an XII[e] (voir ferdinand Serré).

Il ferait mieux et le cout en serait je crois moins grand d'adopter le carrelage de la salle synodale ou quelqu'analogue ; les écailles imbriquées étant fort en usage au XII[e] siècle, époque à laquelle se rattache le chœur de Brion.

La S[te] table aurait également meilleur air et serait d'une plus grande fidélité de style si elle était polygonale (Le polygone parait fin du XII[e si] & suivants.)

Sous la réserve de ces deux observations j'ai l'honneur, MM de vous proposer l'adoption du projet.

Anges 1[r] Mai 1855

Le Rapp[tr] [signé :] Godard-Faultrier.

5.B. Lettre de Duvêtre à l'évêque d'Angers, 1855

(Archives du Maine-et-Loire, 4T38)

Monseigneur,

Sur votre demande, j'ai l'honneur de vous soumettre mes observations sur les travaux projetés à Brion, en réponse à celles de la commission d'Architecture et des travaux publics, séance du 2 Mai 1855, relativement à la restauration du chœur et au déplacement du maître autel, de l'Eglise de Brion, canton de Beaufort arrondissement de Baugé, Observations se résumant ainsi.

"Carrelage analogue à celui de la salle synodale, au lieu de celui proposé.

"Sainte Table polygonale au lieu d'être circulaire

"Enfin le déplacement de l'autel rendrait le service religieux plus difficile, en éloignant l'autel de la sacristie et en rétrécissant le passage des deux côtés ; En outre en rapprochement à l'inconvénient d'empêcher les fidèles de voir les chantres et le peu de pompe qui, dans les églises de campagne rehausse l'éclat des cérémonies.

Je vais répondre successivement à ces diverses objections.

1° En ce qui concerne le carrelage, Celui proposé est de forme rectangulaire en pierre de Tonnerre alternant avec de l'ardoise polie ; le tout incrusté de disques de nuances opposées. Ce carrelage a l'avantage de se réparer facilement et de ne pas donner lieu aux inconvéniens que l'expérience a fait naître pour celui de la Salle Synodale dont le prix est de beaucoup supérieur.

Au point de vue de l'art le carrelage, que nous proposons n'est pas sans précédent et M^r^ de Caumont, en reconnaissant qu'il existe peu de renseignemens sur les pavés d'Eglises au XI^e^ et XII^e^ siècle, observe qu'on employait souvent des pavés mosaïques ou affectant une marqueterie, du reste nous nous Sommes guidé, en le simplifiant, sur un type existant à la chapelle de la S^te^ Vierge dans l'Eglise de l'abbaye de S^t^ Denis, près Paris.

Le prix du carrelage que nous proposons est déjà élevé, 10 francs le mètre, une modification quelconque doit donc produire une réduction plutôt qu'un excédent de dépense ; Il ne reste plus alors qu'un dallage en grandes dalles avec une bordure ou un simple carrelage en terre cuite. Nous avons voulu éviter cette dernière et pénible résolution.

Sainte Table

La seconde objection est relative à la forme de la S^te^ Table qu'on demande polygonale ; rien ne s'oppose à cela sans qu'il en résulte gêne d'aucune sorte ni augmentation de dépense.

Déplacement de l'Autel

Je dois tout d'abord relever une erreur de la Commission au sujet de la porte de la sacristie, cette porte existe dans l'entrepied de la croisée, près le pilier d'angle et non au-delà près l'ancien autel, ainsi tombe l'objection d'éloignement de l'autel nouveau qui se trouve ainsi plus rapproché de la sacristie.

En ce qui concerne le passage de chaque côté de l'autel il est très facile, en amortissant le pan-coupé du marche-pied d'arriver à 1^m^.25 au lieu de 1^m^.00, ce qui du reste est conforme à ce qui existe aujourd'hui.

Les considérations d'un autre ordre, en faveur du déplacement ont été développées suffisamment par M^r^ le Maire pour qu'il me soit utile d'envisager cette question autrement qu'au point de vue des dispositions générales.

Agréez, je vous prie, Monseigneur, mes respectueuses salutations.

Angers le 25 Juin 1855. [signé :] Duvêtre Arch^te^

5.C. Lettre de l'évêque au préfet, 1855

Archives diocésaines d'Angers, OP 41

Angers le 6 Juin 1855
Monsieur le Préfet

M le Sous Préfet de Baugé à la date du 16 mai a renvoyé à M le Curé de Brion avec les plans de restauration de l'Eglise, l'avis de la commission d'architecture .

La commission donne son avis sur plusieurs questions, mais il en est deux au sujet desquelles j'ai le regret de ne pouvoir le partager. 1° Une demande que le carrelage du chœur soit fait en forme d'écaille de poisson comme celui de la salle synodale de l'évêché. Ce carrelage sera plus cher puisqu'il faut un modèle de commande ; puis il y a un grave inconvénient surtout dans une campagne, c'est de présenter à l'extrémité inférieure une queue très déliée qui se brisera sous la lourde pression des pas des paysans.

2° La Commission s'oppose au rapprochement de L'autel vers la balustrade, M le Curé et le Conseil de fabrique le demandaient parce que les fidèles placés dans les chapelles du transept ne voient point l'autel ce qui est une cause de perturbation pour les places et de détriment pour la fabrique. La Commission se préoccupe du service religieux et de la dignité des cérémonies.

Permettez-moi, Monsieur le Préfet, de faire bien simplement une réflexion qui s'est déjà présentée à moi plusieurs fois. Je croyais qu'une commission laïque d'architectes et d'archéologues pouvait se prononcer sur des questions d'art, de solidité, de dépenses matérielles mais qu'à l'autorité ecclésiastique devaient être réservées celles des besoins et des convenances religieuses. Aussi les ss. canons déclarent ils que c'est à l'évêque à désigner le lieu ou l'orientation d'une église et quant aux autels ils ne veulent pas qu'ils soient édifiés ou démolis, sans son autorisation. Je reconnais pourtant les bonnes intentions de MM les membres de la commission et j'aimerai à en tenir compte toutes les fois qu'il mes sera possible ; je désire seulement fixer les délimitations.

Signé Guill[aume] Ev[êque] d'Angers

2. Dossier photographique

1. Sculpture de l'intérieur

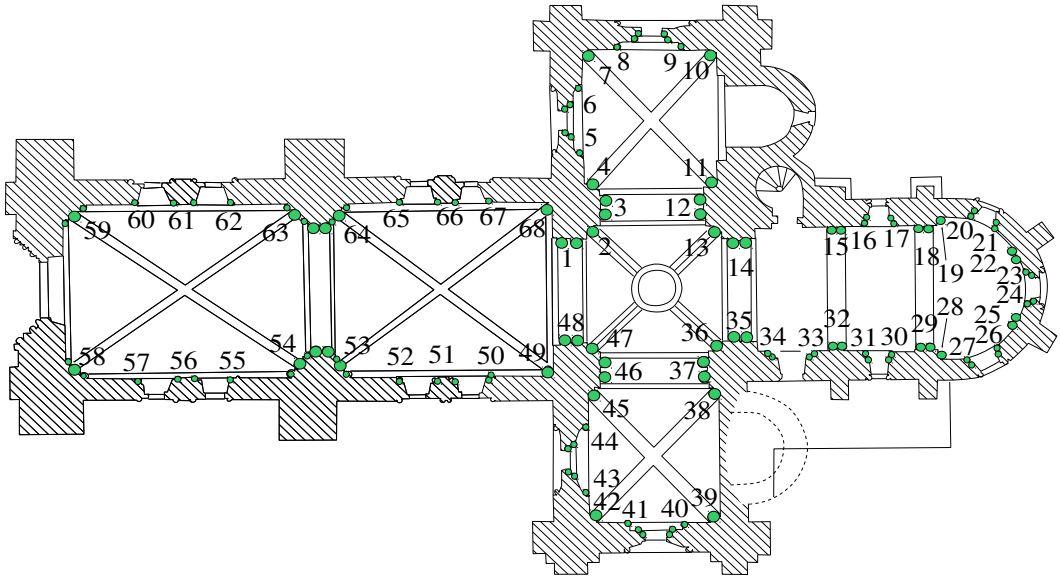


Figure 147. Plan (d'après celui de l'art. de J. Mallet (n. 120 de la 2e partie) présentant la numérotation des chapiteaux.

Figure 148. N° 1.

Figure 149. N° 2.

Figure 150. N° 3.

Figure 151. N° 4.

Figure 152. N° 5.

Figure 153. N° 6.

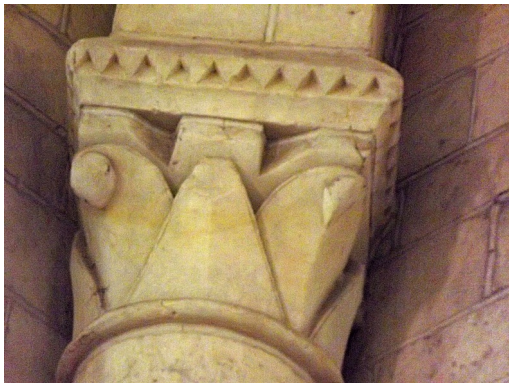


Figure 154. N° 7.

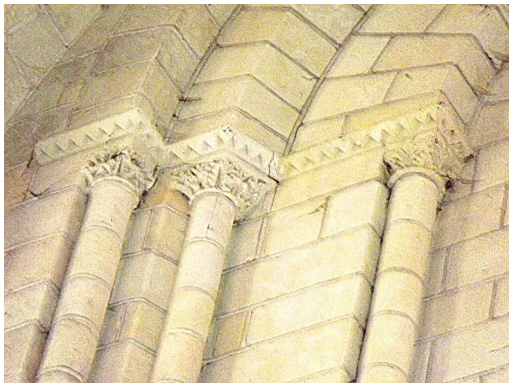


Figure 155. N° 8.

Figure 156. N° 9.

Figure 157. N° 10.

Figure 158. N° 11.

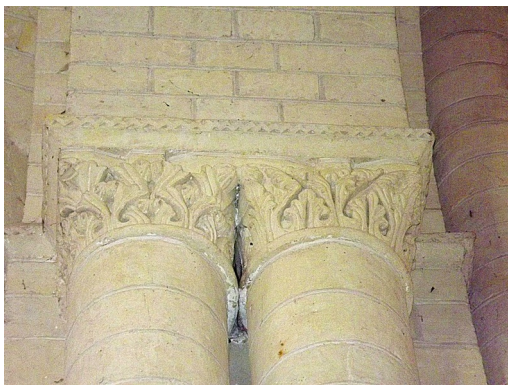


Figure 159. N° 12.

Figure 160. N° 13.

Figure 161. N° 14.

Figure 162. Frise sculptée de la 1e travée du chœur.

Figure 163. N° 15.

Figure 164. N° 16.

Figure 165. N° 17.

Figure 166. N° 18.

Figure 167. N° 19.

a) *b)* *c)*

Figure 168. Frise sculptée de l'abside, côté nord.

Figure 169. N° 20.

Figure 170. N° 21.

Figure 171. N° 22.

Figure 172. N° 23.

Figure 173. Frise sculptée de l'abside, centre.

Figure 174. N° 24.

Figure 175. N° 25.

Figure 176. N° 26.

Figure 177. N° 27.

a) *b)* *c)*

Figure 178. Frise sculptée de l'abside, côté sud.

Figure 179. N° 28.

Figure 180. N° 29.

Figure 181. N° 30.

Figure 182. N° 31.

Figure 183. N° 32.

Figure 184. N° 33.

Figure 185. N° 34.

