

CHARPENTES HISTORIQUES EN BOIS DE LA CONSTRUCTION À LA RESTAURATION

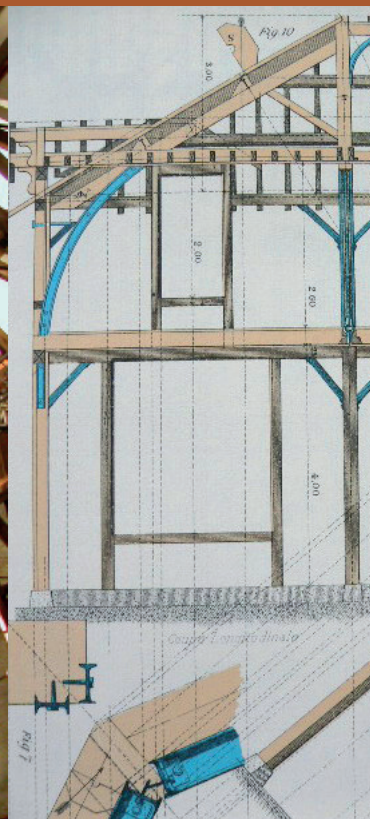
PHOTO G. FOCANT © SPW

JOURNÉE D'ÉTUDE

organisée par l'Institut du Patrimoine wallon et le Comité Patrimoine et Histoire de la FABI



PHOTO G. FOCANT © SPW



AUDITORIUM DES MOULINS DE BEEZ (NAMUR - BELGIQUE)
VENDREDI 28 MARS 2014

PROGRAMME DU VENDREDI 28 MARS 2014

Président de séance : Laurent Verslype, Président du Master complémentaire en conservation-restauration du patrimoine culturel immobilier

- 8H30** ACCUEIL DES PARTICIPANTS
- 9H00** Introduction par Freddy JORIS, Administrateur général de l'Institut du Patrimoine wallon (IPW) et Michel PROVOST, Président du Comité Patrimoine et Histoire de la FABI.
- 9H10** *Quelques repères à propos de l'histoire des charpentes de toiture* par Patrick HOFFSUMMER, Président du Centre européen d'archéométrie, ULg.
- 9H40** *Pathologies des charpentes et éléments en bois : méthodologie d'investigations et d'interventions* par Pascal LEMLYN, Architecte et charpentier et Thierry DESCAMPS, Université de Mons.
- 10H00** Pause avec présentations techniques par Pascal LEMLYN.
- 10H30** *Pathologies des charpentes et éléments en bois : méthodologie d'investigations et d'interventions (suite)* par Pascal LEMLYN et Thierry DESCAMPS.
- 11H00** *La charpente historique en Allemagne : systèmes de construction et analyse numérique* par Stefan HOLZER, Univ.-Prof. Dr.-Ing., Universität der Bundeswehr, Munich.
- 11H40** *De l'archéologie préventive à une étude thématique des charpentes : le cas de la Région de Bruxelles-Capitale* par Sylvianne MODRIE, archéologue, Direction des monuments et sites.
- 12H10** *L'évolution des toitures en région bruxelloise : une étude en cours* par PATRICK HOFFSUMMER, Président du Centre européen d'archéométrie à l'Université de Liège, en collaboration avec la Direction des Monuments et des Sites de la Région Bruxelles-Capitale (DMS/RBC), le Centre européen d'Archéométrie de l'Université de Liège (CEA/ULg), l'Institut royal du Patrimoine Artistique (IRPA) et le Centre de Recherches en Archéologie et Patrimoine de l'Université Libre de Bruxelles (CReA-Patrimoine/ULB)
- 12H30** REPAS SUIVI DE PRÉSENTATIONS TECHNIQUES PAR PASCAL LEMLYN.
- 14H00** *Un témoin millénaire de la charpenterie en Belgique : l'église Saint-Denis de Liège* par Sophie BLAIN chargée de recherches FNRS ULg, Christophe MAGGI, Doctorant ULg et Patrick HOFFSUMMER.
- 14H20** *La charpente du Manège de la caserne Fonck* par Jean-Marie BLEUS, Faculté d'Architecture, ULg.
- 14H35** *Trois typologies différentes de la charpente : une même approche. Trois exemples de restauration de charpente en bois : modélisation de la charpente du manège de la caserne Fonck à Liège, le trésor de la Cathédrale St-Paul à Liège et l'école Sainte-Catherine à Tournai* par David DEWOLF, Ingénieur, Bureau Greisch.
- 15H00** *Relevés et état sanitaire des charpentes de la Cathédrale de Tournai*, par Laurent DELÉHOUEZÉE, SPW DGO4 – Direction de l'Archéologie et Alain SABBE, Université de Mons.
- 15H30** *La restauration des couvertures de la Cathédrale de Tournai* par Vincent BRUNELLE, Architecte en chef des monuments historiques.
- 16H00** *Les charpentes de l'abbatiale de Floreffe*, par Ghislain CLAERBOUT, Administrateur-délégué Monuments Hainaut sa.
- 16H20** PAUSE
- 16H40** *Déformation torsionnelle du clocher tors de Notre Dame du Marché à Jodoigne* par Roger MATRICHE, Ingénieur civil des constructions.
- 17H00** *Charpente de l'église Saint-Lambert à Soumagne. Étude préalable et projet de restauration* par Catherine COLLET, Yves JACQUES et Xavier TONON, Architecte, Architectes et Associés SA.
- 17H20** *Analyse et évaluation d'interventions antérieures sur les charpentes historiques d'Il Castello del Valentino de Turin*, par Clara BERTOLINI CESTARI, Professeur au Politecnico de Turin.
- 18H00** CONCLUSION DE LAURENT VERSLYPE, PRÉSIDENT DE SÉANCE ET RÉCEPTION DE CLÔTURE



Charpentes historiques en bois De la construction à la restauration

Les « Charpentes historiques en bois, de la construction à la restauration » est, après la « Reprise en sous-œuvre et le patrimoine culturel immobilier » en 2011 et la « Conservation et restauration des bétons du patrimoine moderniste » en 2012, la troisième journée d'étude organisée conjointement par l'Institut du Patrimoine wallon et le Comité Patrimoine et Histoire de la FABI (Fédération royale d'Associations belges d'Ingénieurs civils, d'Ingénieurs agronomes et de Bio-ingénieurs)

Les charpentes sont des ouvrages courants. Tous les bâtiments, en effet, ont une toiture et nombreux ont une charpente en bois. Rares, cependant, sont les concepteurs qui en maîtrisent la technologie, le fonctionnement structural et les calculs. Par ailleurs, le fonctionnement structural des charpentes traditionnelles est souvent fort complexe et délicat à modéliser.

L'objectif de cette journée est de documenter les ingénieurs, architectes, historiens de l'art, archéologues, agents des organismes publics, enseignants, étudiants,... au sujet de ces ouvrages incontournables de notre Patrimoine culturel immobilier.

1

Après quelques exposés généraux qui traitent d'histoire, de principes constructifs, de typologies, de pathologies, d'approches de calcul, de calculs numériques, de techniques de restauration,... de nombreux exemples belges et étrangers sont abordés soit collectivement par des approches typologiques soit au cas par cas comme la Cathédrale Saint-Paul et le Manège de la caserne Fonck de Liège, la Cathédrale Notre-Dame de Tournai, Il Castello del Valentino de Turin,...

NB : Les textes n'engagent que la responsabilité des auteurs



Michel PROVOST

Professeur à l'Université Libre de Bruxelles
Président du Comité FABI Patrimoine et Histoire



11, avenue de Saturne
1180 Bruxelles
Belgique
00.32.475.63.49.43
Michel.provost@skynet.be

Professeur à l'ULB

- *En Faculté des Sciences Appliquées*
- *En Faculté d'Architecture* : notamment chargé des cours de fonctionnement des structures et de pathologie structurale. Coordonnateur de l'option « Structure et Architecture ».
- *Au sein du Master complémentaire en Conservation et Restauration du Patrimoine culturel immobilier* : chargé d'un cours de pathologie structurale.

Ingénieur conseil :

- Associé fondateur des bureaux *Bgroup (devenu Bgroup-Greisch) et ORIGIN Architecture et Engineering*.
- Chargé des études de structure de plusieurs projets en infrastructure, bâtiment et patrimoine culturel immobilier.

Expert : notamment rapporteur du collège d'experts chargé de la restauration de la Tour de l'Hôtel de Ville de Bruxelles

Auteur de plusieurs publications et conférences dans les domaines des ouvrages souterrains, de l'interaction entre structure et architecture (notamment au sujet des Pavillons de l'Exposition Universelle de Bruxelles 1958) et de la restauration du patrimoine culturel immobilier (Tour de l'Hôtel de Ville, Atomium, Eglise du Sablon à Bruxelles). Co-directeur de l'ouvrage « Bruxelles sur les traces des ingénieurs bâtisseurs » CIVA 2011. Auteur du livre « Comment tout ça tient ? » Alice Edition – CIVA 2011

Commissaire des expositions : « Bruxelles, Prouesses d'Ingénieurs » CIVA 2011 et « Comment tout ça tient ? » Bruxelles Halles Saint-Géry août – novembre 2012

Président du Comité Patrimoine et Histoire de la FABI

Membre d'Icomos Belgique



Patrick HOFFSUMMER

Chargé de Cours à l'Université de Liège
Président du Centre Européen d'Archéométrie
de l'Université de Liège
Professeur invité au Centre Raymond Lemaire
pour la conservation (KUL)

Quelques repères à propos de l'histoire des charpentes de toiture

Pendant longtemps, l'histoire de la charpente n'a retenu l'attention ni des archéologues ni des architectes. Au début du XX^e siècle, deux personnalités importantes se sont intéressées à la question : Friedrich Ostendorf (1871-1915) en Allemagne et de Henri Deneux (1874-1969) en France. À la fin du XX^e siècle, le développement de l'**archéologie du bâti** et de l'archéométrie a permis de relancer la recherche dans le domaine et de faire de nouvelles découvertes. Les études récentes menées un peu partout en Europe révèlent que la charpente de comble est une véritable « boîte noire » susceptible de renfermer quantité d'informations matérielles sur l'histoire de la construction. Celles-ci apportent autant à l'histoire du monument lui-même qu'à l'histoire des techniques et de l'architecture en général.

Dans une charpente, les techniques d'assemblage et de **marquage** permettent de comprendre la technique du charpentier, dictée par le contexte culturel de son temps. D'autres signes gravés, encore visibles dans les monuments, identifiaient des lots de bois flottés parfois d'origine très lointaines. Les **traces d'outils** des charpentiers sont aussi des traces précieuses de plus en plus étudiées aujourd'hui. Elles permettent de comprendre la façon dont les bois ont été débités et travaillés. Or, ces techniques varient en fonction de la période de construction de la charpente car les savoirs-faire et les contraintes économiques d'utilisation du bois ont évolué. Pour mieux comprendre ces procédés, il est aussi important de consulter les sources iconographiques, de faire de l'ethnographie ou de procéder à des expérimentations. Dans certains pays, comme la Tchéquie, ces techniques sont même employées dans la réalisation de certains travaux de restauration.

Le **relevé des charpentes** à différentes échelles selon le niveau de détail est donc indispensable. L'association entre artisans, architectes, archéologues et ingénieurs au sein d'équipes interdisciplinaires est essentiel dans le cadre des études préalables. Il convient de vérifier si une structure est homogène ou si elle a été transformée, voire construite avec des pièces de récupération. Dans les charpentes, les pièces de réemploi sont très reconnaissables quand elles portent les traces d'anciens assemblages dont la position est illogique.

La **dendrochronologie** (datation à l'année près grâce à l'analyse des cernes de croissances en relation avec les changements climatiques) apporte la trame chronologique indispensable, voire une indication de l'origine du bois en s'appuyant sur la comparaison des courbes de croissances valables pour différentes zones climatiques européennes. Quand on sait – et cela a été prouvé – que les charpentiers travaillaient le bois vert, la datation du bois d'œuvre offre à l'historien un repère chronologique porteur de sens. La plupart du temps analysée à partir de carottages, l'étude de la croissance des bois exige un échantillonnage varié et bien réparti pour obtenir de bonnes corrélations entre les séquences d'arbres différents d'une même charpente. Il s'agit ensuite d'obtenir une bonne courbe moyenne du site et de la dater par rapport aux courbes de références. Par ailleurs, la présence du dernier cerne proche de l'écorce est toujours requise pour préciser la période d'abattage autrement que par un *terminus post quem*. À ces critères



Charpentes historiques en bois De la construction à la restauration

relevant de la seule analyse des cernes, s'ajoute l'impérieuse nécessité de choisir les échantillons en fonction de l'étude archéologique minutieuse du bâtiment qui jette les bases d'une chronologie relative.

L'étude des **matériaux de couverture** est un autre apport essentiel pour comprendre les types de toitures. Selon les régions, les époques et les édifices, de nombreux systèmes de couverture existent en Europe : bardeaux de bois, chaume, pierres plates, ardoises, tuiles, plomb... La pente du toit peut varier considérablement et est aussi liée au type de matériau de couverture via son système de fixation. Les toits à pentes raides des constructions gothiques étaient couvertes de matériaux cloués ou accrochés : tuiles à crochets ou chevillées, ardoise, plomb. Les couvertures originelles sont rarement conservées telles quelles. Par chance, on trouve parfois d'anciennes tuiles contemporaines de la charpente mélangées à des matériaux plus récents lors des réparations périodiques des couvertures. Cela vient d'être démontré pour des églises d'Île de France et de Bourgogne en comparant la datation par archéomagnétisme et thermoluminescence des tuiles et la dendrochronologie des charpentes.

Toutes ces observations combinées servent à dresser une **typo-chronologie** des charpentes – c'est-à-dire le classement selon leurs formes, leurs structures et leurs matériaux – pour enfin interpréter l'histoire de la charpenterie et son **évolution**.

Les techniques de charpenterie où on assemble des bois équarris étaient déjà bien maîtrisées dans le **monde gréco-romain** mais nous n'avons que des informations indirectes sur ces structures (traité de Vitruve, traces de logements de poutres dans les ruines de monuments, iconographie). Les **civilisations japonaises et chinoises** ont développé une charpenterie spécifique dont l'essentiel des structures sont des portiques sur poteaux d'une géométrie simple mais dont les assemblages (dougons) sont en revanche très complexes.

4

En **Europe**, l'architecture faites de **poteaux**, non équarris, dressés en **portiques** (*Standing-post*) est aussi la base de l'essentiel de l'architecture néolithique, de l'Age du bronze et du Haut Moyen Age. A cette époque elle coexiste avec d'autres techniques : les **bois horizontaux empilés** (*Blockbau*). Des modèles d'architecture en bois plus sophistiqués se mettent en place après l'an Mil, par exemple la combinaison d'ossatures et de **parois en planches** (*Stabbau*) dans les célèbres églises norvégiennes du XIIe siècle (*Stavkirker*).

A partir du XIIIe siècle, la charpenterie de pièces systématiquement équarrées et assemblées conduit vers un type de construction désormais très présent dans beaucoup de régions de l'Europe occidentale : l'architecture à **pan de bois**. Par ses types de poutres et techniques d'assemblages - mi-bois, tenons mortaises, entures, le tout décliné sous différentes formes - cette charpenterie partage des points communs avec celle des toitures dont les plus vieux témoins datent du XIe-XIIe siècle. La plupart du temps, les plus anciennes **charpentes de toiture** conservées sont néanmoins celles de monuments dont les murs sont en maçonnerie (pierre ou brique), surtout des édifices religieux.

La quantité de charpentes de toitures médiévales et moderne est considérable et leur classement est complexe. Au Bas Moyen Age, deux grandes familles de systèmes constructifs sont en concurrence en fonction d'influences diverses qui tiennent autant des ressources matérielles, des techniques, de la culture, des processus... Le système à **fermes et pannes** est le premier des deux. On sait qu'il existait déjà dans l'Antiquité et, au Moyen Âge, il influence encore la manière de construire dans le Sud et l'aire méditerranéenne. Il consiste à associer des éléments



Charpentes historiques en bois De la construction à la restauration

transversaux relativement écartés les uns des autres (les fermes) reliés par un système longitudinal composé de pannes dans les versants et/ou d'éléments de contreventement dans l'axe du toit. Le second privilégie les couples de bois transversaux assemblés dans des **chevrons formant fermes** sans aucun lien longitudinal autre que le voligeage de la couverture. Au Moyen Âge, ce système domine l'architecture dans le Nord de la France, la Belgique, les Pays-Bas, l'Allemagne, l'Angleterre, la Scandinavie.... Ce serait simple à ce stade s'il n'y avait, au sein des chantiers gothiques en particulier, une complexité des structures liées à l'association des deux techniques ou de parties d'entre elles (**structures en travées**, alternance de fermes principales et secondaires...). Par ailleurs, la structure des **fermes**, quel que soit le système général auquel elle appartient, peut se décliner dans une infinité de sous-ensembles, de même que les techniques de **contreventement**. Enfin, longueur d'entrait, raidisseurs de toute sorte, type de poinçon ou d'arbalétrier (continu ou interrompu dans des structures de portiques étagés) apportent toutes sortes de solutions pour franchir au mieux les portées, résister aux efforts de flexion, de traction, ou à la pression du vent.

