



HAL
open science

Archives de Roland Simounet

Valérie Aigrot, Nathalie Roulleau, David Peyceré

► **To cite this version:**

Valérie Aigrot, Nathalie Roulleau, David Peyceré. Archives de Roland Simounet : répertoire établi en avril 1997, carnets, musée de Villeneuve-d'Ascq, musée de Nemours. [Rapport de recherche] 0961/97, Institut Français d'Architecture (IFA); Bureau de la recherche architecturale (BRA). 1997, pp. 86. hal-03102024

HAL Id: hal-03102024

<https://hal.science/hal-03102024>

Submitted on 7 Jan 2021

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.

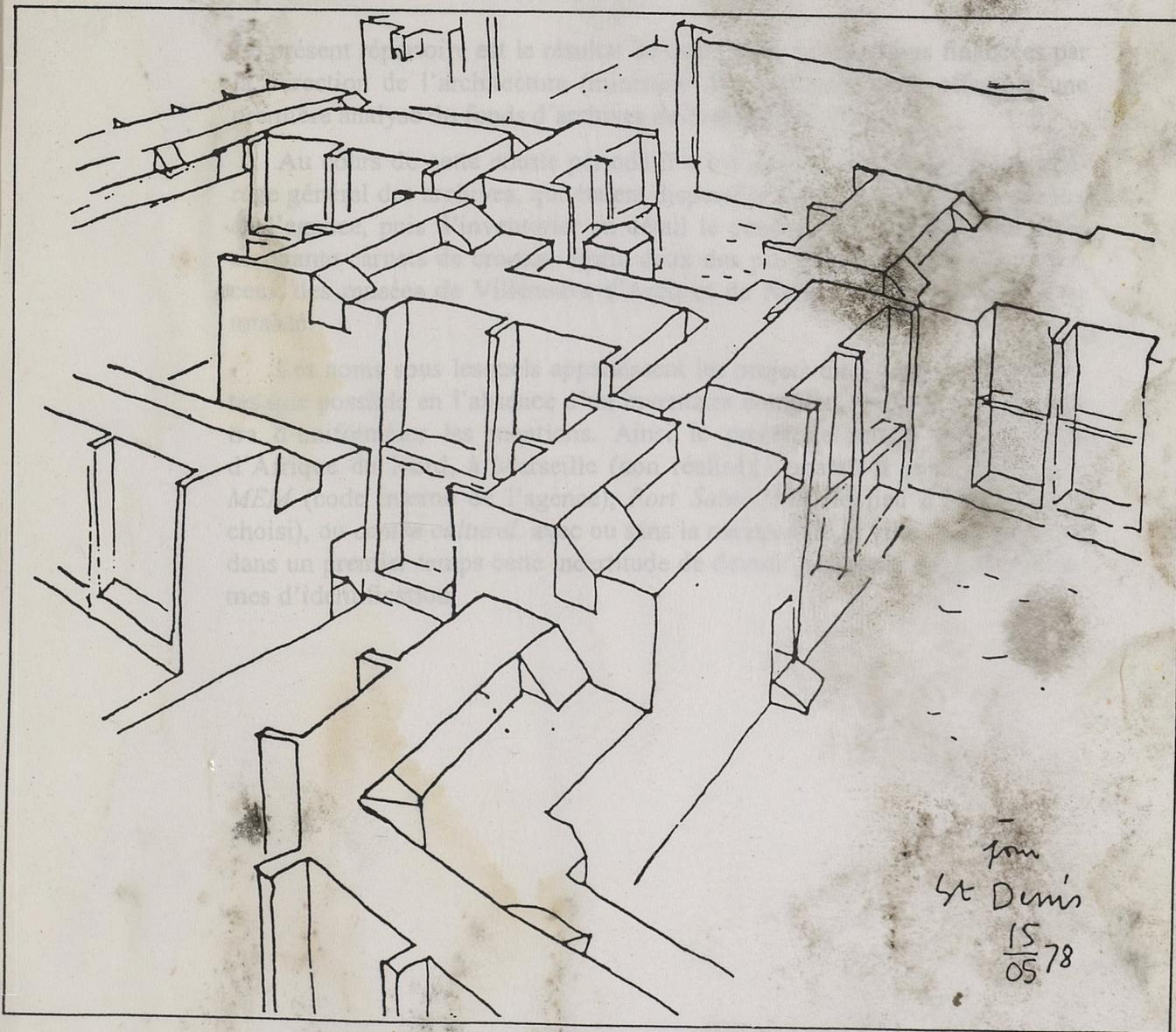
961

INSTITUT FRANÇAIS D'ARCHITECTURE

ARCHIVES DE
ROLAND SIMOUNET

RÉPERTOIRE

établi en avril 1997 :
carnets,
musée de Villeneuve-d'Ascq,
musée de Nemours



répertoire établi par Valérie Aigrot et Nathalie Rouleau,
sous la direction de David Peyceré
dactylographié par Dominique Ragain-Gil

réalisé grâce au soutien du Ministère de la Culture, Direction de l'Architecture

1997

INTRODUCTION

CLASSEMENT CHRONOLOGIQUE DES PROJETS

Le présent répertoire est le résultat de deux mois de vacances financées par la Direction de l'architecture (ministère de la culture) pour effectuer une première analyse du fonds d'archives de Roland Simounet.

Au cours de cette courte période il a été possible de procéder au repérage général des archives, qui étaient dispersées dans l'ensemble des locaux de l'agence, puis d'inventorier en détail le contenu des quelque deux cent cinquante carnets de croquis. Enfin deux des principaux dossiers de projet, ceux des musées de Villeneuve-d'Ascq et de Nemours, ont été décrits en totalité.

Les noms sous lesquels apparaissent les projets cités sont aussi explicites que possible en l'absence d'un inventaire complet. Seul celui-ci permettra d'uniformiser les mentions. Ainsi le projet de musée des rapatriés d'Afrique du Nord, à Marseille (non réalisé), apparaît-il sous les formes *MEM* (code interne de l'agence), *Fort Saint-Jean* (le lieu d'implantation choisi), ou *centre culturel*, avec ou sans la mention de la ville. Il semble que dans un premier temps cette incertitude de devrait pas poser de gros problèmes d'identification.

ARCHIVES DE ROLAND SIMOUNET
CLASSEMENT CHRONOLOGIQUE DES PROJETS

- 1957-1958 Cité de 200 logements à Djenan el Hassan
- 1958 Tingad (Algérie) : nouvelle agglomération
- 1961-1962 Kouba (Algérie) : 2 monastères
- 1962-1970 **CLASSEMENT CHRONOLOGIQUE DES PROJETS**
années 1960 Neuf-Brisach (Haut-Rhin)
- 1962-1964 Bois-d'Arc **représentés dans les archives de l'agence**
- années 1960 Volgelshcim (Haut-Rhin) : 40 projets
- 1963-1967 Touggourt (Algérie) : lycées
- 1963-1967 Sahara algérien : 200 écoles
- 1963-1964 Ambassade de France en Algérie
- 1964-1965 Cesson : logements individuels groupés
- 1966 Wittenheim : 80 logements
- 1970-1971 Jävisy : centre des impôts
- 1970-1973 Paris : palais abbatial de Saint-Germain-des-Prés
- 1972 Belle-Ile-en-Mer (Morbihan) : maison Galliero
- 1972-1975 Centre de prévention et de traitement
- 1973-1976 Evry-Courcouronnes (Essonne) : 100 logements
- 1973-1976 Domerc : maison au Pradet
- 1973-1978 Grenoble (Isère) : Unité pédagogique d'architecture
- 77 Arpajon (Essonne) : centre des impôts
- 1976-1979 Cergy-Pontoise (Val-d'Oise) : 128 logements
- 1978-1983 Villeneuve-d'Ascq (Nord) : musée d'art moderne
- 1979-1981 Nogent-sur-Seine (Seine-et-Marne) : Musée de la potterie
- 1980-1982 Villepinte (Seine-Saint-Denis) : 127 logements
- 1981-1985 Paris : musée Picasso
- 1983-1985 Erury-Merogis (Val-de-Marne) : maison de retraite
- 1983-1985 Saint-Denis (Seine-Saint-Denis) : 300 logements au chevet de la basilique
- 1984-1988 Villejuif (Val-de-Marne) : 91 logements
- 1984 Écart de Jouques
- 1985-1987 C + S (appartement Picasso)
- 1986 Saint-Denis (Seine-Saint-Denis), carrefour Pleyel : restructuration urbaine

ARCHIVES DE ROLAND SIMOUNET
CLASSEMENT CHRONOLOGIQUE DES PROJETS

- 1957-1958 Cité de 200 logements à Djenan el Hassan
 1958 Timgad (Algérie) : nouvelle agglomération
 1961-1962 Kouabri (Algérie) : 2 monatères
 1962-1970 Tananarive (Madagascar) : résidence universitaire
 années 1960 Neuf-Brisach (Haut-Rhin)
 1962-1964 Bois-d'Arcy (Yvelines) : 650 logements
 années 1960 Volgelsheim (Haut-Rhin) : 40 projets
 1963-1967 Touggourt (Algérie) : lycées
 1963-1967 Sahara algérien : 200 écoles
 1963-1964 Ambassade de France en Algérie
 1964-1965 Cesson : logements individuels groupés
 1966 Wittenheim : 80 logements
 1970-1971 Juvisy : centre des impôts
 1970-1973 Paris : palais abbatial de Saint-Germain-des-Prés
 1972 Belle-Île-en-Mer (Morbihan) : maison Galliero
 1972-1975 Centre de prévention et de traitement
 1973-1976 Évry-Courcouronnes (Essonne) : 100 logements
 1973-1976 Domerc : maison au Pradet
 1973-1978 Grenoble (Isère) : Unité pédagogique d'architecture
 ??? Arpajon (Essonne) : centre des impôts
 1976-1979 Cergy-Pontoise (Val-d'Oise) : 128 logements
 1978-1983 Villeneuve-d'Ascq (Nord) : musée d'art moderne
 1979-1981 Nemours (Seine-et-Marne) : Musée de la préhistoire
 1980-1982 Villepinte (Seine-Saint-Denis) : 127 logements
 1981-1985 Paris : musée Picasso
 1983-1985 Fleury-Mérogis (Val-de-Marne) : maison de retraite
 1983-1985 Saint-Denis (Seine-Saint-Denis) : 300 logements au chevet de la basilique
 1984-1988 Villejuif (Val-de-Marne) : 91 logements
 1984 Écart de Jouques
 1985-1987 C + S (appartement Picasso)
 1986 Saint-Denis (Seine-Saint-Denis), carrefour Pleyel : restructuration urbaine

- 1987-1991 Paris, ZAC Citroën : 137 logements
- 1988-1991 Saint-Denis (Seine-Saint-Denis) : 50 logements
- 1989-1992 Villejuif (Val-de-Marne) : 2^e tranche de 103 logements. Commerces et crèches
- 1990 Agadir (Maroc) : Palais des congrès et Front de mer
- 1990 Avignon (Vaucluse) : centre international d'accueil
- 1990-1992 Marseille (Bouches-du-Rhône) : école de danse
- 1991 Le Mont-Saint-Michel (Manche) : aménagement des abords
- 1991 Le Mont-Saint-Michel (Manche) : 3 hôtels
- 1991 Rennes (Ille-et-Vilaine) : restructuration de l'université
- 1991 Rennes (Ille-et-Vilaine) : immeuble d'habitation
- 1991 Saint-Denis (Seine-Saint-Denis) : zone à urbaniser « Confluence »
- 1991-1992 Rennes (Ille-et-Vilaine) : technopole Atalante-Beaulieu
- 1992 Avignon (Vaucluse) : concours pour la nouvelle université (casernes des Passagers)
- 1992 Fort Saint Jean à Marseille : centre culturel (musée des rapatriés)
- 1994 Saint-Denis (Seine-Saint-Denis) : Pleyel (1^{re} tranche)
- 1994 Paris : ZAC Tage-Kellermann, 60 logements
- 1995 Paris : jardin
- 1992-1996 Saint-Denis (Seine-Saint-Denis) : 80 logements
- 1992-1996 Rennes (Ille-et-Vilaine) : 80 logements standing
- 1992-1996 Saint-Denis (Seine-Saint-Denis) : Pleyel, 37 logements et commerces
- 1995-1996 Paris : extension du musée Picasso
- 1995-1996 Grenoble (Isère) : extension de l'école d'architecture
- 1995-1996 Saint-Denis (Seine-Saint-Denis) : Pleyel (place Basse)

ARCHIVES DE ROLAND SIMONNET :
RÉPERTOIRE.

CARNETS ET
DOSSIERS D'ŒUVRES

II

229 IFA 1

Dossiers d'œuvres.

1. Travaux d'architecture, 1952-1960.

**CARNETS DE CROQUIS
ET DOSSIERS D'ŒUVRES**

Dois demander son inscription au Musée de Villenay, Alger.

2. Deux plaquettes sur les travaux d'urbanisme et d'architecture de R. Simonnet, 1952-1962, 1952-1964.

229 IFA 2

Carnets de croquis.

N° 1. Décembre 1961-février 1964.

Bois-d'Arcy.

Noisy.

N° 2. 1963-1966.

Marseille, août 1963.

Videlles, 1964-1965.

Ambassade de France à Alger, février 1964.

Cesson, mai 1964, juin 1964, juin 1966.

Ker (stade sur l'eau), août 1965.

Tananarive, septembre 1964-mai 1965.

Relevé de l'agence, 182, boulevard St-Germain, Paris.

N° 3. 1963.

Château d'eau.

N° 4. 1963-1964.

Marseille, août 1963.

Bois d'Arcy, août 1963.

Sahara, octobre 1963.

Ambassade de France, octobre 1963-novembre 1963.

Projet non identifié, février 1964.

N° 5. 1963-1964.

Devant d'un arbre, mars 1963.

Sahara, mars 1964.

N° 6. 1964-1968.

**ARCHIVES DE ROLAND SIMOUNET :
RÉPERTOIRE.**

**I. CARNETS ET
DOSSIERS D'OEUVRES.**

229 IFA 1

Dossiers d'œuvres.

1. Travaux d'architecture, 1952-1960.

Dossier constitué par R. Simounet en 1960 pour demander son inscription au tableau de l'ordre des architectes. Travaux en Algérie.

2. Deux plaquettes sur les travaux d'urbanisme et d'architecture de R. Simounet, 1952-1962, 1952-1964.

229 IFA 2

Carnets de croquis.

N° 1. Décembre 1961-février 1964.

Bois-d'Arcy.

Noisy.

N° 2. 1963-1966.

Marseille, août 1963.

Videlles, 1964-1965.

Ambassade de France à Alger, février 1964.

Cesson, mai 1964, juin 1964, juin 1966.

Ker (stade sur l'eau), août 1965.

Tananarive, septembre 1964-mai 1965.

Relevé de l'agence, 182, boulevard St-Germain, Paris.

N° 3. 1963.

Château d'eau.

N° 4. 1963-1964.

Marseille, août 1963.

Bois d'Arcy, août 1963.

Sahara, octobre 1963.

Ambassade de France, octobre 1963-novembre 1963.

Projet non identifié, février 1964.

N° 5. 1963-1964.

Dessin d'un arbre, mars 1963.

Sahara, mars 1964.

N° 6. 1964-1968.

Cesson, octobre 1964.
 Rennes, février 1965.
 Le Mans, février 1965.
 Nantes, avril 1966.
 Bois-d'Arcy, novembre 1966, décembre 1967.
 Église, février 1968 ; Vauban, Neuf-Brisach (V + NB).
 Jeu de toits, février 1968.

229 IFA 2 (suite)

N° 7. 1965-1967.

Sahara, septembre 1965.
 Tananarive, septembre 1965.
 Chantilly, octobre 1965.
 Non identifié, janvier 1967.

N° 8. 1965-1966.

Videlles, août 1965.
 Chantilly, août 1968.
 Cuisine L et T, juillet 1966.

N° 9. 1966-1967.

Tananarive, février 1966, mars 1967.
 Études de briques, 1967.
 Bibliothèque des Halles.

N° 10. 1966-1967.

Tananarive, septembre 1966.
 Mantes, non daté.
 Wittenheim, septembre 1966.
 Aix, mai 1967.
 Cesson, mai, octobre 1967.

N° 11. 1967.

Cesson, juin 1967.
 Videlles, juin 1967.
 Tananarive, juin 1967.
 FRA, juillet 1967.
 Appareillage Corse, réglage, non daté.

N° 12 (feuilles). 1967.

Études diverses.
 Wittenheim.

N° 13. 1967-1968.

Cesson, non daté.
 Tananarive, octobre 1967.
 Non identifié, décembre 1967.
 Corse, décembre 1967.
 Église Vauban, Neuf-Brisach (V + NB).

N° 14. 1968.

Morphologies, septembre 1968. *les-Prés, rénovation du palais.*
 Plans logements, septembre 1968.
 Galerie technique, octobre 1968.
 Bibliothèque, octobre 1968.
 Alsace, novembre 1968.
 Centre urbain. *ur + jardin.*

229 IFA 2 (suite)

N° 15. 1968-1969.

Vauban, Neuf-Brisach (V + NB), mars-avril 1968 (Volgelsheim).
 Château d'Isembourg à Rauffach, juillet 1968.
 Expo Maya, juillet 1968.
 ZU SCI plein air, juillet 1968.
 Beaumartin, septembre 1968.
 Morphologie, octobre 1969.

N° 16. 1969.

Croquis de montagne, non daté.
 CIL, septembre 1969.

N° 17. 1969.

Cunay, janvier 1969-avril 1969.
 PLR, février 1969.
 Château d'eau, février 1969.
 Semelshr, non daté.
 BDH, non daté.
 Galerie technique, non daté.

N°18. 1970.

ZAC, non daté.
 Centre urbain Z, juin 1970-août 1970.
 Centre social ZU, juin 1970.
 Saint-Germain-des-Prés, Palais abbatial, juillet 1970.

229 IFA 3

N° 19. 1970.

ZAC immeuble en franchise, juin 1970.
 Rue de l'Abbaye, juillet 1970.
 27, rue Bonaparte, juillet 1970.

N° 20. 1970.

Corse.

N°21. 1970-1971.

PLR, octobre 1970.
 Palais abbatial, novembre 1970.
 ZAC, novembre 1970.
 Corse, novembre 1970.

N°22. 1971.

Palais abbatial, Saint-Germain-des-Prés, reconversion du palais.

229 IFA 3 (suite). N° 23. 1971.

Domerc.
Sous-station +.
Transformateur + jardin.

N° 24. 1971.

Domerc I, mai, juin 1971.
Marcay, mai 1971.
PLR, mai 1971.
Domerc II, août 1971.

N° 25. 1971.

Domerc I, mai-juillet 1971.
HLM inversables.

N° 26. 1971.

Pinia.
Domerc II, août 1971.
Blasselle annexe, juin 1971.

N° 27. 1971.

Corse.
L. C. à l'Abbaye.
Domerc I, mai 1971.
L'Île d'or, avril 1971.

N° 28. 1971.

Domerc (Sanary), août 1971.

N° 29. 1971-1972.

Groupes I et II, octobre 1971.
ZAC.
Sous-station IV.
Blasselle.
Pi (Pima), éclairages.
Détails Sanary, janvier 1972.

N° 30. 1971-1972.

Domerc II au Pradet.

N° 31. 1971-1977.

Palais abbatial.
Piscine à Giens.

Grenoble.

N° 32. 1972.

Granges.
Domerc.
Saur.
Maison Galliero à Belle-Île-en-Mer.

N° 33. 1972.

Évry.
Domerc à Sanary, juin-août 1972.
Galliero.

N° 34. 1972.

Domerc, juillet 1972.
Galliero.
Bartenheim.
Le Pradet, Domerc II, octobre 1972.

N° 35. 1972.

CU, février 1972 (Volgelsheim).
P a B, mars 1972.
Domerc, mars 1972.
Évry (1^{er} croquis), mars 1972.

N° 36. 1972.

Barthenheim, octobre 1972.
Nice La Madeleine, texte, avril 1974.

N° 37. 1972-1975.

Granges.
Palais abbatial, Saint-Germain-des-Prés, février 1972.
Centre urbain, février 1972.
Sanary, février 1972.
Grenoble, novembre 1974.
Nemours, novembre 1974.
Domerc II, décembre 1974.
Alsace.

N° 38. 1972-1978.

Évry, mars 1972, avril 1972.
Villeneuve-d'Ascq, octobre 1978.

N° 39. 1972-1973.

Domerc III, au Pradet, décembre 1972.
Semclohr II et III.
EVO 618 (Volgelsheim).

N° 40. 1973-1974.

Évry I.
Grenoble.
ZU.
Évry II.

N° 41. 1973-1974.

Domerc III, juin 1973-juillet 1973.
Évry I.
Grenoble, septembre 1973, novembre 1973.
Évry II, mars 1974.

N° 42. 1973-1980.

Maison de la Terre.

N° 43. 1974.

Nice.
Grenoble II, octobre 1974.
ZVO 590, plantations (Volgelsheim).
Alsace, juin 1974.
Strasbourg, octobre 1974.

N° 44. 1974.

ZVO 590, chaufferie centrale, juillet 1974.
ZVO 590, bâtiment Y, mai 1974.
Grenoble II.
Musée de Nemours, novembre 1974.
Visite Courcouronnes, Évry, mai 1974-août 1974.
Nice La Madeleine, texte, avril 1974.

N° 45. 1974.

Nemours.
Grenoble II, décembre 1974.
Domerc IV, décembre 1974.

N° 46. 1974.

Grenoble, mars 1974.
Évry II, mars-avril, juillet 1974.
Domerc, mars 1974.

N° 47. 1974.

Évry II, mars-avril 1974.
Ribs, mars-avril 1974.
Nice, mai-juin 1974.
Orsel, mai 1974.

N° 48. 1974.

Évry, septembre 1974.

N° 49. 1975.

Grenoble II, mars-avril 1975.

N° 50. 1975.

Nemours, mai 1975.

Long Rayage ind., mai-juin 1975.

SCIC Alsace, mai 1975.

N° 51. 1975.

Long Rayage, juin 1975.

Grenoble, juillet 1975.

Le Pradet, juillet 1975.

N° 52. 1975.

Grenoble, concierge, juillet 1975.

N° 53. 1975.

Domerc, Le Pradet, octobre 1975.

Nemours, décembre 1975.

229 IFA 5

N° 54. 1975-1976.

Long Rayage II, janvier 1976.

Cergy, janvier 1976.

N° 55. 1975-1976.

Domerc Le Pradet.

Nemours, décembre 1975.

Long-Rayage II.

N° 56. 1976.

Grenoble, nouveau front sud, février 1976.

Giens, mars 1976.

Nemours, mars-avril 1976.

Musée Picasso, jardin.

Croquis d'horloges à eau chinoise, février 1976.

N° 57. 1976.

Saint-Denis, front ouest, septembre 1976.

CIAM (texte), octobre 1976.

Ribs II, octobre 1976.

Lyon/Grenoble.

Nemours, novembre 1976.

Dessin de l'Agave, juillet 1976.

229 IFA 5 (suite)

229 IFA 5 (suite)

N° 58. 1976.

Saint-Denis Basilique, 1er croquis, août-septembre 1976.

Ribs II.
Palais abbatial, août 1976.
Nemours, front ouest.

N° 59. 1976.

Musée Picasso.
AF Rowe.
Saint-Denis.
Cergy, décembre 1976.

N° 60. 1976-1977.

Alsace (réunion).
Ribs II, novembre 1976.
Nemours, décembre 1976-janvier 1977.
Domerc, janvier 1977.
Palais abbatial, août 1977.
Saint-Denis VIII, octobre 1976-août 1977.
Musée Picasso, janvier 1977.

N° 61. 1976-1979.

Domerc, 1976.
Saint-Denis, avril 1979.
Dessin Agave, juillet 1976.

N° 62. 1977.

Texte fondation Le Corbusier, mai 1977.
Texte, Sodedat à Saint-Denis, juin 1977.
Évry.

N° 63. 1977.

Saint-Denis II, août 1977.
Domerc (abord), août 1977.

N° 64. 1977.

Nemours.
Saint-Denis, novembre 1977.
Évry (texte).

N° 65. 1977-1978.

Notre-Dame de la Mer, juin 1978.
Saint-Denis II, août 1977.
Relevé Nancy, août 1977.
Nemours, menuiseries extérieures.

N° 66. 1977-1978.

Musée Picasso, décembre 1977.
Lille, janvier 1978.
Saint-Denis, septembre 1977.

N° 67. 1977-1978.

Lille II, octobre-décembre 1977.
Musée Picasso, décembre 1977.
Giens, octobre 1977.
Palais abbatial à Avignon, février 1978.
Musée Picasso, contrat I (texte), février 1978.

N° 68. 1977-1978.

Grenoble, 1977.
Nemours, 1977.
Lille, Musée MAM, 1978.
Zup Wolgensheim.
Esquisse de la maison individuelle Famille Becht.
Croquis de voyage en Bretagne ou Normandie, septembre 1978.
Visage de Yvette Langrand, 19 septembre 1978.

N° 69. 1977.

Saint-Denis, janvier 1977;.
Musée Picasso, février 1977.
Domerc, mai 1977.
Vitry, mai 1977.

N° 70. 1977.

Arpajon, mai 1977.

N° 71. 1977.

Nemours (vitrines), octobre 1977.
Musée Picasso.

N° 72. 1977.

Saint-Denis, juin 1977.

N° 73. 1977.

Grenoble.
Lille.
Musée Picasso.
Saint-Denis.

N° 74. 1977-1978.

Musée Picasso (comptes rendus de réunions).
Musée d'art moderne de Villeneuve-d'Ascq, décembre 1977-janvier 1978.

229 IFA 5 (suite)

N° 75. 1978.

AGR 614, Grenoble.

229 IFA 6

N° 76. 1978.

Musée Picasso, mars 1978.

musée d'art moderne de Villeneuve-d'Ascq, mai 1978.
Musée Picasso, mars 1978.
Saint-Denis, mars 1978.
Nemours, août 1978.

N° 77. 1978.

Lille 652, musée de Villeneuve d'Ascq, juin 1978.
AF Rowe.
Notre-Dame de la Mer.

N° 78. 1978.

Lille. Musée d'art moderne de Villeneuve d'Ascq.
Îlot 51.
Musée Picasso, juillet 1978.
Saint-Denis, octobre 1978.

N° 79. 1978.

Palais abbatial (sécurité), août 1978.

N° 80. 1978.

Lille III, novembre 1978.
Musée Picasso.

N° 81. 1978.

Arpajon, novembre 1978.
Villeneuve-d'Ascq, musée d'art moderne, novembre 1978.
Nemours, novembre 1978.
Grenoble, novembre 1978.

N° 82. 1978-1979.

Villepinte, décembre 1978.
Lille, musée d'art moderne, janvier 1979.
Îlot 50.
Musée Picasso.

N° 83. 1978-1979.

Lille, îlot 51, février 1979.
Orsay, mars 1979.
Nancy, 1978.

N° 84. 1979.

Musée d'art moderne de Villeneuve-d'Ascq, février 1979.
Nemours, février 1979.
Texte sur AGR 614 (Grenoble), février 1979.
AGR 614, mars 1979.

N° 85. 1978-1979.

Musée Picasso, mars 1978.

Villeneuve-d'Ascq, musée d'art moderne, juin-juillet 1979.

N° 86. 1979.

Le Caire, avril-mai 1979.

Orsay, juin 1979.

N° 87. 1979.

Musée Picasso (texte), juin 1979.

Villepinte, juin 1979.

Nemours, juin 1979.

Lisbonne, juin 1979.

N° 88. 1979.

Musée d'art moderne de Villeneuve-d'Ascq, octobre-novembre 1979.

Zurich, octobre 1979.

Saint-Denis, octobre 1979.

N° 89. 1979-1980.

Musée d'art moderne de Villeneuve-d'Ascq, novembre-décembre 1979.

Saint-Denis, janvier 1980.

Nemours, mobilier, mars 1980.

N° 90. 1980.

Saint-Denis, avril-juillet 1980.

Nouveau moulin.

N° 91. 1980.

Musée Picasso, août 1980.

Saint-Denis, moulin, juillet 1980.

Paysage sur Stromboli.

N° 92. 1980.

Saint-Denis, août 1980.

Musée d'art moderne de Villeneuve-d'Ascq, jardin de sculptures, août 1980.

Nemours, portail, septembre 1980.

Ouaga Koubri, septembre 1980.

N° 93. 1980.

Koubri, septembre 1980.

Musée Picasso, septembre-octobre 1980.

Saint-Denis, septembre 1980.

La Maillière, décembre 1980.

N° 94. 1980-1981.

Le Caire, décembre 1980.

Musée Picasso, juin-septembre 1981.

N° 95. 1981.

Barhain (textes + croquis), juin 1981.

N° 96. 1981-1982.

Florence, janvier 1981.

Médine, mars 1981.

Saint-Denis, octobre 1981.

Musée Picasso, décembre 1981-mars 1982.

N° 97. 1981.

Musée Picasso, novembre 1981.

N° 98. 1982.

Namia, mars 1982.

Koubri II, février 1982.

N° 99. 1982.

Saint-Denis.

Nemours, avril 1982.

N° 100. 1982.

Musée Picasso, mai 1982.

Portraits.

N° 101. 1982.

Notes sur le musée Picasso, octobre 1982.

Lille (texte), octobre 1982.

Namia, décembre 1982.

229 IFA 7

N° 102. 1982.

Musée Picasso.

Saint-Denis, février 1982.

Évry, janvier 1982.

N° 103. 1982.

Musée Picasso, mai 1982.

Vitry.

Saint-Denis, juin 1982.

229 IFA 7 (suite)

229 IFA 7 (suite)

N° 104. 1982.

Musée Picasso, juin 1982.

N° 105. 1982.

Musée d'art moderne de Villeneuve-d'Ascq, juillet-août 1982.

Saint-Denis, juillet-août 1982.

N° 106. 1982.

Saint-Denis, août 1982.

Fleury, août 1982.

Namia, août 1982.

N° 107. 1982.