Figure 186. N° 35.

Figure 187. N° 36.

Figure 188. N° 37.

Figure 189. N° 38.

Figure 190. N° 39.

Figure 191. N° 40.

Figure 192. N° 41.

Figure 193. N° 42.

Figure 194. N° 43.

Figure 195. N° 44.

Figure 196. N° 45.

Figure 197. N° 46.

Figure 198. N° 47.

Figure 199. N° 48.

Figure 200. N° 50.

Figure 201. N° 51.

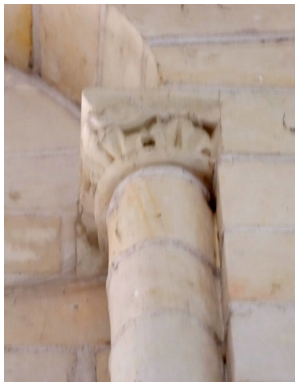


Figure 202. N° 52.

Figure 203. N° 53.

Figure 204. N° 54.

Figure 205. N° 55.

Figure 206. N° 56.

Figure 207. N° 57.

Figure 208. N° 58.

Figure 209. N° 59.

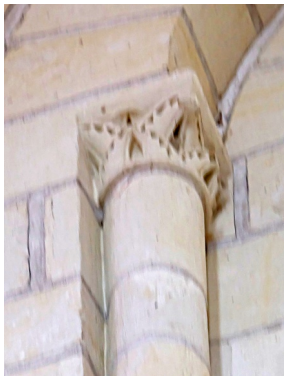


Figure 210. N° 60.

Figure 211. N° 61.

Figure 212. N° 62.

Figure 213. N° 63.

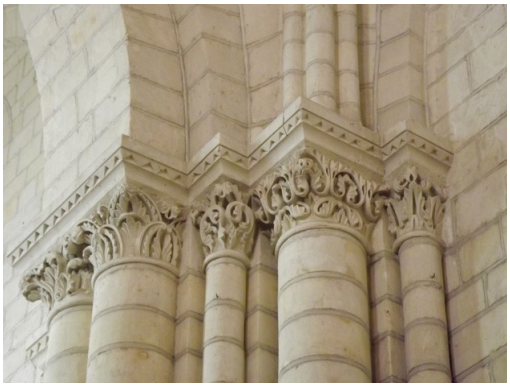


Figure 214. N° 64.

Figure 215. N° 65.

Figure 216. N° 66.

Figure 217. N° 67.

Figure 218. N° 68.

Figure 219. N° 49.

Figure 220. Clef de voûte de la nef, travée occidentale.

Figure 221. Clef de voûte de la nef, travée orientale.

2. Sculptures extérieures

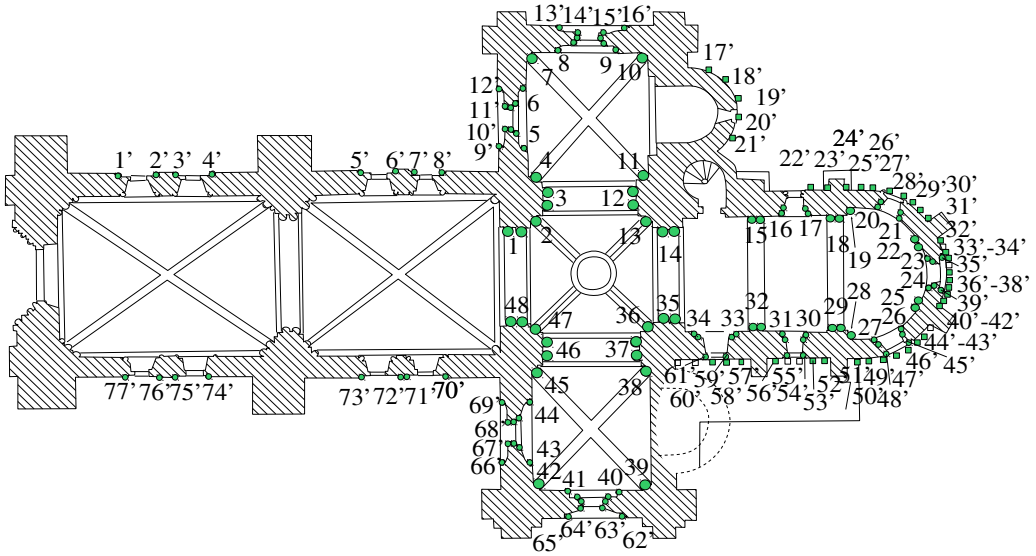


Figure 222. Plan (d’après celui de l’art. de J. Mallet (n. 120 de la 2e partie) présentant la numérotation des chapiteaux.

Figure 223. N° 1’.

Figure 224. N° 2’.

Figure 225. N°3’.

Figure 226. N° 4’.

Figure 227. N° 5’.

Figure 228. N° 6’.

Figure 229. N° 7'.

Figure 230. N° 8'.

Figure 231. N° 9'.

Figure 232. N° 10'.

Figure 233. N° 11'.

Figure 234. N° 12'.

Figure 235. N° 13'.

Figure 236. N° 14'.

Figure 237. N° 15'.

Figure 238. N° 16'.

Figure 239. N° 17'.

Figure 240. N° 18'.

Figure 241. N° 19'.

Figure 242. N° 20'.

Figure 243. N° 21'.

Figure 244. N° 22'.

Figure 245. N° 23'.

Figure 246. N° 24'.

Figure 247. N° 25'.

Figure 248. N° 26'.

Figure 249. N° 27'.

Figure 250. N° 28'.

Figure 251. N° 29'.

Figure 252. N° 30'.

Figure 253. N° 31'.

Figure 254. N° 32'.

Figure 255. N° 33'.

Figure 256. N° 34'.

a) *b)* *c)*

Figure 257. Frise sculptée au-dessus de la fenêtre nord de l'abside .

Figure 258. N° 36'.

Figure 259. N° 37'.

Figure 260. N° 38'.

Figure 261. N° 40'.

Figure 262. N° 41'.

Figure 263. N° 42'.

Figure 264. N° 43'.

Figure 265. N° 44'.

a) b)

Figure 266. Frise sculptée au-dessus de la fenêtre est de l'abside.

a) *b)* *c)*

Figure 267. Frise sculptée au-dessus de la fenêtre est de l'abside (suite).

Figure 268. N° 35'.

Figure 269. N° 45'.

Figure 270. N° 39'.

Figure 271. N° 46'.

Figure 272. N° 47'.

Figure 273. N° 48'.

Figure 274. N° 49'.

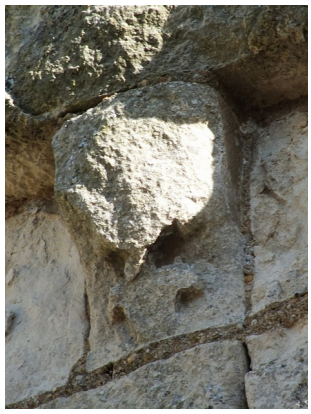


Figure 275. N° 50'.

Figure 276. N° 51'.

a)

b)

c)

Figure 277. Frise sculptée au-dessus de la fenêtre sud de l'abside.

a)

b)

c)

Figure 278. Frise sculptée au-dessus de la fenêtre sud de l'abside (suite).

Figure 279. N° 52'.

Figure 280. N° 53'.

Figure 281. N° 54'.

Figure 282. N° 55'.

Figure 283. N° 56'.

Figure 284. N° 57'.

Figure 285. N° 58'.

Figure 286. N° 59'.

Figure 287. N° 60'.

Figure 288. N° 61'.

Figure 289. N° 62'.

Figure 290. N° 63'.

Figure 291. N° 64'.

Figure 292. N° 65'.

Figure 293. N° 66'.

Figure 294. N° 67'.

Figure 295. N° 68'.

Figure 296. N° 69'.

a) *b)*

Figure 297. Frise sculptée de part et d'autre de la fenêtre ouest du transept.

a) *b)*

Figure 298. Chapiteaux de la porte.

Figure 299. Voussure de la porte du croisillon sud.

Figure 300. Modillon de la nef, à l'angle du croisillon sud.

Figure 301. N° 70'.

Figure 302. N° 71'.

Figure 303. N° 72'.

Figure 304. N° 73'.

Figure 305. N° 74'.

Figure 306. N° 75'.

Figure 307. N° 76'.

Figure 308. N° 77'.

3. Modillons du clocher

Ils sont numérotés à partir de la tourelle d'escalier, de la gauche vers la droite, en commençant par la face nord (n^os^ 1 à 15, dont les n^os^ 5, 6 et 7 sous le comble du transept), puis la face ouest (n^os^ 15 à 30, dont les n^os^ 19 à 24 sous le comble de la nef), la face sud (n^os^ 30 à 48, dont les n^os^ 38, 39 et 40 sous le comble du transept), et enfin la façade est (n^os^ 48 à 58, dont les n^os^ 54 à 57 sous le comble du chœur). Les n^os^ 14, 24, 26, 27, 29, 37, 49 et 51 ont été omis à cause de leur état de dégradation excessif.

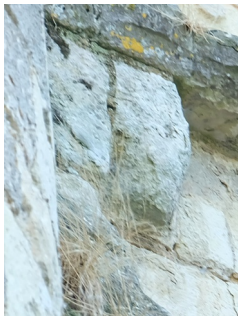


Figure 309. N° 1.

Figure 310. N° 2.

Figure 311. N° 3.

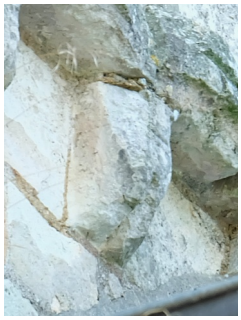


Figure 312. N° 4.

Figure 313. N° 5.

Figure 314. N° 6.

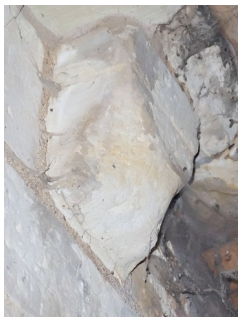


Figure 315. N° 7.

Figure 316. N° 8.

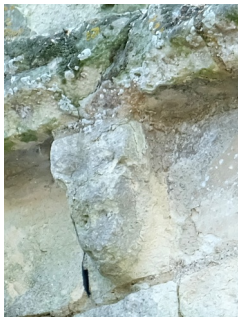


Figure 317. N° 9.

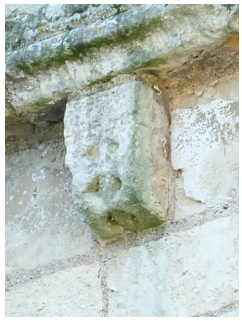


Figure 318. N° 10.

Figure 319. N° 11.

Figure 320. N° 12.

Figure 321. N° 13.

Figure 322. N° 15.

Figure 323. N° 16.

Figure 324. N° 17.

Figure 325. N° 18.

Figure 326. N° 19.

Figure 327. N° 20.

Figure 328. N° 21.

Figure 329. N° 22.

Figure 330. N° 23.

Figure 331. N° 25.

Figure 332. N° 28.

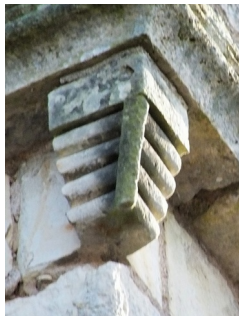


Figure 333. N° 30.

Figure 334. N° 31.