L'Époque moderne est à la fois marquée par une grande tradition des techniques du Bas Moyen Âge, le souci d'économiser le bois d'œuvre, quelques initiatives novatrices ponctuelles (les **poutres armées** pour les grandes portées; les **charpentes d'assemblage** dont celle de Philibert de L'Orme vers 1560) et la publication de traités (Jousse, Palladio, Le Muet, de la Hire, d'Avillers, Encyclopédie) qui favoriseront certains par les architectes. Pour des raisons économiques, les chevrons formant fermes sont abandonnés et toutes les charpentes deviennent, *de facto*, à **fermes et pannes**.

La fin de l'Ancien Régime, marquée par la chronique **carence en bois d'œuvre** change encore la donne. Le bois demeure un matériau de charpenterie privilégié mais il peut venir de très loin (Scandinavie, Baltique) et il s'agira de résineux et non plus de chêne ou d'autres essences locales ou régionales. L'**industrialisation** et l'usage des boulons métalliques facilitent les assemblages à l'aide de **moises**.

Enfin, les nouvelles technologies génèrent une charpenterie de grande portée avec de **nouveaux matériaux** : l'acier, le rivetage, la poutre-treillis, plus tard le lamellé-collé et les « fermettes » agrafées (on revient au bois). Sans oublier les charpentes en béton qui, après la Grande Guerre, équipent la reconstruction de toitures des monuments historiques en France (Reims, Laon). On a bien trop peur des incendies qui, en quelques heures, réduisent le patrimoine en cendres...



Bibliographie générale

AUMARD Sylvain, « Approches archéologiques des couvertures », in : C. Sapin, *Saint-Étienne d'Auxerre, la seconde vue d'une cathédrale*, colloque des 27-28 septembre 2007, Auxerre-Paris, Ed. Picard-CEM, 2011, p. 302-333.

BARADEL-VALLET Catherine, *Les toits polychromes en Bourgogne, huit siècles d'histoire*, Dijon, Faton, 2012.

DENEUX Henri, « L'évolution des charpentes du XI^e au XVIII^e siècle », *L'architecte*, Paris, 1927, p. 49-53, p. 57-60, p. 65-68, p. 73-75, p. 81-89.

ÉPAUD Frédéric, *De la charpente romane à la charpente gothique : l'évolution des techniques et des structures de charpenterie du XI^e au XIII^e siècle en Normandie*, éd. Brepols, 2007.

HOFFSUMMER Patrick, *Les charpentes de toitures en Wallonie, typologie et dendrochronologie (XI^e-XIX^e siècle)*, Namur, Ministère de la Région Wallonne, Division du patrimoine, coll. « Etudes et documents, monuments et sites », 1, 2e édition, 1999.

HOFFSUMMER Patrick, dir., *Les charpentes du XI^e au XIX^e siècle, typologie et évolution en France du Nord et en Belgique*, Paris, Éditions du Patrimoine, coll. « Cahiers du Patrimoine », 2002.

HOFFSUMMER Patrick dir., *Charpentes d'Europe*, coll. Carnets du patrimoine, 62, Namur, Institut du patrimoine wallon, 2009.

HOFFSUMMER Patrick, dir., *Les charpentes du XI^e au XIX^e siècle, Grand Ouest de la France, Typologie et évolution, analyse de la documentation de la Médiathèque de l'architecture et du patrimoine*, coll. Architectura Mediaevi, 5, éd. Brepols, Turnhout, 2011.

HUNOT Jean-Yves, *L'évolution de la charpente de comble en Anjou, du XII^e au XVIII^e siècle*, Patrimoine d'Anjou : études et travaux 1, Conseil général de Maine-et-Loire, Angers, 2001.

JANSE Hans, *Houten kappen in Nederland, 1000-1940*, coll. « Bouwtechniek in Nederland », 2, Amsterdam, Delfste universitaire pers, Rijksdienst voor de Monumentenzorg, 1989.

OSTENDORF Friedrich., *Die Geschichte des Dachwerks*, Leipzig, 1908.



Charpentes historiques en bois De la construction à la restauration

Patrick HOFFSUMMER

Chargé de Cours à l'Université de Liège
Président du Centre Européen d'Archéométrie
de l'Université de Liège
Professeur invité au Centre Raymond Lemaire
pour la conservation (KUL)



Université de Liège
Bât. B5A Labo de dendrochronologie
allée du 6 Août 17
4000 Liège 1
Belgique
Tél. ULg : +32 4 366 54 74
Fax ULg +32 4 366 55 51
phoffsummer@ulg.ac.be
Gsm : 0473/53.19.89

Né le 30 septembre 1956 à Verviers.

Epoux de Anne Bosson, père de Camille née le 20 juillet 1998

Etudes

Humanités « Scientifiques B » au collège SFX à Verviers (1976)

Licence en Histoire de l'art et archéologie à l'ULg (1980)

Doctorat en Histoire de l'art et archéologie à l'ULg (1989)

Fonctions :

Chargé de Cours à l'Université de Liège

Président du Centre Européen d'Archéométrie de l'Université de Liège

Professeur invité au Centre Raymond Lemaire pour la conservation (KUL)

Spécialités :

Archéologie médiévale, dendrochronologie, histoire de l'architecture

Prix et décorations

Prix du concours Philips « Jeune chercheurs et inventeurs » (1976)

Prix de la Fondation de la Vocation (Bruxelles, 1986)

Chevalier de l'Ordre des Arts et Lettres (Paris, 2003)

Activités de coopération

- Participation au projet *Digital Collaboratory for Cultural-Historical Research in the Low Countries* (DCCD), projet 380-60-006 sous la direction de Esther JANSMA, Rijksdienst voor archeologie, cultuurlandschap, Amersfoort. Financé par le « National Organization for Scientific Research (NOW) ».
- Promoteur porte-parole du projet « Toits de l'Europe » financé par l'UE, projet « Culture 2000 », en 2007.
- Promoteur porte-parole du projet « Toits de l'Europe II » financé par l'UE, projet « Culture 2007 », de 2007 à 2009.



Charpentes historiques en bois De la construction à la restauration

- Direction scientifique du projet « Charpentes du Grand-Ouest de la France » mené par le Ministère de la Culture, Direction de l'Architecture et du Patrimoine (DAPA), Médiathèque de l'architecture et du patrimoine à Paris de 2002 à 2012.
- Membre du comité scientifique de la restauration de la cathédrale de Beauvais (Direction régionale des affaires culturelles de Picardie) depuis 2010.
- Direction scientifique du projet « Charpentes des monuments de la région de Bruxelles-Capitale » mené par la Direction des monuments et sites de la région Bruxelles-Capitale en collaboration avec le C.R.E.A. de l'ULB depuis 2011.

Associations :

Vice-Président de l'asbl «les Compagnons de de Franchimont » (étude et mise en valeur du château de Franchimont à Theux)

Hobbys :

Jardinage, modélisme ferroviaire

Principales publications

Hoffsummer, P. (1999). *Les charpentes de toitures en Wallonie* (2ème édition). Jambes, Belgique: Ministère de la Région wallonne.

Hoffsummer, P. (1997). *Le château de Franchimont*. Ministère de la Région wallonne.

Hoffsummer, P. (1996). *Les pans-de-bois*. Jambes, Belgique: Ministère de la Région wallonne.

Hoffsummer, P. (1982). *Etude archéologique et historique du château de Franchimont à Theux*. Liège, Belgique: Université

Hoffsummer, P. (Ed.). (2011). *Les charpentes du XIe au XIXe siècle: Grand Ouest de la France: typologie et évolution, analyse de la documentation de la Médiathèque de l'architecture et du patrimoine*. Turnhout, Belgium: Brepols.

Hoffsummer, P. (Ed.). (2009). *Charpentes d'Europe*. Namur, Belgium: Institut du Patrimoine Wallon.

Hoffsummer, P. (Ed.). (2009). *Roof Frames from the 11th to the 19th Century: Typology and development in Northern France and in Belgium: Analysis of CRMH Documentation*. Turnhout, Belgium: Brepols.

Hoffsummer, P. (Ed.). (2002). *Les charpentes du XIe au XIXe siècle: typologie et évolution en France du Nord et en Belgique*. Paris, France: Monum, Editions du patrimoine.



Pascal LEMLYN

Architecte

Charpentier

Thierry DESCAMPS

Service de Génie civil et Mécanique des Structures

Faculté Polytechnique

Pathologies des charpentes et éléments en bois : méthodologie d'investigations et d'interventions

Par le biais des études préalables des charpentes du Château fort d'Ecaussinnes-Lalaing, nous tenterons de montrer l'importance d'une approche pluridisciplinaire dans l'analyse des éléments et des structures en bois...

Monument classé Patrimoine exceptionnel, le château-fort d'Ecaussinnes-Lalaing, d'origine médiévale (XII^e s.) est construit sur un éperon rocheux dominant la Sennette.

Plusieurs campagnes de construction et de transformation ont modifié son aspect, notamment fin du XV^e siècle, avec la construction d'un nouveau logis et d'une chapelle, et au début du XVII^e siècle d'une nouvelle aile prolongée par l'actuel porche d'entrée.

L'étude des structures charpentières existantes a nécessité la mise au point d'une méthodologie permettant de collecter un grand nombre de données destinées à être interprétées par toute une équipe d'intervenants, qu'il soient géomètres, ingénieurs, architectes, biologistes, dendrochronologues ou historiens...

9

L'objectif étant de répondre aux questions suivantes: la structure, en l'état, peut-elle reprendre raisonnablement les charges d'une nouvelle couverture en ardoises ? Les interventions antérieures de consolidation de charpente ont-elles été judicieuses? Quelles interventions préconiser pour améliorer la stabilité de l'édifice en tenant compte d'une philosophie patrimoniale respectueuse?...

Une évidence : la charpente est toujours debout, différents événements ont marqué son histoire, chaque détail est important, le chemin des forces est parfois tortueux...

L'approche du charpentier...

La conception de charpente est un aller-retour macroscopique-microscopique. Les chevrons portent la couverture, les couvreurs, la neige, le vent... et transmettent les efforts aux pannes qui les reportent sur les poinçons, les arbalétriers qui les renvoient vers contre-fiches, entrails, aisseliers, jambes de forces... Pour chaque pièce de bois, on vérifie que les déformations sur la longueur de ces pièces (flexion, flambement,...) ne dépassent certaines normes, et ce en fonction des caractéristiques mécaniques, et donc d'un classement des bois utilisés.

Ensuite, on zoome sur les assemblages pour vérifier que les efforts localisés ne sont pas trop importants (compression, traction, parallèle ou perpendiculaire aux fibres, cisaillement longitudinal...), et au besoin, on redessine la structure en fonction des différentes vérifications.

Lorsqu'on analyse une structure existante, les mêmes critères seront observés, mesurés et éventuellement vérifiés par calcul.

Il faudra néanmoins procéder en plusieurs étapes :



Charpentes historiques en bois De la construction à la restauration

- l'analyse de « l'état idéal » de la structure (sans pathologies) permettra de se faire une première idée de la manière dont la structure a été conçue, et de vérifier de théoriquement la transmission des efforts et les déformations engendrées.
- l'analyse de « l'état réel » de la structure (avec désordres) tentera de tenir compte des « événements » perturbateurs dans la transmission des efforts, et d'affiner la compréhension des équilibres qui contredisent souvent l'approche purement théorique.

Devant l'ampleur de cette forêt de bois, par où commencer ? Peut-on choisir une ferme type, en faire un relevé précis et une étude statique, pour ensuite extrapoler l'ensemble des résultats à toute la structure ? Peut-on considérer que les structures primaires (fermes) sont les seules à reprendre les efforts les plus importants ? A priori oui, sauf que...

Après une première campagne de relevés et de représentations graphiques, les architectes ont identifié plusieurs types de fermes « représentatives » des différentes ailes du bâtiment. Nous choisissons alors d'étudier une première ferme et de recadrer, si nécessaire, notre méthode de travail pour les suivantes.

L'étude en détail de la ferme se fait à l'aide d'un échafaudage permettant d'approcher les quatre faces de chaque pièce de charpente. L'analyse se fait visuellement ou à l'aide d'un réglet qui permet de sonder la profondeur des entailles, assemblages ou fissures. Les documents graphiques dressés par les architectes permettent de noter les observations relevées sur les différentes faces. Tous les détails sont importants... Nous relevons les sections des pièces de bois avec en ligne de mire, la notion de section capable : les défauts tels que fissures (profondeur, longueur position sur les faces), nœuds (diamètre, orientation, traversant d'une face à l'autre...), Aubier, attaques d'insectes ou fongiques, défaut de rectitude de fil, présence d'anciennes mortaises... seront autant de facteurs diminuant localement la résistance des pièces de bois à la flexion et au flambement. Ces réductions de section capable peuvent également se présenter dans les zones d'assemblage, réduisant à ces endroits, la faculté de la matière à diffuser les efforts. Chaque assemblage est redessiné en fonction des déformations observées, car ce qui importe, c'est de connaître pour chaque pièce assemblée les surfaces réelles qui vont entrer en contact d'une pièce à l'autre, et participer à la transmission des efforts. Le bois est un matériau anisotrope, et la « réaction », c'est-à-dire la déformation engendrée par l'application d'un effort, va dépendre de l'orientation des fibres du bois par rapport à cet effort. Ainsi, dans les zones d'assemblage, des parties de bois vont « s'écraser » par compression, d'autres vont se fendre par cisaillement... Nous estimons donc visuellement la surface réelle qui peut encore reprendre ces efforts. Nous notons aussi les différentes marques et numérotations gravées par les charpentiers, ce qui sera un premier indice pour identifier d'étonnantes nombreuses campagnes de construction, ou l'utilisation de bois de réemploi.

L'étape suivante consistera en un recadrage des déformations observées sur les premiers relevés d'architecture. Nous choisissons d'implanter des cordeaux sur la face d'établissement de la ferme et d'ainsi représenter la fibre neutre « théorique » de chaque pièce de bois. Un relevé par triangulation permet de modéliser la charpente de manière unifilaire; et de redessiner par rapport à cet ensemble les flèches et les différents détails d'assemblage. Les intersections entre les cordeaux sont repérées par des pointes facilement relevables par les géomètres, qui pourront transmettre les coordonnées spatiales aux ingénieurs, pour la représentation d'un funiculaire. Nous matérialisons enfin un « plan normal » devant la ferme. Le but est de déterminer un plan vertical qui permette de mesurer les écarts entre celui-ci et chaque point important de la ferme, afin de déterminer les éventuels hors-aplombs, ou les cas de « torsion de ferme ».



Charpentes historiques en bois De la construction à la restauration

Après le relevé d'une ferme, il faut déterminer les charges qui lui sont transmises. Observons ce qui se passe entre les fermes : les arêtiers, noues, lucarnes, pénétrations de tour, exposition au vent sont autant d'évènements qui peuvent modifier les cas de chargement. L'analyse des pannes, des contreventements, des chevrons, et même du plancher de couverture est, in fine, aussi déterminante pour comprendre les équilibres parfois surprenants qui s'installent. Nous avons par exemple observé que les chevrons de l'aile nord étaient d'un seul tenant sur plus de huit mètres de versant, reportant une importante proportion des charges sur les sablières, plutôt que sur les pannes ventrières, augmentant l'importance des liaisons entre sablières et arbalétriers, et diminuant les efforts passants par des éléments de ferme parfois très endommagés ; tel un géant au pied d'argile s'appuyant sur ses mains pour ne pas s'effondrer... De plus, l'étude phytosanitaire a permis de mettre en évidence les différentes attaques réduisant la résistance ou la section capable dans des zones parfois très sollicitées...

L'étude de cette première ferme et de ses travées respectives nous a permis d'identifier de les données importantes à relever pour les fermes suivantes, de dresser un inventaire de typologies. On y répertoriera une grande variété de fermes, de contreventement de faitage, de contreventement de versants, des liaisons entre chevrons, d'appuis de panne et de types d'assemblages.

Cette diversité typologique est intéressante d'un point de vue historique et archéologique, mais complique considérablement l'analyse du comportement statique de l'ensemble de la structure car ne peut être extrapolé que ce qui est comparable...

Malheureusement, pour une question budgétaire, l'analyse dendrochronologique n'a été menée qu'à la fin des études préalables, et a vérifié les hypothèses que nous avons laborieusement émises...

C'est sans doute là, que se trouve l'intérêt de la pluridisciplinarité de cette étude, et l'importance de la compréhension historique des ensembles structurels, car les « évènements historiques » se traduisent systématiquement par des « évènements structurels » alors plus facilement identifiables...