Fleury.

Saint-Denis, novembre 1982.

N° 108. 1982.

Fleury, octobre 1982.

Musée Picasso, octobre 1982.

N° 109. 1982.

Saint-Denis, août 1982.

Koubri, août 1982.

N° 110. non daté

Nemours, croquis extérieurs.

N° 111. 1982-1983.

Musée Picasso, jardins, décembre 1982.

Villeneuve-d'Ascq, Musée d'art moderne, clôture.

Villejuif, janvier 1983.

N° 112. 1982.

Musée d'art moderne, Villeneuve-d'Ascq, juin 1982.

Epevry, Fleury-Mérogis, juin 1982.

Musée Picasso, juin 1982.

N° 113. 1983.

Villejuif, concours.

Mosquée ?

Lille, lumière.

Ribs, avril 1983.

229 IFA 7 (suite)

N° 114. 1983.

Villejuif, concours.

Fleury.

N° 115. 1983.

Musée Picasso, mai 1983.

Yémen, mai 1983.

N° 116. 1983.

Texte pour Fourges, juillet 1983.
Musée Picasso, juillet 1983.

N° 117. 1983.
Nemours, juillet 1983.
Musée Picasso, juillet 1983.

N° 118. 1983.
Non identifié, août 1983.

N° 119. 1983.
Atelier d'artiste.
Musée Picasso, août 1983.

N° 120. 1983.
Marseille, septembre 1983.
Musée Picasso, détails, septembre 1983.
Saint-Denis II.
Villejuif, octobre 1983.

N° 121. 1983.
Marseille, septembre 1983.
Musée Picasso, jardins de sculptures.

N° 122. 1983.
Villejuif.
Marseille, octobre 1983.

N° 123. 1983.
Saint-Denis II, octobre 1983.
Musée Picasso, éclairage, octobre 1983.
Marseille, novembre 1983.
Textes sur Jouques, octobre 1983.

N° 124. 1983.
Fleury.
Nawia.

229 IFA 7 (suite) N° 125. 1983-1984.
Villejuif, décembre 1983.
Musée Picasso, janvier-avril 1984.

N° 126. 1983-1984.
Jouques.
Pierrefitte, janvier 1984.
Saint-Denis, décembre 1983.

N° 127. 1983-1984.

Pierrefitte, février 1984.
Musée Picasso, février 1984.
Musique Pleyel, février 1984.

N° 128. 1983-1986.

Belrew, texte, mars 1983.
Marseille, mars 1986.

N° 129. 1983-1984.

Villejuif.
La Villette.
Musée Picasso, juin 1984.
Musée d'art moderne, Villeneuve-d'Ascq.

N° 130. 1984.

Musée Picasso, janvier 1984.
Pleyel, janvier 1984.

N° 131. 1984.

Jouques.
Musée Picasso, avril 1984.

N° 132. 1984.

Jouques.
La Villette, logements, mai 1984.

N° 133. 1984.

La Villette, logements, mai 1984.

N° 134. 1984.

La Villette, juin 1984.
Musée Picasso, septembre 1984.

229 IFA 7 (suite)

N° 135. 1984.

Musée Picasso, éclairage, août 1984.
Saint-Denis, septembre 1984.

N° 136. 1984.

Musée Picasso.
Estaque, octobre 1984.

N° 137. 1984.

C + S, novembre 1984.

229 IFA 8

N° 138. 1984.

Mobilier.

N° 139. 1985. Marseille centre culturel.

Marseille.
Musée Picasso.

N° 140. 1985. le centre culturel.

C + S, bibliothèque, janvier 1985.

N° 141. 1985. bains.

Musée Picasso, grille dans cour, février 1985.

C + S.

Texte pour la *Revue de l'art*.

N° 142. 1985.

Parquet C + S, avril 1985.

MEM, Marseille centre culturel (Fort Saint-Jean), mai 1985.

N° 143. 1985.

Musée Picasso : étude sur la couleur, avril 1985.

N° 144. 1985. août 1985.

Marseille II, juin 1985.

N° 145. 1985.

DAM.

C + S, juin 1985.

Marseille, juin 1985.

C + S, portes intérieures, fourneau, janvier 1986.

229 IFA 8 (suite)

N° 146. 1985.

C + S, salle à manger, août 1985.

Pleyel à Saint-Denis, août 1985.

229 IFA 8 (suite)

N° 147. 1985.

C + S, bains, décembre 1985.

Marseille (notes), décembre 1985.

Parc et jardin (notes), novembre 1985.

N° 148. 1985. Marseille, centre culturel, septembre 1986.

Cap-Ferrat.

C + S.

Fort Saint-Jean, Marseille, centre culturel, septembre 1986.

N° 149. 1985.

Marseille II.

MEM. Marseille centre culturel.

Agen.
Pleyel.

N° 150. 1985.

MEM. Belvédère, Marseille centre culturel.

N° 151. 1985.

C + S plafond.
MEM, Marseille centre culturel.

N° 152. 1985.

C + S salle de bains.
Marseille studio.

N° 153. 1985.

C + S.

N° 154. 1985.

DAM, Marseille école de danse, juillet 1985.
Musée Picasso, août 1985.
C + S, buffet.

N° 155. 1985.

C + S, bains, août 1985.

N° 156. 1985-1986.

Marseille.
C + S.

N° 157. 1986.

C + S, portes intérieures, fourneau, janvier 1986.

229 IFA 8 (suite)

N° 158. 1986.

Marseille.
C + S, accessoires bains.

N° 159. 1986.

Strasbourg, mai 1986.

N° 160. 1986.

Fort Saint-Jean, Marseille, centre culturel, septembre 1986.

N° 161. 1986.

Fort Saint-Jean, Marseille, centre culturel, septembre 1986.

N° 162. 1986.

Fort Saint-Jean, Marseille, centre culturel, septembre 1986.

Rezé, septembre 1986.

Vil I.

Vil II.

N° 163. 1986.

Saint-Jean, Marseille, centre culturel, septembre 1986.

Vil I, septembre 1986.

Vil II, septembre 1986.

N° 164. 1986.

Vil II, octobre 1986.

Fort Saint-Jean, octobre 1986.

Affiche Ifa, octobre 1986.

C + S.

Finitions Saint-Denis.

N° 165. 1986.

Strasbourg.

N° 166. 1986.

Strasbourg, hôtel de ville.

N° 167. 1986-1987.

C + S, novembre 1986.

Vil II, décembre 1986.

Texte, AKAA 1^{re}, décembre 1986.

Saint-Denis.

Saint-Jean, janvier 1987.

229 IFA 8 (suite)

N° 168. 1982-1987.

Saint-Denis, septembre 1982.

Club, avril 1987.

Texte festival d'automne.

Musée Picasso, vitrine.

Vil 2, mai 1987.

N° 169. 1987.

Vil 2, janvier 1987.

N° 170. 1987.

Vil 2, mars 1987.

Croquis IFA.

Citroën.

N° 171. 1987.

Haïti, avril 1987.

N° 172. 1987.

Vil 2, mai 1987. projet d'hôtel (texte).

Rodin, mai-juin 1987.

N° 173. 1987.

Rodin.

Vil 2, juin 1987.

229 IFA 9

N° 174. 1987.

Boulogne 1 et 2, juillet-août 1987. livre « architectures d'Outre-mer ».

Mairie de Vil, juillet 1987.

N° 175. 1987.

Citraën, novembre 1987.

Pleyel, novembre 1987.

Rodin, décembre 1987.

C + S finitions.

N° 176. 1987.

Études non identifiées, septembre 1987.

N° 177. 1987.

V2, avril 1987. hôtel, mars 1989.

Via bois, septembre 1987.

Citraën, septembre 1987.

229 IFA 9 (suite)

N° 178. 1987-1988.

Citraën 2, décembre 1987-septembre 1988.

229 IFA 9 (suite)

N° 179. 1988.

Sefri-Cime, février 1988.

N° 180. 1988.

Belém (Lisbonne), avril 1988.

Auvers, avril 1988.

N° 181. 1988.

Belem, mai 1988.

Auvers, juin 1988.

N° 182. 1988.

Belém, mai 1988. (texte), mai 1989.

N° 183. 1988.

Belém. Saint-Michel, juin 1989.

N° 184. 1988.

Auvers-sur-Oise, projet d'hôtel (texte).

N° 185. 1988-1989.

Tours.

N° 186. 1988-1989.

Citroën « Les Fougères ».

Compte rendu de réunion.

Note concernant travaux pour le livre « architectures d'Outre-mer ».

Pleyel.

Tours.

N° 187. 1988-1989.

Auvers, avril 1988.

Belém, mars 1988.

N° 188. 1988-1989.

Auvers, novembre 1988.

LZA Saint-Denis logements, novembre 1988.

N° 189. 1988-1989.

Mont-Saint-Michel, mars 1989.

LZA Saint-Denis.

Musée Picasso, janvier 1989.

229 IFA 9 (suite)

N° 190. 1989.

Berlin, février 1989.

Tours.

Pleyel, février 1989.

Fort Saint-Jean, mars 1989.

N° 191. 1989.

Saint-Denis Pleyel, avril 1989.

Texte sur Nemours.

Bibliothèque de France, jury.

N° 192. 1989.

Tours.

Pleyel, mai 1989.

Mont-Saint-Michel, mai 1989.

Fort Saint-Jean (texte), mai 1989.

N° 193. 1989.

Mont-Saint-Michel, juin 1989.

La passerelle.

Auvers.
Marseille, Fort-Saint-Jean, mai 1989.

N° 194. 1989.

Tours, juillet 1989.
Mont-Saint-Michel.

N° 195. 1989.

MEM, Fort Saint-Jean.
Les Fougères, juin 1989.
Pleyel, logements, juillet 1989.
Auvers, juillet 1989.

N° 196. 1989.

MEM, Fort Saint-Jean, septembre 1989.
Angers.
LOJ, Saint-Denis logis transport.
Petit.
Pleyel, juillet 1989.
Bibliothèque de France, jury.

N° 197. 1989.

Fougères, août 1989.

N° 198. 1989.

Angers, septembre 1989.
Fougères.

229 IFA 9 (suite)

N° 199. 1989.

Angers, octobre 1989.
Mont-Saint-Michel, octobre 1989.

N° 200. 1989.

Marseille.
Mont-Saint-Michel, novembre 1989.
Texte : poésie sur Alger.

N° 201. 1989.

LZA, Saint-Denis.
AMT.
Auvers, décembre 1989.
MEM, décembre 1989.

N° 202. 1989.

Mont-Saint-Michel, octobre 1989.
Autoport, éclairage naturel.

229 IFA 10

N° 203.1989-1990.

MEM.
Agadir 2.
Cofracib.

N° 204. 1989-1990.

VIZ, Villejuif 2, 103 logements, novembre 1989.
Auvers.
Marseille, novembre 1989.

N° 205. 1990.

Mont-Saint-Michel, février 1990.
Auvers, février 1990.
Avignon, février 1990.
VIZ, janvier 1990.
Fougères, février 1990.

N° 206. 1990.

AVA 752, Avignon, février 1990.
BIL 756, Bilbao, février 1990.
VAM 754, Mont-Saint-Michel, hôtel.

N° 207. 1990.

Mont-Saint-Michel, mars 1990.

N° 208. 1990.

Château de Josselin, avril 1990.
Saint-Denis, avril 1990.
Rennes, avril 1990.

229 IFA 9 (suite)

N° 209. 1990.

Mont-Saint-Michel.
Semaef, mai 1990.
André.

N° 210. 1990.

Agadir 1, juin 1990.

N° 211. 1990.

Agadir 3, juin 1990.

N° 212. 1990.

Agadir, juin 1990.

N° 213. 1990.

Agadir, juillet 1990.

229 IFA 10

N° 214. 1990.

Rennes, juillet 1990.

N° 215. 1990.

Agadir, juillet 1990.

HOM-VAM, juillet 1990.

N° 216. 1990.

Avignon, parking, juillet 1990.

N° 217. 1990.

VAM, août 1990.

Agadir, août 1990.

Musée Picasso, librairie, août 1990.

Marseille, octobre 1990.

N° 218. 1990.

Mont-Saint-Michel, texte, août 1990.

Avignon, éléments de programme.

HOM, Mont-Saint-Michel, hôtel.

Agadir.

Marseille, octobre 1990.

N° 219. 1990.

Mont-Saint-Michel.

229 IFA 10 (suite)

N° 220. 1990.

Deligny.

Marseille, novembre 1990.

Chalon, jury.

N° 221. 1990-1991.

Marseille, septembre 1990.

MDA.

Reu, mai 1991.

N° 222. 1990.

Tokyo, jury.

N° 223. 1990.

Extension de l'hôtel du Cap-Ferrat.

N° 224. 1990-1991.

HOM 757.

N° 225. 1991.

Avignon, Caserne des Passagers, logements et atelier, janvier 1991.

N° 226. 1991.

Avignon, Caserne des Passagers, janvier-février 1991.

N° 227. 1991.

MTB.

Avignon, Caserne des Passagers, février 1991.

Marseille, commission de sécurité, février 1991.

Texte sur la profession d'architecte.

NIM, Nîmes.

N° 228. 1991.

Nîmes, mars 1991.

Rennes, salle verte, mars 1991.

Marseille, chantier, mars 1991.

VIL, mars 1991.

N° 229. 1991.

Avignon, Caserne des Passagers, mars 1991.

N° 230. 1991.

PLE.

Fougères, avril 1991.

Pleyel, avril 1991.

Texte pour le Pavillon de l'Arsenal.

Marseille, avril 1991.

229 IFA 10 (suite) N° 231. 1991.

Mont-Saint-Michel.

Pleyel, réunion, mai 1991.

Marseille, mai 1991.

Rennes, juillet 1991.

N° 232. 1991.

Rennes, salle verte, août 1991.

Flu, Saint-Denis, août 1991.

VER, Rennes, salle verte.

Musée Picasso, gravure, août 1991.

ALB, hôtel Saint-James et Albany.

N° 233. 1991.

Beaux-arts à la Villette, octobre 1991.

N° 234. 1991.

Voyage Nouvelle-Calédonie, centre culturel kanak.

Croquis en cours de route via Singapour.

N 235. 1991-1992.

LZA, décembre 1991.

AVA, mars 1992.

Marseille, mai 1992.

N° 236. 1991-1992.

Rennes.

Marseille, Fort Saint-Jean.

N° 237. 1991-1992-1993.

AVA, août 1991.

MEM, septembre 1992, Marseille Saint-Jean.

Rennes, université, mars 1993.

N° 238. 1992.

Rennes, février 1992.

N° 239. 1992.

Paris, Beaux-Arts ?

N° 240. 1992.

Marseille, Fort Saint-Jean.

N° 241. 1992.

Marseille, Fort Saint-Jean.

229 IFA 10 (suite) N° 242. 1992-1995.

Rennes, Résidence Pierre Corneille.

Salle verte.

N° 243. 1993.

Rennes, université, janvier-février 1993.

N° 244. 1993.

Pleyel, nouvelles orientations, août 1993.

Berlin, 1^{er} croquis, septembre 1993.**N° 245. 1993.**

LAB, Paris 20 logements.

Berlin.

N° 246. 1993.

LAB, Paris 20 logements.

Berlin.

Rennes, octobre 1993.

CLB, octobre 1993.

N° 247. 1993.

RAG 2, Rennes.
Berlin, octobre-décembre 1993.
LAB, Paris 20 logements.
Pleyel.

N° 248. 1994.

André, mars 1994.
Pleyel, avril 1994.

N° 249. 1994.

Études non identifiées.

N° 250. 1994.

Réaménagement Musée Picasso.
Pleyel place Basse.

N° 251. 1994.

Textes pour la revue Poïesis.
Marseille, jury de concours.

N° 252. 1995.

Textes, souvenirs.
Grenoble, juin 1995.

INVENTAIRE DES ARCHIVES

III

Musée d'art moderne de Villeneuve-d'Ascq, 1978-1983.

ARCHIVES

Adresse	<i>1, allée de l'Industrie, Villeneuve-d'Ascq (Nord).</i>
Programme	<i>Musée destiné à abriter la collection d'art moderne (peinture et sculpture cubiste) de Roger Dutilleul et Jean Masurel, donnée à la communauté urbaine de Lille. Inauguré le 17 novembre 1983.</i>
Commanditaire	<i>Communauté urbaine de Lille.</i>
Collaborateurs	<i>Benoit Crépet, assistant.</i>
Entreprises principales	<i>Nord-France (gros œuvre), Couturier SA (construction métallique), Staba (construction métallique).</i>
Bureau d'études	<i>Decamps.</i>
Décoration	<i>Jean Ipoustéguy, sculpteur.</i>
État	<i>Réalisé.</i>

Cotes des dossiers : pièces écrites et plans pliés : 229 IFA 11 à 56 ; rouleaux : 229 IFA 2000, 2003 ; documents à plat : 229 IFA 3000-3008 ; photographies : 229 IFA 1000.

PIÈCES ÉCRITES ET PLANS PLIÉS

Préliminaires

- 229 IFA 11. Concours : études de surfaces, 1977 ; métrés, esquisses, 1978 ; note explicative, devis estimatif.
 Programme : pièces écrites, 1977, 1979-1980.
 Plan de l'Établissement public d'aménagement de la ville nouvelle de Lille, 1977.
 Contrats, 1978-1981.

Études

- Dessins et croquis, 1977-1983 ; notes, 1978-1983.
 Publications.

12. Études (tirages), 1979.

Plans topographiques, limites des opérations ; opérations voisines ; études de sols du BRGM ; plans de géométrie ; problèmes archéologiques ; étude de carrelage.

INVENTAIRE DES ARCHIVES

Musée d'art moderne de Villeneuve-d'Ascq. 1978-1983.

- Adresse *1, allée du Musée, Parc urbain, Villeneuve-d'Ascq (Nord).*
- Programme *Musée destiné à abriter la collection d'art moderne (peinture et sculpture cubiste) de Roger Dutilleul et Jean Masurel, donnée à la communauté urbaine de Lille. Inauguré le 17 novembre 1983.*
- Commanditaire *Communauté urbaine de Lille.*
- Collaborateurs *Benoît Crépet, assistant.*
- Entreprises principales *Nord-France (gros œuvre), Couturier SA (construction métallique), Staba (construction métallique).*
- Bureau d'études *Decamps.*
- Décoration *Jean Ipoustéguy, sculpteur.*
- État *Réalisé.*

Cotes des dossiers : pièces écrites et plans pliés : 229 IFA 11 à 56 ; rouleaux : 229 IFA 2000, 2003 ; documents à plat : 229 IFA 3000-3008 ; photographies : 229 IFA 1000.

PIÈCES ÉCRITES ET PLANS PLIÉS

Préliminaires

- 229 IFA 11. Concours : études de surfaces, 1977 ; métrés, esquisses, 1978 ; note explicative, devis estimatif.
Programme : pièces écrites. 1977, 1979-1980.
Plan de l'Établissement public d'aménagement de la ville nouvelle de Lille. 1977.
Contrats. 1978-1981.

Études

- Dessins et croquis, 1977-1983 ; notes, 1979-1983.
Publications.
12. Études (tirages). 1979.
Plans topographiques, limites des opérations ; opérations voisines ; études de sols du BRGM ; plans de géomètre ; problèmes archéologiques ; étude de carrelage.

Conception

13. Structure : calculs, plans. 1979.
Notes pour l'estimation : descriptif sommaire, état des surfaces ; évaluation détaillée, métré par lot, récapitulatif des lots, détails estimatifs. 1979.
14. Métrés. 1979.
Plans d'architecte. 1978-1979.
APD, premier jeu de plans (tirages).
15. APD : mémoire, évaluations détaillées, dossiers techniques (tableau des surfaces) ; plans (tirages). Janvier-février 1979.
16. Sécurité contre l'incendie : correspondance avec le conservateur, notices descriptives chauffage, ventilation, électricité, plans d'architecte et versions modifiées des plans. Février-septembre 1979.
Dossier de permis de construire : Demande de PC, description de l'opération, tableau des surfaces utiles, plans. Février-septembre 1979.
Correspondance, 1979-1983.
17. Aménagement des abords : APS, descriptif et estimatif sommaires, plans de masse et de situation. 1979.
Aménagement des abords : CCAP, justificatifs, correspondance avec le maître d'ouvrage, notes d'honoraires.
Aménagement du parc : correspondance avec les entreprises, 1982-1986 ; ordres de service, résultat des appels d'offres, comptes rendus de chantier, 1982-1983.
Éclairage extérieur, clôtures.
18. Études : plans. 1980-1981.
Perspectives. 1980.

Consultation des entreprises

19. Étude des sols : étude géotechnique des sols de fondation. 1979.
CCAP pour les 16 lots, règlement particulier d'appel d'offres, planning ; CCTP et détails estimatifs par lots, juillet 1979.
20. Plans de situation, de masse, abords, voirie, canalisations, raccordements ; zones est et ouest, logements de fonction : plans par niveaux, coupes. Juin 1979, avec rectifications mars et octobre 1980.
21. CCTP rectificatifs, janvier 1980 ; plans rectifiés : zone est, élévation sud, menuiseries, juin 1979 et janvier 1980.
Plans d'architecte par lots : plomberie, chauffage, électricité. Juillet 1979.

22. CCAP, CCTP, plans des lots vitrerie-miroiterie, plomberie. Octobre-novembre 1980.
CCTP et bordereau quantitatif, plans de situation et de détails, des maçonneries de l'entrée et des clôtures métalliques. Juin 1979, juillet, décembre 1982.
23. Assistance au marché des travaux (AMT) : offres de services, 1978-1981 ; appels d'offres par lots : devis et correspondance ; détails estimatifs par lots ; rapports sur l'examen des offres. 1979-1982.
24. AMT. Détails estimatifs par lots, janvier 1980 ; rapports sur l'examen des offres, 1979-1980.
Résultats des offres. 1979-1980.
25. AMT. Marché : CCAP, préambule. 1980-1981.
26. AMT. Dossier des plus et moins values : chauffage, 1980 ; gros œuvre, 1982.
27. AMT. Dossier des plus et moins values, autres lots. 1982-1983.
Plannings. 1981-1982.
- Exécution**
28. Plans des abords (tirages). Juin-juillet 1982.
Plans techniques d'architecte (finitions, étanchéité, plomberie, planchers, électricité, chauffage, réservations, sols et carrelages, sanitaires ; tirages modifiés). 1980-1982.
Zone ouest-nord. Novembre 1980-septembre 1981.
Zone est-sud. Septembre 1981-mars 1982.
29. Plans techniques d'architecte (suite).
Zone est-nord. Juin 1981-mars 1982.
Zone ouest-sud. Octobre 1980-avril 1982.
Logement du conservateur. Février-septembre 1981.
30. Plans de coffrage du BET Decamps. Août 1980-décembre 1981. —
Zone sud-ouest. 1980-avril 1981.
31. Plans de coffrage du BET (suite).
Zone nord-ouest.
32. Plans de coffrage du BET (suite).
Zones sud-est et nord-est, logement du conservateur, logement du gardien.
33. Clôtures métalliques : CCTP et bordereau quantitatif. Août 1982.
Plans des abords : nord, sud, détail de la clôture. Juin-juillet 1982.
Plans d'architecte, électricité (tirages). Septembre 1980, modifiés mars-juin 1981.

34. Plans d'architecte, vitrerie-miroiterie (tirages). Mars 1981.
Peinture : CCAP, détail estimatif, tableau des finitions, octobre 1981 ; plans d'architecte, mars 1981, modifiés septembre-octobre 1981.
Béton armé : correspondance, planning, révision.
35. Béton armé : plans d'entreprise. 1981-1982.
36. Constructions métalliques : plans d'entreprises. 1981-1982.
37. Constructions métalliques : plans d'entreprises. 1982-1983.
Sécurité contre l'incendie : notice descriptive et plans. 1979.
Décoration (1 %) : curriculum vitæ de l'artiste (Ipousteguy), lettre de présentation, note de l'architecte, correspondance avec la DMF ; plans, juillet et novembre 1982.
38. Ordres de service. 1981-1983.
39. Comptes rendus de réunions de bureau, 1979 ; de coordination, 1980-1983 ; de chantier, 1979-1981.
Correspondance relative au chantier. 1980-1984.

40. Comptes rendus de réunions de chantier n^{os} 1 à 127. 1980-1983.
Carnet de chantier.

Correspondance

41. Correspondance chronologique avec la Communauté urbaine de Lille. 1979-1983.
42. Correspondance chronologique (avec le donateur, la préfecture, la DDE, la DRAC, l'Établissement public d'aménagement de la ville nouvelle de Lille, le conservateur, la direction des musées de France). 1978-1984.
43. Correspondance avec les bureaux d'études. 1979-1983 ; avec les entreprises (sauf béton armé), 1979-1983.
44. Correspondance avec l'entreprise Nord-France (béton armé), 1980-1983 ; avec le bureau Veritas, 1980-1983.
45. Correspondance avec Laigneau et Aumond (mètres), 1980-1983 ; avec M^e Ribs, avocat, 1982-1983 ; correspondance diverse, 1979-1986.

Réception

46. Situations : gros œuvre, 1980-1983 ; voirie et réseaux divers, 1982.

47. Situations : étanchéité, menuiseries intérieures, construction métallique, électricité. 1980-1983.
48. Situations : électricité, ventilation, plomberie, sols, monte-charges, peinture, vitrerie-miroiterie. 1981-1982.
49. Honoraires : notes d'honoraires pour le « grand contrat », 1978-1985 ; le contrat de maîtrise, 1980-1981 ; le « petit contrat », 1981-1983.
Rétrocessions d'honoraires. 1979-1986.
Propositions de paiement d'honoraires. 1980.
Comptes prorata.
50. Procès-verbaux de réception provisoire. Mai-juin 1983.
Décomptes définitifs. 1983.
51. Contrôle du bureau Veritas : comptes rendus techniques, liste des réserves. 1983.
Récapitulation financière, documentation technique.
Inauguration, 17 novembre 1983 : liste des invités, lettres de remerciements. 1983.
Revue de presse. 1983.
52. Litiges au cours du chantier : avec la société Sodiatic (informatique appliquée à la construction), 1981-1983 ; avec M. Notebard, président de la Communauté urbaine de Lille, 1981-1982.
53. Litiges après l'achèvement du chantier : décollement du carrelage, 1986-1995 ; infiltrations dans le béton armé, 1985-1989.
Rapports d'expertise. 1992.

Récolement

54. Plans de récolement : de l'architecte, octobre 1983 ; de l'entreprise de plomberie, mai 1983 ; de l'entreprise de menuiseries extérieures et de serrurerie, septembre 1981, modifiés février 1983.
55. Plans de récolement de l'entreprise d'électricité. Courants forts : septembre 1980, modifiés mai 1983 ; courants faibles : mars 1981, modifiés juillet 1981.

Divers

56. Correspondance et réflexions de R. Simounet sur les musées. 1980-1986.
Présentation du musée. 1988.
Inauguration : cartons d'invitation, revue de presse, plaquette de la Communauté urbaine de Lille, photocopies de publications sur le musée.

ROULEAUX

Préliminaires

- 229 IFA
2000/1. Plans pour la consultation (calques) : plan masse, plans, coupes, perspectives, axonométrie. Janvier 1978.

Études

- 2000/2, 3. Études (calques). 1978-1979.
Plans topographiques, coupe sur le terrain, plan masse ; plans, élévations, trames ; plans de principe des réseaux et évacuations.

- 2001/1. Études (calques) : plans, coupes, élévations. 1979-1981

Conception

- 2000/4. APD (calques) : plans généraux, plans techniques. Janvier-février 1979.
2000/3 (suite). Aménagement des abords : APS, calque. 1979.

Consultation

- 2001/2, 3. DCE : plans et coupes techniques (calques), 1979 ; pans généraux, 1980 ; calepinage du carrelage, 1981.

Exécution

- 2002, 2003. Plans d'exécution des ouvrages (PEO). 1979-1982.

Réception

- 2002/1. Plans de récolement. 1982.

DOCUMENTS À PLAT

- 229 IFA 3000. Études sur calque : plans, façades, détails, croquis, perspectives. Sans dates.
3001. Projet de concours : plans, coupes, élévations. Février 1978 [en boîte à rouleaux].
3002. Études : terrasses de la zone ouest-sud ; logement du conservateur : plans par niveaux. Sans dates.
3003. APD : plans de rez-de-chaussée des zones est et ouest. Janvier 1979.

3004. Plans d'exécution : plans par niveaux (pour publication), zone ouest-sud. 1980-1981.
3005. Idem, zone ouest-nord. 1981.
3006. Idem, zone est-sud. 1981.
3007. Idem, zone est-nord. 1981.
3008. Plans généraux du musée. Sans date [en boîte à rouleaux].

PHOTOGRAPHIES

- 229 IFA 1000. Terrain, maquette : panoramique du terrain, vues aériennes (épr. NB).
Maquette : une pl. contact NB.
Chantier : 6 pl. contact NB, négatifs NB, 3 épr. NB.
Réalisation :
- Photographies de Pierre Joly (3 épr. couleur avec nég., négatifs couleur).
 - Photographies de Treiber (agence Simounet) : 7 épr. NB, une pl. c. NB avec négatif.
 - Photographies de L. Allégret (« épr. NB), Serge Demailly (2 épr. NB, 2 planches d'ektachromes), Le Moniteur (4 épr. NB), R. Simounet (5 épr. NB), S. Couturier (3 pl. d'ektachromes, 1 pl. c. NB).
- Vues intérieures :
- Photographies de Pierre Joly (2 épr. couleur ; hall d'entrée : 3 épr. couleur avec négatifs).
 - Photographies de Dahliette Sucheyre (1 épr. NB) ; de S. Couturier (2 épr. couleur) ; de S. Demailly (1 pl. d'ektachromes).
 - Épreuves NB, ektas.
- Photographies de Serge Couturier (vues extérieures et intérieures de la réalisation) : pl. c. et négatifs NB.
- Décoration (sculpture d'Ipoustéguy) : photographies de Despatin et Gobeli (10 épr. NB).
- Dossier de publication : épreuves couleur, photocopies couleur, plans originaux et photocopiés, texte.
- 8 diapositives.