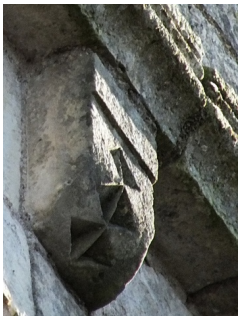


Figure 335. N° 32.

Figure 336. N° 33.

Figure 337. N° 34.

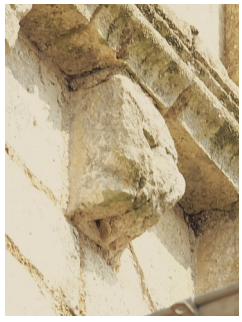


Figure 338. N° 35.

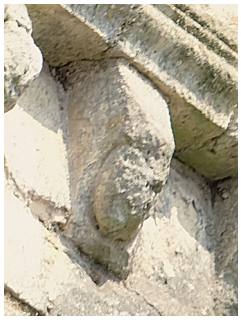


Figure 339. N° 36.

Figure 340. N° 38.

Figure 341. N° 39.

Figure 342. N° 40.

Figure 343. N° 41.

Figure 344. N° 42.

Figure 345. N° 43.

Figure 346. N° 44.

Figure 347. N° 45.

Figure 348. N° 46.

Figure 349. N° 47.

Figure 350. N° 48.

Figure 351. N° 50.

Figure 352. N° 52.

Figure 353. N° 53.

Figure 354. N° 54.

Figure 355. N° 55.

Figure 356. N° 56.

Figure 357. N° 57.

Figure 358. N° 58.

4. Intérieur du clocher

4.A. Élévation intérieure de l'étage

Les deux niveau de trous sont soulignés en rouge et en bleu. La limite entre deux qualités de tuffeau de couleurs distinctes est soulignée en noir. Les traces de piédroits d'anciennes baies sont en vert.

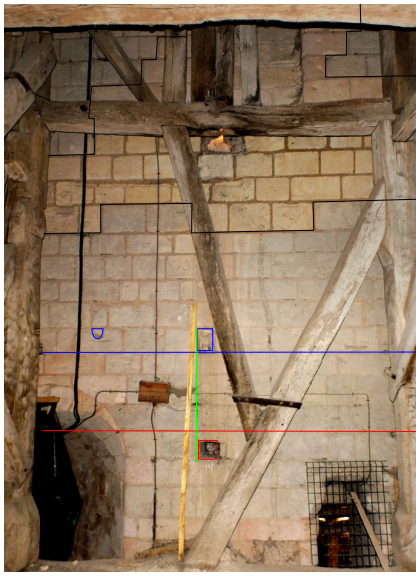


Figure 359. Est, gauche.

Figure 360. Est, droit.

Figure 361. Sud, gauche.

Figure 362. Sud, droit.

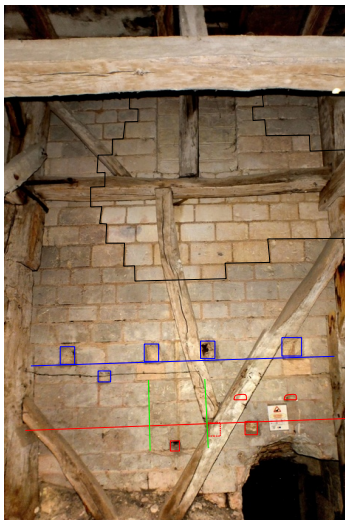


Figure 363. Ouest, gauche.

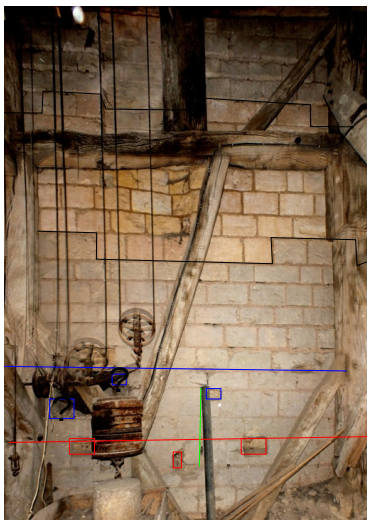


Figure 364. Ouest, droit.

Figure 365. Nord, gauche.

Figure 366. Nord, droit.

4.B. Cloches

Dans le clocher se trouvent trois cloches, un bourdon daté de 1770 et deux cloches plus petites datées de 1855, et nommées Adélaïde et Clémentine selon la dédicace.

Figure 367: Le bourdon du XVIII^e siècle.

Figure 368: Adélaïde

Figure 369: Clémentine

Figure 370: La dédicace du bourdon.

Transcription des inscriptions :

Bourdon.

M^R LE MARQUIS DE BUVRON ETANT S^GR DE CETTE PRSS / STI GERVASI ET PROTASI ORATEPRNOBIS LAN 1770 CETTE CLOCHE A ETE BENITE PAR MESSIRE GABRIEL DE LAUNAY DE LA MOTTHAYE CHANOINE DE LEGLISE / D ANGERS LUN DES D[IACR]ES ORDINAIRES DE LA CHAMBRE DU CLERGE DANJOU NOMMEE PAR MESSIRE LOUIS AUGUSTE DE GUILLOT DE LA BARDOUILLIERE ECUYER CHEVALIER / S^GR DE CUON LA GRAFFINIER ET AUTRES LIEUX ET PAR DAMME FLAVIE DE MENARDEAU EPOUSE DE MESSIRE LOUIS PIERRE GABRIEL DE LAUNAY ECUYER CHEVALIER S^GR / DE LA MOTTHAYE DU TEMS MESSIRE FRANCOIS PINSON CURE MESSIRE IP LHOUSTEAUX VIC ET RENE BURCHARD LAB^H PROCUREUR DE FABRIQUE J TICHANT ET D LIMAUX / FONDEURS

Adélaïde

L'AN 1855, J'AI ETE BENITE PAR MR JOUBERT VIC. GEN. ET NOMMEE ADELAIDE PAR MR / ADOLPHE BECONNAIS BOURCIER MON PARRAIN, ET MME ADELAIDE DE LAUNAY DE LA MOTHAYE / EPOUSE DE MR SCEVOLD-POCQUET DE LIVONNIERE MA MARRAINE. MR CHABOISSSEAU CURE

Au bas de la cloche : FONDERIE DE GUILLAUME-BESSON A ANGERS

Clementine

L'AN 1855 J'AI ETE BENITE PAR M^R^ JOUBERT VIC. GEN. ET ETE NOMMEE CLEMENTINE PAR / M^R^ CHARLES-EUGENE-ANATOLE M^IS^ E. DE MONTESQUIOU FEZENSAC, MON PARRAIN. ET M^ME^ MARIE / POCQUET DE LIVONNNIERE EPOUSE DE M^R^ J.E. DE LA MOTTE ROUGE GENERAL DE D^ON^, OFFICIER DE / LA LEGION D'HONNEUR ET DECORE DE L'ORDRE DE MEDJIDIE, M^R^ CHABOISSEAU ETANT CURE

Au bas de la cloche : DONNE PAR LOUISE MERCEREAU

3. Annexes

1. Les unités de mesure de longueur

1.A. Le Maine-et-Loire

Les Archives du Maine-et-Loire conservent plusieurs tables de conversion éditées lors de l'introduction du système métrique, c'est-à-dire plusieurs éditions de tables "officielles", sans nom d'auteur :

- *Tableau des anciennes mesures du département de Maine-et-Loire comparées aux mesures républicaines,* 1798[1],

- *Tables de comparaison entre les mesures anciennes et celles qui les remplacent dans le nouveau système métrique*, vers 1800[2],

- *Tables de comparaison entre les mesures anciennes et celles qui les remplacent dans le nouveau système métrique, avec leur explication et leur usage*, 1800-1801[3],

et des ouvrages contenant davantage d'explications (listes de valeurs, calcul dans le système décimal, avec des exemples, voire même des exercices), par des auteurs désireux d'aider leurs compatriotes :

- Benaben, *Tables de comparaison entre les anciennes mesures du département de Maine et Loire, et celles qui les remplacent dans le nouveau système métrique,* 1799[4],

- Barreau, *Tableau dénominatif et de comparaison des mesures en usage dans l'arrondissement communal de Saumur, et de celles qui les remplacent dans le nouveau système métrique*, vers 1800[5],

- L. D. Guyot, *Tables et instructions pour opérer facilement dans tous les départemens de la France,et dans les pays étrangers, la conversion des anciennes mesures en celles du système métrique,* vers 1800[6].

Ces divers ouvrages ont fait l'objet d'une étude récente[7].

La table la plus ancienne est celle de l'an VI[1] ; elle n'a pas d'auteur mais porte à sa dernière page la mention "signé Brichet, Benaben, Heron, J.P. Braux, Demaries."

La deuxième page présente les mesures de longueur, avec le tableau suivant :

---

1 Paris, Imprimerie de la République, An VI, 1798 ; cote : BIB 183.
2 Texte manuscrit ; cote : BIB 184-2.
3 Paris, Imprimerie de la République, an IX, 1800-1801 ; cote : BIB 184-1.
4 Angers, Imprimerie nationale, an VII, 1799 ; cote : BIB 188.
5 Saumur, Degouy frères, vers 1800 ; cote : BIB 185.
6 Angers, Mame, vers 1800 ; cote : BIB 187.
7 Pierre Charbonnier et Abel Poitrineau, *Les anciennes mesures locales du Centre-Ouest d'après les tables de conversion* (Clermont-Ferrand, Presses universitaires Blaise-Pascal, 2001).

Noms des Anciennes mesures.	Nom des communes où elles sont en usage.	Leur valeur en mètres.	Observations.
Aune	Tout le département	1.188	La même que celle de Paris
Toise	*Idem*	1.948	
Pied	*Idem*	0.325	
Pied de vitrier de huit pouces	*Idem*	0.217	
Perche, corde ou Chaîne, de 25 pieds chacune	*Idem*	8.118	La perche, ou la corde ou la chaîne, pour les ci-devants domaines de la couronne et pour les bois du ci-devant clergé, est seulement de 22 pieds.

La table du Citoyen Benaben “Professeur de Mathématiques à l’École Centrale”, et un des signataires de la précédente, est plus développée[4]. La “Table II. Mesures linéaires” (p. 4) donne l’“Aune d’Angers”, avec la note : “La même que celle de Paris”, la “Perche, Corde ou Chaîne” de 25 pieds, avec les mêmes valeurs que ci-dessus. Pour les “perches de 22 pieds”, il donne explicitement la valeur de 0,7144 décamètres, ce qui n’est rien d’autre que $22/25$ de la perche de 25 pieds. La valeur qu’il donne pour la toise est un tout petit peu plus précise : 1,9484 m.

Il donne des valeurs pour le pied, qui est $1/25$ de la toise de 9 pieds ; de l’équivalent en mètres de 9 pieds on déduit la valeur la plus précise, de 32,4732 cm. Il mentionne enfin des “pouces” de 2,7061 cm et des “Lignes” de 2,255 mm, qui ne sont rien d’autre que $1/12$ et $1/144$ de ce pied. Enfin, une table donnant des équivalents de “Parties de l’aune” nous apprend qu’il était d’usage de diviser celle-ci en $1/2$, $1/4$, $1/8$, $1/16$, $1/32$, $1/3$, $1/6$, $1/12$, $1/24$, $1/48$.

Le mètre provisoire adopté par la convention en 1793 valait 3 pieds 11,44 lignes de Paris[8]. Ceci donne une valeur du pied de Paris de 32,4734 cm, qui est la valeur utilisée par Benaben. Ainsi le pied utilisé en Anjou ne serait selon lui, rien d’autre que le pied de Roi. Le mètre sera définitivement fixé en 1799 à “3 pieds 11,296 lignes de la Toise de l’Académie”[8], qui modifiera l’équivalent en mètres du pied de Roi, le portant à 32,4839 cm.