Charpentes historiques en bois De la construction à la restauration

Pascal LEMLYN
Architecte
Charpentier



Rue de Frameries, 246
7033 Cuesmes
Tel: 065/226551
Fax: 065/226551
GSM: 0478/302731
lemlyncharpentes@skynet.be

FORMATION

- 1989-1994 : Diplômé en architecture de l'Institut Supérieur D'Architecture de Mons.
- 1997-1999 : Formation en charpente à la Fédération Compagnonnique des Métiers du Bâtiment (France)
- 1998 Diplôme Français : Certificat d'Aptitude professionnelle en charpente (Lille)
- 2002 : Perfectionnement en Conception assistée par ordinateur
- 2002 : Perfectionnement en conception et façonnage d'escalier à la Fédération Compagnonnique des Métiers du Bâtiment (France)

12

EXPÉRIENCES PROFESSIONNELLES SIGNIFICATIVES

| Année | Monument | Travaux effectués |
|-------|--------------------------------------|---|
| 2014 | Château-ferme de Villers-Poterie | Redressement et consolidation des charpentes. |
| 2013 | Maison rue des Potiers à Bouvignes : | Expertise des structures en pan-de-bois. |
| 2012 | Château de Harre : | Construction des charpentes du cloître. |
| 2011 | Maison rue du Biron dai à Biron | Redressement et restauration des pan-de-bois |
| 2010 | Maison à Beringen | Construction de la structure en pans-de-bois |



EXPÉRIENCES PROFESSIONNELLES SUR MONUMENTS CLASSÉS

| Année | Monument | Travaux effectués |
|-------|--|---|
| 2014 | Tour de Gué à Nivelles | Restauration des sommiers porteurs de la charpente |
| 2013 | Hôtel particulier rue J.Lescart à Mons | Restauration des pieds de ferme de charpente |
| 2012 | Château-Ferme d'Erquennes | Consolidation des charpentes de croupe de la grange |
| 2011 | Moulin de la Paix-Dieu à Amay | Restauration des charpentes et pan-de-bois. |
| 2010 | Maison rue Borgoumont à Stoumont : | Restauration des pans-de-bois |



Stefan HOLZER

Professeur d'Université.

Docteur-Ingénieur, Universität der Bundeswehr, Munich

La charpente historique en Allemagne: systèmes de construction et analyse numérique

Un grand nombre de constructions historiques en bois subsistent dans les combles des monuments historiques comme des églises, des palais, etc. En Allemagne, la plupart de ces combles datent des XVII^e-XIX^e siècles, particulièrement ceux de grande portée. A l'abri de la toiture, ces constructions se conservent typiquement très bien. Cependant, suite à de récents accidents de constructions en bois (notamment modernes), certaines enquêtes techniques réalisées ont fait naître des doutes sur la stabilité et la sécurité des constructions existant depuis longtemps. En Allemagne, on a introduit la "Richtlinie zur Überwachung der Verkehrssicherheit" ("directive sur la supervision de la stabilité"), qui exige l'évaluation régulière des structures portantes des édifices publics. Fréquemment, les ingénieurs en charge de ces évaluations n'ont pas une formation suffisante pour effectuer ce travail, et ils trouvent peu de publications récentes sur le sujet. C'est la raison pour laquelle nous avons conduit divers projets de recherche sur la construction et sur le comportement statique des combles historiques.

Presque toutes les charpentes historiques en Allemagne sont des charpentes à chevrons « formant fermes », c'est-à-dire que chaque couple de chevrons est muni d'un tirant (entrait) à sa base et forme ainsi un triangle indépendant. Cela veut dire que, du point de vue statique, chaque ferme fonctionne en soi, indépendamment des fermes voisines, pourvu que les assemblages des chevrons et du tirant soient intacts. Par conséquent, toutes les structures additionnelles que l'on trouve à l'intérieur des combles sont, statiquement, redondantes. Elles ont servi de structures auxiliaires pour ériger manuellement les grands combles (particulièrement pour les combles des églises halles, granges, etc.) et elles ne sont devenues éléments intégraux et permanents des combles que graduellement. Au fil du temps, deux systèmes ont acquis un caractère « canonique », la charpente à « pannes » qui est portée par des poteaux (« stehender Stuhl », établi au XIV^e siècle), et la charpente avec des « fermes couchées » (terme employé par Émy, 1837) qui est typique des XVII^e et XVIII^e siècles et qui a été employé jusqu'à la fin du 19^{ème} siècle. Les deux sont caractérisés par une alternance de fermes principales et secondaires. Les fermes principales sont « renforcées » par des « portiques » rectangulaires pour les charpentes avec pannes sur poteaux (« stehender Stuhl »), et trapézoïdaux pour la charpente à « ferme couchée ».

Les couples de chevrons des fermes secondaires sont toujours équipés des faux-entrants, et les « pannes » supportent ces faux-entrants. Souvent, les pièces longitudinales sont si nombreuses qu'elles suggèrent un comportement spatial de la structure, mais, en réalité, les fermes principales ne portent pas une fraction considérablement plus grande de la charge que les fermes secondaires. La fonction « renforçante » des « portiques » est plus apparente que réelle parce qu'ils se déplacent d'une manière presque uniforme, sans déformation intérieure, et ils contribuent ainsi peu à la rigidité de la structure. Cependant, en cas de dégâts aux assemblages des chevrons, les structures redondantes gagnent subitement une fonctionnalité statique, et elles peuvent assurer la stabilité de la structure entière malgré les dégâts locaux. Par conséquent, il suffirait de conserver l'état actuel de la construction et de supprimer les causes de la détérioration, en un mot, limiter l'intervention. L'expérience a pourtant démontré que les clients et même les autorités sont souvent difficiles à convaincre de ce fait.



Charpentes historiques en bois De la construction à la restauration

La situation se renverse complètement en cas de manque d'entrants. Il est souvent impossible d'employer des entrants si l'édifice a une voûte qui s'élanche dans le comble. Parfois, on trouve cette situation déjà au Moyen-Âge, mais elle est plus fréquente dans les XVII^e et XVIII^e siècles. Les églises de la période baroque sont typiquement recouvertes de voûtes en berceau de manière qu'aucun tirant ne peut être installé. Les charpentiers de l'époque ont essayé d'éviter les problèmes associés à cette situation, par l'introduction d'écharpes en forme de ciseaux ou des « entrants retroussés », c'est-à-dire des faux-entrants travaillant en tension. Les combles sans tirants, mais avec écharpes en forme de ciseaux ou entrants retroussés sont parmi les plus intéressants tant du point de vue historique que de l'analyse mécanique. Leur comportement mécanique est hyperstatique. La clé de leur analyse est la modélisation des assemblages comme ressorts élastiques non-linéaires (comportement différent en tension et compression). Dans notre conférence, nous présenterons les résultats de divers calculs, en utilisant différents modèles et raideurs des ressorts. Il sera démontré que la raideur exacte n'importe pas trop parce que les rigidités des différents types d'assemblages artisanaux traditionnels ne varient pas beaucoup. Cependant, les modèles utilisant des joints rigides ne reflètent pas bien le comportement réel.

En préparant une intervention, la première étape est l'analyse précise de l'état actuel de la structure. La documentation de l'état actuel comporte le mesurage de la structure (les plans typiques manquent ou ils ne sont pas dignes de foi), l'étape suivante est l'analyse du système des marques d'assemblage (important pour l'identification des phases constructives), et la documentation des dégâts. L'histoire des dégâts, des interventions postérieures, des restructurations et des additions, est importante, non seulement du point de vue de l'investigation historique, mais aussi du point de vue de l'ingénieur en charge de la réhabilitation structurale. La réparation des dégâts qui persistent déjà depuis plusieurs siècles est moins urgente que celle des dégâts récents, mais une histoire d'interventions et restructurations régulières peut mettre l'ingénieur en garde parce qu'elle peut indiquer les défauts permanents de la construction qui, au fil du temps, peuvent causer l'écroulement de la structure. L'analyse des interventions historiques est la plus difficile, mais aussi la tâche la plus intéressante de l'ingénieur. Typiquement, il est mal préparé pour cette tâche parce que la construction de structures historiques et les méthodes d'analyse historique ne font pas partie de sa formation professionnelle. Idéalement, l'analyse de l'état actuel de la structure et de son histoire est accomplie en collaboration par l'ingénieur, par l'archiviste et par l'historien de l'architecture employant des méthodes archéologiques (comme, par exemple, la dendrochronologie). Cependant la collaboration, en pratique, laisse souvent à désirer ; dans ce cas, il faut que l'ingénieur lui-même recueille tous les faits importants.

Notre conférence présente divers exemples de combles historiques du XIII^e jusqu'au XIX^e siècle et leurs traits constructifs caractéristiques (des dessins des principaux systèmes, des relevés et des photos). Ainsi, l'audience pourra acquérir une vue d'ensemble du développement historique de la charpente en Allemagne. Puis, nous présentons des exemples de relevés de divers combles historiques, la documentation des détails archéologiques, et les conclusions à en tirer, surtout pour l'analyse structurale. Enfin, la conférence présente les résultats de divers calculs statiques, non seulement des structures non endommagées, mais aussi des constructions présentant des dégâts, et les effets de modifications des données du modèle de calcul.



liegender Stuhl

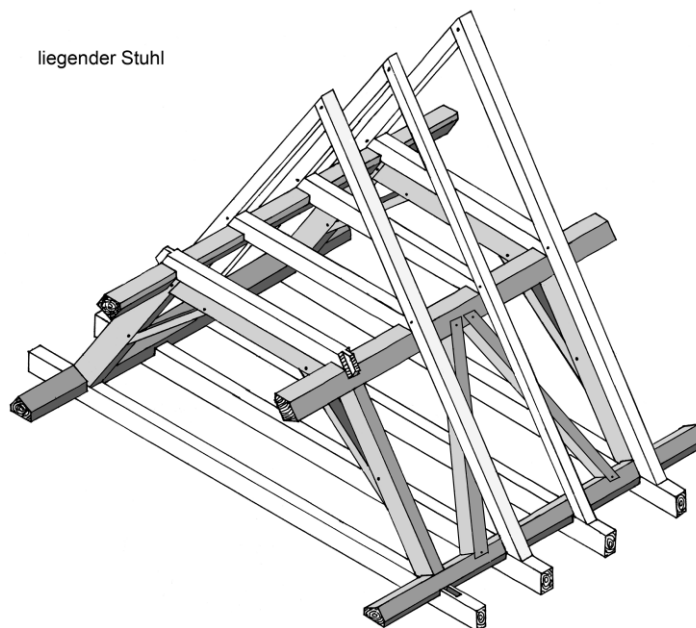


Fig 1.



Fig 2.



Fig 3



Charpentes historiques en bois De la construction à la restauration

Stefan HOLZER

Professeur d'Université

Docteur-Ingénieur, Universität der Bundeswehr, Munich



Docteur-Ingénieur, Universität der Bundeswehr, Munich

Universität der Bundeswehr Muenchen

Institut für Mathematik und Bauinformatik (BauV-1)

D-85577 Neubiberg

+49 89 6004 3404

Stefan.holzer@unibw.de

- 2001 – présent: Professeur (mathématiques appliquées), *Universität der Bundeswehr München* (Université de l'Armée Fédérale, Munich)
- 1995-2001: Professeur (analyse numérique), *Faculté du Génie Civil, Universität Stuttgart*
- 1994-1995: Ingénieur (TP), Hochtief, Frankfurt/Main
- 1993: Recherches post-doctorales (éléments finis), *Washington University, St. Louis (MO), États-Unis*
- 1992: Doctorat (Dr.-Ing.), *Technische Universität München*, Thèse sur la méthode des éléments finis de frontière (BEM)
- 1987: Dipl.-Ing. (Génie Civil/Travaux Publics), *Technische Universität München* (Munich)
- 1963: né à Erlangen, Allemagne

18

Domaine de la recherche/expertise

- Documentation et analyse des structures historiques (charpentes, voûtes, béton)
- Histoire de la construction et de la science de construction
- Mécanique appliquée, méthodes numériques
- Programmation des méthodes des éléments finis, ...

Publications récentes (monographies):

- 2008: Meisterwerke barocker Bautechnik – Kuppeln, Gewölbe und Kirchendachwerke in Südbayern, Regensburg : Schnell und Steiner (documentation d'une trentaine de charpentes d'églises en Bavière datant du 17ème et 18ème siècle, évaluation des traités contemporains)
- 2012: König-Ludwig-Brücke Kempten, Berlin : Bundesingenieurkammer (monographie sur un pont ferroviaire en bois du système Américain „Howe“ datant de 1851)
- 2013: Statische Beurteilung historischer Tragwerke, vol. 1: Mauerwerkskonstruktionen (analyse mécanique de constructions historiques, vol. 1: constructions en maçonnerie, traitant surtout de la mécanique de voûtes).
- 2014 (à paraître): Statische Beurteilung historischer Tragwerke, vol. 2: Structures en bois



Charpentes historiques en bois De la construction à la restauration

Projets courants:

- 2009 – présent: Charpentes du XIXème siècle de la partie méridionale de l'Allemagne
- 2012 – présent: Ponts en arche construits en béton non armé (1830 – 1914)
- 2013 – présent: Construction et mécanique des voûtes à ogives gothiques
- 2008 – présent: Histoire des échafauds et cintres (1500-1880)



Sylvianne MODRIE

Archéologue
Direction des Monuments et des Sites
de la Région de Bruxelles-Capitale

De l'archéologie préventive à une étude thématique des charpentes : le cas de de la Région de Bruxelles-Capitale

L'archéologie est désormais un moyen incontesté et incontournable pour étudier les aspects multiples de l'histoire du Moyen Âge et des Temps Modernes. Cette archéologie-là est, dans notre région, liée à la destruction du patrimoine archéologique.

Ce pénible constat est devenu un véritable moteur de réflexion qui entraîna un changement dans la méthodologie de travail et multiplia les essais de législations, encadrés par la Convention européenne pour la protection du patrimoine archéologique de La Valette. Cette convention, approuvée en région bruxelloise par l'ordonnance du 20 mai 1994, a été transcrite dans le droit régional via le Code bruxellois d'Aménagement du Territoire en 2004. Elle attire l'attention sur la fragilité de la matière archéologique pour qui la meilleure préservation reste son maintien en place. Mais, lorsque des travaux urbanistiques viennent menacer ce patrimoine, il convient alors d'organiser une intervention de sauvegarde de la mémoire du sol ou du bâtiment : il s'agit du principe d'archéologie préventive.

Ainsi, la Direction des Monuments et des Sites de la Région de Bruxelles-Capitale (DMS) réalise des fouilles archéologiques et assure la conservation et la mise en valeur du patrimoine archéologique mis au jour. Pour cela, elle dispose d'un Département archéologique d'une quinzaine de personnes : 7 agents du Ministère régional et 8 agents fédéraux attachés aux Musées royaux d'Art et d'Histoire ; ces derniers, engagés par des conventions annuelles, assurent les fonctions de conservation et de restauration des biens mobiliers, l'inventorisation de ceux-ci au sein du Laboratoire d'Archéologie, de même que l'inventorisation du potentiel archéologique.

Outre ces 15 personnes, d'autres scientifiques travaillent pour la Région via des conventions conclues avec l'ULB, et particulièrement le Centre de Recherche en Archéologie et Patrimoine pour les études paléoenvironnementales, et avec l'Institut royal des Sciences naturelles de Belgique qui se charge des études carpologiques, paléozoologiques et paléoanthropologiques.

Pour pouvoir gérer et protéger son patrimoine archéologique, l'institution publique régionale, en collaboration avec les Musées royaux d'Art et d'Histoire, a entamé l'inventorisation de celui-ci dès 1991. Cette collection, *l'Atlas du sous-sol archéologique de la Région de Bruxelles* - dont la version papier a été finalisée en 2012 - comprend 24 volumes. Indispensable à la gestion, cet outil fournit, pour chaque parcelle, les données archéologiques et historiques de la Préhistoire jusqu'au XVIII^e siècle. L'atlas archéologique localise les sites connus tant par les découvertes fortuites et les fouilles anciennes que par les archives historiques et cartographiques. Il constitue un volet de l'Inventaire du patrimoine immobilier de la Région de Bruxelles-Capitale. Sur cette base et en fonction des travaux envisagés, l'évaluation du potentiel archéologique peut être réalisée pour tout le territoire régional, tant pour le sous-sol que pour le bâti.



Cet atlas a un pendant cartographique abrité dans le Système d'Information Géographique de la région : BruGIS (www.mybrugis.irisnet.be). La Direction des Monuments et des Sites envisage également de mettre à disposition du public un site internet reprenant le contenu et la cartographie de l'Atlas, augmenté des dernières données inhérentes aux découvertes, ainsi que les informations administratives et scientifiques liées aux fouilles archéologiques menées sur le territoire. Parallèlement aux données graphiques se référant encore aux atlas papier, le géoréférencement des cartes historiques des différentes communes de la région a débuté en 2011 avec les plans cadastraux du XIX^e siècle. Des tests sont actuellement en cours avec des cartes plus anciennes, comme le plan de Bruxelles de 1774 levé par Lefèvre d'Archambault. Ces documents dont l'utilité pour l'archéologie du bâtiment est évidente, seront intégrés au site.