Musée de la Préhistoire à Nemours. 1975-1981.

Adresse	<i>Avenue de Stalingrad, Nemours (Seine-et-Marne).</i>
Programme	<i>Musée de la préhistoire en Île-de-France, inauguré le 28 mars 1981.</i>
Commanditaire	<i>Département de Seine-et-Marne</i>
Collaborateurs	<i>?</i>
Entreprises principales	<i>Baffrey-Hennebique (gros œuvre), Chély (décoration).</i>
Bureau d'études	<i>Michel Bancon.</i>
Décoration	<i>?</i>
État	<i>Réalisé</i>

Cotes des dossiers : pièces écrites et plans pliés : 229 IFA 57 à 73; rouleaux : 229 IFA 2004; documents à plat : 229 IFA 3009, 3010; photographies : 229 IFA 1001.

PIÈCES ÉCRITES ET PLANS PLIÉS

Préliminaires, études, conception

- 229 IFA 57. 6 carnets de notes et de croquis. 1975-1979.
Dossier « Études ». 1974-1975.
- Plan topographique, plan parcellaire.
 - APD : avant-métré. Mai 1975.
 - APS : plans de situation, de masse, coupe, plans des niveaux. Février 1975.
 - Plans de masse, de fondations, de canalisations. Mai 1975.
 - Notice descriptive, note de présentation du musée. Décembre 1974.
 - Compte rendu de réunion technique, mars 1975.
 - Pré-étude de chauffage-VMC et électricité. Mai 1975.
 - Béton : renseignements fournis par M. Harouimi, correspondance avec l'entreprise Theg et avant-métré détaillé de béton armé, plans et coupe de l'entreprise. 1975.
 - Estimations manuscrites, prévisionnelle, estimation des honoraires, révision; estimation détaillée, août 1975.
 - Notes sur la maîtrise de chantier.
58. Études : plans, calques, croquis, notes manuscrites. 1976-1981.
59. Études de vitrines et de menuiseries. 1975-1979.
- Vitrines : modèles, notes, estimations, devis; devis estimatif, CCTP, marché pour l'entreprise Brot; plans, perspectives, 1976-1977; documents des entreprises Dennery et Villerooy.
 - Menuiserie : croquis, plans, correspondance avec l'entreprise Baffrey-Hennebique. 1977-1979.

60. APD. Tableau des surfaces, note de l'architecte, estimation et évaluation détaillées, définition des tranches, 1975 ; plans, mai 1975-janvier 1976.
Dossier de PC. Demande d'autorisation de défrichage ; sécurité incendie : correspondance avec la mairie, la préfecture, notice descriptive, schéma d'électricité, plans. Juillet-septembre 1975.

Consultation des entreprises

61. Marché établi par l'architecte : devis descriptif et devis par lots, CPS. Sans date.
62. Offres de service des entreprises, propositions de prix, appels d'offres, résultats des appels d'offres, révisions et actualisations. Février-mai 1976.
63. Devis, ordres de service, soumissions, avenants, par lots et par entreprise. 1976.

Exécution

64. Plans d'architecte : plans, coupes, élévations ; détails : chauffage, menuiserie, plomberie, vitrines, panneaux d'affichage. Janvier et novembre 1976, modifiés 1977.
65. Béton armé : plans du BET. 1976-1977.
66. Plans d'entreprises : miroiterie-vitrierie, 1978-1979 ; chauffage, 1977 ; électricité, 1977-1979 ; agencement des vitrines, bancs de repos, avril-juillet 1978.
Croquis de présentation des collections (de R. Simounet ?). 1978.
71. Comptes rendus de chantier. 1977-1979.

Correspondance

67. Correspondance avec les pompiers, 1975-1978 ; le géomètre, 1975 ; la préfecture, 1975-1976 ; Électricité de France, 1975-1977 ; le service des eaux, 1975 ; le conservateur, 1975-1980 ; la DRAC d'Île-de-France ; la ville de Nemours ; la Direction des musées de France ; le cabinet Vitoz, 1979 ; la société française d'études de génie civil et de coordination (SOFREGEC), 1975-1976 ; Paul Sarda, M. Bunel, Michel Bancon, ingénieurs conseils, 1975-1979 ; la DDE, 1979.
68. Correspondance avec les entreprises. 1975-1980.

Réception, publication

69. Situations, certificats pour paiements, lots 1 à 5.

70. Idem, lots 6 à 15.
71. Compte prorata.
72. Réceptions provisoires et définitives, décomptes définitifs.
Notes d'honoraires.
Inauguration.
Plans destinés à la publication.
Travaux supplémentaires : clôture et carrelage. 1981.
73. Publication : dossier de presse. 1981.
Extraits de *L'industria italiana del cemento, Art et architecture, Bulletin de l'UIA section française, Bulletin de l'Ifa*, plaquette du musée, texte de Jean Pelegri, articles divers.

Intervention postérieure

- (73). Restructuration du hall d'accueil. 1992.

ROULEAUX

- 229 IFA 2004. Plan topographique. Avril 1975.
APD, PC : plan masse, plans, coupes, élévations, plans de VRD. Juillet, re-
vus septembre 1975.
APD : plan masse parcellaire. Mai 1975, juillet 1976.
Plan de principe du chauffage (plan du BET). Mai 1975.
Plans d'exécution : plans généraux et détails, janvier 1976 ; agencement, no-
vembre 1976.
Études. 1977-1979.

DOCUMENTS À PLAT

- 229 IFA 3009. Plans de concours : plans, coupes, élévations, plan de masse, plan de situa-
tion. Sans date [en boîte à rouleaux].
3010. Plans pour la publication. Sans date.

PHOTOGRAPHIES

- 229 IFA 1001. Vues de chantier : 16 épr. NB (cl. Studio 2 000) ; 5 épr. couleur et NB (cl.
Studio 2 000) ; 6 pl. c. et négatifs NB, 1 pl. c. et nég. couleur ; 4 épr. NB ; 2
pl. c. et nég. NB (cl. Bédarida).

Vues de la réalisation : ektachromes, 12 pl. d'épr. et nég. NB, 8 épr. NB et couleur (cl. F. Piqueras) ; 3 épr. NB (cl. Fonction Image) ; 7 pl. d'épr. et nég. NB, 5 épr. NB (cl. Guidoni).

Vues extérieures de la réalisation : 16 épr. NB (cl. Gropirow), 4 épr. couleur, 32 épr. NB ; 9 diapositives.

5 cartes postales des collections du musée.

SOMMAIRE

Fiche synthétique de présentation du projet

Rapport de recherche (pages 3 à 33)

Introduction

I. Le modèle constructif des cathédrales

II. L'architecture gothique en tant que modèle dans la production architecturale

Conclusion et perspectives de développements

Rapport d'activité (pages 34 à 41)

Note d'introduction

Fiches de présentation des recherches de 1994 à 1997

Intitulés

Partenaires et réseaux

Financements

Résumé

Participation à différentes formations de 1994 à 1997

Partenaires

Liste des travaux encadrés

Valorisation

Liste des communications

Liste des publications

Annexes

Dernier ouvrage publié

Architecture gothique, lectures et interprétations d'un modèle

Dernier rapport de recherche

CEE "Environment" EV5VCT93 0300, "Monuments under seismic action..."

Copie des articles récents

"Le calcul par la méthode des éléments finis appliqué à la restauration, une expérience : la cathédrale de Beauvais"

"Classical F.E.M. Analysis and Experimental Observations of the Dome of the Church of Givry (France)"

"Le modèle en architecture : entre rétrospective et prospective"

FICHE SYNTHETIQUE

Responsable du projet

Anne Coste, architecte DPLG, Docteur en Histoire
maître-assistant à l'Ecole d'Architecture de Saint-Etienne (champ STA)

Intitulé

Architecture et modèles constructifs

Problématique générale

Le champ général de la recherche est la question du modèle en architecture, de l'échelle de l'objet à celle du territoire. Les architectes ont recours aux différents modèles que leur fournissent à la fois l'histoire de leur propre discipline et l'ensemble des sciences entretenant des liens plus ou moins étroits avec l'architecture. Du paradigme à la représentation, l'architecture fait du modèle une utilisation apparemment paradoxale naviguant entre l'exercice d'abstraction d'une réalité physique et la concrétisation matérielle d'une idée. Si l'on a toujours eu recours au modèle pour concevoir et pour comprendre, il n'est pas exclu de penser que le modèle théorique, élaboré pour appréhender une réalité complexe puisse motiver à son tour une production nouvelle.

Objectifs et méthode

Les objectifs sont de deux ordres :

- éclairer l'histoire de la pensée constructive, identifier les modèles constructifs et la manière dont ils peuvent être exploités dans les processus de conception.
- développer des outils et leurs procédures d'utilisation pour une conservation du patrimoine bâti, non simplement comme objet mais comme témoignage de savoirs et de savoir-faire, à travers la compréhension et le respect des modèles constructifs qu'ils incarnent.

Du point de vue méthodologique, le programme développé s'attache à définir les apports des méthodes de calcul analytique de structure dans le domaine des monuments anciens. Il s'agit, sous l'angle historique, d'explorer la pensée constructive à travers l'étude d'édifices particulièrement significatifs dans la culture architecturale ; et sous l'angle technique, de définir des procédures de modélisation et de calcul tenant compte des paramètres architecturaux et historiques de l'édifice : tout ce qui sépare le modèle théorique de sa matérialisation. C'est pourquoi les outils traditionnels de l'architecte sont alliés aux méthodes d'analyse de pointe de la mécanique des milieux continus et de la mécanique des blocs : cela nous permet d'explorer les structures elles-mêmes, leur histoire et l'histoire de leurs interprétations.

Rapport de recherche

La période du programme pluriannuel 1993-1997 a correspondu pour partie à l'élaboration de ma thèse de doctorat ayant donné lieu à un rapport de 451 pages. Ce travail a pu être publié avec le soutien de la Direction de l'Architecture : l'ouvrage ainsi réalisé est annexé au présent rapport qui, du même coup, se veut bref et synthétique.

Nous ferons le point sur un programme de recherche de quatre années, sur ses liens avec l'enseignement depuis deux ans et nous dégagerons quelques perspectives de développement, notamment en rapport avec la mise en place d'un troisième cycle à l'EASE.

Rapport d'activité

Il s'agit d'un bref bilan des recherches développées au cours de la période 1994-1997, des relations établies avec les partenaires qui y sont associés et des publications auxquelles elles ont donné lieu (publications et rapports annexés au présent document).

- Thèse sur "Architecture gothique, lectures et interprétations d'un modèle", 1995.
- Programme CEE Direction Générale pour la science, la recherche et le développement, *Environment* (contrat n° EV5V CT93 0300) : "Monuments under seismic action, a contribution to the behaviour and to the improvement of restoration techniques", 1993-1997.
- Programme de l'Agence Rhône-Alpes pour les Sciences Sociales et Humaines, "Méthodes de modélisation pour la conservation et la valorisation du patrimoine, un exemple régional : le fort Barraux", 1996-1998.

RAPPORT DE RECHERCHE

Introduction

Ce travail s'inscrit dans un programme qui s'attache à explorer les relations réciproques entre les sciences et techniques et le patrimoine architectural et urbain. Les objets étudiés - édifices, ouvrages, infrastructures - instruisent une histoire des modèles constructifs. En retour, les méthodes de calcul de structure basées sur les modèles mathématiques éclairent les monuments anciens d'un jour nouveau, à condition toutefois que la manière de les interroger soit judicieuse. C'est précisément vers cet objectif que nous essayons de faire tendre notre recherche.

Sous cet angle de vue, c'est le cas de l'architecture gothique que nous allons explorer. Objet de nos études pendant plusieurs années, le corpus des grandes cathédrales médiévales se prête tout particulièrement à notre exercice pour les raisons qui suivent.

Elaborée a posteriori la théorie de l'architecture gothique introduit en premier lieu la question de l'influence des modèles d'intelligibilité utilisés. Pour en étudier les aspects constructifs, nous examinerons ce problème à travers l'exploration de la discussion sur le rôle des nervures dans les voûtes gothiques et l'examen du rôle du fer dans le comportement mécanique des cathédrales. L'une et l'autre questions seront abordées sur un plan strictement limité à la relation entre modèle d'intelligibilité (graphique, mathématique,...) et interprétation, la question étant traitée de manière beaucoup plus complète dans l'ouvrage *Architecture gothique, lectures et interprétations d'un modèle*.

Objet d'étude privilégié des travaux de Viollet-le-Duc et enjeu d'importance du combat contre l'académisme qui divise les architectes vers le milieu du XIXe siècle en France, le modèle gothique tel qu'il est élaboré à l'époque influence considérablement le courant rationaliste du début du XXe siècle et, au-delà, une partie du mouvement moderne. C'est à travers la question de la technique, replacée dans la problématique de la modernité industrielle, que nous traiterons ce deuxième aspect.

I. Le modèle constructif

"J'ai rêvé quelques cathédrales anglaises après que les bombes en aient brisé les vitraux et fait tomber les pleins entre les nervures des voûtes : dégagées des cartilages qui les unissaient, ces structures semblaient avoir réalisé le rêve des architectes gothiques : créer l'espace, le rythmer, l'élever, lui donner une forme sans en interrompre la continuité".

B. Zevi, *Apprendre à voir l'architecture*, Paris, Minuit, 1989 (1ère éd. 1959), p. 59.

Il faut fonder ce propos sur deux données initiales. D'abord, l'architecture gothique est une architecture non "théorisée" à l'époque de sa production : aucun texte en fixant les principes et les règles ne nous est parvenu et probablement aucun n'a été écrit. On ne peut accorder ce statut aux Cahiers de Villard-de-Honnecourt qui, bien que précieux aux historiens, n'ont pas valeur de traité¹. Ensuite, le savoir constructif lié à l'édification des cathédrales se disperse à l'âge classique, il se perd. Pire : il n'intéresse plus personne. Deux événements concomitants conduisent à ce phénomène : le retour au modèle classique dans les projets d'architecture et l'avènement de l'imprimerie. Il faut en effet rapporter cette absence de pérennité des savoirs gothiques à la fois au modèle architectural même, caractérisé par des principes plutôt que par des règles, et au fait qu'aucun de ces principes n'aient été consignés dans un ouvrage de référence. Sans doute Victor Hugo avait-il raison sur ce point : le livre a tué l'architecture gothique en tant que système ouvert, en tant qu'espace de liberté. Décrit par Robert Suckale (à qui nous avons emprunté les termes du titre d'un article sur le modèle architectural²) comme "rétrospectif" et "prospectif", le modèle gothique est en effet en tout point différent du classique³. Rétrospective, car imprégnée des images des écritures sacrées l'architecture gothique est également prospective, car il s'agit d'un système très ouvert dans le cadre duquel va pouvoir se constituer toute la production ultérieure. Au contraire du modèle classique qui se donnait comme objectif la perfection d'exécution, l'architecture gothique se dote d'un cadre global à l'intérieur duquel s'établit un espace de liberté et de création : c'est la leçon que Viollet-le-Duc s'efforcera d'en tirer. Ce cadre conceptuel est rigoureux car l'architecture gothique est complexe de par sa structure et ses dimensions mais il est suffisamment ouvert pour accueillir un projet englobant un chantier qui se déroule sur une durée très longue, voyant quelquefois se succéder plusieurs maîtres d'oeuvre. Le fait d'inscrire les règles du modèle classique sous forme du système des ordres et de les diffuser rapidement⁴ a accéléré par défaut la perte du système gothique.

Réellement innovant pour la première fois depuis des siècles, le principe constructif sur lequel se fonde tout le développement du mouvement gothique se perfectionne en quelques décennies, il évolue rapidement, se transforme pour finalement s'appauvrir et se perdre en l'espace de moins de deux siècles. Face à cette situation particulière, lorsque beaucoup plus tard on s'intéresse de nouveau à ces édifices audacieux que sont les grandes cathédrales, différentes démarches sont possibles pour en appréhender l'architecture et en construire la théorie tardive. La première attitude consiste à lui projeter des modèles élaborés postérieurement, de manière délibérée, à la manière d'un Viollet-le-Duc. Une autre approche transposera à l'inverse un modèle médiéval contemporain mais issu d'une discipline différente, comme le tentera un Panofsky avec sa comparaison entre architecture gothique et pensée scolastique. La démarche d'un William Morris en Angleterre constitue une troisième voie qui combine les deux premières. Limitons notre propos aux aspects constructifs et regardons quelques unes des interprétations formulées, en les mettant en rapport avec les moyens d'investigation employés. Notre hypothèse est que le modèle d'intelligibilité auquel on a recours influence l'interprétation que l'on propose, c'est pourquoi nous dressons en premier lieu un constat objectif de ces relations avant de proposer une procédure différente.

Les architectes restaurateurs d'aujourd'hui s'efforcent d'identifier, parmi les différentes strates accumulées de notre patrimoine architectural, ce qui mérite d'être restauré, voire reconstitué. De notre

¹ Voir Bechmann R., *Villard-de-Honnecourt, la pensée technique au XIIIe siècle et sa communication*, Paris, Picard, 1991.

² Coste A., "Le modèle en architecture : entre rétrospective et prospective", in *Cahiers de la Recherche Architecturale*, Marseille, Parenthèses, 1997.

³ Suckale R., "La théorie de l'architecture au temps des cathédrales", in R.Recht (dir.), *Les bâtisseurs des cathédrales gothiques*, Strasbourg, éd. des Musées de la Ville, 1989, pp. 41-50.

⁴ Sur cette question, voir les travaux de Mario Carpo.

patrimoine scientifique - des sciences humaines aux sciences dures et aux techniques -, nous avons laissé échapper de nombreux pans, parmi lesquels la connaissance de ce que nous appelons les outils de "modélisation" du projet architectural gothique. Nous savons, par l'héritage bâti qu'ils nous ont laissé, que le chantier gothique réunissait des constructeurs de très grande compétence. Le maître d'œuvre capable d'en faire la synthèse dans un projet extrêmement complexe tant du point de vue purement technique (appareillages, mise en œuvre, coordination) que de celui de la statique (équilibre, dimensionnement) ressemblait, par les charges qui lui incombait et les questions techniques qu'il avait à résoudre, à l'architecte d'aujourd'hui.

Nous allons essayer d'établir les relations qui existent entre l'état des savoirs à différentes époques et les interprétations de l'architecture gothique qui en résultent, à partir de deux problématiques constructives : la question du rôle des nervures et celle du fer dans la conception des cathédrales⁵.

Les nervures

En 1934, Marcel Aubert publie dans le *Bulletin Monumental* un article qui retrace toute l'histoire des voûtes à nervures⁶. Il motive la rédaction de cet article par la nécessité de reprendre cette question à la lumière des récentes thèses de Pol Abraham et Victor Sabouret⁷, afin de faire le point sur le rôle de la nervure dans une voûte gothique. Nous ne rappellerons ici que l'essentiel du débat, la question ayant fait l'objet de nombreuses publications⁸. "Les architectes Lombards, qui avaient su utiliser sous la voûte d'arêtes ces arcs maçonneries apportant quelque renfort à la voûte dont ils cachent les arêtes toujours difficiles à monter, n'en ont pas, en perfectionnant ce procédé, tiré ses conséquences logiques ; ils n'ont pas connu la véritable voûte sur croisée d'ogives dont les arcs, ogives, doubleaux, formerets, composés de claveaux et indépendants de la voûte qu'ils renforcent et dont ils ont facilité la construction, ont leur clef sensiblement sur le même plan, ce qui ramène aux quatre points de retombée les pressions que l'on pourra facilement épauler par des contreforts, des murs-boutants et des arcs-boutants, et permet, par conséquent, d'ouvrir de vastes intervalles entre les supports". Bien qu'ayant connaissance des thèses de Pol Abraham ("quelques auteurs ont voulu diminuer l'importance de cette découverte, dénier toute utilité à la croisée d'ogives et ne la considérer que comme nervure décorative"), Marcel Aubert utilise encore une fois ici le concept impropre de canalisation de forces pour définir le rôle des ogives. Il se refuse en effet à abandonner complètement le schéma de Viollet-le-Duc.

Que dit Pol Abraham à ce propos ? Il démontre que l'architecture gothique obéit moins à un principe d'équilibre d'éléments dont la légèreté serait, selon lui, seulement apparente, qu'à un principe de masse s'approchant du modèle classique tel que le décrira Focillon⁹. Dans son *Viollet-le-Duc et le rationalisme médiéval*, il démonte rigoureusement point par point la théorie de l'architecte. Il lui reproche de faire un modèle de rationalisme d'une architecture qui a le plus souvent recours à l'illusion, avec les croisées d'ogives, avec le mur "dédoublé" et avec les colonnettes engagées : trois systèmes qui procèdent, selon lui, à petite échelle du même principe général du gothique qui consiste à reporter, pour les dissimuler, les éléments massifs à l'extérieur (arcs / murs-boutants). "Aucune (architecture), dit-il, n'a porté plus loin (à la période d'épanouissement s'entend) l'illusion d'une structure idéalisée, à la base d'éléments linéaires adventices dépourvus de toute utilité matérielle. L'architecture gothique est donc, essentiellement, *une plastique*, et Viollet-le-Duc n'a soutenu, en conséquence, qu'un brillant

⁵ Ces questions sont étudiées dans les parties II et III de ma thèse dont je reprends ici partiellement les termes.

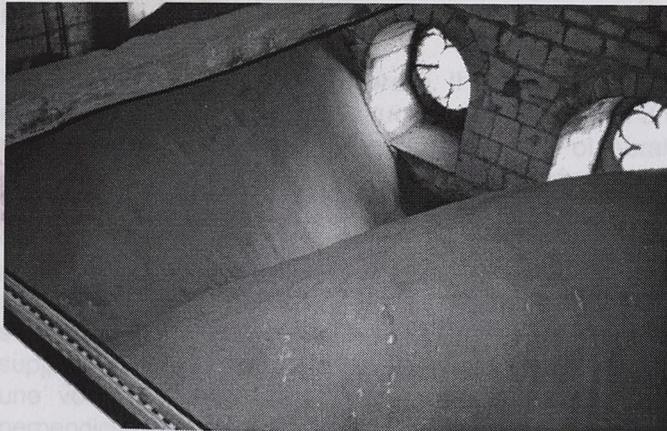
⁶ Aubert M., "Les plus anciennes croisées d'ogives. Leur rôle dans la construction", in *Bulletin Monumental*, 1934, pp. 5-67 et pp. 137-237.

⁷ Abraham P., *Viollet-le-Duc et le rationalisme médiéval*, Paris, Vincent, Fréal et Cie, 1934. Sabouret V., "Les voûtes d'arêtes nervurées. Rôle simplement décoratif des nervures", in *Le Génie Civil*, mars 1928, pp. 205-209.

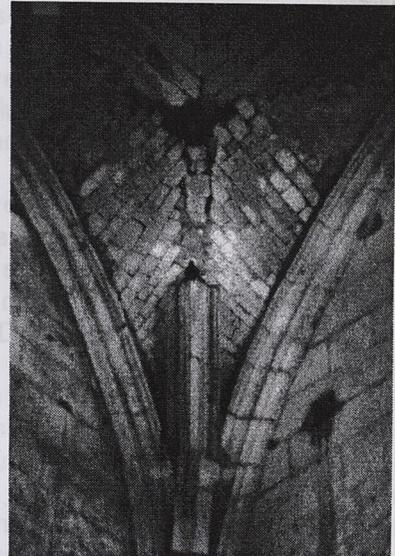
⁸ Dont le n°2 du *Journal d'Histoire de l'Architecture*, "Nervures gothiques", Grenoble, PUG-EAG, 1989.

⁹ "On donne le nom d'ogive à une nervure bandée sous une voûte à pénétration. L'emploi de ce membre est caractéristique de l'architecture dite gothique comme l'emploi des ordres l'est de l'architecture grecque. Mais, tandis que les ordres, dans une architecture où toutes les poussées sont verticales, ne posent pas de problèmes mécaniques, l'emploi de l'ogive, dans une architecture où les poussées sont obliques, amène le constructeur et l'archéologue à se demander quel en est précisément le rôle. Porte-t-elle la voûte? Est-elle un simple renfort? Ou bien n'a-t-elle que la valeur d'un effet plastique, dans un système où les poussées s'exercent sans elle et où la voûte tient sans son secours?". Focillon H., *Moyen-âge, survivances et réveils*, 1945 (le texte initial sur la question des nervures date de 1938).

paradoxe" ¹⁰. Selon Abraham, Viollet-le-Duc a bâti une théorie de l'architecture gothique au service de sa propre doctrine rationaliste et constitué de ce fait le modèle gothique comme référence du courant dont il était le principal instigateur : "(il) s'est, en réalité, servi (on n'affirme pas que ce soit de dessein prémédité) de cette théorie commode et gratuite de "l'abus des principes" pour justifier aux yeux de ses contemporains, à ses propres yeux peut-être, les défaillances et les outrances d'un art qu'il prétendait être la raison faite pierre" ¹¹.



Extrados d'une voûte de la cathédrale de Bourges



Nervure brisée, cathédrale d'Auxerre

Abraham introduit une juste distinction quant au rôle de la nervure entre le "structurel" et le "constructif" : cela lui permet de placer son propos sur les registres différents de la résistance des matériaux et de la construction. La nervure ne porte pas mais elle contribue à la mise en œuvre de la voûte et à l'équilibre du système pendant la prise des mortiers. R. Doré arbitra cet affrontement (à un demi siècle d'écart...) dans la *Gazette des Beaux Arts* : "M. Abraham nous rappelle que les dégâts causés par la guerre ont montré qu'une voûte d'ogives ne tombait pas nécessairement lorsque ses nervures étaient rompues. (...) Mais les surplombs considérables qu'on put constater dans les voûtes crevées semblent bien étayer, c'est le cas de le dire, la théorie de la voûte couvercle, étant entendu que l'homogénéité de la voûte a pu exiger de très longs délais. Ne voit-on pas même assez souvent les murs gouttereaux se déverser sans que la voûte d'ogives se lézarde, la fissure s'ouvrant le long des formerets ?" ¹². Doré donne une version un peu différente de l'analyse des voûtes gothiques : "Le génie des maîtres d'œuvre fut de tirer, après coup, d'une "commodité de chantier", un nouveau style d'architecture pour lequel nous professons tous une commune admiration" ¹³. Ces différentes publications montrent l'importance du débat en cette période autour de l'année 1934 et de l'évolution de l'analyse constructive. En 1939, la revue *Recherche* rassemble différentes contributions sous le titre "Le problème de l'ogive", témoignant une nouvelle fois de l'importance de cette question. Différents auteurs y font à nouveau le point : Henri Focillon, Pol Abraham, Walter H. Godfrey, Elie Lambert, Gurgis Baltrusaitis et Marcel Aubert. A la même époque, Focillon conclut l'évocation qu'il fait de cette polémique par un hommage rendu à Viollet-le-Duc : "Si nous ne pouvons le (P. Abraham) suivre lorsqu'il cherche à prouver que, dans l'architecture gothique, tout est illusion, nous devons reconnaître avec lui qu'elle est toute autre chose qu'une pure combinaison mécanique et que la plastique, accordée à cette combinaison même, y est d'une importance considérable ; bien plus, qu'elle fait accueil aux procédés d'illusions. Si ce n'est pas une nouveauté révolutionnaire de penser que l'architecture est faite pour la vue et que ses données "optiques", qui ne sont ni de pur goût ni de vague caprice, appartenant à l'histoire des formes, éclairent l'histoire de l'esprit, il est bon de le

¹⁰ Abraham P., *Viollet-le-Duc...*, op. cit., p. 115.

¹¹ *Ibid.*, p. 109.

¹² Doré R., "Que reste-il des théories de Viollet-le-Duc sur le rationalisme médiéval ?", in *Gazette des Beaux-Arts*, 1935, p. 122.

¹³ *Ibid.*, p. 125.

rappeler quelquefois. Mais nous ne nous contentons pas d'en évoquer l'intérêt au passage. En analysant, comme nous avons tenté de le faire à plusieurs reprises, la notion de *masse* et la notion d'*effet*, nous avons cherché à faire bénéficier la recherche de quelques principes familiers à la plupart des constructeurs. Dans les trois dimensions de l'espace et non sur le plan du papier, l'artiste élabore une œuvre qui les interprète de façon personnelle, qui a un *dehors* et un *dedans*, qui *multiplie* ou qui *resserre* les parties. Il fait accueil à la lumière de telle façon que l'on peut dire qu'il la *modèle* ou qu'il la *dessine*. Par le rapport des *pleins* et des *vides*, des *ombres* et des *clairs*, des *nus* et du *décor*, le maître du Moyen-Age mesure ses effets, avec une rigueur dont les moulures donnent en réduction tout le système. Peut-être est-ce à l'honneur de la récente école française d'avoir arraché ces données au vague et à la généralité de l'esthétique pure et d'en avoir fait une matière d'observation historique. C'est la lecture de Viollet-le-Duc qui l'y a conduite. Ainsi se trouve rejointe et fortifiée, dans la beauté de sa courbe, la pensée d'un maître auquel l'orthodoxie de l'école inflige le nom d'autodidacte, beau titre et bel éloge après tout, puisqu'il convient à ceux qui ont plus donné qu'ils n'ont reçu" ¹⁴.