La table de L. D. Guyot[6], datant des environs de 1800, en p. 4, “table II. mesures linéaires”, donne des valeurs légèrement différentes : pour “la perche de 25 pieds de long”, 0,8121 dam, pour “la perche de 22 pi. (eaux et forêts) de long”, 0,71465 dam, pour “la toise de 6 pieds” : 0,97452 doubles mètres soit 1,94904 m, pour l’aune d’Angers, 1,18845 m. La valeur en pieds de celle-ci est précisée, “3 pi. 7 po. 10 li. 5 six.e de li.”, soit 3,6586 pieds. On vérifie aisément que les variations de ces valeurs par rapport à la table de l’an VI sont entièrement dues au passage du mètre provisoire au mètre définitif, le pied est dans tous les cas le pied de Roi. Guyot mentionne en outre une “perche de 20 pi.”, qui vaut 6,4968 m, c’est à dire 20 pieds de Roi exactement.

Puis il donne les valeurs des pouce, ligne et point, qui valent exactement $1/12$, $1/144$, et $1/12^3$ fois le pied de Roi. Les “fractions ordinaires de l’aune”, sont les demis, tiers, quarts, huitièmes, douzièmes et seizièmes. Parmi les mesures autres que de longueur, remarquons une unité

8 Denis Février, *Un historique du mètre*, http://archive.wikiwix.com/cache/?url=http://www.industrie.gouv.fr/metro/aquoisert/metre.htm&title=Un historique du mètre.

de volume, ou “mesure de solidité” pour la charpente, “la solive de 3 pi[eds] de haut sur 1 pi[ed]. quar[ré] de ba[se]”, qui vaut 1,0283 décistère, c’est-à-dire 0,10283 m^3, ce qui fait exactement 3 pieds de Roi cubes.

Mentionnons enfin les tables du citoyen Barreau, “Notaire public & Arpenteur-Géomètre, en la commune de Montreuil-Bellay”[5]. Sa “nomenclature générale des mesures” donne elle aussi, pour les mesures linéaires, une “Perche ou Chaîne” de 25 pieds, une autre de 22 pieds, qui “n’était en usage dans l’arrondissement de Saumur que pour l’arpentage des Bois nationaux”, une “Toise” de 6 pieds, une “Aune” de 3 pieds 8 pouces, pied, pouce, ligne, et point.

Les valeurs sont 8,118 m, 7,144 m, 1,9484 m, 1,1880 m, respectivement, ce sont les valeurs des tables de l’an VI, quoique l’ouvrage soit sans doute postérieur à l’adoption du mètre définitif. La valeur de 3 pieds 8 pouces pour l’aune donnerait 1,1907 m avec le mètre provisoire, elle est donc relativement peu précise. Le citoyen Barreau affirme aussi que “pour les mesures linéaires, de surface & de solidité, ci-devant en usage dans l’arrondissement de Saumur & ceux circonvoisins, on se servait de la toise & du pied”. Un peu plus loin, se trouve une “Comparaison des anciennes mesures agraires et de capacité, pour Matières sèches seulement, en usage ci-devant dans toutes les Communes composant l’arrondissement de Saumur, toutes les autres Mesures étant les mêmes qu’à Saumur ; & en outre de celles en usage dans les communes de Thouars, Loudun, Beaugé, Beaufort & Bourgueil, Arrondissements circonvoisins.” Ce titre affirme explicitement que les mesures de longueur utilisées dans le Baugeois sont les mêmes que celles ci-dessus.

En conclusion, l’Anjou, juste avant la Révolution, utilise essentiellement le pied de Roi. Apparaissent aussi l’aune d’Angers, et un pied de vitrier de huit pouces. Ce dernier n’est mentionné que par les tables de l’an VI, et est évalué précisément à 8 pouces du pied de Roi. Ce n’est donc pas, ou plus, une unité indépendante. L’aune d’Angers, dont la meilleure valeur semble être celle donnée par Guyot, 1,18845 m, n’est pas, par contre, commensurable au pied de Roi. Elle est cependant identique à l’aune de Paris. Celle ci mesurait “3 pieds, 7 pouces, 8 lignes de Pied du Roy” selon un édite de François I^{r}, mais au XVIII^{e} siècle elle valait 3 pieds, 7 pouces, 8 lignes et 10 points, soit 118,84 cm[9] : c’est la valeur donnée par Guyot.

“*L’aune de Paris* se voulait de quatre pieds romains exactement”[9]. Le quart de l’aune de Paris est 297,1 mm. Or, la longueur du pied romain varie autour de 295 mm suivant les sources[10]. L’écart de 7‰, quoique significatif, est très faible.

---

9 Wikipedia, article “Aune”.

10 A. Guerreau, dans son étude “Vingt et une petites églises romanes du Mâconnais : irrégularités et métrologie” (dans *L’innovation technique au moyen âge - Actes du VIe Congrès International d’archéologie médiéval*e, éd. Patrice Beck (Paris, Errance, 1998), pp. 186-210), mentionne le pied “romain classique” de 29,57 cm. Selon A. de Wailly, “Les diverses longueurs du pied romain seraient 1° 0^{m},2956 ; 2° 0,2947 ; 3° 0,2944 ; 0,2941. Suivant l’abbé Barthélemy, dont nous adoptons l’opinion, le pied romain est égal à 10 pouces, 10 lignes, 6 dixièmes de lignes, ou 0^{m},2946116.” (Alfred de Wailly, *Nouveau Dictionnaire Français-Latin,* (2e édition, Paris, A. Guyot et Scribe, 1833), p. viij, http://aviatechno.net/unites/romains.php).

1.B. Départements environnants

Rappelons brièvement les conclusions de l'ouvrage de P. Charbonnier et A. Poitrineau[7].

1.B.1. Indre et Loire

"La mesure la plus courante est la **toise** de 72 pouces équivalant à 1,949 mètre. Toutefois on a noté précédemment le rôle de la **chaîne** ou **perche** de 25 pieds, soit 8,121 mètres pour l'arpentage. Pour les étoffes, on recourait à **l'aune** de Paris de 1,188 m." ([7], p. 106).

La longueur de la perche est donc la même qu'en Anjou, calculée avec le mètre définitif. Il en est de même de la toise. Comme l'Anjou, la Touraine ne connaît que l'aune de Paris et le pied de Roi.

1.B.2. Sarthe

"A côté de mesures de portée générale et sans variante comme la **ligne** (0,002256 m), le **pouce** (= 12 lignes, soit 0,0271 m), le **pied** (= 1 2 pouces, soit 0,3249 m), la **toise** (= 6 pieds, soit 1,949 m), les **perches** (de 21 pieds 8 pouces = 7,037 m ; de 22 pieds = 7,146 m ; de 25 pieds = 8,121 m) et la **lieue** de 2 000 toises (3 898 m), l'**aune**, servant à mesurer les textiles, connaissait dans la Sarthe quelques variantes locales" ([7], p. 162). Les auteurs donnent ensuite le détail de ces variantes.

Le pied, la toise et les perches de 22 et 25 pieds, sont issus du pied de Roi, et sont les mêmes qu'en Anjou. La perche de 7,037 m est voisine de 23 pieds anglais (l'écart est de 4‰).

Les aunes du Mans, de Montmirail, Saint-Calais et Saint-Côme sont des aunes de 4 pieds de 296,5 à 297,75 mm, c'est-à-dire des pieds romains. Celles de Château-du-Loir, de Sablé, du Sonnois sont de 4 pieds, un petit peu plus longs, 299,5 à 301,5 mm, qui se rapprochent donc du pied anglais, mais pas à moins de 1%. Il est moins évident de faire correspondre un pied à l'aune de la Ferté-Bernard de 1.407 m : 5 × 281.40 mm, ou 4.5 × 312.67 mm ?

1.B.3. Mayenne

"A côté du **pied** qui a sa valeur ordinaire de 0,3248 m, c'est-à-dire celle du pied du roi ou pied de Paris, l'aune était couramment utilisée et n'avait pas partout la même valeur car souvent, à côté de l'aune de Paris, existait une aune locale. Cette relative prolifération des aunes s'expliquait par l'importance de 1'industrie textile" ([7], p. 148). Les auteurs donnent ici aussi un tableau des différentes aunes.

L'aune la plus représentée est celle de Paris de 1,1884 m (17 occurrences), ensuite vient l'aune "de Gorron" de 1,2993 m (5 occurrences) qui vaut exactement 4 pieds de Roi. On rencontre une aune dite de "tisserand" de 1,2989 m, à peine différente, une aune "du seigneur" de 1,2696 m, et une aune "de Mayenne" de 1,3127 m. Celles-ci diffèrent de 2 ou 1% de l'aune "de Gorron". Il est vraisemblable qu'il s'agit d'aunes de 4 pieds de Roi dont l'étalon a un jour subi un accident. L'aune "de Laval" de 1,4313 m (8 occurrences) est plus originale, et excède 4 pieds. Peut-on y voir 4,5 pieds de Roi (l'écart est de 2%), ou 5 pieds de 286 mm ?

1.C. Le pied anglais

La valeur du pied anglais actuelle est de 30,48 cm. Cette unité est réputée remonter au XIII^{e}

siècle au moins. On en conserve des étalons anciens, en voici la liste donnée par F.G. Skinner[11] :

- *Winchester Exchequer Standard* avec des poinçons des règnes de Henri VII et d'Elisabeth[12], 30,38 cm ;

- *WestminsterExchequer Standard* de Henri VII[13], 1497, 30,39 cm ;

- *The Merchant Taylors' Company's "Silver" Sandard* yard, avec un poinçon du règne de Henry VII[14], vers 1497, 30,95 cm ;

- *Westminster Exchequer Standard* d'Elisabeth[15], 1588, 30,455 cm. Cet étalon a été utilisé jusqu'en 1824.

Le document de référence est connu sous le nom de *Compositio ulnarum et perticarum.* On en connaît deux versions, celle du manuscrit *BL Cotton MS Claudius D 2* :

Ordinatum est quod tria grana ordei sicca et rotunda faciunt pollicem, duodecim pollices faciunt pedem, tres pedes faciunt ulnam, quinque ulne est dimidia faciunt perticam, et quadraginta pertice in longitudine et quatuor in latitudine faciunt unam acram[16].

et celle du *Liber Horn*[17] :

"And be it remembered that the iron yard of our Lord the King containeth 3 feet and no more, and a foot ought to contain 12 inches by the right measure of this yard measured, to wit, the 36th part of this yard rightly measured maketh 1 inch neither more nor less and 5 yards and a half make a perch that is 16 feet and a half measured by the aforesaid yard of our Lord the King."

Une ordonnance attribuée à Edouard I et datée de 1305[18] a pu être associée à ce texte[19], mais elle ne mentionne pas l'unité. La *compositio ulnarum et perticarum* fait partie de la collection de textes appelée "statutes of uncertain date" ; elle a été datée de 1266-1303[20]. Les documents antérieurs semblent rares. Citons cependant deux textes, le premier de Guillaume le Conquérant :

---

11 F. G. Skinner, "The English yard and pound weight", *Bulletin of the British Society for the History of Science*, vol. 1, n°. 7, pp. 179-187 (1952).

12 Conservé au Westgate Museum, Winchester.

13 Conservé au Science Museum, Londres, http://www.sciencemuseum.org.uk/objects/weighing_and_measuring/1931-984.aspx

14 Conservé au Merchant Taylors' Hall, Londres. *Cf.* Wikipedia (v. anglaise) art. "yard" : "It consists of a hexagonal iron rod 5/8 inch in diameter and 1/100 inch short of a yard, encased within a silver rod bearing the hallmark 1445."