En collaboration avec la Direction de l'Urbanisme, l'application des articles 243 à 246 du Code bruxellois d'Aménagement du Territoire permet à la Direction des Monuments et des Sites d'organiser systématiquement des recherches archéologiques préalables ou concomitantes aux travaux de construction, d'aménagement ou de transformation. L'examen des demandes de permis d'urbanisme détermine, sur base de l'atlas archéologique régional, si les parcelles et les bâtiments concernés sont susceptibles de contenir des vestiges archéologiques, ou si les travaux sont de telle ampleur qu'ils risquent de détruire une zone dont le potentiel est inconnu. Si tel est le cas, une clause archéologique sera incluse dans le permis délivré par la commune ou par la Région, imposant une condition obligatoire à l'exécution du permis. Cette condition peut prendre plusieurs formes : le sondage, qui détermine la présence/absence d'un site archéologique ainsi que son état de conservation ; la fouille préventive, programmée préalablement aux travaux urbanistiques, et l'accompagnement archéologique, lorsque l'emprise des travaux sur la parcelle ou le bâtiment est trop faible.

Chaque opération s'attache à établir la documentation complète des vestiges rencontrés au fur et à mesure de leur mise au jour et avant transformation, démontage et/ou destruction. Si, malgré ces dispositions, des découvertes fortuites se produisent, une obligation légale impose qu'elles soient déclarées dans les trois jours à la Direction des Monuments et des Sites qui pourra alors organiser une opération archéologique d'urgence. Les recherches archéologiques prescrites sont soit réalisées directement par le Département du Patrimoine archéologique de la DMS, soit confiées à un organisme agréé qui présente une expertise validée en recherches archéologiques. Une institution publique ou privée peut en effet être agréée comme auteur de recherches archéologiques par la Région (voir l'arrêté du Gouvernement de la Région de Bruxelles-Capitale relatif à l'agrément des auteurs de recherches archéologiques du 03-07-2008 déterminant la procédure ainsi que les conditions). Seuls les porteurs de cet agrément sont autorisés à réaliser des recherches archéologiques.

À la nécessaire adaptation aux nouvelles réglementations et procédures en 2009 et 2010, on peut dire que le Département archéologique est entré en vitesse de croisière en 2011. En moyenne, chaque année, sur 3000 points débattus en commission de concertation dans les 19 communes de la région bruxelloise, 500 à 600 dossiers de permis sont consultés et entre 70 et 130 clauses archéologiques contraignantes sont insérées dans les permis délivrés. Malgré ces chiffres impressionnants, le nombre d'interventions archéologiques tourne autour des 35 à 40 par an ; de nombreux projets sont abandonnés ou changés, rendant la clause et l'intervention archéologique inutiles alors que d'autres interventions n'ont pas trouvé preneur dans les temps.

Si ces interventions livrent la plupart de la documentation archéologique, la Région bénéficie d'autres sources d'approvisionnement ou, plutôt, d'autres demandes et projets émanant de la



recherche scientifique. Il s'agit de mémoires de maîtrise universitaires, voire de thèses de doctorat comme, récemment, celle de Philippe Sosnowska (ULB, 2013) dédiée à l'étude archéologique, technique et historique des matériaux de construction à Bruxelles (XIII^e - XVIII^e s.) ou le mémoire d'Armelle Weitz (ULg, 2012) sur la provenance du bois d'œuvre en région bruxelloise à travers la révision des données dendrochronologiques. Ce dernier travail, remarquable, allait mener la Région à entamer une recherche approfondie sur les données dendro-typologiques récoltées au cours des vingt dernières années et à compléter celles-ci.

À cette fin, un marché public a été conclu avec l'association momentanée des laboratoires de Dendrochronologie de l'Université de Liège et de l'Institut royal du Patrimoine Artistique afin de réaliser un inventaire typologique et dendrochronologique des charpentes anciennes en région de Bruxelles-Capitale. Développé sur une période de deux ans, ce projet débouchera sur une publication du type de celle dirigée par Patrick Hoffsummer pour la France du Nord et la Belgique (Hoffsummer P., *Les charpentes du XI^e au XIX^e : typologie et évolution en France du Nord et en Belgique*, Paris, Centre des Monuments nationaux, 2002) et le Grand Ouest de la France (Hoffsummer P., *Les charpentes du XI^e au XIX^e : typologie et évolution dans le Grand Ouest de la France*, Turnhout, Brepols, *Architectura MediiAevi*, vol. 5, 2011). Le projet est présenté par les auteurs dans ce colloque.

En termes d'études dendrochronologiques et comme tous les services archéologiques de Belgique, la Région a fait appel au laboratoire de l'Université de Liège, dirigé par Patrick Hoffsummer dès les années 1990. Si les premières demandes d'analyses émanaient du Département Protection afin de dater les bâtiments ou les ensembles destinés au classement, le Département Archéologie a pris le relais ces dernières années en couplant les recherches en archéologie du bâti aux observations des dendrochronologues. C'est ce questionnement qui, dans un incessant va-et-vient entre les chercheurs des deux disciplines, a développé une approche plus systématique autour de nouveaux axes de recherche.

Si les charpentes en région bruxelloise présentent majoritairement une typologie de charpentes à ferme et panne en portiques superposés, les chercheurs ont décidé l'aller plus loin dans la sous-catégorisation en y associant traces d'outils et modes d'assemblage.

Si le bois bruxellois montre souvent un problème de complacence, qui indique une croissance peu affectée par les variations climatiques, les arbres vivants seront mis à contribution pour tenter de fournir des modèles de comparaisons.

Si le chêne était la seule essence à être prélevée, la multiplication des essences d'opportunité (?) comme l'orme, le frêne, des fruitiers retrouvés à Bruxelles oblige les dendrochronologues à être créatifs et les historiens attentifs.

Si Bruxelles, incendiée en 1695 a dû reconstruire 4000 maisons, la pression sur le matériau bois a provoqué remploi massif et baisse d'exigence de la qualité des bois de charpente.

Si le XIX^e siècle a créé d'impressionnantes charpentes métalliques, les charpentiers traditionnels importaient leur bois qui portent d'insaisissables marques gravées, sans doute attribuables aux marchands (mais de quelles contrées ?).

Si c'est bien l'archéologie préventive qui prévaut dans la pratique de l'archéologie sur le territoire de la région bruxelloise, ses fonctionnaires n'oublient pas leur formation scientifique et c'est avec bonheur et on espère réussite qu'ils président à lancer ce genre de grands projets de recherche, surtout si le produit fini, un inventaire typologique et dendrochronologique raisonné facilitera le travail des gestionnaires du patrimoine architectural et archéologique du bâti ancien.



Charpentes historiques en bois De la construction à la restauration

Sylvianne MODRIE

Archéologue
Direction des Monuments et des Sites
de la Région de Bruxelles-Capitale



Monuments et sites
rue du Progrès 80 bte 1
1035 Bruxelles
smodrie@sprb.irisnet.be
t. 02.204.28.95 – 0476.288.343
f. 02.204.15.22
smodrie@sprb.irisnet.be

belge
née le 30 mai 1972

Formation

Licenciée en Histoire de l'Art et Archéologie. Orientation préhistoire, formée en tracéologie sur du matériel lithique néolithique. Université Libre de Bruxelles, 1994.

Activités professionnelles

Du 1^{er} décembre 2003 jusqu'à ce jour
Archéologue attachée auprès de la Direction des Monuments et des Sites – Ministère de la Région de Bruxelles-Capitale.

Du 15 mars 1996 au 30 novembre 2003
Archéologue attachée aux Musées Royaux d'Art et d'Histoire chargée de mission auprès de la Direction des Monuments et des Sites de la Région de Bruxelles-Capitale (projets ponctuels puis conventions annuelles entre les MRAH et la Région).
Recherches, sauvetages archéologiques et publications sur le territoire de Bruxelles-Capitale.



Patrick HOFFSUMMER

Chargé de Cours à l'Université de Liège
Président du Centre Européen d'Archéométrie
de l'Université de Liège
Professeur invité au Centre Raymond Lemaire
pour la conservation (KUL)

L'évolution des toitures en région bruxelloise : une étude en cours

Charpentes anciennes en région Bruxelles-Capitale : réalisation d'un inventaire typologique et dendrochronologique

WEITZ A.^{1,2}, CHARRUADAS P.³⁻¹, CREMER S.², FRAITURE P.², GERRIENNE P.⁴, HOFFSUMMER P.¹, SOSNOWSKA P.³, MODRIE S.⁵.

- 1- Laboratoire de dendrochronologie, Centre Européen d'Archéométrie, Université de Liège (CEA).
- 2- Cellule de dendrochronologie, Institut royal du Patrimoine artistique (IRPA).
- 3- Centre de Recherches en Archéologie et Patrimoine, Université Libre de Bruxelles (CReA-Patrimoine).
- 4- PPP, Département de Géologie et Centre Européen d'Archéométrie, Université de Liège.
- 5- Direction des Monuments et des Sites, Ministère de la Région de Bruxelles-Capitale (DMS).

24

Dans le cadre d'une action relevant à la fois de l'archéologie préventive et de la recherche programmée, la méthodologie déjà appliquée aux inventaires raisonnés des charpentes de toitures en Wallonie, dans le Nord et le Grand-Ouest de la France (HOFFSUMMER dir. 2002 ; HOFFSUMMER dir., 2011), est désormais étendue au cas de la région bruxelloise. L'initiative, le financement et la coordination reviennent à la Direction des Monuments et Sites de la Région Bruxelles Capitale (Sylvianne Modrie) entourée par le CReA-Patrimoine (ULB), le CEA (ULg) et l'IRPA, sous la direction scientifique de Patrick Hoffsummer. Dans ce cadre, de nouvelles missions de terrain ont commencées et continueront à être développées entre 2013 et 2015 et viendront utilement compléter le corpus existant constitué à partir des études dendrochronologiques de ces 20 dernières années. L'objectif est d'aboutir d'ici deux ans à l'édition d'une large synthèse concernant les charpentes bruxelloises du XII au XIXe siècle.

Comparé au Nord ou au Grand-Ouest de la France, le territoire est très réduit, mais le nombre d'exemples concentrés sur cette petite surface est élevé puisque le *corpus* comprendra, d'ici une année et demi, une bonne centaine d'exemples de toitures à deux versants, la plupart ayant fait l'objet d'analyses dendrochronologiques. Malheureusement, faute de cas préservés, peu de toitures médiévales seront traitées. Le bombardement de Bruxelles en 1695 est en effet la cause de nombreuses pertes. Une campagne de prospection, actuellement en cours, cible les secteurs les moins touchés par ce siège. Par ailleurs, les opérations d'archéologie préventive amènent de plus en plus les chercheurs à s'intéresser au patrimoine industriel ou du XIX^e siècle. Il est donc prévu de traiter de l'évolution des charpentes de toitures y compris au-delà de la Révolution industrielle. Il faut ajouter que plusieurs récentes observations menées sur des charpentes en bois du XIX^e siècle ont montré que bien des aspects techniques étaient méconnus, ou méritaient d'être comparés aux siècles antérieurs.



Charpentes historiques en bois De la construction à la restauration

Une autre particularité relevée dans les cas déjà inventoriés est le peu de variété des modèles structuraux. En précisant certains critères discriminants, on espère donc affiner la typochronologie des toitures bruxelloises. L'archéologie du bois sera donc la plus précise possible en tenant mieux compte des dimensions d'équarrissage des bois de charpentes, des traces d'outils, des assemblages, du marquage. Sarah Crémer et Philippe Sosnowska collaborent à la mise en place d'un enregistrement systématique et efficace de ce type de données.

Pour mener à bien cet inventaire raisonné, et en vue de sa publication, un important travail d'illustration normalisée est mis en place, avec des relevés des structures à l'échelle 1/20, voire 1/50 (coupe transversale et coupe longitudinale partielle entre deux fermes), des relevés complémentaires (marques d'assemblage, traces de débitage...) et une bonne couverture photographique, le tout étant centralisé à la DMS. Enfin, la publication de familles de charpentes dont les relevés seront tous réduits à la même échelle (1/200), selon une charte graphique unifiée, accompagnée d'une ligne du temps et d'une carte, fournira au lecteur une vue synthétique, constituant une méthode de réflexion et d'analyse en soi.

L'étude des aménagements intérieurs fait également l'objet de recherches en archéologie du bâti à l'IRPA (Pascale Fraiture) car ils sont susceptibles d'affiner la chronologie interne d'un bâtiment et d'éclairer son contexte de réalisation ou d'utilisation, des points de vue chronologique, technologique et économique.

La dendrochronologie constitue la méthode la plus indiquée pour obtenir une chronologie absolue des structures, sans pour autant négliger l'apport d'autres sources, textuelles par exemple, et à condition d'associer cette méthode à une analyse archéologique critique des charpentes et du bâti. Toutefois, appliquée à des régions de basse altitude où l'homme a exercé tôt dans l'histoire une pression forte sur les milieux boisés, de nombreux problèmes méthodologiques se posent. La région de Bruxelles-Capitale est dans ce cas. Si, d'une part, le chêne est l'essence dominante, le bois local est souvent à croissance rapide et peu sensible aux phénomènes climatiques, donc difficile à dater. D'autre part, d'autres essences sont utilisées, non datables ou pour lesquelles aucune chronologie n'existe actuellement (orme, peuplier, pin sylvestre, épicéa, frêne, ...). Ceci avait déjà été signalé, les recherches de 2013 le confirment. Dans ces conditions, le recours à des datations radiocarbone s'avère de plus en plus complémentaire aux études dendrochronologiques.

Les difficultés de datation du chêne bruxellois nécessitent également une révision des résultats antérieurs, en s'aidant de nouveaux protocoles mis en place et en s'appuyant sur les chronologies de site les plus fiables parmi celles accumulées à Bruxelles (80 environ). Cette révision, couplée à la complétion des données dendrochronologiques par les nouvelles études engagées, constituera une base solide pour aborder des questions de dendrotypologie et de dendroprovenance. L'étude dendrochronologique menée par l'IRPA sur des planches de planchers bruxellois a fourni l'un des premiers témoins archéologiques d'un commerce de résineux (pin sylvestre) à longue distance entre la Scandinavie et Bruxelles (FRAITURE & CREMER, 2013). Par ailleurs, une recherche des sources d'approvisionnement en bois d'après les archives, en particulier celles relatives à la Forêt de Soignes, et leur confrontation aux données dendrochronologiques sera menée par Paulo Charruadas. Ainsi ce panel d'investigations permettra d'alimenter objectivement les connaissances en matière d'approvisionnement en bois dans une région fort consommatrice en matériaux de construction.



Charpentes historiques en bois De la construction à la restauration

CHARRUADAS P., 2012. *Une forêt capitale ? Recherche sur les modes de gestion et l'évolution des paysages en forêt de Soignes (Moyen Age –XIXe siècle)*, Rapport d'étude, Commission royale des Monuments et des Sites (CRMS)-Région Bruxelles-Capitale, ULB.
CULOT M., HENNAUT E., DEMANET M. & MIEROP C., 1992. *Le bombardement de Bruxelles par Louis XIV et la reconstruction qui s'en suivit 1695-1700*, Bruxelles, éd. AAM.

ECKHOUT J., 2005. « Dendrochronologie et typologie de charpente à Bruxelles et problématique des chronologies de référence », in : *Archaeologia Mediaevalis*, Namur, n° 28, p. 154.

FRAITURE P., CREMER S., 2013. Rapport d'analyse dendrochronologique. Planchers. Bruxelles [...], Institut royal du Patrimoine artistique, réf. labo. P480-P481-P482-P497-P498 (rapport inédit pour P. Sosnowska, CReA-P/ULB), janvier 2013, 78 p.

HEYMANS V. & SOSNOWSKA P., 2011. "On Brussels carpentry (15th-18th centuries). Contributions of dendrochronology to the study of buildings", in : FRAITURE P. (dir.), *Tree Rings, Art, Archaeology, Proceedings of an international Conference*, , Bruxelles, coll. *Scientia Artis* 7, p. 255-269.

HOFFSUMMER P., 2002. *Les charpentes du XI^e au XIX^e siècle : typologie et évolution en France du Nord et en Belgique*, Paris, Centre des monuments nationaux.

HOFFSUMMER P. (dir.), 2011. *Les charpentes du XI^e au XIX^e siècle, typologie et évolution dans le grand ouest de la France*, Turnhout, Brépols, *Architectura MediiAevi*, Vol. 5.

HOFFSUMMER P., MODRIE S., WEITZ A., 2013. « Les charpentes de toiture en région bruxelloise : datation et étude typologique », in : *Archaeologia Mediaevalis*, Bruxelles, n° 36, p. 85-88.

SOSNOWSKA P., 2013. *De bois et de brique. Contribution à l'histoire de l'architecture à Bruxelles. Etude archéologique, technique et historique des matériaux de construction (XIII-XVIII^e s.)*, thèse de doctorat, Université Libre de Bruxelles, (inédit).

WEITZ A., 2012. *La provenance du bois d'œuvre en Région Bruxelles-Capitale : première approche de la question à travers l'étude et la révision des données du laboratoire de dendrochronologie de l'Ulg/CEA*, (2vol.), mémoire de Master, Université de Liège, (inédit).