Voilà pour les termes de la querelle. Il est intéressant maintenant de mettre ces propos en relation avec les modes d'analyse de structure utilisés par les uns et par les autres. Revenons, pour ce faire, sur la démonstration des billes réalisée par Pol Abraham dans son ouvrage sur le rationalisme médiéval. Il illustre en effet de manière comparée l'idée qu'il se fait de la descente des charges dans une voûte d'arêtes et celle qui correspond à la théorie de Viollet-le-Duc : "Une explication *approchée*, écrit-il, permet de se rendre compte du mode de travail des voûtes. Les matériaux qui les constituent sont sollicités de haut en bas par la pesanteur : ils agissent donc les uns sur les autres, de la clef aux reins et intérieurement à leur masse, dans la direction la plus voisine de la pesanteur, c'est à dire suivant la plus grande pente ou la plus grande courbure de la voûte. L'action de chaque molécule, supposée libérée, peut être *grossièrement* comparée à celle d'une bille lâchée sur l'extrados. Dans une voûte en plein cintre, la bille ira vers les reins en suivant l'extrados dans une direction perpendiculaire à l'axe de la voûte. (...) Les voûtes sur croisée d'ogive : les arcs diagonaux des voûtes gothiques sont aux voûtes d'arêtes ce que sont les arcs doubleaux aux berceaux. Ce sont des arcs concentriques à la direction des efforts dans les voûtes d'arêtes, dont la présence a surtout l'inconvénient, du point de vue pratique, d'accroître la poussée des voûtes de leur poussée propre. (...) Si nous abandonnons notre bille sur l'arête de faite d'un des berceaux constituant la partie centrale, elle va d'abord rouler suivant la ligne de plus grande courbure du berceau, perpendiculairement à la ligne de faite, puis elle atteindra l'angle rentrant des deux berceaux qui se coupent et coulera dans cette rigole, jusqu'aux reins. Toutes les billes abandonnées à elles-mêmes feront comme elle et aboutiront aux quatre points de retombée de la voûte d'arêtes. Dans une telle voûte, les poussées sont transmises aux quatre culées, dans l'épaisseur même de la voûte, par des arcs diagonaux de largeur indéfinie" ¹⁵.

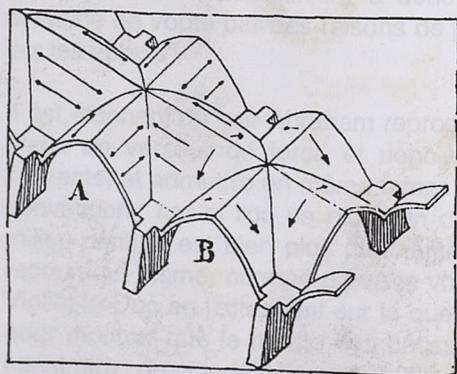
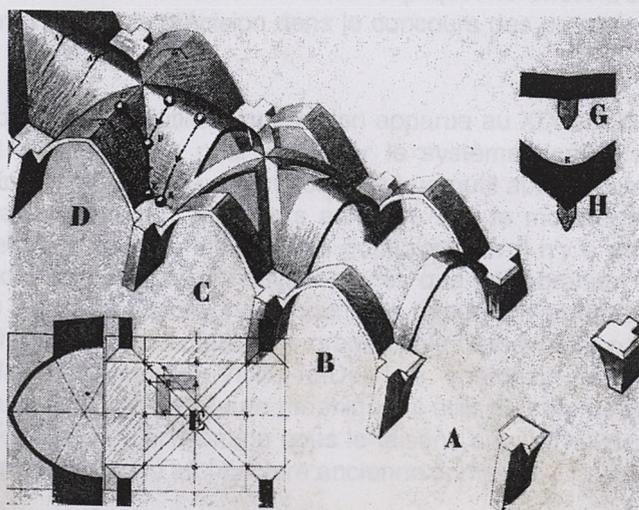


FIG. 17
A. Direction et sens des efforts dans une voûte gothique selon Viollet-le-Duc.
B. Direction et sens réels des efforts dans la même voûte.
L'hypothèse de Viollet-le-Duc ignore la règle de la plus grande courbure. Supposons que ces voûtes soient des voûtes réelles et plaçons un boulet de canon près d'une ligne de faite, roulera-t-il suivant B ou suivant A?



P. Abraham, *Viollet-le-Duc et le rationalisme médiéval*, 1934 : comparaison des deux approches.

¹⁴ Focillon, *op. cit.*, pp. 131-132.

¹⁵ Abraham P., "Une thèse sur Viollet-le-Duc et le rationalisme médiéval", in *La construction moderne*, 14 /1/34., pp. 255-256.

Ce recours à la métaphore de la trajectoire de la bille, réutilisée beaucoup plus tard par Robert Mark ¹⁶, permet à Abraham de donner une représentation d'un fonctionnement supposé de la voûte et de comparer différentes hypothèses, mais cela ne correspond dans la réalité qu'aux lignes de plus grande pente du volume. Les indications données ici sont, sinon erronées, du moins très largement insuffisantes pour définir le comportement mécanique de l'objet. Cela tient au fait que l'auteur raisonne en terme de "force" lorsque l'enjeu est de comprendre la répartition des "contraintes" (à ce titre d'ailleurs, on ne peut pas isoler la voûte de son environnement immédiat sans modéliser ce que l'on nomme aujourd'hui les conditions aux limites car ce qui se passe "dans" la voûte est le résultat des efforts de l'ensemble de la structure et non de l'objet autonome. Toutefois la démonstration de la bille figure assez correctement la méthode graphique d'Abraham qui consiste à considérer le vecteur oblique "résultante des pressions" avec le même angle d'inclinaison que l'arc, la composante horizontale étant égale à la somme du poids de la portion comprise entre le point considéré et le sommet de la voûte.

Cette approche qui ne se veut toutefois pas scientifiquement exacte, illustre parfaitement une pensée du fonctionnement mécanique de la voûte en deux dimensions directement issue des épures graphiques. Elle figure assez bien ce qui se passe dans une voûte en berceau par exemple (encore que, appliquée à une voûte de barrage, ça ne veuille plus rien dire). Cela pose problème dès lors que Pol Abraham veut réutiliser la même métaphore pour illustrer un exemple qui ne peut pas être ramené à deux dimensions, ce qui est le cas de la voûte d'arêtes bombée. "Ces principes très simples ne dérivent d'aucune théorie mathématique, plus ou moins savante, que les archéologues prêtent volontiers aux ingénieurs : ils découlent de la seule expérience des constructeurs, qui s'en contentent et ne sauraient s'en passer" ¹⁷. Sabouret écrivait cela en 1934, reprenant cette même métaphore de la bille et de la ligne de plus grande pente.

Pol Abraham dans la critique qu'il développe des théories élaborées par Viollet-le-Duc et Choisy, pose d'ailleurs lui-même la question du modèle d'intelligibilité : "Le constructeur médiéval ne pouvait connaître autre chose que le fait expérimental suivant : les voûtes tendent à renverser leurs supports" ¹⁸ (...) sans qu'il fût possible au maître d'œuvre de différencier les actions de chaque sorte de voûte. On oublie facilement que le maçon du moyen âge ne possédait aucune des notions, si peu élaborées d'ailleurs chez Viollet-le-Duc, de "forces" représentées par des droites dirigées agissant sur des "points d'application". Ces notions nécessaires au calcul moderne de la fatigue des matériaux, sont abstraites et conventionnelles. Dans la nature, les maçonneries ne sont, en effet, sollicitées que par des tensions diffuses, sensibles seulement dans leurs effets : la fissuration, la déformation et la ruine. Ces effets de forces inconnues ne pouvaient, en l'absence de théories mécaniques inventées au XIX^e siècle seulement, révéler à l'homme médiéval le fonctionnement des voûtes, c'est à dire les lois de répartition de leurs efforts internes. Il y a donc une difficulté insurmontable à vouloir expliquer le choix d'un système de voûte par des raisons de plus ou moins grande précision dans le concours des poussées sur les appuis".

Il est étonnant de voir Abraham reprocher à Viollet-le-Duc d'utiliser une notion apparue au XIX^e siècle (celle de vecteur de force et donc de "point d'application") pour expliquer le système des arcs-boutants, et admettre en même temps que les forces appliquées en un point sont un outil abstrait, une convention : car si l'on va plus loin dans ce raisonnement, il faut alors admettre que le modèle du milieu continu est bien plus pertinent si l'on se place dans la logique des gothiques. Or il n'y a pas recours lui-même, comme on va le voir. C'est de toute façon un mauvais procès que fait Abraham à Viollet-le-Duc en l'attaquant sur la question des outils. Là encore, nous pourrions retourner l'argument pour montrer que le mérite des bâtisseurs gothiques était d'autant plus grand qu'ils ne savaient pas construire de modèles mathématiques de leurs structures. Viollet-le-Duc ne cherchait pas à démontrer que les bâtisseurs gothiques connaissaient l'art de l'épure graphique, il utilisait, comme l'a fait Sabouret par la suite, comme l'ont fait Mark et Alexander, comme nous le faisons aujourd'hui, les méthodes nouvelles de chaque époque pour comprendre une architecture ancienne complexe.

¹⁶ Alexander K.D. , Mark R. , Abel J.F. , "The structural behaviour of medieval ribbed vaulting", in *J.S.A.H.*, n°4, vol. XXXVI, déc. 1977. Mark R. , *Experiments in Gothic structure*, M.I.T. Press, 1982, p. 104.

¹⁷ Sabouret V. , "L'évolution de la voûte romane du milieu du XI^e siècle au début du XII^e", in *Le Génie Civil*, mars 1934.

¹⁸ Notons au passage que la démonstration de la bille d' Abraham tend à démontrer que la voûte ne développe aucune poussée horizontale !

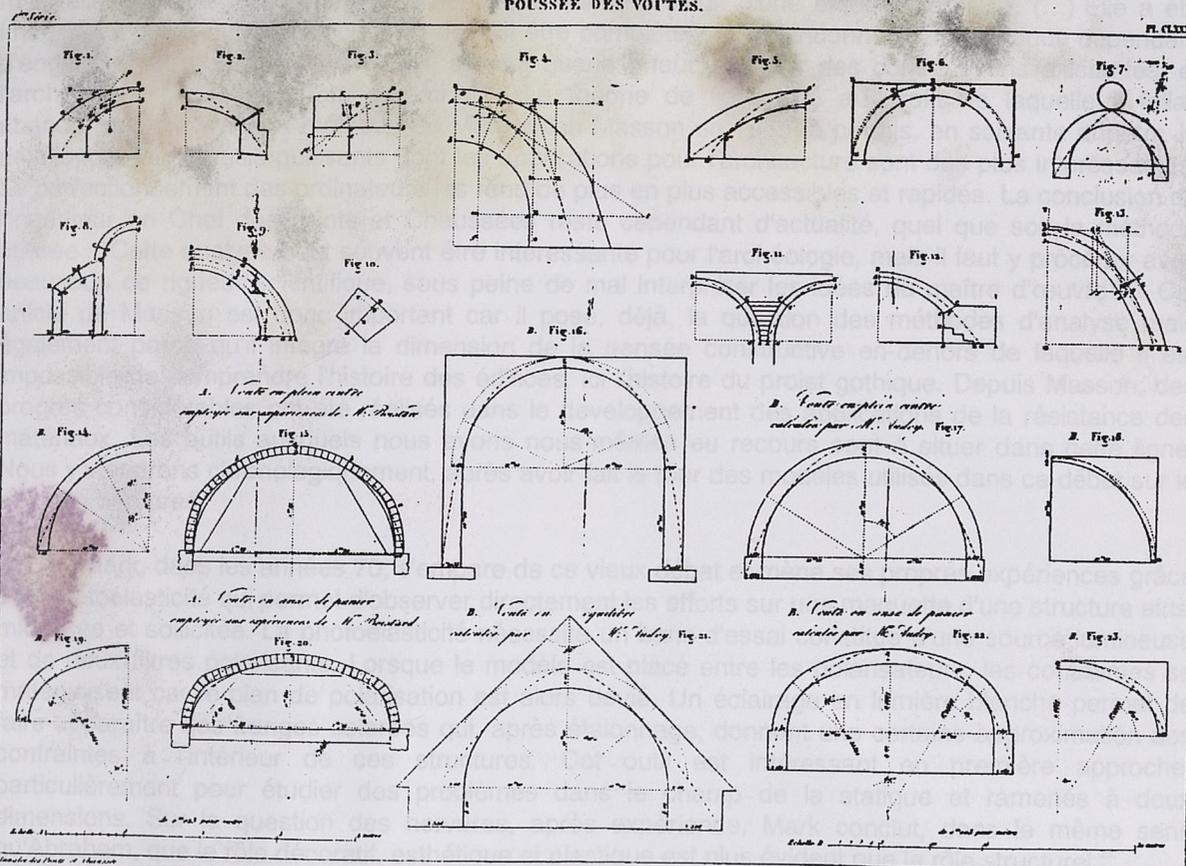


Planche du mémoire de Mery, 1840.

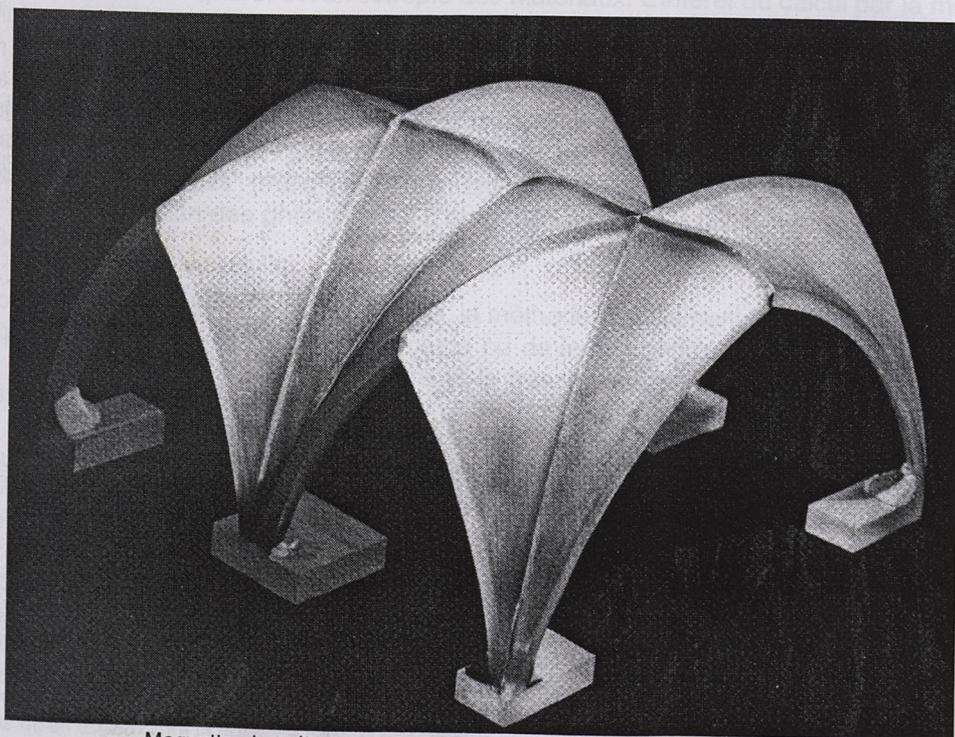
Venons précisément à la question des moyens disponibles à l'époque de Pol Abraham et Victor Sabouret dont les théories font à leur tour l'objet de critiques. Dès 1935, un autre Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, Henri Masson¹⁹, tout en rendant hommage au travail d'Abraham pour avoir utilement rappelé des notions fondamentales, met en cause la crédibilité de ses analyses : "si on examine scientifiquement la thèse soutenue par l'auteur sur l'inutilité des nervures et des arc-boutants, (...) on s'aperçoit que ses raisonnements prêtent à la critique". Il précise en particulier que si la maçonnerie résiste mal à la traction, il est faux d'affirmer qu'elle ne résiste pas du tout. Mais surtout, Masson reproche déjà (en 1935 !) à Abraham d'utiliser des méthodes de calcul dépassées. Les problèmes de stabilité et de résistances sont complexes dans une cathédrale gothique, rappelle Henri Masson : "Aussi les procédés d'études employés par la pratique courante des constructeurs sont presque toujours insuffisants quand il s'agit d'analyser un ouvrage construit depuis des siècles (...). Dans ces cas-là, l'application des règles empiriques, comme celle de Mery, pour étudier la stabilité des voûtes risque de donner des résultats tout à fait erronés ; on est obligé, si on veut obtenir des conclusions scientifiquement indiscutables, au moins dans leur sens général, sinon dans leur rigoureuse exactitude numérique, d'avoir recours aux méthodes modernes de la résistance des matériaux et même de la théorie de l'élasticité".

Voilà donc soixante ans, Masson tenait un discours que rejoint aujourd'hui le nôtre : il faut utiliser les moyens mis à notre disposition par les développements de la résistance des matériaux pour l'analyse des monuments anciens. A l'époque ces notions étaient déjà claires, les outils de calcul n'étaient évidemment pas ceux d'aujourd'hui. L'article de Masson est écrit bien avant le développement des ordinateurs. Ce dernier met en cause les travaux d'Abraham également sur le plan de la rigueur méthodologique, il lui reproche en effet de tenir pour démontré ce qui est simplement supposé et en propose l'explication suivante : "(...) Il faut probablement voir là un des nombreux méfaits imputables à la vieille et empirique règle de Mery, qu'emploient encore trop d'architectes pour le calcul des voûtes. Cette règle est commode pour avoir une première approximation, et encore dans des cas bien définis ;

¹⁹ Masson H., "Le rationalisme dans l'architecture du Moyen Age", in *Bulletin Monumental*, XCIV, 1935, pp. 29-50.

mais elle est sans aucune valeur scientifique quand il s'agit d'une étude rationnelle. (...) Elle a été imaginée il y a bientôt un siècle, elle devrait être complètement abandonnée. Elle continue cependant d'engendrer de nombreuses erreurs, surtout quand il faut analyser des constructions existantes, et l'archéologie en a certainement pâti..."²⁰. La théorie de l'élasticité au profit de laquelle il fallait abandonner d'urgence la méthode de Mery selon Masson en 1935, a permis, en soixante années, le développement d'outils puissants dont les applications pour l'architecture sont des plus intéressantes. Le perfectionnement des ordinateurs les rend de plus en plus accessibles et rapides. La conclusion de l'ingénieur en Chef des Ponts et Chaussées reste cependant d'actualité, quel que soit la méthode utilisée : "Cette analyse peut souvent être intéressante pour l'archéologie, mais il faut y procéder avec beaucoup de rigueur scientifique, sous peine de mal interpréter les idées du maître d'œuvre"²¹. Cet article de Masson est donc important car il pose, déjà, la question des méthodes d'analyse mais également parce qu'il intègre la dimension de la pensée constructive en-dehors de laquelle il est impossible de comprendre l'histoire des édifices, ici l'histoire du projet gothique. Depuis Masson, des progrès considérables ont été réalisés dans le développement des applications de la résistance des matériaux. Les outils auxquels nous avons nous-mêmes eu recours sont à situer dans cette ligne. Nous y viendrons chronologiquement, après avoir fait le tour des modèles utilisés dans ce débat sur le rôle des nervures.

Robert Mark, dans les années 70, s'empare de ce vieux débat et mène ses propres expériences grâce à la photoélasticité qui permet d'observer directement les efforts sur une maquette d'une structure ainsi modélisée et sollicitée. La photoélasticité nécessite un banc d'essai constitué d'une source lumineuse et de deux filtres polarisants. Lorsque le modèle est placé entre les polarisateurs, les contraintes se matérialisent car le plan de polarisation est alors dévié. Un éclairage en lumière blanche permet de faire apparaître des franges colorées qui, après étalonnage, donnent une certaine approximation des contraintes à l'intérieur de ces structures. Cet outil est intéressant en première approche, particulièrement pour étudier des problèmes dans le champ de la statique et ramenés à deux dimensions. Sur la question des nervures, après expérience, Mark conclut, dans le même sens qu'Abraham, que le rôle décoratif, esthétique et plastique est plus évident que le rôle structurel²².



Maquette photoélastique d'une voûte, cathédrale de Cologne (R.Mark)

²⁰ *Ibid.*, pp. 40-41.

²¹ *Ibid.*, p. 50.

²² Voir par exemple Mark R., *Experiments in gothic structure*, M.I.T. Press, 1982 (chap. 8 "Gothic ribbed vaulting : the high vaults of the cathedrals of Cologne and Bourges", pp. 102-117).

Les ordinateurs ont, dans un premier temps, permis de réaliser plus rapidement des calculs classiques. Ils ont donc d'abord simplement permis de gagner du temps en mécanisant le calcul autrefois effectué à la main et les Monuments Historiques n'ont pas manqué de l'utiliser dans ce sens.

Nous avons à notre tour questionné les voûtes à nervures en utilisant un outil d'analyse relativement récent, le calcul par la méthode des éléments finis. Nous renvoyons, pour une description de l'étude, au livre 2 de *Lectures et interprétations d'un modèle* pour ne présenter ici que la démarche et le modèle d'intelligibilité auquel nous avons eu recours. La méthode utilisée est une méthode éprouvée dans d'autres domaines, seule son application aux monuments anciens est innovante. L'enjeu principal de ces études est l'utilisation des propriétés d'une méthode existante pour une meilleure analyse de certains monuments anciens. Mais ces logiciels de calcul se sont également révélés précieux pour la communication entre historiens, architectes et ingénieurs, de par les choix qu'il est nécessaire d'effectuer à différents stades de la modélisation. Dans le domaine de la restauration, les questions techniques sont souvent décisives : l'analyse de structure y est utile à la fois en phase d'étude préalable — où histoire et construction sont indissociables — et en phase de projet. Il s'agit donc d'intégrer dans ce processus les nouvelles techniques de l'ingénieur dont les connaissances spécifiques en mécanique des milieux continus²³, associées à celles des autres spécialistes (architectes, archéologues, historiens), sont nécessaires à une analyse particulièrement fine de l'ensemble des paramètres.

Depuis longtemps déjà les ingénieurs appliquent au calcul des ouvrages d'art la méthode des éléments finis, mise au point dans le domaine de la mécanique des milieux continus. Son rapide développement au cours de ces dernières années est évidemment lié à celui des ordinateurs. La méthode des éléments finis permet une application des connaissances sur la résistance des matériaux au calcul des structures complexes. Les hypothèses simplificatrices d'homogénéité et d'isotropie des matériaux et la théorie de l'élasticité linéaire sont les plus couramment utilisées dans les logiciels actuels. De ce point de vue, le calcul par la méthode des éléments finis apporte toutefois une amélioration par rapport aux méthodes anciennes²⁴ encore utilisées dans la restauration puisqu'elle autorise l'introduction locale de conditions destinées à prendre en compte les phénomènes d'endommagement ou de rupture, et l'anisotropie des matériaux. L'intérêt du calcul par la méthode des éléments finis est manifeste à chaque étape de l'analyse. Pour la définition géométrique du modèle, l'utilité d'un outil de calcul prenant en compte les trois dimensions de l'édifice par rapport aux deux dimensions du papier auxquelles les épures graphiques sont assujetties paraît tout à fait évident. C'est dans les informations recueillies sur la nature, les valeurs et la distribution des contraintes au sein de la structure qu'il faut bien-sûr voir l'extraordinaire progrès que nous offre cet outil. Enfin, dans certains cas que nous dirons "extrêmes" (mais c'est justement pour ces cas-là que l'outil est précieux) la faculté de prendre en considération des phénomènes d'ordre dynamique est un avantage considérable sur la statique graphique²⁵.

Utilisée à l'origine par les ingénieurs mécaniciens, la méthode des éléments finis se prête au calcul des structures qui, par la complexité de leur géométrie ou de leurs conditions de chargement, sortent du champ des méthodes traditionnelles. La nature et le très grand nombre de calculs qu'elle nécessite rend nécessaire leur résolution par ordinateur. Des logiciels de calcul ont été développés pour fonctionner sur micro-ordinateur, ce qui facilite son application à d'autres domaines. Les calculs sont effectués sur un objet préalablement modélisé et maillé, dont le matériau, supposé homogène et isotrope²⁶, est ainsi divisé en un certain nombre de petits éléments afin de ramener l'infinité d'inconnues et d'équations d'équilibre local à un nombre fini d'inconnues et d'équations.

²³ Parmi les disciplines également très utiles à l'étude des édifices anciens, la mécanique des blocs offrent des perspectives tout à fait intéressantes. Cf. rapport final CEE, "Monuments under seismic action".

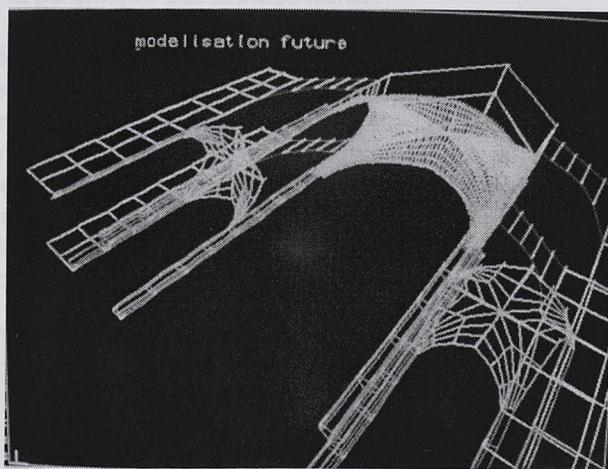
²⁴ De nombreuses approches admettent cette hypothèse. Sur cette question et l'histoire des méthodes d'analyse, Delbecq J.-M., "Analyse de la stabilité des voûtes en maçonnerie de Charles Augustin Coulomb à nos jours", *op. cit.*

²⁵ Sous prétexte qu'en architecture la question du vent peut le plus souvent être ramenée à un problème de statique, elle est la plupart du temps évacuée sans autre forme de procès. Le risque de mise en résonance d'un ouvrage est pourtant un redoutable danger (chacun garde en mémoire l'histoire du pont de Tacoma). Nous pourrions en mesurer l'importance dans le problème posé à Beauvais.

²⁶ C'est l'hypothèse adoptée dans un premier temps pour les travaux présentés. Des lois de comportement adaptées à l'anisotropie et l'hétérogénéité réelle des matériaux nécessiteraient des calculs beaucoup plus complexes qui, dans les cas étudiés, ne se justifient pas. Pour le détail des études, voir les différentes annexes.

Les calculs par la méthode des éléments finis produisent des images (courbes d'isovaleurs des contraintes et déformations) intéressantes à plusieurs titres. Elles fournissent d'une part des informations quantitatives — valeurs des efforts et des déplacements — et qualitatives — répartition des contraintes, localisation des zones de traction ou de compression. D'autre part, elles constituent une alternative aux supports de visualisation traditionnels. En matérialisant des phénomènes non sensibles autrement que par leurs effets elles proposent une "représentation" du comportement mécanique des structures.

Le corpus des informations ainsi recueillies est donc infiniment plus complet que l'exercice de "descente de charges" qui évalue la somme des charges réparties sur les différents points d'appui, et en déduit la valeur des contraintes ou l'épure de Mery qui vérifie qu'une ligne de force passe à l'intérieure de la matière.



Modélisation CADSAP, travée Auxerre : maillage

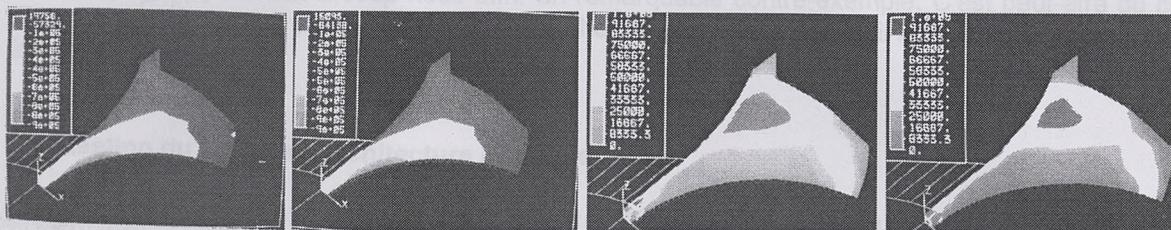
Les deux aspects qui intéressent l'architecture dans le calcul par la méthode des éléments finis sont l'analyse des comportements des structures et l'outil didactique de représentation des phénomènes mécaniques. La méthode d'analyse des comportements nous informe sur la réaction d'une structure à toutes sortes de sollicitations : poids propre, vent, surcharges diverses, ou sur l'influence d'éléments "ajoutés" (arcs-boutants, nervures, ...) ou "soustraits" (oculi, porte-à-faux, ...). Elle est fondée sur la comparaison des résultats obtenus en faisant varier les paramètres (modification de la géométrie, des conditions aux limites ou des conditions de chargement). La même approche paramétrique permet d'étudier l'adaptation d'un matériau à une forme (modification des caractéristiques des matériaux). A partir d'une question précise (rôle de la nervure dans une voûte gothique, influence de percements dans une coupole, ...) et des différentes modélisations effectuées en conséquence, nous pouvons comparer les valeurs et la répartition des contraintes, les déplacements et les déformations. L'affichage graphique des résultats permet de visualiser ces phénomènes mécaniques et d'illustrer un discours analytique et didactique incluant les trois dimensions de l'édifice.

Les choix de modélisation interviennent ensuite encore à différents niveaux. Tous ont une influence sur les résultats et doivent être faits en fonction de critères extrêmement précis. Le choix du modèle numérique doit en premier lieu être fait en fonction de la nature de l'édifice. Ils correspondent chacun à une situation spécifique : "élastique linéaire" (c'est le modèle que nous utilisons en première approche) ; "no tension" (hypothèse d'absence de résistance à la traction, cela ne correspond pas à la réalité sinon aucun ancrage de barres métalliques ou en bois ne serait possible) ; "non linéaire" (hypothèse idéale en théorie pour étudier la maçonnerie de pierre mais très difficile à appliquer) ; "rigide plastique" (il s'agit là d'une généralisation de la loi de Coulomb qui n'est pas adaptée à l'architecture gothique car les mécanismes de ruine mis en évidence nécessitent de très grands déplacements, les travaux devant évidemment être réalisés bien avant) ; linéaire endommagé (on peut trouver rapidement les dommages des structures correspondant à la réalité, ils permettent ensuite d'améliorer le modèle en introduisant ces désordres dans le modèle avant calcul, c'est ce que nous avons fait avec l'analyse de la coupole de l'église de Givry).

De nouveaux choix de modélisation interviennent sur les critères géométriques et mécaniques (caractéristiques des matériaux), ceux du maillage et de la définition des conditions aux limites fixant les déplacements autorisés (translations, rotations) pour tout point particulier ainsi que des conditions de chargement (forces appliquées en certains points du maillage s'il y a lieu).