15 Conservé au Science Museum, Londres, http://www.scienceandsociety.co.uk/results.asp?image=10311867&itemw=4&itemf=0003&itemstep=1&itemx=4

16 Owen Ruffhead, *The statutes at large: from Magna Carta to the end of the last parliament*, 1761 [i.e. 1763], vol. 9, p. 28 (imprimé par M. Baskett, 1765).

17 Elle est publiée dans les *Statutes of the Realm,* vol. 1. Ne disposant pas de cet ouvrage, je cite la traduction anglaise donnée par l'article "yard" de Wikipedia (v. anglaise). Ch. Watson en donne une traduction légèrement différente (Charles M. Watson, "The origin of English measures of length", J*ournal of the Royal Society of Arts,* vol. 64, n° 3293, pp. 125-131 (1915)).

18 An ordonnance for Measuring of Land, made Anno 33 Edw. I. Stat. 6. and Anno Dom. 1305. *The statutes at large*, op. cit. n. 16, vol. 1, p. 152.

19 On trouve cette référence erronée pour le texte de la *Compositio Ulnarum et perticarum* dans F. G. Skinner, art. cit. n. 11.

20 Wikipedia (v. anglaise), article "Composition of Yards and Perches", avec la référence : Ronald Edward Zupko, *British weights & measures: a history from antiquity to the seventeenth century* (University of Wisconsin Press, 1977), pp. 10, 20-21.

"*Et quod habeant per universum regnum, mensuras fidelissimas et signatas, et pondera fidelissima et signata, sicut boni praedecessores statuerunt*"[21].

Guillaume a donc maintenu les systèmes de mesures existants. Le deuxième est de Richard Cœur de Lion :

"It is established that woollen cloths, wherever they be made, be made of the same width, to wit, of two ells within the lists [selvages], and of the same good quality in the middle and at the sides. Also the ell shall be the same in the whole realm and of the same length and the ell shall be of iron"[22].

On voit déjà ici une nette intention d'unification des mesures à l'échelle du royaume. Dans la *Gesta Regum Anglorum* de Guillaume de Malmesbury, on trouve une mention de l'attitude de Henri I^{r} vis-à-vis des mesures : "The measure of his own arm was applied to correct the false ell of the traders and enjoined on all throughout England"[23]. Cette aune, qui ne serait autre que le yard encore utilisé, aurait donc son origine dans le corps même du roi. Ce texte a ensuite été développé en une légende, selon laquelle le yard serait défini du bout du nez du roi à l'extrémité de son pouce[24].

L'article de Wikipedia "mesures anglo-saxonnes" (en français) soutient cependant la thèse de l'ancienneté du pied anglais qui "fut donc probablement introduit par Guillaume le Conquérant. Le simple ratio de 28 : 30 entre le pied anglais et le pied français ancien plaide également en faveur de l'hypothèse des intermédiaires normands," malheureusement sans justification supplémentaire. La version anglaise du même article donne une version toute différente : un pied d'Allemagne du Nord de 335 mm aurait été la norme depuis le V^{e} siècle jusqu'à la promulgation de la *Compositio ulnarum et perticarum*, date à laquelle il aurait été remplacé par un nouveau pied faisant exactement 10/11 du précédent[25]. Cette théorie est étayée par le fait que la longueur de la perche est de 5,5 aunes/yards, ou 16,5 pieds au lieu de 5 aunes/yards, c'est à-dire 15 pieds. Mais le pied de 335 mm qui aurait existé antérieurement semble avoir été créé à partir de cette seule observation[26]. Selon d'autres, la longueur de 5,5 aunes pour la perche est justifiée par certains par une approximation de $\sqrt{2}$. C'est, de fait, la diagonale d'un carré de carré de 12 pieds romains[27]. Même si l'on peut douter de l'importance de telles mesures en diagonale, cette coïncidence peut suffire à expliquer la longueur de 16,5 pieds de la perche, et il n'est donc pas nécessaire d'inventer un pied égal à 1/15 de celle-ci pour cela. On peut de plus remarquer que la perche des eaux et forêts française mesurait 22

---

21 *Historic Acts of Curiae Regis,* 3° William I. Cap. 7. (1068), *De mensuris et ponderibus*, cité dans Wikipedia (v. anglaise), article "Weights and Measures Act".

22 *Historic Acts of Curiae Regis,* 9° Richard I. Cap. 27. (1197), Assize of Measures, cité dans Wikipedia (v. anglaise) article "Weights and Measures Act".

23 Wikipedia (v. anglaise), article "yard", avec la référence :William of Malmesbury, *Chronicle of the kings of England* (Bell & Daldy, 1866), p. 445.

24 Wikipedia (v. anglaise), article "yard".

25 Wikipedia (v. anglaise), article "English units".

26 Cette idée semble provenir de l'article de F. G. Skinner cité n. 11, qui qualifie le facteur de 5,5 de "very awkward", et affirme l'existence a du pied Saxon de 335 mm sur la base de celle du pied Drusien (333,34 mm) et celle de la perche (rod) qui aurait valu 15 de ces pieds. *Cf.* aussi http://wikipedia.sfstate.us/Talk:Rod_(unit)

27 Le calcul est exact si l'on prend 296,35 mm pour la longueur du pied romain, ou si l'on prend la valeur approchée 99/70 de $\sqrt{2}$ et 296,33 mm pour le pied romain. *Cf.* Wikipedia, article "perche (unité)".

pieds, ce qui, pour une aune de 4 pieds, vaut justement 5,5 aunes[28]. Ce rapport, attesté ailleurs, n'est donc pas si inadéquat.

Ainsi il semble bien que la théorie qui veut que ce pied ait été créé au XIII^{e} siècle ne semble pas vraiment fondée. La teneur de la *Compositio unarum et perticarum* me paraît supposer que l'étalon existait antérieurement à la l'ordonnance, et l'unité elle même est *a priori* encore antérieure. Il est impossible de savoir jusqu'où on peut remonter, et l'éventuelle origine continentale de l'unité reste hypothétique.

28 Rappelons cependant que l'aune de Paris est basée sur le pied romain, et la perche des eaux et forêts sur le pied de Roi.

2. Modélisation des maçonneries

2.A. Méthode et logiciels utilisés

Tant qu'aucune fissuration n'a lieu, la maçonnerie se comporte comme un matériau élastique. Certes ce matériau n'est ni isotrope ni homogène. On sait qu'un matériau structuré peut être traité comme un matériau homogène si l'échelle des phénomènes observés est grande par rapport aux dimensions caractéristiques de la structure (c'est le concept de métamatériau). Ici le module typique des pierres est de 25 cm × 40 cm pour les murs et 20 cm × 30 cm pour la voûte, ce qu'on peut considérer comme petit par rapport aux dimensions de la travée.

L'analyse des propriétés mécaniques des joints (en général et pas pour notre maçonnerie particulière malheureusement, *cf. infra*) montre que ceux-ci modifient peu les constantes élastique (module de Young et coefficient de Poisson) du matériau, et donc modifient peu son comportement tant qu'on reste dans la limite d'élasticité. Notre approche est très différente de celle des ingénieurs, qui cherchent à savoir ce qu'il faut faire pour éviter la ruine, alors que notre but est de comprendre comment le bâtiment tient debout. En effet, si la maçonnerie peut être décrite par un milieu élastique homogène (qu'on prendra de plus isotrope pour simplifier) dans la limite d'élasticité, cela cesse dès que cette limite est franchie, et donc les processus qui mènent à la ruine du bâtiment sont mal décrits par un tel modèle. Les ingénieurs cherchent à décrire au mieux ces dernier phénomènes, dans le but de les éviter, ce qui est très différent de notre problématique : comprendre pourquoi et comment la structure fonctionne, en sachant que c'est le cas.

On décrit le comportement des maçonneries à l'aide des équations de l'élasticité linéaire isotrope, que l'on résout numériquement par une méthode d'éléments finis.

Il faut tout d'abord réaliser un modèle simplifié de la partie du bâtiment étudiée. On a utilisé pour cela soit deux logiciels : OpenSCAD[29] et SALOME[30]. Le premier a l'avantage d'être d'une utilisation très simple, le second offre davantage de possibilités, mais est d'une utilisation plus difficile. Il permet notamment de construire des modèles constitués de plusieurs parties, à qui l'on peut attribuer des propriétés différentes et qui peuvent donc représenter des matériaux différents. Il possède en outre un module de calcul de maillages performant.

Les modèles sont réalisés dans les deux cas à l'aide d'un script, que l'on peut modifier et ré-exécuter à volonté pour obtenir diverses variantes du modèle. La résolution des équations de l'élasticité par éléments finis est effectuée à l'aide de la suite logicielle ELMER[31], qui permet aussi d'effectuer le calcul du maillage pour les modèles réalisés avec OpenSCAD. Les données sont ensuite traitées à l'aide du logiciel GNU Octave[32]. On obtient ainsi les contraintes principales, qu'on visualise à l'aide d'ELMER POST, qui fait partie de la suite ELMER déjà mentionnée[31].

Les valeurs des paramètres utilisées dans les calculs sont les suivantes :

- module de Young : 1953 MPa,

---

29 OpenSCAD, "The Programmers Solid 3D CAD Modeller", http://www.openscad.org/, logiciel libre.

30 SALOME, "The Open Source Integration Platform for Numerical simulations", http://www.salome-platform.org/, logiciel libre.

31 ELMER, "Open Source Finite Element Software for Multiphysical Problems", http://www.csc.fi/english/pages/elmer, logiciel libre.

32 GNU Octave, http://www.gnu.org/software/octave/, logiciel libre.

- masse volumique : 1400 kg/m^3,
- coefficient de Poisson : 0,19.

Les conditions aux limites utilisées seront la fixité des fondations : déplacement nul sur les surfaces de base au contact du sol, et l'absence de force appliquée sur toutes les autres surfaces.

Les remplissages de gravats situés dans les reins des voûtes seront traités comme la maçonnerie. Cette approximation est nécessaire pour des raisons techniques. Il est clair que leur cohésion est faible relativement à celle de la maçonnerie elle-même, cependant il serait erroné de négliger la résistance au cisaillement de ces matériaux, qui n'est pas si faible tant que leur comportement reste dans le domaine élastique. Leur résistance à la traction est cependant considérablement moindre que celle de de la maçonnerie elle-même, et l'apparition de tractions à ce niveau ne pourra pas être considéré comme un résultat vraisemblable.

Dans certains cas, nous avons voulu rendre compte du fait que certains joints, celui qui surmonte l'extrados d'un arc en particulier, offraient peu de résistance à la déformation. Pour cela, nous avons construit un modèle contenant deux corps distintcs, ayant des propriétés mécaniques différentes mais liés mécaniquement (c'est faisable en utilisant SALOME et ELMER). L'un de ces corps correspond à l'ensemble de la maçonnerie, l'autre représente le joint d'extrados. Dans le cadre de la théorie de l'élasticité, les seuls paramètres qui entrent en compte, et par conséquent sur lesquels il soit possible de jouer, sont la masse volumique, le module de Young et le coefficient de Poisson du matériau. Pour rendre compte d'un matériau très facilement déformable, nous avons choisi d'utiliser des valeurs de E très faibles ($E = 1\,\text{MPa}$ dans le cas de la fenêtre du transept, $E = 19{,}53\,\text{MPa}$ pour le doubleau de la nef), les autres paramètres restant ceux du tuffeau.