Charpentes historiques en bois De la construction à la restauration

Armelle WEITZ

Dendrochronologue

Dendrologue

Archéologue

Attachée de recherche en dendrochronologie



Institut royal du Patrimoine Artistique KIK-IRPA

Parc du Cinquantenaire, 1

B-1000 Bruxelles

T32 (0)2 739 68 48

Centre Européen d'Archéométrie-ULg

Allée du 6 août, 17 Bât B5a- B-4000 Liège

T32 (0)4 36 63 671

Issue d'une formation universitaire en Histoire de l'Art et Archéologie, doublé d'un second master en Archéométrie, Armelle Weitz s'est spécialisée en dendrochronologie et continue à se former notamment en identifications d'essences.

Travaillant actuellement au sein du laboratoire de dendrochronologie du Centre Européen d'Archéométrie de l'Université de Liège et au sein de la cellule de dendrochronologie de l'Institut du Patrimoine Artistique, elle se consacre à plein temps à un projet de recherche interdisciplinaire d'un inventaire typologique et dendrochronologique des charpentes anciennes en région de Bruxelles-Capitale.



Sophie BLAIN

Docteur en Sciences Archéologiques
des Universités de Durham et Bordeaux
Chargée de Recherches FRS-FNRS
à l'Université de Liège

Patrick HOFFSUMMER

Chargé de Cours à l'Université de Liège
Président du Centre Européen d'Archéométrie
de l'Université de Liège
Professeur invité au Centre Raymond Lemaire
pour la conservation (KUL)

Christophe MAGGI

Un témoin millénaire de la charpenterie en Belgique : l'église Saint-Denis à Liège

L'église Saint-Denis, traditionnellement attribuée au premier prince-évêque de Liège, le célèbre Notger, est une des plus anciennes collégiales de la Cité ardente. Elle se dresse en plein cœur de la ville médiévale et constitue un vestige essentiel de l'architecture religieuse mosane. Elle est surmontée de charpentes qui sont des témoins exemplaires de l'histoire de la charpenterie au cours du dernier millénaire.

L'église a fait l'objet de nombreux remaniements au cours des siècles qui ont suivi sa construction et les toitures conservent des témoins appréciables de chacune de ces phases, ce qui fait des combles un réservoir inestimable d'informations sur l'histoire des techniques de construction.

L'objectif de l'étude en cours est de reprendre, avec un regard approfondi que permettent les outils actuels de l'archéologie du bâti, l'analyse de l'évolution des parties hautes déjà abordée par des études antérieures (Fraikin 1954). La difficulté de cette étude de cas tient au fait que les charpentes d'âges différents et souvent imbriquées les unes dans les autres constituent une véritable forêt de poutres, qui rend la « lecture » complexe. L'originalité et la nouveauté par rapport au travail déjà exemplaire de Fraikin réside dans le croisement intime des approches archéologiques détaillées du bois et de la dendrochronologie (Hoffsummer, 1989; 2002).

L'étude archéologique de la charpente consiste en premier lieu à déduire des vestiges en place l'état de conservation de chacune des phases de construction des charpentes de toiture. Les lacunes sont plus ou moins importantes selon l'époque de la phase de construction. Toutefois, des traces en négatif, en particulier d'anciens assemblages inutilisés, les pièces en remploi et les relations entre les nombreuses poutres encore présentes permettent de restituer la géométrie de la plupart des états des toitures du XI^e au XVIII^e siècle. Ces observations permettent non seulement de reconstituer les différentes formes de charpente et d'identifier les phases qui se sont succédé mais aussi de comprendre les techniques de montage et donc de s'intéresser aux processus de construction. Par ailleurs, la dendrochronologie des bois de charpente, outre une chronologie précise, apporte des informations sur les types de croissance des arbres, et donc de leur nature d'un point de vue de l'écologie forestière.

Le croisement de ces approches complémentaires a ainsi permis de reconstituer et de définir précisément l'évolution des formes et techniques de la charpenterie au cours du dernier millénaire.



Ainsi, cette étude a montré plusieurs ...techniques :

- la pente de la toiture passe de 35 à 45° au XII^e siècle ;
- le contreventement de la charpente apparaît ici au XIV^e siècle ;
- le mode d'assemblage passe du mi-bois chevillé au XI^e siècle à l'introduction du tenon-mortaise au XII^e siècle, utilisé en parallèle avec des mi-bois (parfois à ergot) chevillés, et enfin se limite tenon-mortaise à partir du XIV^e siècle. A cette époque apparaît aussi l'usage des fers de renforts autour des assemblages les plus sollicités d'un point de vue mécanique : des étriers entre les poinçons et les entrails et des tirants aux extrémités latérales des fermes.

Le choix du type de bois en fonction de son rôle dans la charpente semble prémédité dès le XI^e siècle, avec une utilisation, pour des entrails, de longs bois de brin à croissance lente pour une franchir une longue portée avec une très forte section entrails (rôle de traction) et, pour les chevrons, des bois de faible section, provenant d'arbres à la croissance rapide (bois plus dense, plus dur et donc plus résistant). Au XII^e siècle, on recourt à des bois de plus faible section pour les entrails dont la résistance à la flexion était obtenue par pièces verticales pour la suspension aux faux-entrails et aux arbalétriers. A partir de cette époque, le type de bois utilisé varie peu quel que soit sa place et sa fonction dans la charpente : les bois utilisés proviennent généralement d'arbres d'au moins ~80 - 100 ans, à croissance rapide à moyenne.

Parallèlement, la chronologie de l'église a pu être établie :

- La nef a connu 4 phases : celle d'origine remontant au début du XI^e siècle, voit des reprises ou modifications à la fin du XII^e, au début du XIV^e et au début du XVIII^e siècle.
- Le Westbau a été rajouté à la nef au début du XII^e siècle et a subi quelques modifications dans ses parties hautes lors de l'ajout du beffroi dans le 2^e tiers du XIII^e siècle
- L'abside gothique est venue remplacée les anciennes parties orientales au début du XV^e siècle.

L'objectif de cette étude vise aussi à resituer ces informations dans le contexte plus large de l'histoire de Liège. Ainsi, la nef avec ses murs gouttereaux et sa charpente primitive témoignent de l'essor de la cité au début du XI^e siècle et fait partie des églises collégiales proches qui entourent la cathédrale Saint-Lambert. Bien que le chantier ait été initié par Notger, ce serait son successeur Baldéric II qui aurait vu la fin des travaux car la première charpente est datée de 1015 en dendrochronologie et Notger meurt en 1008.

La reconstruction totale en style gothique au XV^e siècle de la partie orientale de l'édifice est caractéristique de la pénétration du gothique français via l'influence brabançonne et est bien représentative de la prospérité de la cité à cette époque. On note toutefois que la charpente de toiture présente des spécificités mosanes que l'on retrouve à Maastricht à la même époque et qui sont différentes de la charpenterie française. Le point de vue de l'historien de l'art peut donc être nuancé par celui de l'archéologue du bâti ou de l'historien des techniques.

Après le bombardement de Liège en 1692 par les troupes de Louis XIV, l'état de délabrement dans lequel se situe l'église entraîne des restaurations et réfections selon le goût du jour, en style baroque. L'église est alors ornée de décors de stucs, y compris sur une nouvelle voûte en ossature bois et lattis, ancrée dans les gouttereaux et suspendue aux charpentes antérieures. Ce voûtement, plus léger que de la maçonnerie de briques ou de pierres, remplace le couverture plafonné au-dessus de la nef et dissimule définitivement, à l'intérieur du moins, l'origine romane de l'édifice.



Charpentes historiques en bois De la construction à la restauration

Références bibliographiques:

Deneux H., 1927, « L'évolution des charpentes du XI^e au XVIII^e siècle », *L'Architecte*, Paris, 49-53, 57-60, 65-68, 73-75, 81-89.

Fraikin N., 1954, « L'église Saint-Denis à Liège, étude archéologique », B.C.R.M.S., tome 5 (ancienne toison), 9-139.

Génicot L.F., 1974, « Charpentes du XI^e au XIX^e siècle en Wallonie (1) », Bulletin de la Commission Royale des Monuments et Sites, nouvelle série, tome 4, 27-52.

Génicot L.F., 1977, « Charpentes du XI^e au XIX^e siècle en Wallonie (2) », Bulletin de la Commission Royale des Monuments et Sites, nouvelle série, tome 6, 139-162.

Hoffsummer P., 1989, *L'évolution des toits à deux versants dans le bassin mosan : l'apport de la dendrochronologie (XI^e – XIX^e siècle)*, 2 volumes, thèse de doctorat inédite, Université de Liège.

Hoffsummer P., 1994, « La dendrochronologie et l'histoire des forêts anciennes », *Les sources de l'histoire forestière de la Belgique*, actes de colloque, 29-30 octobre 1992, Bruxelles, Archives et Bibliothèques de Belgique, 11-33.

Hoffsummer P. (dir), 2002, *Les charpentes du XI^e au XIX^e siècle, Typologie et évolution en France du nord et en Belgique*, Cahiers du Patrimoine, 35-261.

Lambert G.N., 2006, *Dendrochronologie, histoire et archéologie, modélisation du temps. Le logiciel Dendron II et le projet Historic Oaks*, Habilitation à Diriger les Recherches, Université de Franche-Comté, UFR des sciences du Langage, de l'Homme et de la Société, 2 vol., Besançon, 151 p et 206p (inédit).



Renfort en fer



Charpentes historiques en bois
De la construction à la restauration



31

La chapelle vue extérieure



Fig.3



Charpentes historiques en bois
De la construction à la restauration



Westbau



Charpentes historiques en bois De la construction à la restauration

Sophie BLAIN

Docteur en Sciences Archéologiques
des Universités de Durham et Bordeaux
Chargée de Recherches FRS-FNRS
à l'Université de Liège



Laboratoire de dendrochronologie
Bat B5A – Université de Liège
Allée du Six Aout 17
4000 Liège
Belgique.
GSM: (+32) 0471 343 317

Email: blain.sophie@gmail.com

Docteur en Sciences Archéologiques des universités de Durham (GB) et Bordeaux (F), Sophie Blain est actuellement Chargée de Recherches FRS - F.N.R.S à l'Université de Liège, Belgique. Ses travaux visent à améliorer nos connaissances sur l'histoire de la construction médiévale dans le nord-ouest de l'Europe. A travers cette recherche, elle a eu l'opportunité d'étudier de nombreuses églises médiévales du sud-est de l'Angleterre, du nord-ouest de la France, de Belgique et du nord de l'Italie, et désormais de Bourgogne (F). L'originalité de son approche réside dans sa méthodologie transdisciplinaire qui combine l'archéologie du bâti aux datations archéométriques des matériaux de construction. Parmi celles-ci, elle pratique la datation par luminescence stimulée optiquement (OSL) et thermiquement (TL) sur les terres cuites architecturales, l'OSL sur mortiers et enfin, la dendrochronologie sur les bois de charpente.

33

- Depuis oct.2013* **Chargée de recherches FRS – F.N.R.S**, Laboratoire de dendrochronologie / Centre Européen d'Archéométrie, Université de Liège, Belgique.
- Nov 11- Sept 13* **Postdoctorante ULg**, Laboratoire de dendrochronologie / Centre Européen d'Archéométrie, Université de Liège, Belgique.
- Sept 10- Août 11* **Postdoctorante Bordeaux 3**, Centre de Recherche en Physique Appliquée à l'Archéologie, Université de Bordeaux 3, France.
- Sept 09- Aout 10* **Postdoctorante PRES** (Pôle de recherche et d'enseignement supérieur), Centre de Recherche en Physique Appliquée à l'Archéologie, Université de Bordeaux 3, France.
- Avril 2009* **PhD - Archaeology** de l'Université de Durham (GB) et **Doctorat en Sciences Archéologies** de l'Université de Bordeaux 3 (F), Mention très Honorable avec félicitations du jury.



Jean-Marie BLEUS
Université de Liège
Faculté d'Architecture

La charpente du Manège de la caserne Fonck

Le domaine de l'architecture patrimoniale est particulièrement révélateur de ses richesses. En effet, l'évoquer de nos jours, nous convoque à l'ouverture d'esprit et à un regard croisé sur le passé qui donne aux monuments observés une épaisseur par le fait que le temps les a marqués et que le contexte de leur conception et édification est pour le moins assez différent de notre présent. Le manège de l'ancienne caserne Fonck à Liège en est un exemple particulièrement pertinent qui nous conduit à la réflexion sur :

- La conception structurale d'une époque,
- L'évolution des techniques et leur usage,
- La prise en compte des résultats du passé dans une perspective d'évolution de nos comportements futurs.

L'auteur de projet de ce manège construit en 1837 à Liège est le colonel français Emy. Pas d'architecte à la conception, mais cet ingénieur militaire se soucie avant tout des qualités architecturales des manèges qu'il a à construire et notamment de l'esthétique de l'espace intérieur.

En 1819, avant de construire à Liège, il est chargé d'établir les plans d'un manège à implanter à Libourne. Ce projet prenant un peu de temps à démarrer c'est à Marac près de Bayonne qu'en 1825 il met en œuvre son nouveau système.

Comme il s'agit de franchir sans appuis intermédiaires une portée de 20 mètres il se pose la question de la forme, ausculte le passé et se tourne vers les travaux de Philibert De l'Orme architecte Lyonnais, car son intention est de donner une forme beaucoup plus agréable au regard que les charpentes à entrain horizontal. Philibert Delorme avait en effet développé au XVI^e siècle un système dit « Nouvelles inventions pour bien bâtir et à petits frais ».

Le colonel observe avec attention ce système de petits bois et a l'idée de modifier l'orientation de la section des bois de charpente pour mieux épouser assez aisément la courbure souhaitée et obtenir une économie du matériau bois. N'ayant vu dans le passé aucune trace de ce type de conception de charpente, il l'appelle

Ce système consiste à utiliser des pièces de sapin de longueurs de 12 à 13 m, de les cintrer dans leur plan de faible inertie, d'en juxtaposer 7 ou 8, de les assembler alternativement par des cerces et des tiges filetées de façon ainsi à obtenir une section composée rigide en flexion.

Nous ne trouvons dans la littérature que des calculs assez élémentaires relatifs à ces ouvrages (contraintes en compression simple avec traitement élémentaire du flambement). Il travaille empiriquement et fait exécuter des essais de charges en plaçant aux points d'appuis des pannes des sacs de sable de façon à observer leur comportement pendant les phases de montage ainsi que sous charge.

A cette époque les mises au point de calculs de structure se développent mais le colonel est assez sceptique par rapport à leur utilisation et préconise ses méthodes empiriques plutôt que de « savants calculs peu fiables ». Il procède notamment à des renforcements des sections de bois dans les zones de grandes déformations observées lors de ses montages.



Charpentes historiques en bois De la construction à la restauration

Notons par exemple qu'à cette époque, le calcul de l'effort rasant qui doit se développer le long de l'axe de l'arc pour mobiliser toute la section n'existe pas. Ce n'est qu'en 1855 que la formule de calcul de l'effort rasant sera démontrée par l'officier russe Dmitrii Ivanovich Zhuravskii alors que par ailleurs le mathématicien Euler a établi sa formule du flambement des pièces longues en 1744.

Emy est bien conscient des poussées que développent aux appuis toutes les formes en arcs et observe attentivement le comportement de ceux-ci lors des étapes de redressement des arcs construits à plat sur un plancher provisoire de montage en hauteur.

Certains constats sont cependant contradictoires par rapport aux comportements bien connus des ouvrages en forme d'arcs.

Outre l'intérêt pour l'historique de ces belles charpentes qui peuvent être considérées comme les prédécesseurs du lamellé collé, nous pouvons observer que des recherches sont actuellement effectuées sur les possibilités de recourir à ce type de charpentes qui présente l'avantage de ne pas utiliser de colles.



Alain SABBE

Ingénieur architecte et Docteur en sciences appliquées de la
Service de Génie architectural et urbain
Faculté Polytechnique de Mons

Relevés et état sanitaire des charpentes de la cathédrale Notre-Dame de Tournai

I Chapitre Un : un peu d'histoire

1.1 La ville de Tournai

Tournai est l'une des plus vieilles villes de Belgique. Longtemps appelée « la Rome du Nord », elle en possède tous les éléments nécessaires, comme :

- le prestige d'une antique origine où elle apparaît ville romaine très importante et très peuplée ;
- l'éclat que lui a valu dans l'histoire son titre de première capitale des Francs ;
- une histoire riche en événements et très importante par le rôle qu'a joué la cité dans la politique générale du Moyen-Âge ;
- des faits militaires brillants, tant au cours des croisades que lors des quatorze sièges qu'elle a subis ;
- des industries d'art lui valant une réputation européenne au cours des siècles, tant en sculpture, peinture, tentures, tapisserie, porcelaine, ciselure, ...

36

Abstraction faite de ses gloires passées, Tournai est riche en monuments religieux, civils et militaires. Elle possède notamment une somptueuse cathédrale ainsi que le plus ancien beffroi de Belgique, tous deux inscrits sur la liste du patrimoine mondial de l'UNESCO.