Mais la validité de telles méthodes dépend avant tout de la manière d'interroger l'édifice et donc de la formulation de la problématique. Certaines des études que nous avons développées dans notre programme de recherche répondent à une question qui se pose concrètement à l'architecte confronté à des choix de restauration. D'autres, non. Mais toutes investissent le champ de la théorie qui ne peut être dissocié aussi clairement que dans d'autres domaines de celui de la pratique. Chaque étude pose donc une question originale tant du point de vue de l'histoire que de celui de la technique et il est souvent nécessaire de mener de nouvelles investigations, d'inventer de nouvelles solutions pour chaque nouveau cas qui se présente. Celle que nous avons menée sur les nervures est précisément replacée dans le contexte de la polémique des années trente.

Notre démarche a consisté à produire différentes modélisations d'une voûte de la cathédrale d'Auxerre, à partir de différentes hypothèses. Chacune a donné lieu à des calculs avec et sans la nervure afin d'en évaluer l'influence sur le comportement de la voûte sous son propre poids. Les résultats obtenus de cette manière montrent que le fonctionnement de la voûte est beaucoup plus complexe que ce que le modèle des billes peut laisser supposer. La présence de la nervure, si elle fait diminuer les valeurs des contraintes de compression à l'intérieur du voûtain, crée par ailleurs des zones de traction assez délicates. En aucun cas on ne trouve au sommet des piliers les valeurs maximales de compression, comme l'envisageait Abraham par sa méthode.



Modélisation CAD/SAP, résultats de calcul : répartition des contraintes

S'agissant de qualifier le rôle des nervures dans la voûte gothique, nous utiliserons pour notre part le terme de *structurant*. Ces arcs structurent l'espace en matérialisant les lignes d'une hypothétique descente de charges, satisfaisant l'apparence plutôt que la réalité. "Cependant, écrit Abraham, l'illusion d'une structure est créée et l'esprit est satisfait par l'apparence trompeuse d'une sorte de logique constructive"³⁰. Pour nous, la dimension évocatrice de la nervure reste primordiale : le procédé qui consiste à souligner le travail de la voûte, et par là-même la puissance de cette architecture, contribue à la "dynamisation" de la structure qui caractérise le modèle gothique. L'architecture gothique est fondée sur une idée dynamique de la construction et la nervure concrétise cette idée. Enfin, s'il n'y a pas tout à fait adéquation entre le comportement mécanique réel et sa représentation sous forme de nervure, il n'y a pas contradiction non plus.

Nous touchons là à une autre dimension du modèle architectural que nous pouvons tenter de saisir avec Umberto Eco³¹. Il illustre par l'exemple de la voûte gothique une analyse de ce qu'il nomme *fonctions premières* et *fonctions secondes* : "Un exemple d'histoire nous fera mieux connaître l'enchevêtrement des fonctions premières et des fonctions secondes à partir des textes que l'histoire nous a laissés. Les historiens de l'architecture ont longtemps discuté le code du gothique et tout spécialement de la valeur structurale de la voûte et de l'arc en ogive. On peut grouper ainsi les hypothèses les plus importantes : 1° la voûte ogivale a une fonction de soutien et toute la construction haute et élégante d'une cathédrale s'appuie sur elle, grâce au miracle d'équilibre qu'elle permet ; 2° la voûte ogivale n'est pas portante, même si elle en donne l'impression, la valeur de soutien appartient plutôt aux parois ; 3° la voûte ogivale avait une fonction de soutien au cours de la construction, ayant

³⁰ Abraham P., *Viollet-le-Duc...*, op. cit., pp. 111-112.

³¹ Eco U., *La structure absente*, Paris, Mercure de France, 1972, pp. 276-277.

le rôle d'une sorte d'échaffaudage provisoire, par la suite le jeu des poussées et des contre-poussées était absorbé par les parois et par d'autres éléments de la construction, et, théoriquement, la croisée d'ogive aurait pu être éliminée. Quelle que soit l'interprétation admise, personne n'a jamais mis en doute que la croisée d'ogives dénotait une fonction de soutien réduite au seul jeu des poussées et contre-poussées entre éléments nerveux et subtiles. La polémique concerne plutôt le référent de cette dénotation ; la fonction dénotée existe-t-elle ? Si elle n'existe pas, la valeur communicative de la croisée d'ogives reste toutefois certaine et d'autant plus intentionnelle, voulue et valable qu'elle aurait été articulée seulement pour communiquer une fonction, non pour la permettre (...)" . Ce petit texte introduit la dimension du débat dans laquelle il faut sans doute chercher la vraie réponse à la question du rôle des nervures.

De la thèse de Pol Abraham, on a surtout retenu l'inutilité constructive des nervures et le débat s'est organisé autour de cette question. Abraham ne s'est pourtant pas arrêté là dans le démontage des théories de Viollet-le-Duc : il s'est en effet interrogé de la même manière sur le rôle des arcs-boutants. Nous n'entrerons pas dans ce débat là, sinon pour introduire le second volet de notre propos avec la question du rôle du fer. "Qui penserait pouvoir enlever les arcs-boutants de la cathédrale de Reims ou ceux de Nervi au Petit Palais des Sports de Rome ?", demande Robert Mark dans son ouvrage *Experiments in Gothic Structure*. Cet ingénieur américain, dont nous avons cité les travaux à propos des nervures, s'est également attaché à démontrer l'utilité des arcs-boutants ainsi que celle des pinacles situés, selon lui, juste à l'endroit où les forces majeures s'exercent³². Mais un certain nombre d'exemples, comme celui du transept de la cathédrale de Beauvais nous obligent à prendre un peu de distance avec la théorie. A Beauvais, où les voûtes du transept ne bénéficient d'aucun contrebutement du côté ouest (la nef n'a pas été construite et les arcs-boutants sont inachevés) la logique se retourne comme un gant pour tout à coup nous offrir un remarquable contre-exemple. C'est peut-être du côté du fer, avec la présence supposée d'importants chaînages métalliques, qu'il faut chercher une réponse à cette énigme.

La question du fer dans l'architecture gothique

C'est à partir de cet objet architectural précis -la cathédrale de Beauvais- que nous avons abordé cette question. Les dimensions exceptionnelles de cette cathédrale, l'intelligence constructive qui a rendu possible son édification et sa survie sept siècles durant, mais aussi les problèmes de stabilité qu'elle connaît et leurs causes multiples, l'urgence même d'une restauration, ont fait converger vers elle différentes études. Toutes sont animées de la volonté de mieux connaître et mieux comprendre, pour mieux le respecter et le préserver, ce fruit du génie constructif de lointains bâtisseurs. Commencée en 1225, l'histoire de l'actuelle cathédrale de Beauvais est semée de difficultés : les graves problèmes que l'édifice connaît aujourd'hui sont à inscrire dans la continuité d'une construction répartie en différentes campagnes, à plusieurs siècles d'écart pour les plus éloignées et entrecoupées d'épisodes douloureux : l'effondrement partiel du chœur, la chute de la tour. Cet édifice admirable, tel qu'il se présente aujourd'hui, est donc en même temps le résultat d'un projet très fort — nous sommes déjà bien au-delà des performances d'une cathédrale de Chartres, à seulement 30 ans de distance — et d'un certain nombre d'amendements tout aussi intéressants. Si la nef n'a jamais été construite, le chœur lui, avec ses 48 mètres de hauteur est toujours là pour témoigner de cet extraordinaire volonté des bâtisseurs d'aller toujours plus haut. Viollet-le-Duc l'avait bien compris, qui affirmait en son temps : " Sous ce point de vue, cet édifice ne saurait être étudié avec trop de soin. C'est le Parthénon de l'architecture française ; il ne lui a manqué que d'être achevé, et d'être placé au centre d'une population conservatrice et sachant comme les Grecs de l'antiquité, apprécier, respecter et vanter les grands efforts de l'intelligence humaine"³³.

La partie la plus ancienne de l'édifice est le bas côté du transept, du côté du chœur : il est entrepris aux alentours de 1225. Puis le chantier se poursuit vers l'est avec le chœur et le chevet dans leur première version, achevée en 1272. Au début du XIII^e siècle la cathédrale de Beauvais constitue un projet d'une très grande audace : les éléments de contrebutement du chevet, dressés à une altitude de 45 mètres au-dessus du sol, ont une section étonnamment modeste et les culées, éléments

³² Mark R. et Jonash R.-S., "Wind loading on Gothic Structure", in *Journal of the Society of Architectural Historians*, 29, 1970.

³³ Viollet-le-Duc E., *Dictionnaire de l'Architecture*, article Arc, tome I, p. 71.

traditionnellement les plus massifs d'un édifice gothique, semblent elles-mêmes extrêmement fragiles. La cathédrale de Beauvais ressemble ainsi à un manifeste : une démonstration presque insolente. Et cela d'autant plus que l'édifice, de par sa situation et son élancement, est soumis à des sollicitations dynamiques très fortes : le vent, à Beauvais, est un élément avec lequel il faut composer. Les bâtisseurs ont su trouver les moyens d'une telle ambition : la parfaite maîtrise de la géométrie est sans doute le facteur essentiel de leur réussite ; moins connu, le rôle du fer y est également déterminant. La présence de l'arc-boutant supérieur des contrebutelements du chœur et du chevet prouve que les bâtisseurs de l'époque avaient parfaitement conscience de l'importance du vent : sans justification "statique" (la charpente n'est pas conçue pour pousser), ce membre supérieur est vraisemblablement destiné à lutter contre l'action du vent sur la corniche ³⁴.

En 1284, la première campagne de construction est terminée et les travaux n'ont pas encore repris lorsqu'une partie des voûtes du chœur s'effondre, certains des contreforts ayant sans doute cédé. La partie concernée étant achevée depuis une douzaine d'années, il faut rechercher la cause de cet accident, non pas dans un défaut de conception du "dessin" de l'édifice, mais dans un paramètre externe à la structure qui peut être de deux natures différentes : au niveau du sous-sol, un défaut de fondation pouvant être à l'origine d'un tassement différentiel ayant entraîné la ruine de la superstructure ; ou bien, une sollicitation dynamique de cette superstructure elle-même dont la cause serait alors le vent évoqué plus haut et dont nous étudierons plus en détail les dangers. Sur la stabilité du terrain et la profondeur des fondations, un texte de 1499 indique que la partie orientale serait fondée à une vingtaine de mètres de profondeur sur le bon sol. Le même document indique que la nouvelle partie du transept ne sera fondée qu'à une dizaine de mètres. Il convient donc d'établir d'ores et déjà une distinction entre une stabilité géométrique évidente — et que l'on peut vérifier par les épures graphiques faisant passer une ligne des centres de pression à l'intérieur des masses — et une stabilité dynamique. Surtout, il est nécessaire, pour un édifice dont la construction par parties en plusieurs périodes induit des préchargements de fait, avec par ailleurs des temps de prise de mortier très longs, d'introduire dans une analyse purement géométrique un facteur temps que seule une étude détaillée de l'histoire de l'édifice autorise. Les déformations géométriques dues aux tassements (sous le poids propre ou causés par un affaissement du sol) et aux accidents successifs, modifient les épures et sont évidemment susceptibles d'entraîner de graves désordres. Sur les fondations elles-mêmes et la qualité du sol (nous sommes dans une plaine alluviale), nous ne savons que très peu de choses. D'autres paramètres, tels que le cheminement des eaux pluviales, nous manquent : à l'échelle de plusieurs siècles, le ruissellement en sous-sol de ces eaux dont nous savons seulement qu'elles ne sont pas raccordées au réseau urbain d'évacuation (lui-même beaucoup plus récent que l'édifice), peut s'avérer extrêmement néfaste pour des fondations en maçonnerie. En revanche, les conditions météorologiques évoluant peu, l'évènement de 1284 peut plus facilement être mis en relation avec le phénomène particulier du vent dont nous pouvons étudier les données aujourd'hui.

Les voûtes sont reconstruites au tout début du XIV^e siècle, sur un plan sexpartite. Des piliers intermédiaires sont alors érigés dans le chœur. Les tirants disposés de pylône à pylône et de culée à culée, entre chaque travée de contrebutelement rayonnant autour du rond-point, pourraient selon toute vraisemblance avoir été installés lors de ces travaux de réparation ³⁵. Interrompue au milieu du XIV^e siècle, la construction ne reprend qu'en 1499 avec une campagne qui poursuit la construction du transept engagée près de trois siècles plus tôt. C'est sans doute le souci d'établir un contrebutelement pour le chœur dans l'axe longitudinal de la cathédrale qui a décidé les maîtres de l'ouvrage à entreprendre cette partie de l'édifice. Mais le projet était alors de poursuivre le chantier dans sa partie occidentale par la construction de la nef. Pourtant, bien que seule la première travée ait alors vu le jour ³⁶, un projet de couronnement de la croisée du transept est entrepris dès 1543. Et en 1569, soixante-dix ans après la reprise du chantier, une flèche coiffant la tour lanterne culmine à 153 mètres. La cathédrale de Beauvais présente alors cette curieuse configuration d'un édifice trois fois plus haut que long !

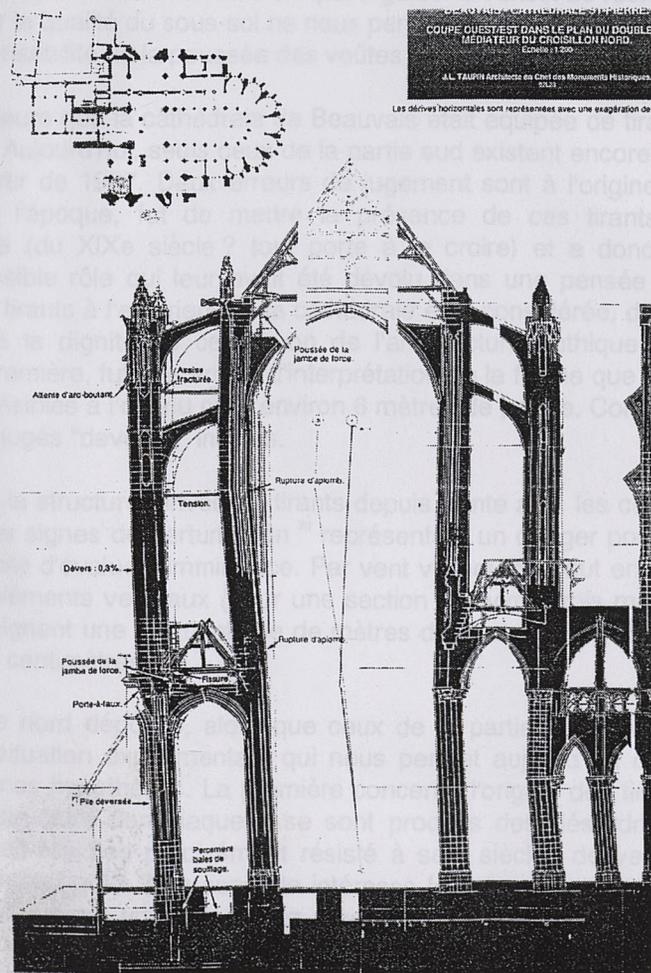
³⁴ Sur le sujet : Fitchen J. , "A comment on the upper flying buttress in French Gothic architecture", in *Gazette des Beaux-arts*, 6^e série, 1955, pp. 69-90. Voir aussi les travaux de Robert Mark.

³⁵ La prudence devrait nous conduire à ne pas exclure leur présence dès l'origine de l'édifice (XIII^e siècle) : c'est l'une des hypothèses qu'avance M. Taupin, sans pouvoir, faute d'élément déterminant, être catégorique.

³⁶ Il n'est même pas sûr qu'elle ait été voûtée.

C'est alors qu'intervient l'épisode dramatique de 1573. La tour, dont deux des piliers sont anciens de trois siècles, vraisemblablement fondés profondément et les deux autres tout neufs et aux fondations plus superficielles, s'effondre en deux temps : la partie supérieure au début du mois d'avril, le reste au mois d'août, visiblement entraîné par le vent qui s'engouffre dans l'édifice. Dans les années qui suivent l'écroulement de la tour lanterne, deux piliers du chœur détruits dans l'accident sont reconstruits. A la croisée, on monte une "voûte" en bois toujours là aujourd'hui. Deux contreforts sont ensuite bâtis à l'ouest du transept dont la tour ne sera pas reconstruite ³⁷.

Il résulte de cet épisode de l'histoire de la cathédrale une situation pour le moins étrange puisque le transept, construit au XVI^e siècle jusqu'à une hauteur comparable à celle du chœur du XIII^e siècle (47 mètres environ), est dépourvu de système de contrebutement susceptible de lutter contre un logique déversement vers l'ouest dû à l'absence de nef. Les frêles arcs-boutants (une seule batterie), censés contre-pousser le vaisseau du transept, semblent au contraire lui être suspendus : les tirants qu'on leur a adjoint, visiblement en extension, confirment d'ailleurs cette impression. Cependant, en 300 ans, les choix architecturaux qui règlent la construction de l'édifice ont évolué : l'architecte Chambiges, qui dirige le chantier à la fin de sa vie (il meurt en 1532 avant l'achèvement du transept), donne davantage d'épaisseur aux éléments verticaux et dessine des voûtes moins tendues. Tous les événements que nous venons de voir ³⁸ ne sont évidemment pas sans conséquence sur l'état actuel de la cathédrale de Beauvais.



coupe montrant la tendance au déversement du transept (déplacements multipliés par 5), document J.-L. Taupin

³⁷ Sur la cathédrale de Beauvais, Murray S., *Beauvais Cathedral, Architecture of Transcendence*, Princeton, 1989. Egalement, Murray S., *The Choir of Saint-Pierre, Cathedral of Beauvais* (1980) ; Branner R., *Le maître de la cathédrale de Beauvais*, Art de France -2- (1962) ; Bonnet-Laborde P., *Cathédrale Saint-Pierre, Beauvais*, Beauvais (1978).

³⁸ Le détail des restaurations serait long et hors de notre propos, si ce n'est lorsque des observations précises doivent être introduites dans nos modélisations.

Elle connaît de nouveau aujourd'hui une situation préoccupante. Nous allons brièvement en décrire les indices et montrer les apports possibles du calcul de structure par la méthode des éléments finis dans ce cas particulier. Pour être efficace, l'étude de la cathédrale doit contrôler l'ensemble des paramètres générateurs de pathologie et prendre en compte la totalité des données sur l'édifice, sur son environnement et les liens ou mode de relations entre les deux (fondations-sol, vent-culées, etc.). Les problèmes peuvent toutefois être sériés et faire l'objet de pré-études isolées. L'aspect global est alors pris en considération dans la modélisation (conditions aux limites) et dans l'interprétation (prise en compte dans l'analyse des phénomènes connexes). Les deux aspects étudiés ici sont les tirants externes du chevet et le renversement du transept. Revenons sur chacune des deux problématiques.

Il se produit dans la partie nord du transept de la cathédrale de Beauvais un phénomène de déversement d'une nature assez inquiétante. Comme le montre la coupe (où les déformations sont volontairement exagérées), le sommet des piliers subissant une forte poussée, ceux-ci basculent vers l'ouest en l'absence de nef susceptible de s'opposer à ce mouvement. Or, les proportions du contreboutement et l'absence de la deuxième volée d'arcs-boutants (comme il en existe dans le chœur) engendrent la situation décrite plus haut : les arcs-boutants situés à cet endroit ne sont d'évidence plus comprimés. Ce système arc-boutant et culée, non seulement ne contrebute pas les poussées de la voûte mais contribue à amplifier le mouvement vers l'ouest. C'est là un terrain d'application pour le calcul par la méthode des éléments finis propre à aider à la compréhension d'un comportement mécanique suspect, voire, dans un deuxième temps, à guider un choix de restauration. L'état actuel de nos connaissances sur la qualité du sous-sol ne nous permet pas d'évaluer la part due aux tassements différentiels et la responsabilité de la poussée des voûtes dans ce phénomène.

Nous avons vu par ailleurs que la cathédrale de Beauvais était équipée de tirants métalliques sur tout le pourtour du chevet. Aujourd'hui, seuls ceux de la partie sud existent encore, ceux de la moitié nord, ont été déposés à partir de 1967. Deux erreurs de jugement sont à l'origine de cette opération. La première, courante à l'époque, fut de mettre la présence de ces tirants sur le compte d'une restauration maladroite (du XIX^e siècle ? tout porte à le croire) et a donc conduit à négliger de s'interroger sur le possible rôle qui leur avait été dévolu dans une pensée globale de l'édifice. La présence voyante des tirants à l'extérieur de la cathédrale était considérée, dans les années soixante, comme une atteinte à la dignité de ce fleuron de l'architecture gothique française. La seconde, directement liée à la première, fut une erreur d'interprétation de la flèche que présentaient ces tirants : quelques centimètres visibles à l'œil nu pour environ 6 mètres de portée. Considérés comme détendus ces tirants furent alors jugés "devenus" inutiles.

Dans la partie nord de la structure, privée de tirants depuis trente ans, les culées et les pylônes ainsi isolés montrent certains signes de perturbation³⁹ représentant un danger pour la stabilité de l'édifice, danger dont il est difficile d'évaluer l'imminence. Par vent violent, on peut en effet observer une mise en oscillation de ces éléments verticaux (pour une section d'environ trois mètres par un mètre à mi-hauteur les culées atteignent une cinquantaine de mètres de hauteur). Au sommet, les déplacements peuvent dépasser trois centimètres.

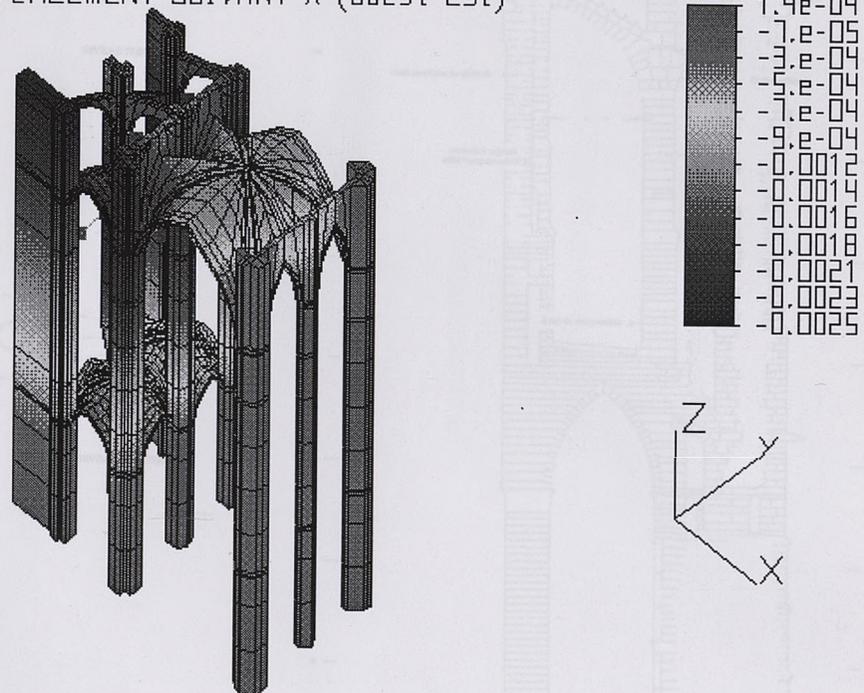
Les tirants de la partie nord déposés, alors que ceux de la partie sud sont conservés, l'édifice se trouve placé dans la situation expérimentale qui nous permet aujourd'hui d'étudier deux sortes de questions pour étayer nos hypothèses. La première concerne l'origine des tirants et reste posée : en effet, la partie de la structure dans laquelle se sont produits des désordres au cours des trente dernières années n'avait-elle pas précisément résisté à sept siècles de vents violents à Beauvais grâce à ces éléments métalliques ? La seconde intéresse la nature elle-même de ces éléments : les "tirants" que l'on croyait, jusqu'à une date assez récente, n'être qu'un chaînage apparent — sorte de gigantesque ceinture bouclant le chœur de la cathédrale — pourraient en fait jouer un rôle d'amortisseurs dans un système beaucoup plus subtile limitant d'une part les déplacements horizontaux des piliers excités par les écoulements d'air entre les culées ; modifiant, d'autre part, les fréquences propres des culées de façon à éviter leur entrée en résonance qui serait fatale à l'édifice tout entier.

³⁹ Des coupes réalisées par l'Institut Géographique National à trois hauteurs différentes révèlent une parfaite co-axialité du système, excepté là où s'est faite l'intervention des Monuments Historiques.

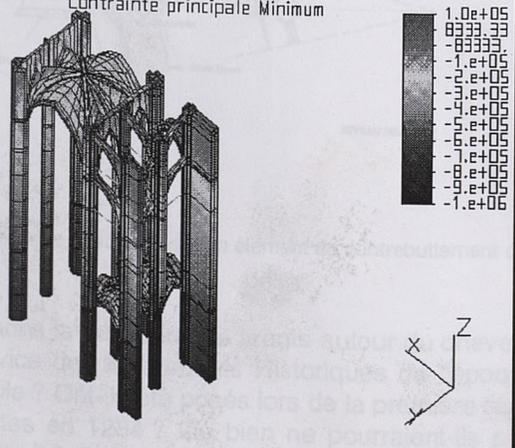
Notre hypothèse (mais nous ne faisons là qu'adhérer à celle que J.-L. Taupin a le premier avancée) est la suivante : posés délibérément avec une flèche, ces tirants témoignent de la perception et de la compréhension au moins intuitive des bâtisseurs, des phénomènes de résonance et des problèmes précis susceptibles d'être entraînés par la vertigineuse hauteur de leur construction en cas de rafales de vent. Pour vérifier le phénomène et déterminer la nature et le rôle des tirants, nous avons interrogé les méthodes de calcul actuelles utilisées dans les précédentes études⁴⁰.

La modélisation du croisillon nord du transept est particulièrement intéressante pour les questions constructives et géométriques qu'elle soulève. Elle n'a pu être élaborée qu'en s'interrogeant sur la stéréotomie et la mise en œuvre de cette partie particulièrement complexe de l'édifice et en exploitant les qualités du modéleur : ce fut l'occasion d'en explorer tout le potentiel. L'étude que nous allons présenter maintenant est plus simple du point de vue géométrique (encore que le maillage soit le résultat d'un travail rigoureux). En revanche, elle met en jeu les possibilités de calcul complexe des réactions à des sollicitations dynamiques.

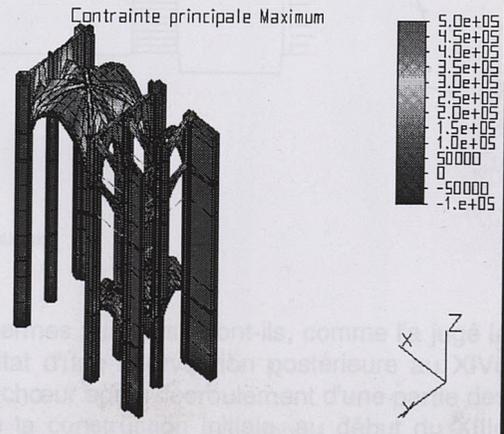
DEPLACEMENT SUIVANT X (ouest-est)



Contrainte principale Minimum



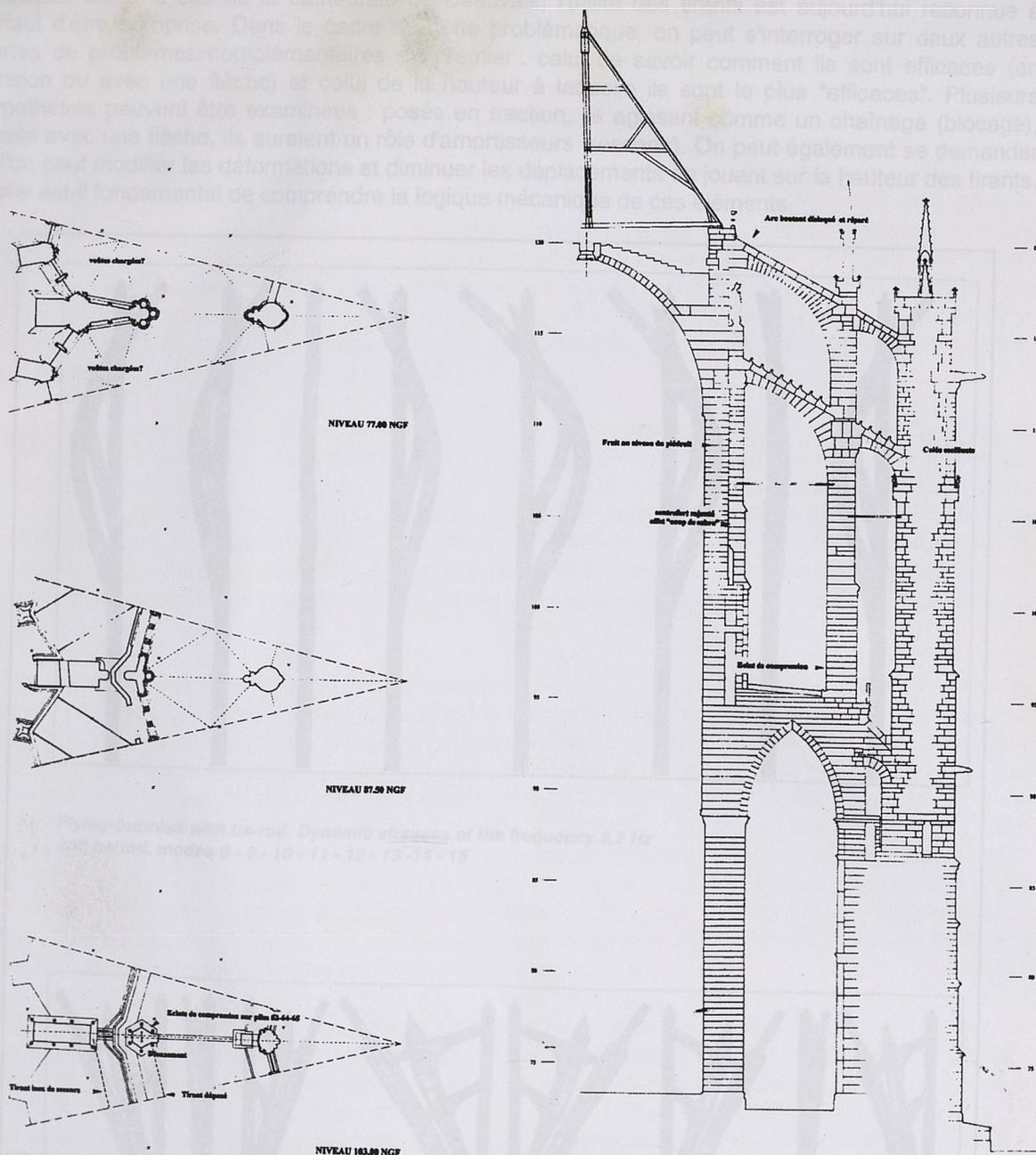
Contrainte principale Maximum



Modélisation CADSAP, résultat de calculs, transept sous son propre poids

⁴⁰ Cf. Rapport CEE donné en annexe.