Voyons maintenant quelques discussions des propriétés mécaniques de la maçonnerie de tuffeau qui nous ont amené à choisir les paramètres cités plus haut.

2.B. Propriétés mécaniques du tuffeau

La masse volumique du tuffeau est fournie par les exploitants des carrières[33]. Elle varie de 1300 à 1500 kg/m^3. Le comportement mécanique du tuffeau et des maçonneries de tuffeau est décrit en détail dans la thèse de K. Beck[34].

2.B.1. Résistance à la compression

Les propriétés du tuffeau sont résumées dans le tableau suivant[35] :

	Résistance à la compression (MPa)	
	état sec	état saturé
Tuffeau blanc	sens ⊥ : 11,67 ± 0,33 sens // : 9,13 ± 0,35	sens ⊥ : 4,83 ± 0,33 sens // : 3,86 ± 0,15

La résistance à la compression du tuffeau sec varie donc de 9 à 12 MPa suivant l'orientation par

33 Par exemple, le site http://www.tuffeau.com/p28,le-tuffeau-de-la-vallee-de-la-loire.

34 Kevin Beck, *Étude des propriétés hydriques et des mécanismes d'altération de pierres calcaires à forte porosité*, Thèse de doctorat, université d'Orléans, 2006.

35 K. Beck, *op.cit.* n. 34, p. 128, tableau IV.1. Le symbole "⊥" correspond à une force de compression exercée perpendiculairement au lit de la pierre, le symbole "//", à une force exercée parallèlement à celui-ci.

rapport au lit de la pierre, et se réduit à 40% de cette valeur pour tuffeau saturé d'humidité. Les maçons contrôlent évidemment l'humidité du matériau lors de sa mise en œuvre. Les compressions rencontrées restent faibles par rapport à ces valeurs limites.

Le même auteur a étudié des mortiers à base de chaux et de poudre de pierre. Je ne peux pas déterminer quel agrégat était utilisé par les constructeurs du XII^e^ siècle : des mortiers d'origine, seuls les joints pourraient être accessibles sans démontage, et ceux-ci ont été systématiquement refaits au XIX^e^ siècle. Même si un échantillon était disponible sur le monument, je ne dispose ni des moyens de le prélever ni de celui d'en faire l'analyse chimique. Les constructeurs ont pu utiliser soit de la poudre de tuffeau, soit du sable, qui se trouve abondamment dans la commune[36]. Voyons les mortiers de poudre de tuffeau étudiés par K. Beck.

Leurs propriétés mécaniques sont résumées dans le tableau[37] :

	Tuffeau (pierre)	mortier 5% chaux	mortier 10% chaux	mortier 15% chaux	mortier 20% chaux	mortier 30% chaux	mortier 50% chaux	mortier 70% chaux
Résistance à la compression (MPa)	11,59	1,49	1,86	2,38	4,42	5,60	10,77	9,74
Module élastique (MPa)	1953	139	148	168	440	752	1604	1861
Résistance à la traction (MPa)	1,47	0,12	0,09	0,15	0,22	0,22	0,22	0,24

La qualité du mortier dépend évidemment de la proportion de chaux, le maximum observé est de l'ordre de 11 MPa, elle est du même ordre que celle du tuffeau lui-même.

2.B.2. Module d'élasticité

Les valeurs du module d'élasticité, ou module de Young, du tuffeau mesurées par K. Beck sont les suivantes[38] :

	Module élastique E (MPa)	
	état sec	état saturé
Tuffeau blanc	sens : ⊥ 2037 ± 234 sens // : 1481 ± 196	sens ⊥ : 988 ± 115 sens // : 687 ± 106

Les variations suivant la direction de la contrainte appliquée et le degré d'humidité sont analogues à celles que l'on observe pour la résistance à la compression. Je conserve pour les calculs la valeur de 1953 MPa[39], compatible avec la mesure pour le tuffeau sec, dans le sens perpendiculaire au lit (⊥), mentionnée ci-dessus. Pour les calculs, je me restreins à un modèle isotrope. La "règle de l'art" actuelle est de placer les pierres de façon à ce que la compression principale soit toujours perpendiculaire au lit de la pierre, c'est à dire que les soient lits horizontaux dans les parois verticales, et perpendiculaires à l'intrados dans les voûtes. On peut raisonnablement admettre que cette règle était déjà appliquée au XII^e^ siècle : si l'observation des maçonnerie de

36 *Cf.* les données du B.R.G.M., et en particulier la "carte géologique 1/50 000 vecteur harmonisée avec MNT", http://infoterre.brgm.fr/viewer/MainTileForward.do.

37 K. Beck, *op.cit.* n. 34, p. 176, tableau VI.3.

38 K. Beck, *op.cit.* n. 34, p. 129, tableau IV.2.

39 Cette valeur est donnée par K. Beck, *op.cit.* n. 34, p. 133, tableau VI.3.

tuffeau permet difficilement de l'observer, le sens du lit n'étant pas visible à l'œil nu, c'est cependant ce que l'on observe systématiquement quand le matériau utilisé le permet. Il est difficile de réaliser un modèle du bâtiment ou de la portion de bâtiment tenant compte de variations locales du lit de la pierre[40]. Les pierres étant rarement utilisées en délit, c'est la valeur mesurée perpendiculairement au lit qui est la plus pertinente.

Les valeurs données pour les mortiers dépendent énormément de la proportion de chaux, qui nous est inconnue pour le(s) mortier(s) médiéval(aux) utilisé(s). Si on a affaire à un mortier gras de 50% à 70% de chaux, le module d'élasticité de 1600 à 1900 MPa est comparable à celui de la pierre ; pour un mortier plus maigre, il pourrait être jusqu'à 10 fois plus faible. Si les constructeurs ont utilisé un mortier d'une teneur en chaux suffisamment élevé pour avoir une bonne résistance à la compression (et une bonne adhérence, *cf. infra*), ce qui est vraisemblable, le mortier doit modifier assez peu le coefficient d'élasticité de la maçonnerie. Il ne faut pas oublier par ailleurs que les joints se déforment pendant le séchage, période pendant laquelle leur déformation est bien plus aisée (plutôt plastique qu'élastique).

2.B.3. Résistance à la traction

On dit fréquemment que la résistance à la traction des maçonneries est nulle. C'est inexact. Il est vrai qu'un modèle de comportement mécanique des voûtes, utilisé depuis la fin du XVIII^{e} siècle, et qui a rendu beaucoup de services aux ingénieurs et architectes depuis ce temps, suppose la résistance à la compression infinie et la résistance à la traction nulle. Mais ce modèle suppose aussi que le glissement d'un claveau sur l'autre est impossible. Dans le cadre de la théorie de l'élasticité, cette absence de glissement se traduit par une résistance au cisaillement infinie, ce qui est impossible si la résistance à la traction est nulle. Pour rendre compte de la résistance au cisaillement et de l'absence de glissement de la maçonnerie réelle dans un modèle élastique, on doit prendre en compte la résistance à la traction réelle du matériau.

Celle ci est faible par rapport à la résistance à la compression (1/100 à 1/10, typiquement), mais non nulle. Il est naturel de ne pas en tenir compte lors de calcul de structures en béton armé : la résistance à la traction de la structure est presque uniquement celle du ferraillage. En l'absence de celui-ci, le problème est différent. K. Beck a effectué des mesures sur la pierre, le mortier, et les assemblages.

Pour le tuffeau, il donne le tableau[41] :

	Résistance à la traction Rt (MPa)	
	état sec	état saturé
Tuffeau blanc	sens ⊥ : 1,30 ± 0,11 sens // : 1,48 ± 0,09	sens ⊥ : 0,38 ± 0,08 sens // : 0,51 ± 0,06

La résistance à la traction du tuffeau est de l'ordre de 1,3 à 1,5 MPa, et diminue considérablement avec l'humidité. Celle du mortier de poudre de tuffeau et chaux est donnée ci-dessus, elle ne dépasse pas 0,24 MPa, ce qui est faible.

40 Plus particulièrement, le logiciel ELMER permet de tenir compte de l'anisotropie du matériau, mais seulement dans le cas où ses directions propres sont partout les mêmes. Ce n'est pas le cas dans l'édifice, puisque le lit de la pierre n'est pas placé horizontalement dans la maçonnerie des voûtes.

41 K. Beck, *op.cit.* n. 34, p. 133, tableau IV.3.

Le même auteur a aussi effectué des essais de compression, et de traction directe sur un échantillon de deux pierres liée par un joint de mortier. Les résultats sont résumés dans le tableau[42] :

	Tuffeau (pierre)	joint 5% chaux	joint 10% chaux	joint 20% chaux	joint 30% chaux	joint 50% chaux
Résistance à la compression (MPa)	11,59	6,90	7,86	10,07	9,91	10,70
Module élastique (MPa)	1953	672	1080	1295	1464	1452
Résistance à l'adhésion (MPa)		0,0	0,047	0,119	0,205	0,111

Il en conclut qu'"Ainsi, une teneur en chaux égale ou supérieure à 20% est suffisante pour que le mortier ne perturbe pas trop le comportement mécanique de la pierre".

Si le mortier contient 20% à 50% de chaux, la résistance à l'adhésion est de l'ordre de 0,1 à 0,2 MPa, du même ordre de grandeur que la résistance à la traction du mortier seul, et 5 à 10 fois moins que la résistance à la traction de la pierre. Cette résistance est bien faible, ce qui justifie les modèles dans lesquelles on la considère comme nulle. Cependant, dans des calculs d'élasticité, apparaît toujours une traction, qui peut être perpendiculaire au plan des joints, en particulier à l'intrados des voûtes. La valeur ci-dessus donne un maximum admissible pour cette traction, de l'ordre de 0,11 MPa.

Une valeur du coefficient de Poisson du tuffeau peut être trouvée dans des travaux de D. Hoxha, D.-P. Do et N. Belayachi, qui concernent en particulier la dégradation des maçonneries du château de Chambord[43]. On retient la valeur $\nu = 0{,}19$.

3. Mesure des axes et rayons des voûtains cylindriques

3.A. Modèle numérique

La première opération consiste à réaliser un modèle numérique tridimensionnel de la voûte. J'utilise pour cela le logiciel Python Photogrammetry Toolbox[44] implémenté dans le système d'exploitation ArcheOS[45]. Ce logiciel permet, à partir d'un ensemble de photographies, de produire un modèle tridimensionnel sous la forme d'un nuage de points.

Dans le cas des voûtes, on a des photographies peu contrastées, en effet les lignes qui caractérisent l'objet sont essentiellement les joints des pierres, dont les bord sont parfois si peu nets qu'on a du mal à les identifier, même à l'œil nu et de près. Dans bien des cas, leur relief est faible, tout autant que la différence de couleur entre les deux matériaux. De plus la lumière est en général peu abondante, et le recours au flash, s'il assure une netteté acceptable sans compliquer la prise de vues, réduit encore le contraste. La netteté des traits, tant par leur nature que par la qualité des photographies, est donc assez médiocre, et le nuage de points contient une quantité appréciable de "bruit" (au sens de perturbation aléatoire modifiant l'information que ce mot a en théorie du signal).

---

42 K. Beck, *op.cit.* n. 34, p. 178, tableau VI.1.

43 Dashnor Hoxha, Duc-Phi Do, Naima Belayachi, "A fully coupled thermo-hydro mechanical analysis of the impact of temperature and humidity variation on the state of historical stone buldings", *8th International Symposium on the Conservation of Monuments in the Mediterranean Basin*, Grèce (2010), http://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00684168.