La ville est remarquable par la disposition pittoresque et sinueuse de ses rues. En même temps larges et aérées, ces rues ouvrent toujours des perspectives vers quelque clocher ou tourelle.

La ville est également traversée par l'Escaut, un fleuve historique aux quais bien plantés.

Enfin, jusqu'avant la Seconde Guerre mondiale, Tournai possédait également un ensemble de maisons privées anciennes du plus grand intérêt. Ces deux mille maisons formaient une suite ininterrompue de constructions civiles privées du XII^e au XVIII^e siècle. Aujourd'hui encore, quelques groupes de maisons offrent un intérêt exceptionnel, comme les deux habitations contiguës de l'époque romane, l'ensemble remarquable des quatre maisons gothiques du XIII^e siècle, celles du XVI^e et du XVII^e siècle d'un style qualifié de renaissance tournaisienne, celles auxquelles la conquête française a donné naissance et qui ont été élevées en grande abondance de 1667 à 1709.

Tournai, ville d'art par ses origines, par les œuvres immortelles de ses architectes et de ses artistes se distingue tout particulièrement par la silhouette caractéristique de sa cathédrale avec ses cinq clochers.

1.2 La cathédrale Notre-Dame

« Édifiée dans la première moitié du XII^e siècle, la cathédrale de Tournai se distingue par une nef romane d'une ampleur exceptionnelle, par la grande richesse sculpturale de ses chapiteaux et par un transept chargé de cinq tours annonciatrices de l'art gothique. Reconstitué au XIII^e siècle, le chœur est de pur style gothique.



Charpentes historiques en bois De la construction à la restauration

La cathédrale Notre-Dame de Tournai témoigne d'un échange d'influences considérable entre l'architecture de l'Île de France, rhénane et normande pendant la courte période qui, au début du XII^e siècle, précède l'éclosion de l'architecture gothique.

Par ses dimensions, la cathédrale Notre-Dame de Tournai est un exemple éminent de ces grands édifices de l'école du nord de la Seine qui préfigurent le volume des cathédrales gothiques. »

C'est en ces termes que le comité de l'UNESCO inscrit en 2000 ce monument sur la liste du patrimoine mondial. Il est aussi le seul édifice religieux de Belgique qui ait été construit comme cathédrale. Sa longueur (134 mètres), sa largeur au transept (66 mètres) et la masse de ses cinq tours en font un des témoins les plus impressionnants de l'art de l'Occident.

Il semblerait qu'avant toute construction, il y avait un promontoire calcaire dominant la rive gauche de l'Escaut avec un léger pendage vers celui-ci. Ce calcaire aurait été exploité par les Romains à l'époque du Bas-Empire. Cette activité a ainsi modifié le relief en forme de trois terrasses séparées les unes des autres par trois mètres environ.

Les Romains y édifièrent un capitole couvrant exactement la travée du transept actuel. C'est le plus ancien édifice dont on ait pu retrouver des traces actuellement.

Vers 500, l'arrivée des Mérovingiens avec l'évêque Éleuthère coïncide avec la mise en place du diocèse de Tournai. Une première cathédrale chrétienne est alors érigée sur les ruines de l'ancien temple.

Au XIX^e siècle, sous le règne des Carolingiens, deux cathédrales jumelles sont édifiées à la place de la première : celle de Saint-Étienne, détruite en 881 par les Normands et celle dédiée à Notre-Dame, touchée moins gravement par les Normands. Cette dernière fut reconstruite puis ravagée par un incendie en 1060.

C'est à la fin du XI^e siècle que débute la construction de la nouvelle cathédrale dont nous conservons encore aujourd'hui la nef en pur style roman. Elle fut consacrée le 9 mai 1071. L'iconographie nous permet de comprendre la progression du chantier qui évolua en partant de la place de l'Évêché vers le transept. La construction de cette cathédrale prit beaucoup de temps (147 ans). Ainsi, à la fin du XII^e siècle, les travaux du transept et du chœur roman sont encore en travaux lorsque le Roi de France envoie à Tournai l'évêque Étienne d'Orléans, son homme de confiance.

Ce dernier introduit le style gothique dans la ville. Il serait vraisemblablement à l'origine de la transition du style roman vers le gothique pour la construction de la cathédrale, notamment par la construction de la chapelle Saint-Vincent reliant la cathédrale à son palais épiscopal et inspirée directement de modèles français.

La cathédrale romane fut terminée en 1218. Il s'agit d'un puissant édifice en forme de croix latine avec des hémicycles aux extrémités du chœur et du transept. L'édifice était probablement doté de sept tours. La nef et le transept datent de cette époque.

Au début du XIII^e siècle, Walter de Marvis, alors évêque de Tournai, juge sa basilique romane démodée. En 1243, il projette une quatrième cathédrale, gothique, inspirée de celle de Soissons. Cette fois, les travaux débutent par le chœur, selon les habitudes de l'époque.



Elle devait être l'une des plus grandes cathédrales gothiques du Nord de la France. Cependant, pour des raisons économiques, la construction se limitera à l'érection très rapide du chœur (1243-1255, soit douze ans) et à quelques ajouts gothiques à la partie romane.

À partir de ce moment, la cathédrale n'évoluera plus beaucoup, malgré de nombreuses interventions que confirme la lecture tant du bâtiment que des archives.

Les derniers grands travaux de restauration qu'aït subi ce monument remontent au XIX^e siècle. Vu l'état lamentable de l'édifice au début de ce siècle, ils sont entrepris dans l'urgence par des ingénieurs peu respectueux et sans goût esthétique. Ensuite, une Commission de surveillance sera mise en place pour la durée des travaux, soit de 1834 à 1893. Bruno Renard, architecte tournaisien en assurera notamment la présidence.

On lui attribue cette dernière vague de restauration qui toucha

- le chœur gothique
- la reconstruction de deux contreforts à la jonction droite du chœur et de l'abside
- la reconstruction de la partie haute des autres contreforts, au-dessus des voûtes
- la restauration (réparation et reconstruction) des arcs-boutants
- la reconstruction des petits contreforts du déambulatoire
- le transept (remplacement des colonnettes et réparation des lézardes)
- les tours (reconstruction des angles, parfois des parties de murs entiers)
- la nef romane qui, sur les conseils de Viollet-le-Duc, reçoit une grande rose circulaire de style néo-roman.

La Seconde Guerre mondiale n'épargnera pas la cathédrale. Toute la charpente de la nef fut touchée par les bombes incendiaires larguées le 17 mai 1940. Ces charpentes furent malheureusement remplacées par une structure en béton.

Enfin, phénomène rarissime à Tournai, le 14 août 1999, une tornade s'est abattue sur la ville. Elle n'épargnera pas la « vieille dame ». En effet, chutes de pinacles sur les toitures, destruction de vitraux, chutes de pierres à l'intérieur de la cathédrale, tels sont les principaux désordres qui ont atteint la cathédrale.

Toute la population s'émut de ces dégâts spectaculaires qui permirent aussi de révéler des problèmes bien plus graves au sujet de la stabilité générale de l'édifice. Les pouvoirs publics ont ainsi débloqué des budgets significatifs pour lancer une vaste campagne d'étude et de stabilisation.

II Chapitre 2 : Sauvegarde de la Cathédrale

II.1 Inventaire des problèmes

Aujourd'hui, la situation du bâtiment est grave au niveau de la stabilité. En effet, on constate de nombreux problèmes critiques de fissuration, de tassement, avec, notamment, un affaissement significatif de la tour Brunin. Celle-ci présente en effet un hors plomb de quelque 70 cm.



L'architecte français Vincent Brunelle a été désigné comme auteur de projet pour la restauration de l'édifice. Se basant sur l'iconographie et les archives de la cathédrale, il souhaite restituer la couverture en plomb, matériau originel qui aurait tenu près de cinq siècles, avant son remplacement par de l'ardoise naturelle. Cependant, une inquiétude subsiste en ce qui concerne la capacité portante des charpentes anciennes.

Aussi, dans le cadre des études préalables nécessaires à l'architecte (nombreuses études, fouilles et relevés archéologiques), une équipe a été mise en place en ce qui concerne tout d'abord les charpentes des parties romanes de l'édifice, soit les transepts nord et sud avec leur abside, les quatre tours et la tour lanterne.

II.2 Philosophie des études préalables sur les charpentes romanes

Le maintien du rôle statique de ces charpentes romanes et leur assainissement sont aujourd'hui favorisés. Il s'agit d'assurer la conservation des valeurs de l'édifice et donc de son intégrité structurelle.

Le problème primordial d'un projet de restauration de structures en bois est la compréhension du comportement global de la structure, la connaissance de son état de conservation et de ses capacités portantes réelles. Un profond fossé existe entre la culture technologique des maîtres charpentiers d'autrefois basée sur l'expérience, l'intuition ou l'empirisme et la nôtre où la fiabilité du matériau est souvent mise en doute.

La phase de connaissance du bâtiment occupe donc une place importante. Elle met en jeu une équipe transdisciplinaire (experts du relevé, de l'histoire, de la technologie du bois, de l'analyse structurelle, de la dendrochronologie,...). Elle comporte l'étude de l'histoire de la structure, de sa géométrie, des techniques constructives ainsi que le relevé de son état avant conservation et des dégradations.

Dans ce cadre, une étude archéologique de chaque charpente a été entreprise sur base d'un relevé très détaillé. Ce relevé reprend les coupes horizontales et verticales croisées avec, pour chaque pièce, la section, l'essence, l'âge approximatif, la date de mise en place, ... et, pour chaque assemblage, le type d'assemblage, les renforcements et réparations constatés.

En parallèle, une étude dendrochronologique fut également réalisée. Elle devait permettre de dater les bois mis en œuvre.

D'autre part, la Faculté Polytechnique de Mons s'est attachée à la vérification de la capacité portante de ces charpentes, d'une part en ce qui concerne le diagnostic sanitaire réalisé par le service d'architecture, d'autre part en modélisant numériquement ces diverses charpentes, travail du service de génie civil.

II.3 Diagnostic sanitaire des charpentes romanes

Le diagnostic sanitaire doit permettre de déterminer clairement la manière dont les charpentes travaillent dans la situation existante, tant en ce qui concerne les pièces de bois assimilées à des barres d'un treillis, qu'en ce qui concerne les assemblages identifiés comme les nœuds.



Charpentes historiques en bois De la construction à la restauration

En ce qui concerne les barres tout d'abord, il convient d'en apprécier les contraintes les sollicitant (définies par le rapport entre les forces et la section). Les forces sont aisément connues. Reste donc à déterminer la section efficace des diverses pièces de bois. C'est tout l'objet du diagnostic sanitaire sur les pièces de bois.

Il s'agit en effet de déterminer les diverses parties qui ne participent pas à la stabilité de l'ensemble, tant parce qu'elles manquent (cavités dues à des défauts d'origine ou à une disparition ultérieure des bois) ou que leur résistance est amoindrie par certains désordres (ouvertures et fractures, écrasement, ...), par des phénomènes rhéologiques (flèche d'inflexion, ruptures, ...) ou par diverses altérations (aubier, attaques d'insectes, pourriture, ...). On peut ainsi déterminer pour chaque barre la ou les sections critiques correspondant aux endroits où les contraintes sont les plus importantes.

D'autre part, cet examen doit également permettre de connaître le matériau utilisé, par la détermination de l'essence de bois, de la classe de résistance et du module d'élasticité de chaque pièce de bois. À cet égard, il convient de repérer certaines caractéristiques comme la pente du fil par rapport à l'axe de la barre, les largeurs de cernes, mais aussi d'analyser les déformations et gauchissements, ainsi que tous les défauts du bois, comme :

- l'existence de nœuds, avec la détermination de leur position par rapport à la fibre neutre et de leur type;
- la direction des fibres du bois, dont certains détails laisseraient supposer l'existence de nœuds cachés;
- le repérage des gerces, flaches, fentes et fissures de retrait, en déterminant leur largeur et position.

40

Nous avons donc examiné attentivement chaque face de chacune des pièces de bois de ces charpentes pour compléter les relevés archéologiques en fonction de nos besoins. C'est ainsi que nous avons dressé diverses cartes thématiques relatives aux défauts et effets, aux désordres et phénomènes rhéologiques et à la biodégradation.

Cet examen visuel a été complété par un examen instrumental visant à déterminer le degré d'hygrométrie de ces pièces. En effet, dans certaines limites, l'hygroscopie influence considérablement le module d'élasticité ainsi que le développement de la biodégradation.

Le service du Professeur Clara Bertolini du Politecnico di Torino nous a également aidés dans cet examen instrumental pour des mesures au résistographe sur les têtes de poutres ou pièces de bois difficilement accessibles et plus exposées aux pathologies.

Enfin, en ce qui concerne les assemblages, il était essentiel d'en comprendre les comportements géométrique et statique (en termes d'efficacité dans la transmission de moments et d'efforts). Chaque assemblage a ainsi été examiné attentivement afin de déterminer le type d'effort réellement transmis (traction, compression, effort tranchant, flexion, rotation) et d'évaluer les excentricités éventuelles.

Les divers résultats de ce diagnostic sanitaire ont été repris dans des plans systématiques reprenant les diverses informations nécessaires à la modélisation mathématique et aux choix spécifiques à la restauration des charpentes quant au renforcement ou au remplacement des pièces ou parties défectueuses.



II.4 Modélisation des charpentes romanes

La dernière étape de la vérification de la capacité portante des charpentes a consisté en l'étude de stabilité sur modèle réalisé également au sein de notre université.

Divers modèles aux éléments finis ont été développés. Un premier modèle considère la charpente comme saine (pas de réduction des sections droites, matériau non dégradé et assemblages non détériorés). Un second modèle tient compte des conditions réelles de la charpente dans son état actuel (réduction des propriétés de certaines barres, déconnexion d'assemblages et, dans la mesure du possible, prise en compte des déformations observées).

Les cas de charge comprennent les effets du poids propre de la charpente, de la couverture (avec une variante entraînant une surcharge) et les effets du vent (estimés selon la norme belge).

Les déformations et les déplacements sont calculés ainsi que les efforts internes dans les barres et les contraintes induites en tenant compte des coefficients réducteurs des aires et des inerties pour intégrer les risques d'instabilité et de déversement suivant l'Eurocode 5.

Il est clair qu'un modèle par éléments finis ne peut traduire qu'imparfaitement le comportement de la charpente et que des schématisations et des hypothèses doivent être introduites tant en ce qui concerne la géométrie, le matériau (supposé homogène et isotrope) ou encore les assemblages (assimilés pour certains à des rotules ou des glissières...). L'intérêt d'un modèle réside essentiellement dans la possibilité de comparer entre eux différents cas de figure : charpente supposée saine ou endommagée, incidence d'une surcharge de couverture...

Pour chaque modèle, différents facteurs de comparaison ont été calculés : flèches, contraintes équivalentes et sécurité vis-à-vis d'une contrainte limite et on a identifié les zones critiques.

III Chapitre 2 : Conclusions

Le diagnostic est donc un travail transdisciplinaire faisant intervenir des spécialistes de divers horizons (architectes, ingénieurs, techniciens du bois, ...). Une telle équipe peut contribuer à préciser l'état statique de la structure et les options de la restauration. Alors seulement, est-il possible de procéder au travail à l'aide de techniques appropriées, dans le respect du matériau et des contraintes à reprendre.

Une première analyse a permis de mettre en évidence les parties originelles des charpentes. Ainsi, seules certaines parties des charpentes des transepts et absides, ainsi que de la tour lanterne semblent originelles. Les quatre autres tours ont vu leur charpente refaite à la fin du XIX^e siècle.

Les parties originelles de la charpente de la tour lanterne indiquent qu'elle serait la plus ancienne charpente de clocher en Europe, dans un état encore remarquable. Elle daterait de la première moitié du XII^e siècle. C'est son implantation au centre des quatre tours qui l'aurait protégée durant tout ce temps.