Le recours à ce projet, à des éléments métalliques pour stabiliser l'édifice va à l'encontre de la "logique" constructive des théories du XIX^e siècle qui imprime à l'architecture gothique. Dans le cas de la cathédrale de Beauvais, on peut s'interroger sur deux autres sortes de problèmes complémentaires : d'abord, comment les tirants sont-ils efficaces (en tension ou en compression) et celui de la hauteur à laquelle ils sont le plus "efficaces". Plusieurs hypothèses peuvent être examinées : posés en traction, ils agissent comme un chaînage (blocage), posés avec une pente, ils auraient un rôle d'amortisseurs. On peut également se demander si les tirants ne servent pas à limiter les déformations et diminuer les déplacements en tirant sur la hauteur des trants.

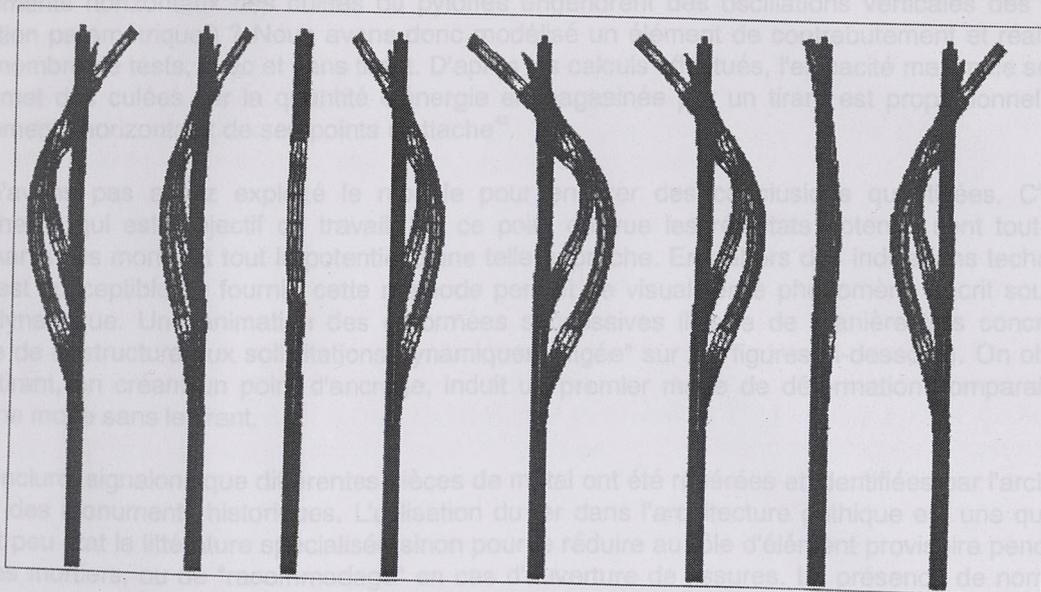


Relevé des désordres sur un élément de contrebuttement du chevet, Beauvais.

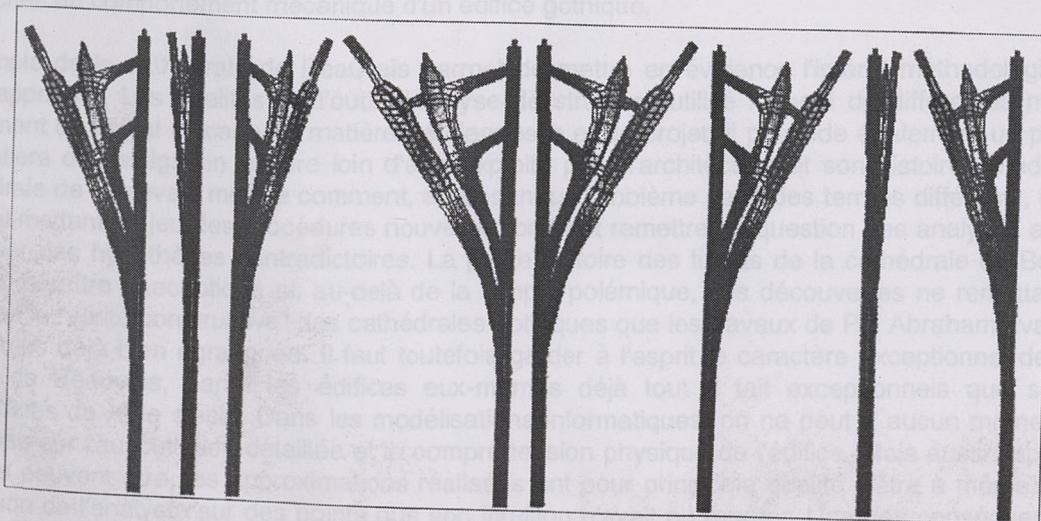
Posons la question des tirants autour du chevet dans les termes suivants : sont-ils, comme l'a jugé le service des Monuments Historiques de l'époque, le résultat d'une intervention postérieure au XIV^e siècle ? Ont-ils été posés lors de la première réparation du chœur après l'écroulement d'une partie des voûtes en 1284 ? Ou bien ne pourraient-ils pas dater de la construction initiale, au début du XIII^e siècle⁴¹ ? C'est une partie du problème que l'on pourra peut-être éclairer à partir des résultats des analyses effectuées sur le rôle de ces éléments. Quelle fonction leur était précisément dévolue ? C'est ce que nous avons essayé de comprendre par la modélisation du système de contrebuttement.

⁴¹ Au moins le principe car il va de soi que les tirants eux-mêmes ont pu être remplacés.

Le recours, dès le projet, à des éléments métalliques pour assurer la stabilité de l'édifice va à l'encontre de la "logique" constructive que les théories du XIXe siècle ont imprimée à l'architecture gothique. Dans le cas de la cathédrale de Beauvais, l'utilité des tirants est aujourd'hui reconnue à défaut d'être comprise. Dans le cadre de cette problématique, on peut s'interroger sur deux autres sortes de problèmes complémentaires du premier : celui de savoir comment ils sont efficaces (en tension ou avec une flèche) et celui de la hauteur à laquelle ils sont le plus "efficaces". Plusieurs hypothèses peuvent être examinées : posés en traction, ils agissent comme un chaînage (blocage), posés avec une flèche, ils auraient un rôle d'amortisseurs (ressorts). On peut également se demander si l'on peut modifier les déformations et diminuer les déplacements en jouant sur la hauteur des tirants. Aussi est-il fondamental de comprendre la logique mécanique de ces éléments.



*Flying-buttress with tie-rod. Dynamic stresses at the frequency 8,2 Hz
2nd period, modes 8 - 9 - 10 - 11 - 12 - 13 - 14 - 15*



*Flying-buttress without tie-rod. Dynamic stresses at the frequency 3,2 Hz
5th period, modes 32 - 33 - 34 - 35 - 36 - 37 - 38 - 39*

Modélisation CADSAP, comparaison de la déformation des piles, avec et sans tirant, sous une sollicitation dynamique

Pour évaluer le rôle et l'efficacité des tirants, l'analyse "élément finis" considère l'action du vent non plus comme ramenée à un problème de statique (assimilation de l'action du vent à une force répartie sur la surface de la culée), mais l'étudie du point de vue de la dynamique. Sans entrer dans une étude technique détaillée des phénomènes hydro-dynamiques issus du vent, domaine de spécialistes dont nous n'avons aucunement la compétence (mais que nous avons sollicités), nous pouvons supposer les éléments verticaux de contrebutement soumis à des tourbillons d'air créés par un obstacle : les culées. Rappelons, par ailleurs, que le principal danger dans le cas d'éléments si hauts et si minces n'est pas la vitesse du vent elle-même mais les sollicitations en rafales qui, même par vent peu violent, sont susceptibles d'imprimer à ces éléments de structure un mouvement d'oscillation qui, s'il entre en résonance avec leur fréquence propre, peut augmenter considérablement les amplitudes jusqu'à entraîner la ruine. En terme d'analyse, la question posée est la suivante : peut-on montrer que les déplacements horizontaux des culées ou pylônes engendrent des oscillations verticales des tirants ("excitation paramétrique") ? Nous avons donc modélisé un élément de contrebutement et réalisé un certain nombre de tests, avec et sans tirant. D'après les calculs effectués, l'efficacité maximale se situe au sommet des culées car la quantité d'énergie emmagasinée par un tirant est proportionnelle aux déplacements horizontaux de ses points d'attache⁴².

Nous n'avons pas assez exploité le modèle pour en tirer des conclusions quantifiées. C'est la démarche ici qui est l'objectif du travail. De ce point de vue les résultats obtenus sont tout à fait satisfaisants : ils montrent tout le potentiel d'une telle approche. En-dehors des indications techniques qu'elle est susceptible de fournir, cette méthode permet de visualiser le phénomène décrit sous une forme dynamique. Une animation des déformées successives illustre de manière très concrète la réponse de la structure aux sollicitations dynamiques ("figée" sur les figures ci-dessous). On observe que le tirant, en créant un point d'ancrage, induit un premier mode de déformation comparable au deuxième mode sans le tirant.

Pour conclure, signalons que différentes pièces de métal ont été repérées et identifiées par l'architecte en chef des monuments historiques. L'utilisation du fer dans l'architecture gothique est une question dont fait peu état la littérature spécialisée sinon pour le réduire au rôle d'élément provisoire pendant la prise des mortiers, ou de "racommodage" en cas d'ouverture de fissures. La présence de nombreux chaînages révélée par le détecteur de métaux, "noyés" dans la maçonnerie d'une manière qui témoigne de leur origine tendrait à valider l'hypothèse contraire. Ces observations renforcent notre conviction que les bâtisseurs du XIIIe siècle connaissaient suffisamment les qualités du fer pour l'utiliser à dessein — au moins à Beauvais et à Bourges — comme élément fondamental de leur projet constructif. Cette hypothèse bouscule considérablement l'idée que l'on se fait de la construction gothique. Elle nous amène à réviser nos analyses et à examiner ces nouvelles données dans nos approches du comportement mécanique d'un édifice gothique.

L'exemple de la cathédrale de Beauvais permet de mettre en évidence l'intérêt méthodologique de cette approche. Les qualités de l'outil d'analyse de structure utilisé ici sont de différentes natures : instrument de calcul efficace en matière de diagnostic et de projet, il possède également un potentiel en matière d'investigation encore loin d'être exploité pour l'architecture et son histoire. L'étude de la cathédrale de Beauvais montre comment, en posant un problème dans des termes différents, grâce à un outil mettant en jeu des procédures nouvelles, on peut remettre en question des analyses admises et étayer des hypothèses contradictoires. La petite histoire des tirants de la cathédrale de Beauvais pourrait paraître anecdotique si, au-delà de la simple polémique, ces découvertes ne remettaient en question la "vérité constructive" des cathédrales gothiques que les travaux de Pol Abraham avaient en leur temps déjà bien égratignée. Il faut toutefois garder à l'esprit le caractère exceptionnel de Saint-Pierre de Beauvais, parmi les édifices eux-mêmes déjà tout à fait exceptionnels que sont les cathédrales du XIIIe siècle. Dans les modélisations informatiques, on ne peut à aucun moment faire l'impasse sur l'auscultation détaillée et la compréhension physique de l'édifice. Mais aussi imparfaites qu'elles peuvent être, les approximations réalisées ont pour principale qualité d'être à même d'attirer l'attention de l'analyste sur des points que son intuition n'avait pu repérer. Une des conséquences en découlant est la possible instrumentation intelligente qui, dans le cas d'édifices gigantesques comme une cathédrale gothique, est une aide précieuse et un gain considérable de temps et d'argent.

⁴² Là encore, pour une présentation détaillée de l'étude (hypothèses, cas de chargement, sollicitations dynamiques), voir les annexes.

Parmi les modèles numériques disponibles, nous avons exploré essentiellement les possibilités de l'élasticité linéaire avec prise en compte des endommagements. Des différentes études que nous avons réalisées, nous avons tiré la conviction de la pertinence de l'élasticité linéaire dans le cas des structures de type voûtes et coupôles et de l'intérêt de son rapport coût / efficacité. Les investigations menées dans le domaine du non linéaire dont il n'est pas rendu compte ici nous permettent de conforter notre idée que par rapport aux moyens mis en œuvre, les résultats obtenus avec les modèles d'élasticité linéaire (améliorés par la prise en compte des endommagements) sont très satisfaisants en termes qualitatifs. Pour améliorer leurs performances quantitatives (valeurs exploitables des contraintes, etc.), il nous semble que les moyens supplémentaires nécessaires devraient être employés à affiner les paramètres plutôt qu'investis dans des modèles plus complexes.

Sur les aspects appliqués de cette recherche, le critère "économie" de l'analyse, celui de l'"économie" de l'instrumentation et, au-delà, de l'"économie" du projet de restauration (dans le sens de la légèreté de l'intervention rendue possible par une compréhension fine des phénomènes), nous tiennent plus particulièrement à cœur. C'est une manière de renouer avec l'esprit gothique tel que nous l'avons défini : intelligence de la construction plutôt que massivité des matériaux.

Enfin, sur l'aspect strictement numérique de ces travaux, il nous semble important de revenir en conclusion sur les deux tentations qu'il nous semble falloir absolument éviter face aux moyens technologiques disponibles aujourd'hui : celle de l'excès d'instrumentation des édifices conduisant à la surinformation et celle du modèle "idéal" d'un édifice entièrement simulé. Dans les deux cas la quantité risque de nuire à la qualité. La principale propriété de ce type de calcul est de pouvoir travailler sur des morceaux d'édifice tout en intégrant l'influence des éléments aux frontières. Surtout, dans de tels travaux, le facteur économie est un aspect fondamental du problème et un critère évident d'efficacité. De ce point de vue, inspirons-nous du modèle gothique car en-dehors de cette préoccupation économique, les cathédrales n'auraient vraisemblablement pas vu le jour. Nous sommes convaincus que, hors de cette dimension, les cathédrales — en tout cas dans leur intégrité constructive — ne survivront pas à cette nouvelle sorte de vandalisme que notre fin de siècle leur fait subir. Les savoirs qu'elles incarnent seront alors irrémédiablement perdus.

Si, comme nous l'avons dit, la lecture de l'architecture gothique se renouvelle en fonction d'un certain nombre de facteurs, parmi lesquels l'état des connaissances scientifiques du moment, il s'est peu à peu creusé un fossé entre les deux et il existe aujourd'hui un décalage entre les progrès de ces connaissances et leur utilisation pour la lecture des édifices gothiques, du point de vue théorique pour l'historien, avec des enjeux pratiques très clairs pour l'architecte restaurateur. De fait, on constate l'influence persistante à la fois des théories du XIXe siècle que nous avons du mal à abandonner malgré les violentes attaques dont elles ont été l'objet et des méthodes d'analyse graphiques qu'affectionnent les architectes plus à l'aise avec des instruments de dessin qu'avec des formules mathématiques. Aujourd'hui lorsqu'il s'agit d'étudier les édifices dans leur dimension physique, c'est la prise en compte de leur histoire dans l'utilisation des outils modernes de calcul qui permet de modéliser non pas un objet théorique mais un édifice qui fut un projet, un chantier, et qui nous parvient marqué par le temps et les hommes. Il convient de prendre ensemble en considération ces données afin de ne pas étudier à notre tour un modèle idéal mais chacune de ses matérialisations "imparfaites" que sont les cathédrales gothiques. En situation d'analyse d'un projet ancien, comme pour la vérification d'un projet en cours, il est indispensable de faire coïncider le modèle constructif et le modèle mathématique et de fixer les limites de validité de ce dernier.

II. L'architecture gothique en tant que modèle dans la production architecturale.

"L'architecture de verre est inconcevable sans le gothique. Autrefois, lorsque s'élevèrent les cathédrales et les châteaux-forts gothiques, c'est aussi une architecture de verre que l'on avait en vue. Mais il fut impossible de la réaliser entièrement, parce qu'on ne disposait pas encore de l'indispensable matériau qu'est le fer. C'est seulement avec lui que devient possible la réalisation du rêve de verre dans sa totalité.

A l'époque du gothique, le verre était encore tout à fait inconnu dans la plupart des maisons particulières. Aujourd'hui, il est déjà l'un des principaux éléments de l'architecture dans chaque maison. Certes - il lui manque encore la couleur.

Mais la couleur viendra elle aussi ..."

Paul Scheerbart, *L'architecture de verre* (1914). P. 49
Circé, 1995. ISBN 2-908024-87-X

L'histoire de l'architecture, jusque dans ses développements les plus récents, décline la notion de modèles sur des registres multiples. Un bref survol des différentes interprétations de l'architecture gothique éclaire quelques unes des notions liées au terme de modèle qu'exploite l'architecte d'un point de vue méthodologique et la manière dont elles nourrissent en retour une histoire sans cesse renouvelée en fonction de l'évolution et de l'élaboration des modèles eux-mêmes⁴³.

C'est donc le deuxième aspect que nous voulons présenter ici : la manière dont un modèle élaboré pour "comprendre" permet à son tour de "produire" de l'architecture. On peut reprocher, à juste titre, au XIXe siècle d'avoir fabriqué une cathédrale idéale du point de vue du concept. Mais ce travail aura sur la période suivante des répercussions peu mesurées jusqu'ici. Partons de la question de la transparence en architecture et de celle de la modernité, formulons la question suivante : le Mouvement moderne est-il seulement le point de départ de quelque chose, ou bien se situe-t-il dans la perspective de différents mouvements qui ont animé le monde de l'architecture en Europe dans les décennies qui l'ont précédé ? Nous allons examiner cette question à travers l'exemple du mur-rideau.

le mur-rideau

Gottfried Semper (1803-1879) est tenu pour être l'inventeur de cette expression de mur-rideau qui va connaître un certain succès tout au long du XXe siècle. Il va nous servir à montrer que le mouvement moderne ne se construit pas en faisant table rase du passé et que l'affirmation de Le Corbusier : "Aujourd'hui aussi le monde commence" (*Quand les cathédrales étaient blanches*, 1937) est à nuancer. Par ailleurs, si l'on doit rechercher l'archétype ou plutôt l'ancêtre du mur rideau, c'est bien du côté du XIIIe siècle qu'il faut regarder.

Jacques Ferrier explique dans un article consacré à la notion d'enveloppe que la façade a longtemps été liée à la structure en tant que mur et la notion d'entité autonome assurant le clos et le couvert indépendamment de la fonction porteuse n'est apparue qu'à la moitié du siècle précédent⁴⁴. Soulignons que c'est justement au moment où se bâtit la théorie de l'architecture gothique. Et puisque c'est de transparence dont il est ici question, il n'est pas inopportun de rappeler ceci : le gothique devient gothique précisément au moment où l'on cesse de percer des ouvertures dans des façades porteuses pour commencer à remplir des espaces entre des points porteurs (avec la liberté de plan que cela induit). Le système constructif reste toutefois discontinu contrairement à la notion actuelle d'enveloppe qui contient l'idée de continuité. Au milieu du XIXe siècle c'est donc la conjonction de deux grands facteurs qui permet l'émergence et le développement de l'idée d'enveloppe (donc de façade) comme entité autonome : la redécouverte du gothique (à replacer dans la lutte polémique contre l'académisme) et la production de matériaux nouveaux (à replacer dans l'évolution des sciences et techniques et la révolution industrielle).

⁴³ Je reprends ici à peu près littéralement le chapitre III du livre 1 de ma thèse.

⁴⁴ *Le Moniteur-AMC*, n°70, avril 1996.

Gottfried Semper est l'auteur de l'ouvrage *Der Stil in den technischen Künsten* (1862-1864). "Doctrine rationnelle de la création architecturale et artistique", il s'agit d'une théorie fortement hiérarchisée de la production du projet architectural dans laquelle le matériau et la technique jouent un rôle prépondérant, ainsi que, par ordre de priorité, les conditions économiques et sociales puis la personnalité du créateur. Cette doctrine se veut rationnelle et non rationaliste, terme qui, comme celui de fonctionnalisme, revêt un caractère réducteur et, pour Tzonis et Lefaivre⁴⁵, des "connotations minimalistes (...), à savoir celles d'économisme, de scientisme et de mépris de l'esthétisme".

Semper expose sa théorie architecturale en analysant les éléments d'architecture par fonction. Rappelons-nous que, durant son séjour en France, il s'est particulièrement intéressé aux travaux de classification animale de Cuvier (qui ne sont plus fondés sur les ressemblances morphologiques mais sur la comparaisons des fonctions vitales). A chaque fonction identifiée, Semper associe un matériau et un procédé de production. Il isole ainsi deux grands systèmes. L'un, que nous dirons continu et global, reste massif et un seul matériau (la maçonnerie) peut y assumer toutes les fonctions. Le second, que nous dirons discontinu et analytique, dissocie "soubassement" et "structure porteuse" de "mur périphérique". Semper introduit donc clairement ici l'idée d'enveloppe dissociée de celle de structure. C'est le premier point de notre introduction. Il est à noter, quant au sujet qui nous intéresse, que Semper associe à la fonction "mur périphérique", le modèle "motifs décoratifs" et le matériau "tissage".

Le deuxième aspect qui nous intéresse dans l'oeuvre de Semper, c'est la prédominance de l'enveloppe sur la structure. Il place à l'origine de l'art -et de l'architecture- la production artisanale : l'homme tisse, tresse, etc., avant de construire. Les motifs décoratifs sont donc issus de l'art du tissage. Il affirme de cette manière que l'ornementation précède la structure et propose une hiérarchie où l'enveloppe (à laquelle nous avons vu qu'il associe l'ornementation) prime sur la structure. Pour terminer sur cette expression de *mur-rideau* qui a aujourd'hui une connotation extrêmement technique et qui est la condition fondamentale de la transparence en architecture, nous dirons que Semper joue à l'origine sur deux registres : constructif et ornemental. Constructif par la dissociation structure porteuse / enveloppe. Ornemental par la prédominance du motif et de la production artisanale.

"Aujourd'hui aussi le monde commence"

Le retour sur la polémique soulevée autour de l'interprétation rationaliste de l'architecture gothique était nécessaire pour aborder la deuxième partie de ce rapport, concernant l'actualité du modèle gothique tout au long du XXe siècle. Viollet-le-Duc présentait ce modèle idéal comme "(...) une réalité vivante, en projetant rétrospectivement sur le moyen-âge certaines possibilités et certaines tendances de son temps qu'il reconnaissait, grâce à son flair très fin, être particulièrement fertiles pour l'avenir"⁴⁶. Bekaert, dont nous citons ici les termes d'un ouvrage qu'il consacre à Viollet-le-Duc, évoque la manière dont ce dernier s'était emparé du concept d'élasticité, empruntée à la construction en acier, et "qu'il projetait, plus en visionnaire qu'en analyste, sur les structures médiévales". Il est à noter que la manière dont Viollet-le-Duc emploie ce terme d'élasticité correspond en réalité davantage à la définition scientifique de la plasticité, ce qui ne manque pas d'introduire une certaine confusion dans son discours. En dépit (ou à cause ?) de cet exercice de projection sur le passé de concepts modernes et malgré les incertitudes du vocabulaire, les travaux de Viollet-le-Duc connaissent le succès que l'on sait. Surtout, le modèle si artificiellement élaboré de l'architecture gothique telle qu'il la "conçoit", influence considérablement toute l'architecture du XXe siècle, nous allons examiner comment.

Le Mouvement moderne, bien que se voulant un renouveau comparable à celui de l'époque gothique, faisant table rase du passé, décline tour à tour le modèle classique et le modèle gothique. Il ne s'agit pas d'élaborer un axe historique, à la manière de Kaufmann, qui analyserait le murissement des idées modernes et en fixerait la conception chez tel ou tel architecte. Pourtant, Viollet-le-Duc "précurseur de

⁴⁵ Ibid.

⁴⁶ Bekaert G., *A la recherche de Viollet-le-Duc*, Mardaga, 1980.

l'architecture moderne"⁴⁷, cela ne semble faire aucun doute. Rappelons, avec différents auteurs contemporains, l'importance de son œuvre. Celle-ci a considérablement marqué les architectes de la génération suivante, c'est à dire celle du Mouvement moderne, même si — le récent ouvrage de Jean-Michel Leniaud en témoigne⁴⁸ — les historiens n'ont pas fini de régler leurs comptes avec ce personnage d'exception. Pol Abraham lui-même avait précocément décelé cette influence : "Viollet-le-Duc qui n'eut pas d'originalité plastique et dont l'imagination artistique était, en dehors du pastiche, d'une attristante pauvreté, trop intelligent pour ne pas sentir ses faiblesses, trouva sa voie dans une pure construction de l'esprit, paradoxale mais prophétique, celle d'une architecture qui, soumises aux plus étroites nécessités matérielles, en ferait, cependant, la substance même de la beauté. Admirable idée, puissante et féconde, et dont l'architecture internationale du XXe siècle est, en grande partie, sortie. Mais, aussi, attitude de combat, machine de guerre contre l'Académie, dans une lutte où il fera figure de héros de l'art national et moderne contre la tradition gréco-romaine moribonde"⁴⁹.

Rationalisme et anti-académisme sont effectivement deux des principaux ressorts de la théorie moderne de l'architecture. Quant à l'influence internationale de Viollet-le-Duc, il se trouve de nombreux autres auteurs pour la confirmer : "Alors que la légende personnelle de Viollet-le-Duc en tant que restaurateur rabique se perpétuait et se perpétue toujours, l'entier développement de l'architecture moderne s'appuyait sur le fondement impersonnel de sa doctrine. Et ceci non seulement en France où adversaires et épigones, Guadet, de Baudot, Guimard, Perret, Le Corbusier ont, souvent littéralement, repris les conceptions de Viollet-le-Duc, mais également à l'étranger, Gaudi en Espagne, Berlage et De Bazel en Hollande, Van de Velde et Horta en Belgique, et on pourrait poursuivre : en Italie, en Allemagne, en Angleterre, aux Etats-Unis d'Amérique"⁵⁰. François Chaslin, plus récemment, évoque encore l'influence de Viollet-le-Duc : "Et pourtant, voici un siècle que les architectes, de Perret à Berlage, de Gaudi au Corbusier, admirent cet «esprit libre et le nez au vent» et le tiennent pour le premier des modernes". Lui aussi évoque la lutte contre l'académisme : "Dans la lente germination des doctrines modernes d'architecture, son œuvre d'historien allait constituer un ferment des plus actifs : il réclamait une conception fonctionnelle et articulée de l'organisation des Bâtiments, récusant la «grande composition» académique, ses symétries et ses équilibres"⁵¹. L'ouvrage de Middleton et Watkin, *Architecture moderne 1750-1870*, s'achève sur le même constat, les auteurs rappellent l'influence exercée par Ruskin et Viollet-le-Duc en particulier sur l'œuvre de Frank Lloyd Wright⁵².

De la même manière que l'architecture gothique constitue à l'époque médiévale un modèle innovant, le mouvement moderne se revendique radicalement neuf. Qui mieux que Le Corbusier exprime et revendique en même temps ce parallèle ? "Aujourd'hui aussi le monde commence" : c'est ainsi qu'il sous-titre le livre écrit au retour de son premier voyage à New-York, en 1935, *Quand les cathédrales étaient blanches*. La référence est claire, elle résume les impressions qu'il ramène de son séjour en Amérique. Le Corbusier développe en effet dans ce livre l'idée qu'avec l'ère qui commence pour l'architecture (mais aussi pour l'urbanisme, voire pour la société toute entière) dans les années 30, s'opère une mutation d'une ampleur similaire au phénomène qui s'est déroulé sept siècles plus tôt, avec, au moyen-âge la profonde transformation d'une société symbolisée par l'édification des cathédrales et la naissance du seul modèle réellement nouveau par rapport à l'Antiquité.

Quelle filiation réelle peut-il exister entre Viollet-le-Duc et Le Corbusier ? Nous savons que le *Dictionnaire raisonné* fut l'un des premiers ouvrages achetés par Le Corbusier lorsqu'il travaille chez Perret. Le Corbusier ne partage pas la doctrine de l'auteur du *Dictionnaire* mais semble en avoir retenu une leçon fondamentale : lors d'une conférence donnée à Buenos Aires le 3 octobre 1929, Le Corbusier affirme : "Aujourd'hui on m'accuse d'être un révolutionnaire. Cependant, je confesse n'avoir eu qu'un maître : le passé ; qu'une formation : l'étude du passé"⁵³.

⁴⁷ Revel J.-F., "Viollet-le-Duc précurseur de l'architecture moderne", in *L'Oeil*, n°110, 1964.

⁴⁸ Leniaud J.-M., *Viollet-le-Duc ou les délires du système*, Mengès, 1994.

⁴⁹ Abraham P., *Viollet-le-Duc...*, op. cit., p. 102.

⁵⁰ Bekaert G., introduction à l'édition de 1977 des *Entretiens sur l'architecture*, p. XIII.

⁵¹ Chaslin F., "Viollet-le-Duc et la morale de l'histoire" in *Architecture*, n°13, dossier "Patrimoine", mars 1980.

⁵² Middleton R. et Watkin D., *Architecture moderne...*, p. 379.

⁵³ Le texte de cette conférence est repris dans *Précisions*, 1930 (rééd. 1960, pp. 23-36).