44 http://opensourcephotogrammetry.blogspot.fr/2010/09/python-photogrammetry-toolbox.html.

45 http://www.archeos.eu/wiki/doku.php/.

Le montage de plusieurs nuages de points en est d'autant plus difficile, on préférera donc traiter toutes les photos en une seule fois. Une amélioration numérique de la luminosité et du contraste de celles-ci, peut être nécessaire[46]. Il faudra aussi souvent faire plusieurs essais utilisant différentes tailles d'images jusqu'à trouver un optimum.

Le nuage de points une fois obtenu, il faut l'améliorer quelque peu. D'abord, il présente un certain nombre de points erronés facilement identifiables (isolés ou en grappes extérieures à la surface de l'objet) : il faut supprimer ceux-ci[47]. Il faut ensuite orienter le nuage de points de façon à ce que ses axes de coordonnées coïncident avec la verticale et les axes du plan. Ne disposant pas de théodolithe, je n'ai aucun point de repère coté dans l'espace réel pouvant servir de référence, et je dois effectuer cette orientation manuellement[48].

3.B. Identifier l'axe du cylindre

Pour analyser les voûtains, il faut ensuite les isoler. Cloud Compare possède une fonction (Tools/Segmentation/CrossSection) qui le permet. Un enregistrement en ASCII permet alors d'entrer les données numériques dans GNU Octave, qui permet tous les traitements numériques.

L'axe du cylindre est la direction dans laquelle la projection de la surface du voûtain se réduit à une ligne. On peut la déterminer manuellement, en faisant tourner une représentation graphique du voûtain jusqu'à ce que l'épaisseur du nuage de point soit minimale, puis en notant l'orientation correspondante.

Cette procédure peut aussi s'automatiser. Pour cela, on applique d'abord une rotation d'angles connus au nuage de points. On dispose ainsi de la projection du nuage dans la direction considérée, on doit mesurer son épaisseur. Notons v la coordonnée horizontale et w la coordonnée verticale de cette projection. Le nuage de points est une liste de couples (v_j, w_j), avec $1 \leq j \leq N$. On réordonne les points de façon à ce que $v_j \leq v_{j+1}$ pour tout j ; la somme $S = \sum_{j=1}^{N-1} \left| w_{j+1} - w_j \right|$ mesure l'épaisseur. Il n'y a plus qu'à trouver l'angle pour lequel cette somme est minimale. J'ai pour cela calculé la valeur de S pour toutes les orientations possibles, les deux angles d'Euler variant de 0 à 180° par pas de 1°. Il suffit alors de déterminer le plus petit élément de la matrice obtenue par la méthode standard.

3.C. Centre et rayon du voûtain cylindrique

On veut maintenant déterminer le centre Ω, de coordonnées (v_0, w_0) et le rayon r de l'arc. J'ai utilisé deux méthodes très différentes.

3.C.1.

Une première méthode utilise un ajustement nonlinéaire du nuage de points par une représentation analytique de l'arc de cercle supérieur. L'ajustement se fait avec la fonction leasqr de GNU Octave[49]. Celle-ci déterminer les valeurs de v_0, w_0 et r pour lesquels l'arc du cercle est le

46 J'utilise Gimp, http://www.gimp.org/.

47 Le logiciel que j'ai trouvé le plus adéquat pour cela est MeshLab, http://meshlab.sourceforge.net/.

48 Le logiciel Cloud Compare, http://www.danielgm.net/cc/, a l'avantage sur les autres visualiseurs de nuages de points (Meshlab en particulier) de fournir un rendu graphique en projection orthogonale et pas seulement en perspective, ce qui est extrêmement utile pour cette opération.

49 http://octave.sourceforge.net/optim/function/leasqr.html.

plus proche du nuage de points, c'est à dire la somme des distances de chacun des points du nuage au point de l'arc le plus proche est minimale. La formule exacte $w = w_0 + \sqrt{r^2 - (v - v_0)^2}$ donnant d'assez mauvais résultats, j'ai préféré la remplacer par un développement de Taylor[50].

3.C.2.

Une deuxième méthode consiste à sélectionner 3 segments du nuage de points, dont on calcule le barycentre de façon à avoir 3 points du cercle. On calcule algébriquement le rayon et le centre du cercle qui passe par ces 3 points : appelons A, B, et C les 3 points, on choisit A et C voisins des extrémités de l'arc et B proche de son milieu. Le centre Ω se trouve sur la médiatrice de $[AC]$: on obtient facilement une représentation paramétrique de celle-ci, on n'a plus alors qu'à écrire l'égalité des distances $\Omega A = \Omega B$, et à résoudre cette équation pour trouver la valeur du paramètre, à l'aide d'un logiciel de calcul formel[51]. Le rayon s'en déduit immédiatement.

3.D. Fixer l'échelle

Le nuage de points fournit une image tridimensionnelle dont les longueurs sont proportionnelles à celles qu'on peut mesurer sur l'édifice réel. Pour avoir des mesures absolues, il faut déterminer le coefficient de proportionnalité, c'est-à-dire l'échelle. Remarquons cependant qu'un certain nombre de caractéristiques sont indépendantes de ce facteur : les mesures d'angle, les rapports de longueurs, la dispersion relative d'une série de mesures, par exemple.

Les dimensions auxquelles j'ai directement accès sont la longueur et la largeur (éventuellement les diagonales) de l'espace considéré, au niveau du sol (ou à une hauteur inférieure à 2 m au-dessus de celui-ci). La longueur et la largeur totales de la voûte sur le nuage de points peuvent être évaluées facilement à l'aide de GNU Octave. Quand les murs sont parallèles aux axes (ce qui suppose un espace rectangulaire et des axes choisis de façon adéquate), on s'affranchit du bruit en sélectionnant les points représentant chaque portion de mur et en effectuant une moyenne. Si ce n'est pas possible, on peut déterminer la position du mur par un ajustement linéaire, les points d'intersection des droites obtenues et les distances entres ceux-ci sont alors facile à calculer. On obtient l'échelle en comparant ces nombres avec les valeurs mesurées au sol. Ceci donnerait une valeur très précise de l'échelle, à la condition que les murs soient parfaitement verticaux. Malheureusement, un faux aplomb indécelable à l'œil nu ou même avec un niveau de maçon est tout à fait possible, et cause d'une certaine imprécision.

4. Construction numérique de l'épure de Méry

Le procédé donnée dans l'article original de Méry est clair et peut être utilisé tel quel[52]. Il requiert le calcul du centre de gravité de chaque claveau, puis d'une section de la voûte. Ce calcul fait, l'application de la formule donnée par Méry est immédiate. Cependant elle suppose connus les points de départ et d'arrivée de la courbe, qui se déterminent par tâtonnement de façon à ce que la courbe reste à l'intérieur de l'arc. Les calculs de centre de gravité pouvent être longs et fastidieux dans le cas général, nous avons quelque peu perdu l'habitude du dessin aux instruments, enfin un

50 J'ai utilisé un développement de Taylor à l'ordre 13 en r (7 termes) calculé à l'aide du logiciel de calcul formel Maxima, http://andrejv.github.io/wxmaxima/, http://maxima.sourceforge.net/.

51 Maxima en l'occurrence. L'expression n'est pas simple, on la reporte électroniquement.

52 Édouard Méry, "Sur l'équilibre des voûtes en berceau", *Annales des ponts et chaussées. Mémoires et documents...*, 1840, n° CCCXCVII, pp. 50-70.

procédé numérique permet de déterminer plus rigoureusement la courbe optimale.

Nous avons donc réalisé un code GNU Octave permettant de calculer et tracer l'épure de Méry. L'intrados et l'extrados sont donnés par deux listes de nombres correspondant aux angles des claveaux supposés très minces.

On a déterminé l'expression de l'aire et de la position du centre de gravité d'un quadrilatère quelconque[53]. L'application de cette formule ramène l'arc à deux dimensions à la courbe des centres de masse des claveaux. Le centre de masse des sections d'arcs s'en déduit par sommation. Il suffit ensuite d'appliquer la formule de Méry pour obtenir une courbe[54].

Pour optimiser cette courbe, la quantité que l'on minimise est le maximum des distance du centre de masse d'un claveau au point correspondant de la courbe des pressions, majoré d'une quantité proportionnelle au nombre de claveaux pour lesquels ce point sort des limites de l'arc (avec un coefficient de proportionnalité assez élevé). On calcule cette quantité ("distance") pour un assez grand nombre de positions des points α et β, on détermine ensuite pour laquelle de ces valeurs on obtient le minimum. On n'a plus qu'à tracer la courbe des pressions correspondante.

On donne ci-dessous les codes GNU Octave (également utilisables avec Matlab) qu'on a établis

---

53 Le claveau est un quadrilatère quelconque $MM'N'N$, avec $M(x_{-,j}, y_{-,j})$, $M'(x_{-,j+1}, y_{-,j+1})$, $N'(x_{+,j+1}, y_{+,j+1})$, $N(x_{+,j}, y_{+,j})$. Son aire A est donnée par $A\vec{e}_z = \frac{1}{2}\overrightarrow{M'N} \wedge \overrightarrow{N'M} = \frac{-1}{2}\overrightarrow{MN} \wedge (\overrightarrow{dM} + \overrightarrow{dN})$, en traitant $\overrightarrow{dM} = MM'$ comme un infiniment petit du 1r ordre. On en déduit l'expression de l'aire : $A = \frac{1}{2}\left[(y_+ - y_-)(dx_+ + dx_-) - (x_+ - x_-)(dy_+ + dy_-)\right]$.

Le calcul du centre de gravité se fait par un calcul d'intégrale élémentaire dans un repère adapté d'origine N, dont l'axe des abscisses est dirigé par $\overrightarrow{NM}$, avec $N(0,0)$, $M(0,a)$, $M'(d,e)$, $N'(b,c)$ dans ce repère NXY on trouve, en supposant b, c, d et e très petits devant a, pour l'abscisse X_G du centre de gravité G du claveau dans ce repère : $X_g = \frac{ac + 2ae}{3(e+c)}$. Revenu dans le repère d'origine on obtient finalement $\overrightarrow{NG} = \frac{X_G}{a}\overrightarrow{MN}$, avec

$$\frac{X_G}{a} = \frac{(y_+ - y_-)(dx_+ + 2dx_+) - (x_+ - x_-)(dy_+ + 2dy_-)}{3(y_+ - y_-)(dx_+ + dx_+) - (x_+ - x_-)(dy_+ + dy_-)}.$$

54 La norme P de la poussée, son point d'application $\alpha(x_\alpha, y_\alpha)$ étant supposé connu, ainsi que le centre de gravité $G(x_G, y_G)$ de l'arc et son poids Mg, se calcule en écrivant l'équilibre des moments. On obtient $P = \frac{Mg(x_\alpha - x_G)}{y_\alpha - y_G}$

Le point d'application γ de la force $\vec{F}$ exercée par une section d'arc se déterminer en écrivant l'équilibre des forces, poussée horizontale s'exerçant en β, poids s'exerçant au centre de gravité, et cette force $\vec{F}$, et de leurs moments. Cette condition d'équilibre se réduit au fait que, si l'on construit le rectangle dont un côté est une horizontale passant par β et de longueur P, et l'autre une verticale passant par G et dont la longueur est Mg, la diagonale de ce rectangle doit passer par γ. Cette condition, qui est celle donnée par Méry, permet de calculer aisément les coordonnées de γ, on trouve : $x_\gamma = \frac{C_a(x_+ - x_-) - C_b P}{D}$, $y_\gamma = \frac{C_a(y_+ - y_-) - C_b Mg}{D}$ avec $C_a = x_G Mg - y_\beta P$, $C_b = x_-(y_+ - y_-) - y_-(x_+ - x_-)$, et $D = Mg(x_+ - x_-) - (y_+ - y_-)P$.

pour ce calcul. Le lecteur n'aura qu'à recopier les trois fichiers dans le répertoire courant de GNU Octave, puis exécuter le premier "optimise_mery", pour obtenir l'épure de Méry optimale d'un arc en plein cintre. Pour d'autre types d'arc, il lui suffira de modifier à sa guise les premières lignes qui permettent de calculer la liste des coordonnées (x_m, y_m) des points de l'intrados, et (x,p,y_p) des points de l'extrados.