Bibliographie

- BLONDEL, J.-F. et PATTE, P., *Cours d'architecture*, Paris, la Veuve Desaint librairie, 1777.
- BOZIERE, A. F. J., *Tournai ancien et moderne*, Tournai, Delmée, 1864.
- CAMBIER, S. et PATERNOSTER, R., *Contribution à l'étude structurelle de la cathédrale de Tournai*, travail de fin d'études, Faculté Polytechnique de Mons, 2002.
- CHOISY, A., *Histoire de l'architecture tome I*, Paris, Inter-Livres, 1899.
- CHOISY, A., *Histoire de l'architecture tome II*, Paris, Inter-Livres, 1899.
- DECHAMPS, R., *Clé d'identification à la loupe des bois des régions tempérées et tropicales disponibles en Belgique*, Tervuren, Musée royal de l'Afrique centrale, 1983.
- DONATI, P., "Le bois – conserver pour connaître – connaître pour conserver" In *Restauration conservation: quelques aspects de la protection du patrimoine architectural en Suisse*, Lausanne, Editions du Grand-Pont, 1990.
- GERNER, G., *Les assemblages des ossatures et charpentes en bois – construction, entretien, restauration*, Paris, Eyrolles, 1995.
- GRAUBNER, W., *Assemblages du bois – L'Europe et le Japon face à face*, Lausanne, Livre Total, 1990.
- HOFFSUMMER, P., *Les charpentes de toiture en Wallonie Typologie et Dendrochronologie (XI^e-XIX^e siècle) Etudes et Documents*, Namur, Ministère de la Région wallonne DGATLP Division du Patrimoine, 1999.
- RENARD, B., *Monographie de Notre-Dame de Tournai*, Bruxelles Leipzig, Emile Flateau, 1857.
- REYNAUD, L., *Traité d'architecture - Première partie : Art de bâtir, étude sur les matériaux de construction et les éléments des édifices*, Paris, Dalmont et Dunod, 1860.
- ROSA, L., *Contribution à l'analyse de stabilité de la cathédrale Notre-Dame de Tournai*, travail de fin d'études, Faculté Polytechnique de Mons, 2001.
- SABBE, A., *Reconstruction urbaine à Tournai - bilan et perspectives*, travail de fin d'études, Faculté Polytechnique de Mons, 1981.
- SABBE, A., "Restoration of a roman carpentry in a transdisciplinary process – the cathedral of notre-Dame in Tournai", In *Proceedings of the 5th International Conference on Advanced Engineering Design*, organisée à Prague du 11 au 14 juin 2006 par la Czech Technical University de Prague.
- SABBE, A., "Structure Diagnosis of a Roman Carpentry – A transdisciplinary Process of the restoration of the Cathedral of Notre-Dame in Tournai", In *Sustainability of the Housing Projects, Proceedings of XXXII IAHS World Housing Congress*, . Trento, University of Trento. 2004.
- SABBE, A., "Roman Carpentry of the Cathedral of Notre-Dame in Tournai – Diagnosis and methodology", In *Interaction between Science, Technology and Architecture in Timber Construction, Proceedings of Culture 2000 Project: Greek, Norwegian and Italian Actions*, Paris, Elsevier, 2004.
- SELL, J. et KROPF, F., *Propriétés et caractéristiques des essences de bois*, Le Mont, Lignum, 1990.
- RIJSDIJK, J. F. et LAMING, P. B., *Physical and Related Properties of 145 Timbers – Information for Practice*, Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1994.
- STUDER, M.-A. et FREY, F., *Introduction à l'analyse des structures*, Lausanne, Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, 1997.
- VAN PARYS, L., *La cathédrale Notre Dame de Tournai - Etude des fondations gothiques*, travail de fin d'études, Faculté Polytechnique de Mons, 2001.
- VIOLLET-LE-DUC, E.-E. et BERNAGE, G., *Encyclopédie médiévale – refonte du Dictionnaire raisonné de l'architecture*, Paris, Inter-Livres, 1993.
- ZWARGER, K., *Wood and Joints – Building traditions of Europe and Japan*, Berlin, Birkhäuser, 2000.



Figure 1: La cathédrale Notre-Dame et le beffroi de Tournai



Figure 2: nœud, direction des fibres et fissure



Figure 3: attaque d'insectes, défaut de matière, pourriture

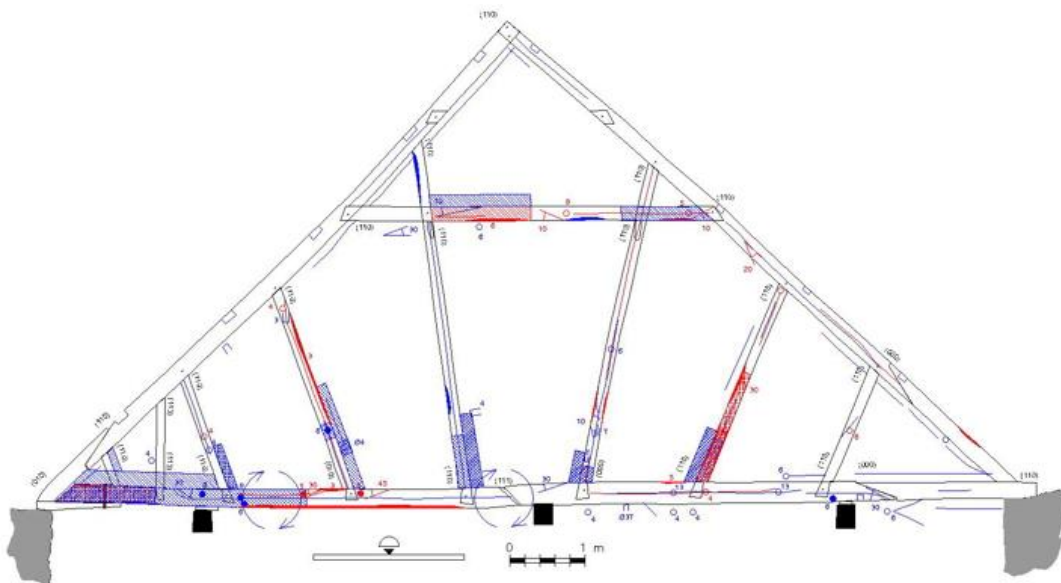


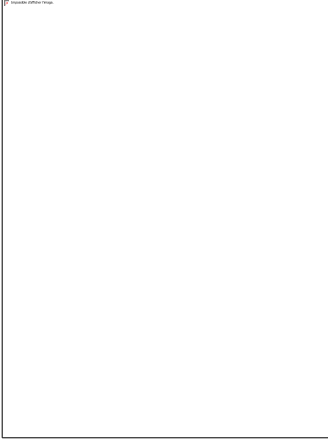
Figure 4: diagnostic sanitaire de la ferme 15 du transept nord



Charpentes historiques en bois De la construction à la restauration

Alain SABBE

Ingénieur architecte et Docteur en sciences appliquées de la
Faculté Polytechnique de Mons



Université de Mons
Site du Joncquois
Rue du Joncquois 53
7000 Mons
T : 065/374.502
Gsm : 0496/81.15.88
Alain.sabbe@umons.ac.be

Chargé de cours à l'Université de Mons, au sein du service de Génie architectural et urbain de la Faculté Polytechnique de Mons

Axes de recherche notamment abordés:

Approches multiples des problématiques du patrimoine (études sanitaires et diagnostic, vulnérabilité, techniques de mise en œuvre, méthodes d'intervention, mise en place du dossier de restauration, projet de restauration, ...) ;

Étude des traces de séisme dans les bâtiments et structures historiques et optimisation de solutions techniques de renforcement.



Vincent BRUNELLE

Architecte en Chef des Monuments Historiques

La restauration des couvertures de la cathédrale de Tournai

Description des moyens humains et matériels

L'agence a été créée en 1981 à la suite de ma nomination comme Architecte en Chef des Monuments historiques. Spécialisé dans les projets de restauration du patrimoine ancien et des Monuments Historiques, le champ d'activité s'est ouvert à la réhabilitation d'immeubles récents et aux missions d'assistance et de conseil auprès des confrères dans le cadre de concours et de maîtres d'ouvrages publics (expertise de bâtiments)/ les lieux d'activité sont Paris, la région Picardie, le département du Nord, la Région PACA, le Var et l'île de la Réunion.

ORGANISATION DE L'AGENCE

4 architectes :

- Vincent BRUNELLE, architecte en chef des Monuments Historiques
- Christine Dejean de la Batie, architecte
- Martin BRUNELLE, architecte du Patrimoine, charpentier
- Matthieu CRAMET, architecte

2 secrétaires administratives et techniques :

- Annie LALY
- Christelle YNER

2 collaborateurs :

- Henri Badillet, architecte ADE
- Alexandra Huynh Lenhardt, étudiante

EQUIPEMENT INFORMATIQUE

- 7 stations de travail PC et Mac
- 3 ordinateurs portables,
- 1 serveur IBM pour le stockage et la sauvegarde des données
- 2 imprimantes jet d'encre couleur
- 1 photocopieur/scanner laser couleur Minolta

Cet ensemble d'ordinateurs, serveur et outils d'impression est connecté en réseau afin d'optimiser le travail en collaboration au sein de l'Agence et à distance.

Logiciels :

- Adobe Acrobat Professionnel
- Adobe Photoshop
- Sketchup
- CAO : Autodesk Architectural Desktop
- Suite office sur l'ensemble des postes de travail
- 1 Fax
- 2 laser mètre Disto



Les édifices publics

Nord, Hôtel de ville de Douai

Restauration des façades et tourelles

Maître d'ouvrage : Ville de Douai

Maître d'œuvre : V. BRUNELLE

Montant des travaux HT : 700 000 €

Délai d'exécution : 2008 - 2011

Description de l'édifice:

Symbole des libertés communales, le beffroi se dresse fièrement au cœur de la ville depuis 600 ans. Au fil de l'ascension, on découvre la salle des gardes, celle des sonneurs et les salles de l'Hôtel de ville comme le salon Blanc, la salle Gothique, le cellier de l'Hôtel de ville (appelé "halle aux Draps") et la Chapelle Echevinale.

Programme des travaux :

Restauration des façades et tourelles

Nord, Hôtel de ville de Tourcoing

Réaménagement intérieur salles des fêtes et rotonde

Maître d'ouvrage : Ville de Tourcoing

Maître d'œuvre : V. BRUNELLE MV2 associé

Economiste : P. DUPUIS

Montant des travaux HT : 1 000 000 €

Délai d'exécution : 2008 - 2009

Description de l'édifice:

Construit au XIXe siècle sous la direction de l'architecte Charles Maillard. L'hôtel de ville de Tourcoing est caractéristique du style Napoléon III. De vastes proportions, il s'agit d'un des plus beaux témoignages de la réussite économique d'une époque. À noter, son grand hall en atrium et la décoration intérieure des salles. Il est inscrit à l'inventaire des monuments historiques depuis 1981

Programme des travaux :

Réaménagement intérieur salles des fêtes et rotondes

Réunion, Mairie de St Pierre

Restauration Façade et couverture

Maître d'ouvrage : VILLE

Maître d'œuvre : V. BRUNELLE

Montant travaux HT : 1 600 000 €

Délai d'exécution : 2011

Description de l'édifice:

En 1740, construction de la mairie de Saint-Pierre par la Compagnie des Indes. Au début, ce n'était qu'un grenier à café. C'est un bâtiment d'une quarantaine de mètres de long surmonté d'un beffroi. Les murs sont très épais, les fenêtres de plein cintre. Les murs ont été construits en pierres carrées avec mortier de chaux, tuf, sable.

Programme des travaux :

Traitement curatif des bois de la charpente et le drainage avec dessalement des bases des façades.

Var, Sémaphore de Ste Maxime

Travaux de réaménagement du sémaphore



Charpentes historiques en bois De la construction à la restauration

Maitre d'œuvre: V. BRUNELLE
Montant des travaux HT : 490 000 €
Délai d'exécution: 2011

Nord, Les bains douches, Dunkerque

Restauration extérieure

Maître d'ouvrage : Ville de Dunkerque

Maître d'œuvre : V. BRUNELLE

Economiste: P. Dupuis

Montant des travaux HT :530 000 €

Délai d'exécution : 2010-2011

Description de l'édifice:

D'inspiration orientaliste, l'édifice est un des derniers exemples du style néo-mauresque, très en vogue à la fin du XIX^e siècle. L'Empire colonial est à son apogée et l'Europe se tourne vers l'Orient. Artistes et artisans sont nombreux à rechercher l'inspiration en Turquie, en Espagne, au Maroc ou en Algérie. L'édifice, doté d'une coupole et d'une cheminée, fait penser à un minaret ; ces deux éléments ont été démontés après guerre. Les arcs, les lions en terre cuite, de nombreuses céramiques et mosaïques de couleur, ainsi que la porte massive ont été conservés.

Programme des travaux :

Restauration extérieure

Les édifices religieux

Belgique, Cathédrale de Tournai

Restauration des façades et couvertures

Maître d'ouvrage : Province du Hainaut

Maître d'œuvre :Équipe V. BRUNELLE

Montant des travaux HT :25 000 000 €

Délai d'exécution : 2001 - 2012

Description de l'édifice:

Notre-Dame de Tournai est la cathédrale du diocèse de Tournai. Elle est le seul édifice religieux de Belgique qui ait été construit comme cathédrale. Chef d'œuvre du gothique scaldien, ce monument est, par l'alliance harmonieuse des styles roman et gothique et par sa aille et son architecture caractéristique, un des témoins les plus impressionnants de l'art occidental. Elle fait partie du patrimoine majeur de Wallonie et est classée depuis l'an 2000 au patrimoine mondial de l'UNESCO.

Programme des travaux :

Restauration des façades et couvertures

Nord, Eglise Saint-Joseph, Roubaix

Restauration des couvertures, charpente, vitraux et élévations du bas côté Sud, décors intérieurs

Maitre d'ouvrage: Ville de Roubaix

Maitre d'œuvre: V. BRUNELLE

Economiste: P. Dupuis

Montant des travaux HT : 777 000 €

Délai d'exécution: 2000-2010



Charpentes historiques en bois De la construction à la restauration

Description de l'édifice:

Édifice néo gothique de 1876 à 1878. Construction en briques et pierres locales, couverte en ardoise losangées. Décor intérieur de peintures murales à l'huile sur plâtre, vitraux historiés à grisailles. Programme des travaux : première tranche de travaux portant sur la mise hors d'eau du bas coté sud, réfection des joints de maçonnerie, drainage, réparation des vitraux et protection grillagées. Etude diagnostic pour la restauration l'intérieur, voûtes lambrissées, décors peints et vitraux.

Nord, Espace Gobelins, Roubaix

Restauration des couvertures et charpentes des bas cotés, sacristie,
Voûtes intérieures

Maître d'ouvrage : Ville de Roubaix

Maître d'œuvre : V. BRUNELLE

Montant des travaux HT : 725 400 €

Délai d'exécution : 2011

Description de l'édifice:

L'ancienne Église Notre-Dame est le dernier édifice religieux construit dans le Nord de la France dans le style néo-classique, l'archevêque de Cambrai prônant dès lors les styles gothique et roman, plus propices à susciter la ferveur religieuse des foules. Bâtie entre 1844 et 1847, l'église Saint-Martin n'étant plus suffisante, cet édifice dû à l'architecte Achille DEWARLEZ a été inscrit à l'inventaire supplémentaire des Monuments historiques le 30 octobre 1983

Programme des travaux :

Restauration des couvertures et charpentes des bas cotés, sacristie, voûtes intérieures.

49

Somme, Eglise St Pierre, Lamotte Warfusée

MH 27.10.2005

Restauration des couvertures et façades

Maître d'ouvrage : commune

Maître d'œuvre : V. BRUNELLE

Etude diagnostic sur le clos et le couvert (2007)

Travaux sur le clocher en 2011

Description de l'édifice:

Église reconstruite entre 1929 et 1931 par l'architecte parisien Godefroy Teisseire. La structure en béton armé est revêtue de briques avec des pignons à redents dans la tradition picarde. La flèche ajourée est en béton armé. La couverture haute est en tuiles mécaniques.

Programme des travaux :

Restauration des couvertures et façades du clocher.

Somme, Eglise Poulainville

Restauration générale

Maître d'ouvrage : VILLE

Maître d'œuvre : V. BRUNELLE

Montant travaux HT : 890 000 €

Economiste : P. ASSELIN

Délai d'exécution : 2009-2011

Description de l'édifice:

L'église comporte une nef de 6 travées, dont une pour la base du clocher, et un chœur plus étroit avec abside. Une sacristie est accolée au Sud-Est.

Programme des travaux : Les travaux ont pour objet la mise en sécurité du clocher et façade occidentale en priorité puis la restauration des façades par tranches.



Somme, Cathédrale d'Amiens

MH 1862

Restauration de la façade occidentale

Maître d'ouvrage : DRAC

Maître d'œuvre : V. BRUNELLE

Montant des travaux : 9 000 000 € HT

Délai d'exécution : 1992 - 2000

Description de l'édifice:

Édifice bâti entre 1220 et 1270. Façade restaurée aux XVe, XVIIIe et XIXe siècles par Viollet le Duc. Construction en pierre de craie et pierre de Saint-Maximin pour les restaurations.

Programme des travaux :

Restauration de l'ensemble de la façade avec son décor sculpté qui a permis la découverte de peintures originelles sur les porches. Travaux de maçonnerie - pierre de taille, restauration des toitures, charpentes des tours, terrasses en plomb, vitraux de la rose, décor sculpté et confortation de la statuaire.

Les hôtels

Nord, Hôtel de l'Hospice Gantois, Lille

MH 8.08.1923

Réhabilitation e hôtel 4 *

Maître d'ouvrage : S.L.I.H (Société Lilloise d'Investissement Hôtelier)

Maître d'œuvre : V.BRUNELLE et cabinet MAES

Surface du projet : 6000 m²

Montant des travaux HT : 3 500 000 €

Description de l'édifice :

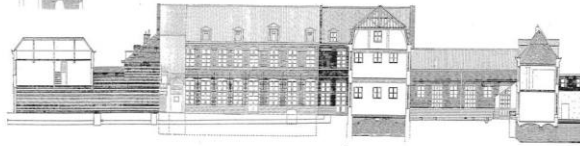
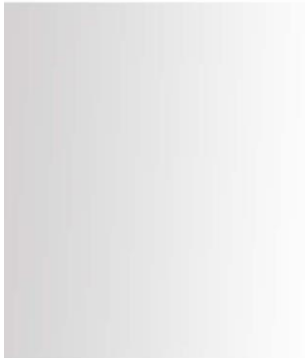
ancien hospice des XVIe et XVIIIe siècles, construit autour de quatre cours, en briques et pierres.