Interrogée sur les points communs entre Le Corbusier et Viollet-le-Duc, Geneviève Viollet-le-Duc évoque leur formation d'autodidacte par le voyage, les lectures, le dessin⁵⁴. Plus que tout autre, Le Corbusier poursuit la croisade de Viollet-le-Duc contre l'académie des Beaux-Arts dont ils ne sont issus ni l'un ni l'autre⁵⁵. Mais il est un point sur lequel Le Corbusier s'affranchit totalement des théories de Viollet-le-Duc, c'est celui de l'architecture gothique comme modèle idéal. Même si une cathédrale nous semble un exemple magnifique de "volumes correctement assemblés sous la lumière"⁵⁶, on sait que Le Corbusier n'aimait pas beaucoup l'architecture gothique. Nous retrouvons d'ailleurs à ce sujet Pol Abraham dont la critique de *Vers une architecture* n'est pas tendre : "Enfin, M. Le Corbusier paraît tenir essentiellement à opposer l'art de bâtir, qui est fait "pour tenir" à l'architecture qui est faite "pour émouvoir". Ce contraste n'est-il pas surtout théorique et n'est-ce pas, au contraire, de ce trop rare équilibre entre l'intelligence constructive et le sentiment plastique que sont nées les belles œuvres ?"⁵⁷. Abraham reproche à Le Corbusier d'exclure purement et simplement la période médiévale de ce qu'il appelle l'architecture⁵⁸. Reportons nous au passage visiblement incriminé, dans le chapitre intitulé "Trois rappels à messieurs les architectes. I. Le volume". Le Corbusier y fait l'éloge des formes géométriques pures : "L'architecture égyptienne, grecque ou romaine est une architecture de prismes, cubes et cylindres trièdres ou sphères : les Pyramides, le Temple de Louqsor, le Parthénon, le Colisée, la Villa Adriana. L'architecture gothique n'est pas, dans son fondement, à base de sphères, cônes et cylindres. La nef seule exprime une forme simple, mais d'une géométrie complexe de second ordre (croisées d'ogives). C'est pour cela qu'une cathédrale n'est pas très belle et que nous y cherchons des compensations d'ordre subjectif, hors de la plastique. Une cathédrale nous intéresse comme l'ingénieuse solution d'un problème difficile, mais dont les données ont été mal posées parce qu'elles ne procèdent pas des grandes formes primaires. *La cathédrale n'est pas une œuvre plastique ; c'est un drame : la lutte contre la pesanteur, sensation d'ordre sentimental*"⁵⁹.

Il y a là une opposition totale entre les interprétations d'Abraham et de Le Corbusier. Nous sommes en 1923, on peut se demander si le titre "Quand les cathédrales étaient blanches" qu'il donne en 1937 constitue une part d'amendement (indépendamment de la manière dont le sous-titre "aujourd'hui aussi le monde commence" explicite le symbole utilisé par Le Corbusier). "(...) Dans le brouhaha du moyen-âge qui nous apparaît faussement comme un jeu de massacre où le sang ne cessait de couler, on pratiquait les règles hermétiques de Pythagores ; partout on perçoit la recherche ardente des lois de l'harmonie. On avait délibérément tourné le dos "à l'antique", aux modèles stéréotypés de Byzance ; mais on s'élance passionnément à la reconquête de l'axe fatal du destin humain : l'harmonie. Loi des nombres — on se la transmet après l'échange de signes secrets, de bouche à oreille, entre initiés". Le Corbusier rédige cette note (comme une réponse au "Ceci tuera cela" de Victor Hugo dans *Notre Dame de Paris* ?) : "Le livre n'existait pas encore. Ces règles d'harmonie sont compliquées, délicates. Il faut, pour en comprendre la raison, avoir une âme sensible. En parler ouvertement ? C'est les jeter dans l'aléa des erreurs de fait et de compréhension ; après trois générations elles seraient devenues grotesques et les œuvres construites sous leur loi auraient grimacé ? Elles ne peuvent être qu'exactes, absolument. Du jour où le livre est né, ces règles peuvent y être inscrites et vivre intactes, justes et pures, entre deux feuillets. Dès que le livre est devenu l'un des outils les plus précieux du savoir, le secret des règles d'harmonie n'a plus de raison d'être"⁶⁰. Dans ce bref passage — le seul de l'ouvrage où l'architecture gothique est évoquée — Le Corbusier fixe tout de suite les limites de la référence médiévale de son titre. Nous voyons là un point de vue tout à fait à l'opposé de celui que nous exprimions en introduction, quant au rôle joué par le livre dans le déclin de la construction gothique.

Au registre des points communs entre Le Corbusier et Viollet-le-Duc, notons que Pol Abraham condamne également et dans des termes assez semblables "le don de publiciste" de Le Corbusier (dans *L'Architecte*, p. 9) et de Viollet-le-Duc (dans sa thèse, p. 103) !

⁵⁴ Hermann B., "An interview with Geneviève Viollet-le-Duc", in *Architectural Design*, n°3/4, 1980 pp. 14-18.

⁵⁵ Le Corbusier, *Croisade ou le crépuscule des académies*, G. Crès et Cie, 1933 ; *Entretiens avec les étudiants des écoles d'architecture*, (1ère éd. Denoël, 1943), Seuil, 1971.

⁵⁶ "L'espace gothique n'est pas un volume clos et géométriquement défini, il est transfiguré par la lumière, il est conçu en fonction d'elle", écrit Louis Grodecki.

⁵⁷ Abraham P., "Vers une architecture de Le Corbusier-Saunier", in *L'architecte*, fév.-mars 1924, pp. 18-21.

⁵⁸ J.-C. Vigato l'évoque dans son article "Académisme" de *Le Corbusier, une encyclopédie*, Paris, éd. du Centre Pompidou / CCI, 1987, p. 18.

⁵⁹ Le Corbusier, *Vers une architecture*, op. cit., pp. 16-19.

⁶⁰ Le Corbusier, *Quand les cathédrales étaient blanches*, chap.I "Grandeur des choses", Denoël/Gonthier, rééd. 1977, p. 14.

Au XIXe siècle, il est difficile de faire la part entre l'influence de l'architecture du fer sur l'analyse des cathédrales et l'influence de l'architecture gothique sur les projets en métal. Notons dans quel sens Brutaills présente cette similitude de principes : "L'édifice gothique est comme ces constructions industrielles dans lesquelles une armature en fer porte des feuilles de zinc : les ogives, les doubleaux, les formerets, les piliers sont l'armature ; les autres maçonneries, assimilables à des tentures, servent à clore l'édifice, mais non pas à en assurer la stabilité"⁶¹. Il est difficile de mesurer lequel des deux a le plus influencé l'autre. Si l'architecture gothique a guidé les premières expériences en fer, inversement, la théorie rationaliste d'une architecture gothique "dynamique", "articulée" et surtout "élastique" emprunte beaucoup au vocabulaire et surtout aux concepts propres au métal.

Avec le béton armé, les influences sont plus claires à identifier⁶². D'abord, évidemment, lorsque sont réalisés les premiers grands projets "rationalistes" en béton, le siècle de Viollet-le-Duc est achevé. D'autre part, le béton appartient à la famille de la maçonnerie, comme la pierre, et les références formelles et organiques sont plus directes. Le béton armé cristallise donc le rationalisme moderne. La lisibilité de la structure devient une composante de l'effet d'architecture selon le concept hérité de Viollet-le-Duc⁶³. De ce point de vue, Perret serait plus gothique que Le Corbusier, celui-ci : "Rendant littéralement hommage malgré lui à Viollet-le-Duc qui affirmait : «(...) imposez-moi une structure, je vous trouverai naturellement les formes qui doivent en résulter», il parle «d'allègre santé gothique retrouvée», de «rationalisme gothique» et résume son invention dans un slogan : «rationalisme aisé du plan nouveau» (...)»⁶⁴. Des coques, d'inspiration gothique, au "poteau-poutre" empruntant la logique classique, le béton armé offre au concepteur toute la gamme des références possibles. En dépit des affirmations de Le Corbusier, nous serions donc tenté de rechercher chez les protagonistes du Mouvement moderne les traces de l'influence de notre modèle gothique et ses modes d'interprétation. John Summerson s'est attaché à décrire "le classique dans le moderne", de Behrens à Le Corbusier en passant par Gropius et Perret⁶⁵. Voyons ce qu'il y a de "gothique dans le moderne".

Nous avons déjà évoqué comme trait de l'architecture moderne trouvant ses origines dans l'architecture gothique, la dissociation de la structure portante et de la structure de remplissage. Le mouvement moderne exploite la souplesse formelle qui résulte de ce dispositif bien davantage que les médiévaux mais les plans des cathédrales constituent sans aucun doute l'archétype de ce principe. Sanfaçon montre très justement comment l'invention du remplage et sa généralisation conduisent à une dissociation complète "entre les éléments de soutien que sont les piliers et les arcs-boutants, et les éléments des simples cloisons sans rôle de support, les réseaux des fenêtres, un peu comme dans l'architecture contemporaine". Mais il est important de rappeler que c'est la logique même de ce principe qui a conduit Viollet-le-Duc à parler de voiles posés sur le réseau des nervures pour la voûte. Il faut donc en poser les limites.

Au gothique, l'architecture moderne emprunte également l'idée de la production en série rendue possible par le concept de modularité. Le Mouvement moderne redécouvre les vertus des éléments répétitifs : la réduction du coût de production⁶⁶, bien-sûr, mais surtout : "La préfabrication est un des moyens les plus efficaces de combattre l'action des intempéries, principal obstacle à la rapidité et à la qualité de la construction". Ce sont là les propos de Perret que Pol Abraham met en exergue du petit ouvrage de recommandations techniques pour la préfabrication qu'il écrit au lendemain des dévastations de la guerre "J'ajoute, dit-il, qu'il n'y a pas de préfabrication sans ordre, et l'ordre est une des conditions premières de l'ARCHITECTURE"⁶⁷.

On pourrait poursuivre le parallèle en analysant les conséquences au niveau de l'organisation du travail et, au-delà, de la déqualification des ouvriers et de la décadence de l'architecture. Le béton armé ne tient pas toutes ses promesses. Au XIVE siècle, la distribution des tâches entre la carrière, la

⁶¹ Brutaills J.-A., *Pour comprendre les monuments de la France*, Paris, Hachette, pp. 42-43.

⁶² Sur le sujet, Zoragno A.-M., "Les métaphores du béton armé", in *Cahiers de la Recherche Architecturale*, n°29 "Culture constructive", 3e trim. 1992, pp. 67-80.

⁶³ C'est un concept aujourd'hui dépassé si l'on en croit Nouvel : "Qui s'intéresse encore à la vérité structurelle ?" (Cf. Picon-Lefebvre, Simonnet C., *Les architectes et la construction*, Paris, Techniques & Architecture, 1994).

⁶⁴ Lemoine B., "Perret, Le Corbusier Divergences et connivences", in *L'Architecture d'Aujourd'hui*, n° 249, février 1987, p. 47.

⁶⁵ Summerson J., *Le langage classique...*, op. cit., chap. VI "Le classique dans le moderne", pp. 106-121.

⁶⁶ Kimpel D., "Le développement de la taille en série dans l'architecture médiévale et son rôle dans l'histoire économique", in *Bulletin Monumental*, n° 135, 1977, pp. 195-222.

⁶⁷ Abraham P., *Architecture préfabriquée*, Paris, Dunod, 1946.

fabrique et la mise en œuvre est clairement définie : carriers (extraction des pierres à la carrière), tailleurs de pierre (travail de la pierre à partir des gabarits), maçons (mise en place dans l'édifice) occupent des fonctions bien précises : "L'uniformité des éléments, leur multiplication renvoient à la production en série. L'opposition nouvelle entre un chevet et une façade aux multiples statues, alors que le décor était très variablement réparti à l'époque romane, évoque la spécialisation des tâches" ⁶⁸. Cette organisation du travail fait évoluer la fonction de l'architecte qui peu à peu se distancie du chantier. La médiation du dessin devient nécessaire ⁶⁹. "Les avantages de la voûte d'ogives étaient nombreux pour les premiers constructeurs gothiques. La tâche et les calculs paraissaient moins démesurés que lorsqu'on entreprenait une vaste coupole. Décomposé en multiples opérations plus petites et répétées, le travail se rapprochait de la fabrication à la chaîne" ⁷⁰.

Certains historiens ont poussé beaucoup plus loin le parallèle entre la société médiévale occidentale et notre époque. Dans le dernier chapitre de *La révolution industrielle au moyen-âge*, Jean Gimpel développe par exemple une comparaison entre les XIIe et XIIIe siècles européens et les Etats-Unis aux XIXe et XXe siècles ⁷¹. Mettant en relation le cycle des progrès techniques avec le dynamisme de la population (d'une "nation jeune"), il superpose les courbes du développement de la France du moyen-âge (entre 1050 et 1453) avec celle des Etats-Unis de cette fin de millénaire (depuis 1850), extrapolant de cette façon la période d'essoufflement de la nation américaine ⁷². "Les Américains, écrit-il à propos d'un séjour de 1972, n'avaient plus cette ambition, souvent caractéristique des nations jeunes, de construire toujours plus grand ou plus haut, de battre des «records du monde». L'esthétique du Lever House Building contrastait avec l'Empire State Building" ⁷³.

Le beau est la splendeur du vrai

L'architecture, pour devenir moderne, doit s'affranchir du paraître : cela suppose que les architectes lorsqu'ils conçoivent de nouvelles structures grâce aux nouveaux matériaux cessent de les affubler des clichés classiques. C'est alors que le modèle, abandonnant sa défroque de pâle copie, prend le sens de référence, de source d'inspiration. Au début de notre siècle, comme au moyen-âge avec l'idéal cistercien, il a fallu régler le problème de l'ornement pour commencer à parler d'architecture ⁷⁴.

Avec le béton armé, la volonté se fait jour en effet de faire concorder structure apparente et structure réelle. "Si la structure n'est pas digne de rester apparente, l'architecte a mal rempli sa mission" écrit Perret ⁷⁵. Poussé jusqu'au bout, le rationalisme des architectes du Mouvement moderne se traduit par le "commandement structuraliste" de Perret : "si celui qui dissimule une colonne, un poteau, une partie portante quelconque commet une FAUTE, celui qui fait une fausse colonne commet un CRIME" ⁷⁶. Bruno Zevi résume d'ailleurs cette question de la manière suivante : "Les constructions doivent-elles être sincères ? Point n'est besoin de prendre cet air d'inquisiteur anglican, comme le faisait Ruskin, pour répondre par l'affirmative" ⁷⁷.

Dans un deuxième temps, le matériau devient lui-même ornement. En même temps que ses qualités techniques, l'architecte exploite désormais ses qualités esthétiques. Par rapport à l'architecture gothique, la franchise constructive est plus complète : l'épiderme du matériau devient plastique, un travail sur la modénature s'invente petit à petit. Il y a une identité de démarche dans la volonté de

⁶⁸ Sanfaçon R., *op. cit.*, p. 94.

⁶⁹ Branner R., "Villard-de-Honnecourt, Reims and the Origin of Gothic Architectural Drawing", in *Gazette des Beaux-Arts*, série 6, LXI, 1963, pp. 129-146.

⁷⁰ Sanfaçon R., *op. cit.*, p. 96.

⁷¹ Gimpel J., *La révolution industrielle...*, *op. cit.*, pp. 225-244 ("Bref essai sur les cycles de civilisation").

⁷² L'ouvrage est publié en 1975 mais ces travaux remontent aux années cinquante.

⁷³ *Ibid.*, p. 233.

⁷⁴ Léon Pressouyre pose d'ailleurs la question : "Sans le précédent d'une architecture à la fois fonctionnelle et dépouillée, réglée sur un module humain, mais conduisant à la transcendance divine par la perfection des proportions, constituée de matériaux tangibles, mais admettant pour valeurs principales le silence et la lumière, aurions-nous connu, au XXe siècle, les créations de Le Corbusier ou de Pouillon ?" (Pressouyre L., pp. 20-21). On songe également au rôle de l'abbaye du Thoronet dans le projet du couvent de la Tourette.

⁷⁵ Extrait d'un texte de Perret de 1929, cité dans "Perret, Le Corbusier. Divergences et connivences", *op. cit.*, p. 46.

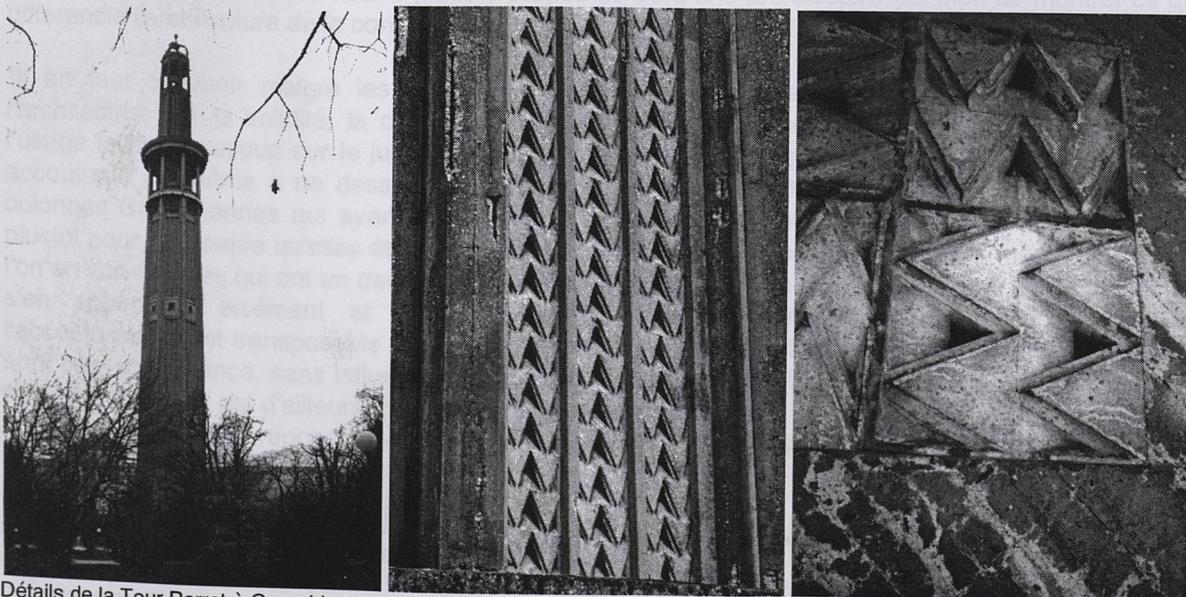
⁷⁶ *Ibid.* (1935), p. 47.

⁷⁷ Zevi B., *op. cit.*, pp. 115-116.

montrer la structure mais aussi la trace du travail de construction. "L'édifice est la représentation du projet qui l'a précédé", disait Viollet-le-Duc : "l'exécution est l'empreinte effacée de la conception".

L'œuvre d'Auguste Perret illustre parfaitement cette évolution dans l'utilisation qui est faite du béton au cours de la première moitié du XXe siècle. A propos de la Tour d'orientation qu'il construit à Grenoble à l'occasion de l'*Exposition internationale de la Houille Blanche et du Tourisme* en 1925, H.-R. Hitchcock, formule la remarque suivante : "Ici Perret parvint (...) à quelque chose qui se compare à la richesse des flèches médiévales ; car elle est conçue d'une manière beaucoup plus structurale et sa silhouette est tout à fait dérivée de réminiscences gothique"⁷⁸.

Réalisée selon un plan octogonal, la tour est dotée d'une structure de huit poteaux de béton armé cerclés d'anneaux rigides horizontaux (à la manière d'une tige de bambou) qui supportent également l'escalier intérieur. Les mailles ainsi définies reçoivent un remplage léger, dentelle de ciment armé à motifs triangulaires⁷⁹. Cette tour, qui aurait pu aussi être le symbole d'un savoir-faire grenoblois en matière de béton moulé si, paradoxalement pour cette région à forte tradition cimentière depuis Vicat, la société parisienne n'en avait emporté le marché en 1924. Les délais pour concevoir et mettre en oeuvre l'édifice étaient très brefs : quelques semaines pour le projet, moins de sept mois pour la délicate exécution des travaux. L'enjeu était considérable. Souvent comparée, toutes proportions gardées, à l'oeuvre d'Eiffel pour l'Exposition Universelle du Centenaire de la Révolution, la Tour grenobloise devait démontrer, comme son aînée pour le métal, les vertus et les extraordinaires possibilités constructives du béton armé. Il n'est pas étonnant de voir alors Auguste Perret relever le défi. Double défi technique en réalité : par ses dimensions -avec ses 86 mètres de hauteur (95 mètres au sommet de l'épi) pour moins de 10 mètres de diamètre à la base, c'est un des édifices les plus élancés construits à l'époque dans ce matériau- et par les conditions de mise en oeuvre : le délai d'exécution -en grande partie durant l'hiver- pour cette époque, ne laisse pas de place à l'erreur. La base est inscrite dans le cercle de la plate-forme d'accès ; avec les anneaux qui les lient entre eux, ils forment la structure porteuse dont les larges mailles reçoivent les éléments décoratifs de ciment armé. Le motif géométrique triangulaire, élément décoratif cher à Perret, en tisse cette modénature bien particulière commune à différents ouvrages de l'architecte et qui rappelle les propos de Semper. Contrairement à nombre de ses contemporains, Perret ne se contenta pas de faire du béton armé un simple matériau de substitution. C'était au contraire et il l'a très bien pressenti, un matériau aux caractéristiques propres à redonner à la construction l'ambition qui lui faisait défaut dans la culture classique.



Détails de la Tour Perret à Grenoble, 1925.

⁷⁸ Hitchcock H.-R., , *Architecture : Dix-neuvième et vingtième siècles*, Bruxelles-Liège, Mardaga, 1981, p. 447.

⁷⁹ Coste A., "La tour Perret", in *Recueil d'articles 1990-1994*, Les Métiers de l'Histoire de l'Architecture, école d'architecture de Grenoble, Bureau de la Recherche Architecturale - M.E.T.T., 1994, pp. 97-101.

Perret, qui est considéré comme le plus classique des architectes du Mouvement moderne, montre donc néanmoins par certaines de ses œuvres qu'il est sensible au modèle gothique : "(...) l'église du Raincy (1923-24) réinvente l'espace de la cathédrale gothique dont elle préserve l'esprit et la rigueur. C'est «la Sainte-Chapelle du béton armé»...". Au Havre également, avec son église Saint-Joseph, "Perret tente une réunification vaguement gothique du "miracle de la lumière" et du "miracle technologique"⁸⁰.

Les interprétations de l'architecture gothique ont autant valeur de modèle que l'architecture gothique elle-même. Il en va ainsi du courant fonctionnaliste qui se fonde sur la doctrine issue du XIXe siècle et l'interprétation de l'architecture gothique. Les publications évoquées dans la partie précédente n'ont pas complètement éradiqué le virus cultivé par Viollet-le-Duc, et la contagion entre les auteurs est parfois inquiétante. Il n'est pas rare, encore aujourd'hui, de voir décrire le "cheminement des forces" à l'intérieur d'une voûte en maçonnerie de pierre, par l'intermédiaire des nervures et des arcs-boutants jusqu'aux culées. Le fait que l'idée des nervures porteuses persiste durant tout notre siècle peut sans doute s'expliquer en partie par les perspectives offertes grâce au développement du béton armé. En effet, il est depuis longtemps techniquement possible de construire un voile léger sur des nervures porteuses. Nervi est celui qui, par l'utilisation qu'il fait des éléments caractéristiques de l'architecture gothique (la nervure et l'arc-boutant) légitime en quelque sorte, grâce à ce matériau alors nouveau et miraculeux, les thèses de Viollet-le-Duc. Son discours est d'ailleurs fortement empreint de rationalisme : "(...) Cette confiance de l'expression esthétique naturelle d'une bonne solution constructive ne m'a jamais trahi, et je n'y ai trouvé aucune exception, après avoir examiné les œuvres d'architecture récentes ou passées. C'est pourquoi je crois pouvoir affirmer qu'un bon organisme structural étudié avec amour dans l'ensemble et dans les détails est la condition nécessaire, sinon tout à fait suffisante, d'une bonne architecture"⁸¹. Nervi matérialise ainsi l'idéal gothique tel qu'il est formulé au XIXe siècle.

Mais que penser de cette formule : "Une forme esthétique est souvent une forme optimale vis-à-vis de la résistance" que l'on peut lire dans l'*Encyclopédia Universalis* à l'article "Résistance des matériaux" ? Voilà effectivement résumé ce que Viollet-le-Duc a voulu démontrer avec l'architecture gothique et ce que, plus sûrement, Nervi a réalisé avec le béton. Mais une doctrine aussi radicalement rationaliste limiterait singulièrement la production architecturale : au béton armé les coques, au métal les treillis, etc. Aussi répondrons-nous, avec Le Corbusier, au rédacteur de cet article que "l'architecture commence où s'arrête le calcul"⁸². Car, si Le Corbusier présentait la naissance de Chandigarh en affirmant : "ici tout est problème de résistance, de structure, de contreventement. L'esthétique qui en surgira sera une esthétique neuve", tout le propos de *Vers une architecture* est bien de montrer ce qui différencie l'architecture de la construction⁸³.

"Il en faut convenir malgré les raisonnements que l'on peut faire pour établir les principes de l'architecture sur la solidité, la convenance, les effets de l'optique ; il est certain que l'habitude et l'usage influe beaucoup sur le jugement que l'on en porte ; on s'aperçoit aisément lors que l'on est accoutumé ou même à ne dessiner que des colonnes d'une certaine proportion, par exemple des colonnes Corinthiennes qui aient pour hauteur dix fois leur diamètre et que l'on a trouvées belles plutôt pour être parce qu'elles étoient appliquées à de beaux édifices, que par elles mêmes ; lors que l'on en voit d'autres qui ont un demi diamètre ou même un quart de diamètre de plus ou de moins, on s'en aperçoit aisément et on les juge de mauvaise proportion"⁸⁴. Le phénomène de l'accoutumance est transposable aujourd'hui où règnent sur la construction des réglementations qui ne sont pas, à l'évidence, sans influence sur l'architecture elle-même. Le malaise ressenti face à certains édifices "calculés" est d'ailleurs tout à fait comparable au sentiment exprimé à propos des cathédrales gothiques. Voilà qui repose la question de la "solidité réelle" et de la "solidité apparente". Les

⁸⁰ Tafuri M. et Dal Co F., *Architecture contemporaine*, op. cit., p. 339.

⁸¹ Nervi P.-L., *Histoire mondiale de l'architecture*, Paris, Berger-Levrault, 1979-1984, introduction.

⁸² Le Corbusier, "L'art décoratif d'aujourd'hui", note p. 86.

⁸³ Si l'on en croit Joseph Rykwert, le débat sur architecture et construction remonterait aux origines mêmes du traité d'architecture : Wotton, nous explique-t-il, page 135, citant un passage du *Politique* de Platon (Ficin, 1590, p. 171), "rappelle donc au lecteur que selon Vitruve la charge de contrôler les matériaux incombait à un *officinator* et non à l'architecte, "dont la gloire consiste davantage dans la conception et l'idée de l'œuvre dans sa totalité (...) afin que la Forme, qui est (pour ainsi dire) la part la plus noble, triomphe sur la matière". La continuité entre l'aspect "mécanique" et l'aspect "idéal" de l'architecture est donc solennellement rompue".

⁸⁴ Gauthey E.-M., "Mémoire sur les règles de l'architecture", op. cit., p. 199.

sentiments qu'elle inspire ont toujours influencé le jugement porté sur une architecture. Bruno Zevi relate à ce propos l'anxiété des maçons sur le chantier de la *Maison sur la cascade* de Franck Lloyd Wright, au moment du décoffrage : "On raconte que lorsqu'il s'agit d'abattre les dernières poutres qui avaient servi à coffrer la grande terrasse jetée sur le vide, les ouvriers refusèrent d'exécuter le travail. Les responsables syndicaux, appelés sur les lieux, communiquèrent courtoisement à Wright qu'ils n'étaient pas disposés à payer l'assurance aux familles des deux hommes qui risquaient d'être ensevelis sous les décombres de cette «folie» architecturale"⁸⁵. Si bien, affirme Zevi, que Wright fit le travail lui-même.

Mais aujourd'hui la grande époque des Nervi, des Esquillan, des Zerfhuss est définitivement révolue. Le discours sur la vérité constructive n'a déjà plus la même audience chez les architectes. Les recherches structurelles cèdent la place, dans leurs préoccupations, au travail sur les techniques prises dans un sens plus large : les ouvrages sont aujourd'hui conçus comme de grandes mécaniques, complexes à concevoir et difficiles à régler. Les défis sont désormais purement technologiques : les techniques elles-mêmes se complexifiant et se diversifiant, le travail de l'architecte du XXI^e siècle évoluera vraisemblablement dans ce sens, grandement aidé par les systèmes de communication, de conception et d'aide à la décision modernes. Sans doute, quelqu'un comme Norman Foster constitue-t-il l'archétype de cet architecte mutant. Celui-ci s'attache dans ses projets à rationaliser la gestion des fonctions, des réseaux, des flux. Le matériau est employé de manière rationnelle non plus par rapport à la structure mais par rapport à un tout infiniment plus complexe.

Il faut entrer de temps en temps dans l'espace sacré d'une grande cathédrale gothique. Celui qui s'intéresse à l'architecture contemporaine s'étonnera sans doute de la modernité de ces édifices qu'il faut mettre en relation avec les notions techniques suivantes : un minimum de points porteurs, une trame parfaitement régulière permettant de gérer la structure, un plan libéré grâce à la dissociation complète entre structure portante et remplissage) ; mais ce qui frappe surtout lorsqu'on pénètre dans un tel édifice — l'un de ceux où la magie opère car certains, comme pour toute architecture, ne "fonctionnent" pas — c'est le rôle structurant du vide. Ce concept éminemment moderne se vérifie partout dans une cathédrale gothique.