Ces codes peuvent être adaptés au cas d'une coupole de plan circulaire. On décompose dans ce cas la coupole en arcs occupant chacun un petit secteur angulaire. Considérer ces arcs comme indépendants est une hypothèse très forte, qui n'est pas toujours réaliste, mais donc nous ne discuterons pas la pertinence ici. L'origine des abscisses x étant choisie sur l'axe de la coupole, il suffit de multiplier l'aire de chacun des claveaux par x pour obtenir une quantité proportionnelle au poids du secteur angulaire. Les modifications à apporter au codes s'en déduisent et sont données ci-dessous.

Fichier "optimise_mery.m"

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
clear all
% Définir l'intrados et l'extrados

% Coupole de croisée de Brion, nervures
% r_int=4.22 ;% m, pour une diagonale
r_int=4.095; % m,  pour l'autre diagonale
% r_ex= r_int+0.49; %0.49 est l'épaisseur minimale de la voûte stable pour
r_int=4.22
r_ex= r_int+0.47; %0.47 est l'épaisseur minimale de la voûte stable pour
r_int=4.095

% Paramétrage de ces courbes
p_i=0;
p_f=pi/2;
dp=0.001;
 p= [p_i:dp:p_f];

% Intrados
global x_m=r_int*sin(p);
global y_m=r_int*cos(p);
% extrados
global x_p=r_ex*sin(p);
global y_p=r_ex*cos(p);

% Les dérivées
global n=length(p);
jplus1=[2:n,n];
jmoins1=[1,1:n-1];

dx_m=x_m(jplus1)-x_m;
dy_m=y_m(jplus1)-y_m;
dx_p=x_p(jplus1)-x_p;
dy_p=y_p(jplus1)-y_p;

% Aires des claveaux
a=((y_p-y_m).*(dx_p+dx_m)-(x_p-x_m).*(dy_p+dy_m))/2;

% Centre de gravite des claveaux
Xg=((y_p-y_m).*(dx_p+2*dx_m)-(x_p-x_m).*(dy_p+2*dy_m))./(6*a);
```

```
    global xg=x_p+Xg.*(x_m-x_p);
    global yg=y_p+Xg.*(y_m-y_p);

    figure
    plot(x_p,y_p,'b')
    hold on
    plot(x_m,y_m,'c')
    plot(xg,yg,'r')

    % Centre de gravité jusqu'au joint p+1
    global x_G=zeros(1,n-1);
    global y_G=zeros(1,n-1);
    for p=1:n-1,
       x_G(p)=sum(xg(1:p).*a(1:p))/sum(a(1:p));
       y_G(p)=sum(yg(1:p).*a(1:p))/sum(a(1:p));
    end;

    plot(x_G(n-1),y_G(n-1),"*k")

    % Poids jusqu'au joint p+1;
    % Aire, à multiplier par w=g*rho*e, rho masse volumique, e épaisseur
    global a_t=zeros(1,n-1);
    for p=1:n-1,
       a_t(p)=sum(a(1:p));
    end;

    % Liste de positions des extrémités alpha et beta de la courbe des pressions
    dq=0.01;
    liste_q=[dq:dq:1-dq];
    liste_r=[dq:dq:1-dq];
    nq=length(liste_q);
    nr=length(liste_r);
    d=zeros(nq,nr);

    for k=1:nq,
       for l=1:nr,
            % Calcul de la courbe des pressions pour ces positions de alpha et
beta,
         % et de la distance de cette courbe au centre
         d(k,l)=fmery(liste_q(k),liste_r(l));
       end
    end

    % Détermination de la courbe optimale
    [k0,l0]=find(d==min(d(:)));
    r=liste_q(k0);
    q=liste_r(l0);

    % Calcul et tracé de cette courbe
    mery

    % Affichage de la distance optimale
    min(d(:))

    %%%%%%%%%%%%%%%%
```

Fichier “fmery.m”

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

function out=fmery(r,q);

global x_m y_m x_p y_p n a_t xg yg x_G y_G

% Position de beta
x_beta=(1-q)*x_m(1)+q*x_p(1);
y_beta=(1-q)*y_m(1)+q*y_p(1);

% Position de alpha
x_alpha=(1-r)*x_m(n)+r*x_p(n);
y_alpha=(1-r)*y_m(n)+r*y_p(n);

f_p=a_t(n-1)*(x_alpha-x_G(n-1))/(y_alpha-y_beta);

% Courbe des pressions
jp=[2:n];
ca=x_G.*a_t-y_beta *f_p;
cb=x_m(jp).*(y_p(jp)-y_m(jp))-y_m(jp).*(x_p(jp)-x_m(jp));
den=a_t.*(x_p(jp)-x_m(jp))-(y_p(jp)-y_m(jp)).*f_p;
x_gam=(ca.*(x_p(jp)-x_m(jp))-cb.*f_p)./den;
y_gam=(ca.*(y_p(jp)-y_m(jp))-cb.*a_t)./den;

% Calcul de la distance
% Maximum de la distance du point de la courbe des pressions au centre de
gravité du claveau
dist=sqrt((x_gam-xg(jp)).^2+(y_gam-yg(jp)).^2);
d_Linf=max(dist);

%Nombre de claveaux où le point est hors de l'arc
l_bas=length(find(y_gam<y_m(jp)));
l_haut=length(find(y_gam>y_p(jp)));
pd=10;

out=d_Linf+(l_bas+l_haut)*pd;

%%%%%%%%%%%%%%%
```

Fichier “mery.m”

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%

% Position de beta
x_beta=(1-q)*x_m(1)+q*x_p(1);
y_beta=(1-q)*y_m(1)+q*y_p(1);
plot(x_beta,y_beta,'*g')

% Position de alpha
x_alpha=(1-r)*x_m(n)+r*x_p(n);
y_alpha=(1-r)*y_m(n)+r*y_p(n);
plot(x_alpha,y_alpha,'*g')

f_p=a_t(n-1)*(x_alpha-x_G(n-1))/(y_alpha-y_beta);
```

```
% Courbe des pressions
jp=[2:n];
ca=x_G.*a_t-y_beta *f_p;
cb=x_m(jp).*(y_p(jp)-y_m(jp))-y_m(jp).*(x_p(jp)-x_m(jp));
den=a_t.*(x_p(jp)-x_m(jp))-(y_p(jp)-y_m(jp)).*f_p;
x_gam=(ca.*(x_p(jp)-x_m(jp))-cb.*f_p)./den;
y_gam=(ca.*(y_p(jp)-y_m(jp))-cb.*a_t)./den;

% Tracé
plot(x_gam,y_gam,'k')
axis("equal")
%%%%%%%%%%%%%%%%%%
```

Modifications à apporter dans le cas d'une coupole :

Dans le fichier "optimise_mery.m", remplacer les lignes

```
    x_G(p)=sum(xg(1:p).*a(1:p))/sum(a(1:p));
    y_G(p)=sum(yg(1:p).*a(1:p))/sum(a(1:p));
```

par

```
    x_G(p)=sum(xg(1:p).^2.*a(1:p))/sum(xg(1:p).*a(1:p));
    y_G(p)=sum(xg(1:p).*yg(1:p).*a(1:p))/sum(xg(1:p).*a(1:p));
```

et la ligne

```
    a_t(p)=sum(a(1:p));
```

par

```
    a_t(p)=sum(xg(1:p).*a(1:p));
```

Hervé Leblond

Pour une approche de la conception architecturale au XII^{e} siècle : analyse métrologique et mécanique de l'église de Brion (Maine-et-Loire)

Thèse dirigée par Florence Journot, École Doctorale 441 (EA 4100 HICSA).

Résumé

La 1e partie de la thèse comprend trois volets. Le 1r rappelle les connaissances générales sur la construction médiévale, en particulier le problème des plans. Ont été considérés plus en détail les plans du St-Sépulcre d'Arculfe et la reconstitution du temple futur de Richard de St-Victor. Le 2nd volet fait le point sur les connaissances médiévales en mathématiques et en physique. Le 3^{e} résume les théories sur la stabilité des voûtes développées du XVII^{e} au XX^{e} siècle, par des mathématiciens et des ingénieurs, puis par des restaurateurs et historiens de l'architecture.

La 2^{e} partie est consacrée à l'étude de l'église de Brion (Maine-et-Loire), qui est remarquable par la qualité et la diversité de ses voûtes : en berceau sur le chœur, voûtes d'ogives primitives sur le transept, coupole nervée sur la croisée, voûtes à croisée d'ogives de type angevin sur la nef, et une voûte nervée complexe, apparentée à celles du chœur de St-Serge d'Angers, au haut du clocher.

La principale originalité de la thèse réside dans l'étude géométrique et mécanique de ces voûtes. L'analyse de modèles numériques réalisés par un procédé photogrammétrique a permis d'identifier la forme des voûtains. On a constaté notamment que ceux des voûtes d'ogives sont cylindriques, et que la direction des assises ne dicte pas leur géométrie.

L'analyse mécanique utilise la théorie de l'élasticité. Elle a permis de montrer l'importance de plusieurs points : fonction des doubleaux qui soulagent la voûte en berceau, rôle de la colonnette centrale d'un fenêtre géminée, contraintes importantes qui apparaissent autour du trou de passage des cloches, fonctionnement des voûtes angevines comme des coupoles.

Mots-clés : Construction médiévale - XIIe siècle- XIIIe siècle - Anjou - mécanique des voûtes - métrologie.

For an approach to Architectural design in the 12th century: Metrological and mechanical analysis of the church of Brion (Maine-et-Loire).

Abstract

The 1st part of the thesis consists of three sections. Section 1 recalls the general knowledge about medieval construction, especially the problem of plans. Arculf's plans of the Holy Sepulchre and the reconstruction of the future temple by Richard of St. Victor were considered in more detail. Section 2 is a review of medieval knowledge in mathematics and physics. Section 3 summarizes the theories on the stability of vaults developed from the 17th to the 20th century, by mathematicians and engineers, then by architectural restorers and historians.

The 2nd part is devoted to the study of the church of Brion (Maine-et-Loire), which is remarkable for the quality and diversity of its vaults: barrel vault on the choir, primitive rib vault on the transept, ribbed dome on the crossing, Angevin type rib vauts on the nave, and a complex ribbed vault, similar to those of the choir of St-Serge in Angers, at the top of the bell tower. The main originality of the thesis lies in the geometrical and mechanical study of these vaults. The analysis of numerical models carried out by a photogrammetric method made it possible to identify the shape of the severies. It has been found, in particular, that those of rib vaults are cylindrical, and that the direction of the courses does not determine their geometry. Mechanical analysis uses the elasticity theory. It has shown the importance of several points: the function of the tranverse arches which support the barrel vault, the role of the mullion of a double window, the important constraints that appear around the bell hole, the Angevin vaults working as cupolas.

Keywords: Medieval construction - XIIth century - XIIIth century - Anjou - vault mechanics - metrology.