Le "rationalisme médiéval" a donc traversé notre siècle. Ce sont, sans doute, les ingénieurs plutôt que les architectes qui en recueillent encore aujourd'hui l'héritage. Les développements des ordinateurs et du calcul numérique ont parachevé ce qu'un Nervi a anticipé grâce à la résistance des matériaux moderne. De cette manière, le rationalisme a trouvé son plein épanouissement. Le XIX^e siècle avait fortement projeté ses modèles sur l'interprétation de l'architecture gothique et plaqué sur l'histoire de l'architecture médiévale des concepts développés postérieurement. Etrangement, le XX^e siècle s'est employé à démystifier cette interprétation, nous l'avons vu dans la première moitié de ce rapport, tout en véhiculant dans le même temps la théorie rationaliste pour mieux l'exploiter dans les projets.

⁸⁵ Zevi B., *op. cit.*, p. 104.

Conclusion et perspectives de développements

Je pense avoir mis clairement en évidence dans mes travaux de ces quatre dernières années deux notions importantes au regard de la question qui nous occupe. La première notion est celle de modèle constructif "objet patrimonial" qu'il convient de sauvegarder en tant que "bien culturel" et qu'il faut également identifier et exploiter comme outil théorique pour la restauration des monuments à structures complexes. La seconde notion qu'il m'apparaît important d'affirmer est celle de "modélisation historique", elle intéresse les liens qu'il convient d'établir et de valider à différents niveaux entre un modèle graphique et mathématique et l'histoire constructive de l'édifice étudié (mise en oeuvre, restaurations, sollicitations,...). Nous avons vu que l'analyse rationaliste comme la statique graphique qui en est l'instrument, est éminemment restrictive par rapport à son objet (la réalité construite). Il s'agit d'une analyse schématique, au premier sens du terme, qui entretient une confusion totale entre le modèle architectural et le modèle d'interprétation. Il existe ainsi des relations réciproques entre les différentes lectures de l'architecture gothique et l'état des connaissances et des progrès des sciences au moment où elles sont formulées, mais aussi entre l'interprétation et le modèle auquel on a recours pour la réaliser. Sur ce point, il s'agit donc d'élaborer un modèle théorique le plus fidèle possible afin de choisir le modèle mathématique approprié pour appréhender un objet physique exceptionnel et un comportement mécanique complexe, puis d'ajuster par des choix successifs de modélisation (géométrie, maillage, conditions aux limites, conditions de chargement,...) ce modèle théorique à une réalité issue de la vie de l'édifice dans le temps.

Nous découvrons également en l'architecture gothique et par extension dans les ouvrages qu'elle a inspirés plus tard, un grand modèle pédagogique pour l'architecte comme processus de projet intégrant des facteurs liés au temps (ceux concernant l'espace sont une évidence) à travers des préoccupations techniques de différents ordres : mise en oeuvre, entretien, prévision des sollicitations et réponses adaptées. Le modèle gothique, parmi les grands modèles de l'histoire de l'architecture, est celui qui nous semble contenir les leçons les plus proches des préoccupations actuelles et du projet d'architecture tel que le pratiquent les architectes de la fin du XXe siècle. Peu de travaux de recherche s'intéressent au patrimoine intellectuel de la pensée constructive et de ses méthodes. L'intelligence du projet — processus qui, nous l'avons dit, pour l'architecture gothique intègre la rationalisation du chantier et de l'entretien — offre pourtant matière à réflexion. Aujourd'hui les techniques se multiplient et se diversifient : techniques "passives" intéressant la structure et techniques "actives" de l'éclairage, du conditionnement de l'air, des communications, que l'architecte doit gérer et intégrer de la manière la plus efficace dans son exercice de projection. Ces techniques appellent également un suivi (surveillance, entretien) pour les techniques actives bien-sûr, mais aussi, de plus en plus, pour les structures elles-mêmes dont certaines demandent un réglage progressif et une surveillance précise (à l'exemple des ouvrages d'art). Les projets ne peuvent plus être pensés uniquement en terme d'espaces et comme production d'images.

Sur ces deux aspects, j'ai mené à bien un certain nombre d'investigations et dégagé un point de vue sur les apports des méthodes contemporaines de calcul pour l'analyse des monuments anciens. Une phase de ma recherche est donc achevée. Cela me permet de donner quelques orientations, à l'intérieur de ma problématique générale, pour la poursuite et l'approfondissement de mes travaux. C'est pourquoi je vais, pour terminer, tracer quelques perspectives de développement de ma recherche en lien avec les orientations pédagogiques engagées à l'école d'architecture de Saint-Etienne.

Je décris dans un article récent⁸⁶ les différents aspects de la notion de modèle en architecture ainsi que les enjeux qui y sont liés : cette notion est à la fois ancienne, attachée dans la pratique du projet à l'idée d'imitation (de la nature ou d'un objet archétypique), et complètement contemporaine dans son acception scientifique qui s'apparente à un schéma élaboré de manière théorique pour rendre compte d'une réalité complexe. Sous ce terme on entend donc aussi bien un objet de référence doté de

⁸⁶ Coste A., "Le modèle en architecture : entre rétrospective et prospective". Ce texte a été rédigé pour les *Cahiers de la Recherche Architecturale* dans lequel il sera prochainement publié. Il introduit les questions traitées dans l'ouvrage *Architecture gothique, lectures et interprétations d'un modèle* et il renvoie par ailleurs aux thèmes abordés dans le cadre du séminaire-atelier "Modélisation : Patrimoine - Architectures - Territoire" (EASE, 5e année, resp. S.Hanrot).

qualités exemplaires susceptible d'être recopié, qu'un objet théorique porteur de l'ensemble des propriétés de la réalité empirique dont il doit rendre compte. Si l'on a toujours eu recours au modèle pour concevoir et pour comprendre, nous avons vu, avec l'architecture gothique, qu'un modèle théorique, élaboré au niveau des idées pour appréhender un champ complexe de phénomènes ou d'objets, peut à son tour susciter une production nouvelle. C'est précisément sur cet aspect que je souhaite mener des investigations élargies à la fois au sens des époques étudiées que des catégories d'objets. Dans le groupe de recherche nouvellement constitué à l'Ecole d'Architecture de Saint-Etienne, dont la problématique générale est la modélisation en architecture, je continue à développer ce travail qui permet d'irriguer l'axe intitulé "Patrimoine et technique : les modèles d'intelligibilité" du séminaire de 3e cycle. Ce module d'initiation à la recherche est coordonné à un atelier de projet, ce qui nous permet d'introduire les méthodes de la modélisation propres au projet et celles qui sont propres à la recherche et d'en examiner les liens potentiels. Ce travail est poursuivi pour quelques uns des étudiants dans le cadre de DEA développés au sein des laboratoires de nos différents partenaires universitaires.

Plus largement les liens entretenus entre ce programme de recherche et l'enseignement se concrétisent à l'intérieur d'un module d'approfondissement en quatrième année où les questions du patrimoine et des techniques sont envisagés à travers leurs relations réciproques. Les objets architecturaux étudiés -un canal, un barrage, un fort,...- introduisent les idées de territoire, de paysage, d'aménagement dans leurs dimensions scientifiques (théorie, calculs, modèles, ...) et techniques (mise en oeuvre, aménagement, machines, ...).

Dans ce cadre et à partir des acquis des travaux de ces dernières années, mon programme de recherche des quatre prochaines années, au sein de l'équipe "Modélisation en architecture" de l'EASE, s'attachera à mettre en relation l'histoire des sciences et des techniques (méthodes et outils) avec la production architecturale et urbaine des grandes infrastructures territoriales, à travers l'étude des modèles qui y sont attachés. A partir d'un corpus d'objets architecturaux (bâtiments, ouvrages, infrastructures), on mettra en parallèle les savoirs, les outils et les productions - pour une période donnée - puis on regardera comment certains systèmes constructifs produisent des modèles exploités ensuite dans différents registres de la production architecturale ultérieure.

RAPPORT D'ACTIVITE

Note de présentation

Le champ d'application privilégié de mes travaux a été, dans un premier temps, l'architecture gothique pour les raisons que je viens d'évoquer dans le rapport de recherche. De ce point de vue, l'échéance de la thèse (janvier 1996) et celle de la fin du contrat européen "Monuments under seismic action..." (mars 1997) constituent le terme de la première période identifiable dans mon programme de recherche.

Le projet européen articulait autour du problème de la connaissance des grands édifices en pierre soumis à des sollicitations exceptionnelles, les approches d'équipes de chercheurs appartenant à des champs différents : histoire, mécanique, architecture. Chacune des équipes engagées dans le projet possède un savoir faire, des méthodes de calcul et un type d'équipement (expérimental, code de calcul,...) qui lui sont propres. Deux édifices prestigieux ont été étudiés simultanément : le Parthénon et la cathédrale de Beauvais, deux édifices qui relèvent de deux modèles constructifs distincts. L'objectif majeur du programme était de définir les caractéristiques des joints, ces travaux devant constituer une première étape vers une méthode de calcul à l'échelle de la structure. Le point de départ est l'étude d'une pile de maçonnerie élancée. A partir d'un même objet, différents modèles ont été définis en fonction des spécialités de chacun. Les méthodes de calcul, de la plus simple à la plus complexe, ont ainsi pu être comparées. Cette mise en concurrence des méthodes des différentes équipes a également induit un débat permanent sur la pertinence des outils et des échanges d'informations fructueux.

Depuis 1995, je développe à l'école d'architecture de Saint-Etienne des travaux de recherche en partenariat avec le CEREM (centre d'études et de recherches sur les expositions et les musées), laboratoire de l'université Jean Monnet. Si la thématique générale reste le modèle architectural et constructif et la problématique assez comparable à celle développée pour l'architecture gothique, à savoir les apports des méthodes modernes de calcul de structure pour la compréhension des monuments anciens, le champ d'investigation est différent. Il s'agit ici des fortifications et des sciences qui y sont attachées, avec une première étude consacrée au fort Barraux dans l'Isère, édifié dans les toutes dernières années du XVI^e siècle sous l'égide du Duc de Savoie puis aussitôt annexé par Lesdiguières et remanié un peu plus tard par Vauban (contrat ARASSH 1996-1998).

La construction des fortifications constitue un chapitre important de l'histoire de l'aménagement du territoire. Projets extrêmement complexes et de conception particulièrement intelligente, les forts ont suscité les recherches précoces dans le domaine de la mécanique des sols et des solides. C'est pourquoi nous nous trouvons aujourd'hui devant un patrimoine dont la richesse dépasse la seule valeur architecturale pour intéresser le champ de l'histoire des sciences et des techniques, et que nous

investissons selon un double point de vue. Sébastien Le Prestre de Vauban est en effet considéré comme l'un des fondateurs de la Mécanique des sols : une discipline qui prendra un caractère véritablement scientifique un siècle plus tard avec les travaux de Charles Augustin Coulomb. Mais le nom de Vauban reste par ailleurs attaché au modèle de fortifications qu'il a mis au point et validé par de nombreuses réalisations. Nous nous intéressons donc dans cette recherche à cette période précoce du développement de la Géomécanique et aux liens qu'il est possible d'établir avec l'émergence du modèle architectural de fortifications "à la Vauban" à travers la formalisation des connaissances liées à ces deux disciplines dans les publications de l'époque.

Se pose actuellement la question de la restauration des remparts, partiellement rompus sous l'action conjuguée de la poussée des terres et de forces déstabilisatrices vraisemblablement imputables au développement de pressions interstitielles dans des zones non initialement prévues, par colmatage progressif des systèmes de drainage. Il est nécessaire pour utiliser de manière pertinente les outils de modélisation et de calcul actuels, de bien connaître les méthodes de conception et de mise en oeuvre de l'époque de la construction de l'ouvrage. C'est pourquoi, nous nous attachons, comme pour nos précédents travaux, à réunir et étudier les documents tant théoriques que physiques qui permettront d'élaborer une modélisation pertinente de l'édifice.

Chaque recherche développée entre 1994 et 1997 est présentée dans les pages suivantes sous forme de fiches techniques constituées des indications concernant les intitulés, les partenaires et les financements, suivies d'un résumé.

La dernière partie de ce rapport d'activité rend compte des actions de formations et encadrement de travaux, en rapport avec mon travail de recherche ainsi que des actions de valorisation.

Thèse

Doctorat d'Histoire (nouveau régime), Université Pierre Mendès-France, obtenu à Grenoble, le 11 janvier 1996 avec la mention très honorable et les félicitations.

Directeur :

Gérard Labrot, Historien de l'Art, Professeur à l'Université Pierre Mendès-France, Grenoble

Jury :

A. Picon, Ingénieur des Ponts et Chaussées, Historien, CERTES, ENPC-Paris, rapporteur

A. Prache, Historienne de l'Art, Professeur à l'Université de Paris-Sorbonne, rapporteur

P. Kurmann, Historien de l'Art, Professeur à l'Université de Fribourg (Suisse)

P. Paravy, Historienne, Professeur à l'Université Pierre Mendès-France, Grenoble

Lauréate pour l'année 1990-1991 d'une Bourse Internationale de Recherche, accordée par le Conseil Régional Rhône-Alpes. Laboratoire d'accueil : Institut de Théorie et d'Histoire de l'Architecture (ITHA), Département Architecture de l'Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (Suisse).

Résumé :

Les investigations sur le comportement mécanique des structures menées sur différents édifices nourrissent dans cette thèse une réflexion sur le concept de modèle constructif. Nous nous intéressons plus particulièrement, dans l'histoire de l'architecture, à certains moments charnières favorisant le développement d'innovations techniques importantes. En questionnant le modèle constructif gothique nous tentons de mettre en évidence son rôle dans l'histoire de l'architecture à travers les différentes attitudes des périodes postérieures : rejet, redécouverte, interprétation, influence et inspiration ...

Le modèle classique gérait l'harmonie des masses. L'architecture gothique maîtrise l'équilibre des forces : à un idéal purement esthétique se substitue l'idée de performance constructive. L'architecture gothique met en scène un espace qui semble s'être affranchi de la contrainte de portée : les appuis deviennent minces, les murs, de plus en plus hauts, sont percés de vastes baies. Un système constructif dont le principe était d'opposer aux efforts la massivité de ses éléments cède la place à un système dont l'art consiste à répondre à une force par une force contraire par le jeu de l'équilibre. Cette révolution est rendue possible par l'invention, au cours des XIIe et XIIIe siècles, des éléments plus tard identifiés comme caractéristiques de l'architecture gothique : la voûte à nervures et l'arc-boutant. Déjà présente chez certains théoriciens du XVIIIe, cette analyse sur laquelle Viollet-le-Duc fonde sa thèse rationaliste est entérinée par Choisy mais soulève au début du XXe siècle un débat constructif qui anime le milieu de l'architecture. Cette polémique sera réactualisée dans les années 70 par les expérimentations des américains Mark et Clark en photoélasticité.

Mais les interprétations du modèle gothique ne sont pas seulement rationalistes : l'esthétique du XVIIIe siècle et la mode des fabriques anglaises remettent au goût du jour le pittoresque de l'architecture gothique. Au XIXe siècle, l'organisation du travail du moyen-âge offre au discours politique une référence pour les ennemis d'une société industrielle basée sur l'exploitation et la déqualification des ouvriers. Les problèmes de restauration des grandes cathédrales réactualisent la question de l'analyse de l'architecture gothique.

L'objet de la thèse est une réflexion sur l'histoire du modèle gothique : ses interprétations mises en relation avec l'évolution de la connaissance scientifique des matériaux et des structures, son rôle dans l'histoire de l'architecture et au sein du débat séculaire sur les liens qui unissent architecture et construction.

Thèse publiée par le Centre d'Etudes Foréziennes, publications de l'Université de Saint-Etienne, 1997.

Monuments under seismic action : a contribution to the understanding of structural behaviour and to the improvement of restoration techniques.

Contrat : CEE (EV5V CT93 0300), Direction Générale pour la science, la recherche et le développement, 1993- 1997.

Ecole d'Architecture de Grenoble, sous- contractant (responsable scientifique : Anne Coste)

Budget global : 750 610 ECUS

Budget équipe : 58 300 ECUS

Coordination générale du projet :

AMTE S.A. Consulting Engineers (Athènes), resp. Michael Angelides, ingénieur civil

Partenaires en Grèce :

Earthquake Engineering Laboratory (National Technical University of Athens), resp. Prof. Dr. Panayotis Carydis, ingénieur civil

Laboratory of Testing and Materials (National Technical University of Athens), resp. Prof. Dr Ioannis Vardoulakis, ingénieur civil

Partenaires en France :

Laboratoire 3S (Institut de Mécanique de Grenoble), resp. projet Prof. M. Boulon, ingénieur de l'Ecole Centrale de Paris, docteur ingénieur Université de Grenoble

Ecole d'Architecture de Grenoble, resp. projet A. Coste, architecte

Centre d'Enseignement et de Recherche en Mécanique des Sols (Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, Paris), resp. projet Prof. F. Schlosser, Ingénieur des Ponts et Chaussées, Président du Comité français de Mécanique des Sols

Laboratoire de Génie civil et de Mécanique (Université des Sciences et Techniques du Languedoc, Montpellier II), resp. projet M. Jean, Ingénieur, Directeur de recherches au CNRS.

Consultants :

Manolis Korres, Architecte-ingénieur, Architecte chargé de la restauration du Parthenon (Parthenon Restoration Project, Greek Ministry of Culture)

Jean-Louis Taupin, Architecte en Chef des Monuments Historiques

Ce projet fédère autour du problème de la connaissance du comportement mécanique des édifices en pierre, les efforts de différentes équipes d'architectes et d'ingénieurs, chercheurs dans le domaine de la mécanique des solides. Deux édifices prestigieux sont étudiés simultanément : le Parthénon et la cathédrale de Beauvais, deux édifices qui relèvent de deux logiques constructives distinctes. L'objectif principal est de définir expérimentalement les lois de comportement des joints dans les édifices en maçonnerie et d'étudier numériquement la réaction des édifices choisis à des sollicitations particulières (séismes, tempêtes).

Deux approches sont coordonnées. L'approche numérique se développe à partir de modélisations et utilise différentes méthodes de calcul (méthode des éléments distinctes, méthode des éléments finis). Des codes de calcul existants seront modifiés pour cette étude. Les données obtenues expérimentalement y seront introduites. L'approche expérimentale concerne les travaux du laboratoire grec "Earthquake Engineering Laboratory" qui sollicite une maquette à l'échelle 1/3 de la moitié sud du *pronaos* du Parthenon sur table vibrante reproduisant des secousses sismiques réelles, enregistrées et simulées grâce à un banc d'essai performant. L'autre manipulation expérimentale est réalisée par le laboratoire "Sols, Solides, Structures" à Grenoble grâce à une "boîte à cisaillement 3D" dans laquelle sont soumis à différentes expériences des échantillons de marbre venus d'Athènes et des échantillons de pierres avec joint de mortier. Ces échantillons de 70mm x 70mm sont chargés verticalement pour définir la résistance normale du joint puis, toujours chargés verticalement, ils sont soumis à des pressions latérales afin de définir la résistance au cisaillement.

Notre contribution consiste à définir la problématique précise se rapportant à la cathédrale de Beauvais, à rassembler les données physiques et historiques sur l'édifice, à établir le modèle étudié par les différentes équipes (géométrie, maillage, conditions aux limites et chargement et réaliser une pré-étude de type Eléments Finis classique (logiciel CADSA).

"Méthodes de modélisation pour la conservation et la valorisation du patrimoine, un exemple régional : le fort Barraux"

Programme de l'Agence Rhône-Alpes pour les Sciences Sociales et Humaines (ARASSH), 1996-1998.
Gestion du contrat : Ecole d'Architecture de Saint-Etienne
Responsable scientifique : Anne Coste

en partenariat avec :

- le Centre d'Etudes et de Recherche sur les Expositions et les Musées, Université Jean Monnet Saint-Etienne
- le Laboratoire Sols, Solides, Structures, INPG/CNRS/Université Joseph Fourier Grenoble

Budget annuel : 100 000 F

Trois principaux objectifs :

- Structurer et pérenniser une coopération pluridisciplinaire à l'échelle de la région.
- Etendre le domaine de nos recherches en valorisant une expérience acquise ces dernières années, recouper nos méthodes avec celles de la muséologie.
- Développer un outil d'aide à la décision à l'intention d'élus locaux confrontés à un problème de restauration et de valorisation d'un patrimoine culturel.

Les moyens et méthodes mis en œuvre se fondent sur deux principes :

- La coordination des méthodes traditionnelles et de celles du calcul moderne.
- La coopération de trois groupes de recherche complémentaires pour élaborer les modélisations les plus pertinentes dans le cadre de cette problématique.

Les résultats attendus appartiennent à différents registres :

- Un éclairage nouveau sur l'histoire de la mécanique des sols et des solides en lien avec l'aménagement du territoire. Une connaissance accrue et susceptible d'être valorisée auprès du public, in situ et via les nouvelles technologies, de notre patrimoine architectural et de l'héritage scientifique qui lui est attaché.
- L'amélioration des instruments de calcul du comportement mécanique de la maçonnerie, grâce à la prise en compte de l'histoire des édifices et de la pathologie qui les affecte.
- La validation d'un outil de modélisation pour la conception et l'évaluation d'expositions.

Résumé :

Grâce à une procédure déjà validée par des coopérations antérieures, l'équipe constituée pour ce projet se propose d'investir un nouveau pan de l'histoire des sciences, de l'architecture et de l'aménagement du territoire. L'étude d'un site régional —le Fort Barraux— sert de base à une recherche interdisciplinaire devant permettre d'élargir le champ d'application d'une méthode alliant de manière efficace sciences humaines et sociales et sciences dures.

Les grands travaux d'infrastructures de défense du territoire du XVII^e siècle ont permis d'élaborer des méthodes et des techniques déterminantes dans le développement des sciences des ingénieurs. En même temps se perfectionne et s'impose un grand modèle architectural : celui du plan en étoile.

Sébastien Le Prestre de Vauban est considéré comme l'un des fondateurs de la Mécanique des sols : une discipline qui prendra un caractère véritablement scientifique un siècle plus tard avec les travaux de Charles Augustin Coulomb. Le nom de Vauban reste par ailleurs attaché au modèle de fortifications qu'il a mis au point et validé par de nombreuses réalisations. Nous nous intéressons à cette période précoce du développement de la Géomécanique et aux liens qu'il est possible d'établir avec l'émergence du modèle architectural de fortifications "à la Vauban".

PRINCIPALES COOPERATIONS MISES EN OEUVRES entre 1994 et 1997

Depuis 1988, sans interruption, tous nos projets de recherche sont développés en coopération avec :
le laboratoire SOLS, SOLIDES, STRUCTURES (3S), (Université J.Fourier Grenoble -Institut National Polytechnique de Grenoble - CNRS).

Depuis 1995, à Saint-Etienne :
le Centre d'Etudes et de Recherche sur les Expositions et les Musées (CEREM), (Université J.Monnet Saint-Etienne).

AUTRES COOPERATIONS de 1994 à 1997 (partenaires avec lesquels nous avons au moins un projet réalisé ou en cours de réalisation)

- Institut National Polytechnique de Grenoble :
Ecole Nationale Supérieure d'Hydraulique et de Mécanique de Grenoble
- Université Joseph Fourier, Grenoble I :
UFR de Mécanique
- Centre d'Etudes Supérieures en Histoire et Conservation des Monuments Anciens, Paris
- Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, Paris :
Centre d'Enseignement et de Recherche en Mécanique des Sols
- Université des Sciences et Techniques du Languedoc - Montpellier II :
Laboratoire de Mécanique et de Génie Civil
- Bureau d'Etudes Lamboley, Saint-Cyr-au-Mont-d'Or (69)
- AMTE S.A. Consulting engineers, Athènes (bureau d'études privé)
- Parthenon Restoration Project (Greek Ministry of Culture)
- National Technical University of Athens, Department of Engineering Science, Section of Mechanics
Earthquake Engineering Laboratory
Laboratory of Testing and Materials

RESEAUX

- Réseau "Cultures constructives" (coord. Cyrille Simonnet, Ecole d'Architecture de Grenoble)
- Réseau international "Coal Minds" (coord. Yves Bouveret, Université de Saint-Etienne)
- Réseau stéphanois d'étude et de valorisation du patrimoine industriel (2 réponses à des appels d'offre régionaux en 1997 ; stages d'étudiants).

VALORISATION DE LA RECHERCHE
1994 - 1997

Congrès

COSTE A., "L'histoire comme modèle en architecture", Communication au colloque J.Cartier "L'architecture, les sciences et la culture de l'histoire au XIXe siècle", Saint-Etienne, Lyon, 7-10 décembre 1997.

COSTE A. et REBAUD T., "L'art des fortifications dans les encyclopédies du XVIIIe et du XIXe siècles : du modèle architectural à la mécanique des sols", Communication au symposium "Entre Mécanique et Architecture dans les encyclopédies", XXe Congrès International d'Histoire des Sciences, Liège (Belgique), 20-26 juillet 1997.

COSTE A. et BOULON M., "Classical F.E.M. Analysis and Experimental Observations of the Dome of the Church of Givry (France)", *Geotechnical Engineering for the Preservation of Monuments and Historic Sites - Arrigo Croce Memorial Symposium*, Naples (Italy). Actes du Congrès, Balkema, 1997.

COSTE A., "Le calcul par la méthode des éléments finis appliqué à la restauration, une expérience : la cathédrale de Beauvais", Communication au symposium "Entre Mécanique et Architecture", XIXe Congrès International d'Histoire des Sciences, Saragosse (Espagne) - août 1993. Actes du symposium : Radelet de Grave P. et Benvenuto E. (dir.) : *Entre Mécanique et Architecture*, Bâle, Birkhäuser, 1995, pp.348-360.

Articles

COSTE A., "Le modèle en architecture : entre rétrospective et prospective", in *Cahiers de la Recherche Architecturale*, Marseille, Parenthèses, 1997.

COSTE A., "La tour Perret", in *Recueil d'articles 1990-1994*, Les Métiers de l'Histoire de l'Architecture, Ecole d'Architecture de Grenoble, Bureau de la Recherche Architecturale - M.E.T.T., 1994.

Ouvrages

COSTE A., *Architecture gothique, lectures et interprétations d'un modèle*, Saint-Etienne, Centre d'Etudes Foréziennes- Publications de l'Université de Saint-Etienne, 1997.

COSTE A., PICON A. et SIDOT F. (dir.), *Un ingénieur des Lumières Emiland-Marie Gauthey*, Paris, Presses de l'Ecole nationale des Ponts et Chaussées, 1994.

Organisation de séminaires

"Matériaux d'architecture - Architecture des matériaux", 1997-1998.
Série de 3 séminaires organisés par l'Ecole d'architecture de Saint-Etienne (A.Coste, J.-L.Herbert) et l'Ecole des mines de Saint-Etienne (F.Montheillet, H.Jacquemin) :

1. Bronze, architecture et urbanisme celtiques : Mont Beuvray, 14-15 novembre 1997
2. Fer et architecture gothique : Beauvais, 23 et 24 janvier 1998
3. Bois et architecture urbaine : Marseille, 24 et 25 avril 1998.

PARTICIPATION A DIFFERENTES FORMATIONS ET ENCADREMENT DE TRAVAUX

En dehors de mon enseignement principal, dispensé en 4e et 5e années à l'école d'architecture de Saint-Etienne, j'ai participé de manière ponctuelle à différentes formations :

- séminaire 1994-1995 sur l'architecture gothique au Centre d'Etudes Supérieures en Histoire et Conservation des Monuments Anciens, Paris (resp. J.-L.Taupin).
- maîtrise de Mécanique, Université Joseph Fourier à Grenoble, depuis 1994.
- DEA de Muséologie, Université Jean Monnet à Saint-Etienne, depuis 1996.
- responsabilité d'un atelier aux Journées d'Automne de l'Isle-d'Abeau 1996.

Encadrements de projets, stages et DEA

Co-encadrement de projets et de stages à l'Ecole Nationale Supérieure d'Hydraulique et de Mécanique de Grenoble et à l'UFR de Mécanique de Grenoble, Université Joseph Fourier

1993-94 :

- Guerry F. et Lugan A., "Etude du comportement mécanique d'une structure en maçonnerie par la méthode des éléments finis" (projet de maîtrise, UFR de Mécanique)
- Guerry F. et Reverdy N., "Etude des contrebuttements de la cathédrale de Beauvais par la méthode des éléments finis (CADSAP)" (stage de maîtrise, UFR de Mécanique)

Encadrement de Travaux Personnels de Fin d'Etudes en Architecture

1996-97 :

- Sandrine Ardouin, "Les ponts de la Caille : un musée de site", A.Coste directeur d'études
 - Annelore Goudon, "Aigues-Mortes, par delà les remparts", A.Coste second enseignant
- 1997 (en cours):
- Véronique Martin, "De l'an 1000 à l'an 2000 : Cluny ou comment habiter une ville musée", A.Coste directeur d'études
 - Eric Fournel, "Vivre le patrimoine au présent", A.Coste directeur d'études
 - Sophie Sénac, "De la culture de l'orge au brassage du whisky : comment retrouver une autonomie en respectant l'identité de l'île de Ouessant", A.Coste directeur d'études
 - Béatrice Juricko, "Résistance et cadre de vie : un Musée-Gare ou l'histoire du Chambon-sur-Lignon", A.Coste second enseignant

Encadrement de stages à l'EASE

1994-95 :

Alexandre Bonnassieux, "Relevé d'un élément de contrebuttement de la cathédrale de Beauvais", EAG.

Thomas Rebaud, "Beauvais, recherche en archives sur la cathédrale", EAG.

1995-96 :

Annelore Goudon, "Mise en forme et traitement numérique des images de l'ouvrage *L'architecture gothique...*", EAG.

1996-97

Sandrine Ardouin, "Recherche iconographique et traitement des images pour le rapport final *Monuments under seismic action...*", EAG.

Sophie Thollot, "Inventaire du patrimoine industriel de la vallée de l'Ondaine, Syndicat Mixte d'Aménagement des Gorges de la Loire.

Co-encadrement de DEA

1996-97 :

Thomas Rebaud, "La modélisation informatique comme outil d'évaluation muséale de parcours dans l'architecture du Fort Barraux" : DEA de Muséologie, Université de Saint-Etienne, co-encadrement J.Davallon, A.Coste.