Programme des travaux :

aménagement d'un hôtel, nécessitant la réfection des façades détériorées, couvertures et ensembles des structures. Réouverture de percements identifiés d'après l'histoire du monument. Restitution des badigeons après analyse des témoins retrouvés sur des zones protégées (corniches). Installation des équipements complets d'hôtellerie et restauration.



Charpentes historiques en bois De la construction à la restauration



Somme, Hôtel aux sels, St Valery sur Somme (Projet)

Description de l'édifice:

Vaste entrepôt construit en 1733-1734 sur le port de Saint-Valéry, et édifié en brique et pierre sur soubassement de grès. Le commanditaire en était François Lebaud. La toiture primitive qui recouvrait les trois travées de l'entrepôt n'existe plus depuis 1935. Il s'agit là du seul exemple subsistant en France d'entrepôt aux sels de cette ampleur, et qui était destiné à emmagasiner les sels devant approvisionner les greniers des provinces de Picardie, Champagne et Bourgogne.

Programme des travaux : Réhabilitation en hôtel de l'entrepôt de sel.

Les établissements Culturels

Nord, Cassel, Musée de Flandre

MH 21.03.1910

Restauration et aménagement du musée de Flandre

Maître d'ouvrage : Conseil Général du Nord

Maître d'œuvre : V.BRUNELLE

BET : Projex

Muséographie : D.BLIN

Economiste : P.DUPIUS

Surface du projet : 1900 m²

Délai d'exécution : 2008-2010

Description de l'édifice :

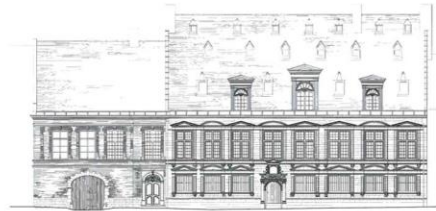
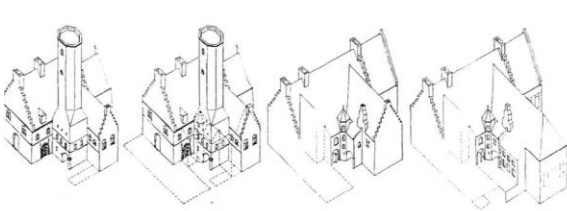
Edifice en briques de la Renaissance, couvert en ardoises violettes clouées, dont les structures (planchers et élévations) sont fragiles, nécessitant une restauration délicate tout en accueillant une fonction de musée ouvert au public.

Programme des travaux :

les travaux consistaient en une reprise partielle des fondations, restauration des élévations, des supports, des planchers, des lambris et décors intérieurs.



Charpentes historiques en bois De la construction à la restauration



Somme, Musée d'Albert

Extension du Musée Somme 1916

Maître d'ouvrage : Association du Musée

Maître d'œuvre : V. BRUNELLE Martin Brunelle architecte d'exécution

BET : HEXA

Economiste : P.DUPOIS

Montant des travaux HT : 620 000 €

Surface du projet : 400 m²

Délai d'exécution : 2010 - 2011

Description de l'édifice:

Musée dont le parcours est souterrain, les équipements en place à la sortie de celui-ci dans le jardin municipal inscrit au titre des MH ne répondaient plus aux besoins actuels.

Programme des travaux : Le mauvais état de la charpente et des passerelles d'accès aux dispositifs scénographiques obligent une intervention lourde qui accompagnera la réfection à neuf de la couverture, la restauration des façades et des menuiseries et une restauration des peintures intérieures.

Restauration des clos et couvert des intérieurs et mise en sécurité

Nord, Théâtre de Douai

MH 30.03.1965

Restauration de la porte du Bourg

Maître d'ouvrage : Institut médico-éducatif

Maître d'œuvre : V.BRUNELLE

Montant travaux HT : 350 000 €

Délai d'exécution : 2006-2007

Description de l'édifice :

Église reconstruite entre 1929 et 1931 par l'architecte parisien Godefroy Teisseire. La structure en béton armé est revêtue de briques avec des pignons à redents dans la tradition picarde. La flèche ajourée est en béton armé. La couverture haute est en tuiles mécaniques.



Programme des travaux :
Restauration des couvertures et façades

Val, Tour carrée, Saint-Maxime

Programmiste: Thierry Fernandez

AMENAGEMENT INTERIEUR ET EXTENSION

Esquisse. Proposition d'extension pour la distribution des niveaux.

Le projet se définit par la création d'une extension Sur la façade Nord permettant au musée de la tour carrée de s'équiper d'un ascenseur et d'un escalier aux normes d'accessibilité et de sécurité. L'escalier Intérieur peut être maintenu. L'extension se matérialise par un volume étroit dont les dimensions correspondent à la largeur des deux volées d'escalier. La hauteur de ce volume atteint le dessous de la corniche de la tour carrée. Ce volume est volontairement contemporain et trouve sa place en Juxtaposition à la façade arrière. Pour Conserver la perception du volume Initial de la tour carrée, le nouveau bâtiment ne se colle pas complètement, un creux significatif, vitré, permet, une lecture dissociée des deux édifices.

En terme de façade, le choix de la transparence permet au visiteur d'observer l'ensemble du site Initial. De l'intérieur, les vues sur la place et l'église sont filtrées mais pas cachées par le dispositif de façade (cf brise-soleil en bois). A l'intérieur, des modifications dans les percements des murs refends permettent une circulation Intérieure continue adéquate au parcours muséal.

Nord, Musée de l'hospice comtesse, Lille

MH 14.04.1923 et 26.02.1991

Restauration générale

Maître d'ouvrage : VILLE

Maître d'œuvre : V. BRUNELLE

Montant des travaux HT : 3 750 000 €

Surface du projet : 5 000 m²

Délai d'exécution : 2002 - 2006

Description de l'édifice:

Fondations du XIII^e siècle et construction de l'hospice aux XIVE, XVI^e et XVIII^e siècles. Programme des travaux : Restauration du clos et couvert et des abords de cet ensemble accueillant un musée de la ville. La présence de nombreuses traces de badigeons sur les zones protégées des corniches et encadrements de baies ont permis la restitution de la polychromie générale.

Les Châteaux

Somme, Château de Luchaux

MH 30.03.1965

Restauration de la porte du Bourg

Maître d'ouvrage : Institut médico-éducatif

Maître d'œuvre : V. BRUNELLE

Montant des travaux HT : 350 000 €

Délai d'exécution : 2006 - 2007

Description de l'édifice :

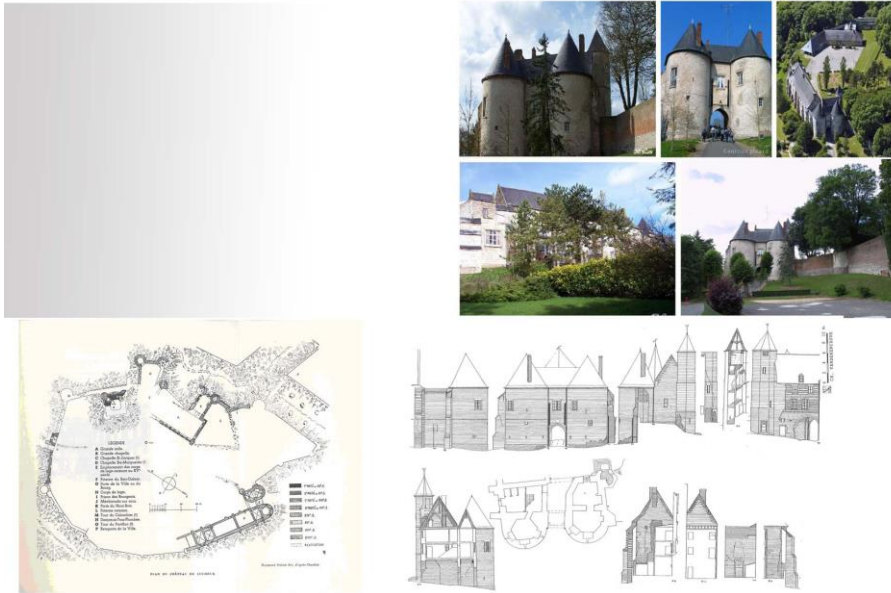
Église reconstruite entre 1929 et 1931 par l'architecte parisien Godefroy Teisseire. La structure en béton armé est revêtue de briques avec des pignons à redents dans la tradition picarde. La flèche ajourée est en béton armé. La couverture haute est en tuiles mécaniques.

Programme des travaux :

Restauration des couvertures et façades



Charpentes historiques en bois De la construction à la restauration



Somme, Château de Beaucamps le jeune

Maître d'ouvrage : Privé

Maître d'œuvre : V. BRUNELLE

Montant des travaux HT : 2 800 000 €

Délai d'exécution : 2008 – 2011

Description de l'édifice :

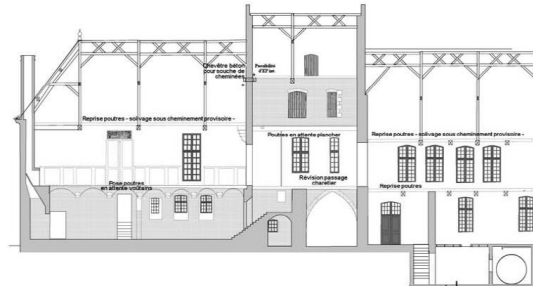
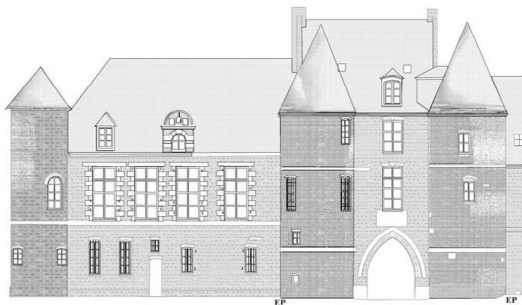
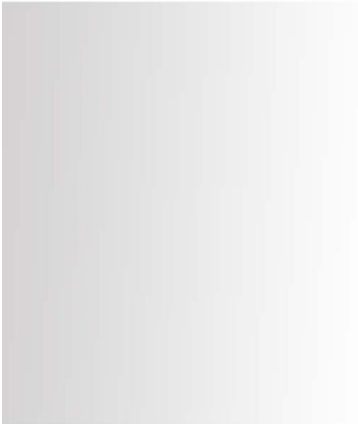
Le château, de style renaissance, des XVIe, XVIIe, XVIIIe et XXe siècles, a été érigé dès 1537 par Anne de Pisseleu, duchesse d'Etampes et favorite de François Ier. Construit en briques, il est particulièrement dégradé. La communauté des Lazaristes, propriétaire du château dans les années 1920, fit construire une longue aile à l'Est de l'entrée. Il est à noter que de nombreux motifs réalisés en brique noire décorent plusieurs murs et tours, un peu comme on les observe sur les églises fortifiées de Thiérache

Programme des travaux :

restauration de la charpente et couverture de la porterie et des deux tours.



Charpentes historiques en bois De la construction à la restauration



55

Somme, Château de Picquigny

MH 11.09.1906

Travaux de restauration et mise en sécurité

Maître d'ouvrage : DRAC et Société des Antiquaires de Picardie

Maître d'œuvre : V. BRUNELLE

Montant travaux HT : 750 000 €

Délai d'exécution : 1986 - 2006

Description de l'édifice:

Ancien domaine des Vidames de l'évêché d'Amiens aménagé en résidence après avoir été place forte. Constructions ruinées de pierre de craie. Seul subsiste le pavillon dit de Sévigné montrant un exemple de l'architecture de la Renaissance.

Programme des travaux :

confortation des murs d'enceinte, travaux de sauvegarde et de sécurisation du site.

Oise, Château de Troissereux

MH 25.02.1983

restauration de la tour d'escalier, entretien des couvertures (2006/2008)

Maître d'ouvrage : Privé

Maître d'œuvre : V. BRUNELLE

Entreprise : Maçonnerie pierre de taille : Pradeau et morin, Couverture : L..Lelu

Montant travaux HT : 100 000 €.



Charpentes historiques en bois De la construction à la restauration

Description de l'édifice:

Château du XVIIe siècle aménagé avec son parc au XVIIIe. Un système hydraulique (vannes) et mobilier paysager (ponts...) ont été rétablis au XIXe siècle. Construction en briques et pierres selon une ordonnance à la serlio. Couverture en ardoise de la Renaissance.

Programme des travaux :

- restauration de la tour en colimaçon
- travaux annuel d'entretien des couvertures
- Etude sur le parc (paysagiste Aline le Cœur) et l'ensemble du bâti en 2008





Vincent BRUNELLE

Architecte en Chef des Monuments Historiques



1 rue Doncre - 62000 ARRAS
Tel. 03.21.58.37.33 Fax 03.21.22.06.21
v.brunelle.acmh@wanadoo.fr

Diplômes – Fonctions

| | |
|-----------|---|
| 1973 | Diplôme Architecte par le Gouvernement (D.P.L.G.) |
| 1978-1982 | Architecte des Bâtiments de France du Pas-de-Calais |
| 1981 | Architecte en Chef des Monuments Historiques suite au concours en 1980 |
| 1982 | ACMH Départements Allier et Haute-Loire |
| 1985 | ACMH Département de la Somme |
| 1986 | ACMH Département du Puy-de-Dôme |
| 1987 | ACMH Eglise St-Louis des Français Lisbonne – Portugal |
| 1989 | ACMH Départements Somme, Oise, Réunion |
| 1996 | ACMH Départements Somme, Nord, Réunion |
| 2010 | ACMH Départements Somme, Nord, Réunion, 3 ^e , 11 ^e , 12 ^e , 17 ^e , 20 ^e arrondissements PARIS |
| 2013 | ACMH Départements Vaucluse, Drôme, Ardèche |

57

Restauration d'édifices remarquables

| | |
|-----------|---|
| 1986 | Restauration dômes de VICHY (Allier) |
| 1992-2000 | Restauration de la façade occidentale de la Cathédrale D'AMIENS (Somme) (Edifice classé sur la liste du Patrimoine Mondial) |
| 2001-2013 | Coordination des travaux de stabilité de la Cathédrale de TOURNAI (Belgique) (Edifice classé sur la liste du Patrimoine Mondial) |
| 2001-2006 | Restauration du site Minier, fosse d'Arenberg à WALLERS (Nord) |
| 2002-2005 | LILLE Capitale Européenne de la Culture : restauration des principaux monuments de la ville |
| 2002-2006 | Restauration de la façade occidentale de l'abbatiale SAINT RIQUIER (Somme) |
| 2004-2010 | Restauration extérieure de la tour St-Etienne de l'abbatiale de SAINT AMAND LES EAUX (Nord) |



Projets et travaux de réhabilitation

Réutilisation d'édifices anciens (extrait des références)

| | |
|-----------|---|
| 1985 | Réalisation de la Mairie de BELLENAVES (Allier) |
| 1991 | Projet d'aménagement et création de sacristie pour la cathédrale D'AMIENS Moulin Passe-Arrière à AMIENS (Somme) : reprise de structures et planchers ossature bois avec torchis en façade en vue de la réutilisation en logements et salles d'exposition |
| 1993-1994 | Restauration des structures du Bâtiment du Directeur à la Manufacture des Rames D'ABBEVILLE (Somme), en vue d'un aménagement muséographique |
| 1994 | Projet de réhabilitation de l'Hôtel de Ville de SAINT-DENIS de la Réunion avec le C.T.B.A. pour accueil en espace culturel et de réception |
| 1996-2000 | Restauration de la cathédrale de SAINT-DENIS de la Réunion Réaménagement intérieur : sols, décors peints, plafonds |
| 2001-2003 | Restauration de la distillerie de WAMBRECHIES (Nord) : lieux et accueil du public – visite de l'usine |
| 2001-2003 | Réaménagement de l'Hospice Gantois à LILLE en Hôtel 4* avec le Cabinet Maes |
| 2002-2004 | Restauration des principaux monuments lillois dans le cadre de LILLE Capitale Européenne de la Culture |
| 2006-2010 | Restauration de la Tour Abbatiale de SAINT AMAND LES EAUX |
| 2006-2008 | Restauration du théâtre de DOUAI |
| 2008-2010 | Restructuration du Musée de Flandre à CASSEL |
| 2009-2010 | Restauration des façades de la Chambre Régionale des Comptes à ARRAS |
| 2010-2011 | Restauration des charpentes, couvertures et vitraux de l'église des Gobelins à ROUBAIX |
| 2011-2013 | Restauration de l'église Saint Chrysole à COMINES |



Ghislain CLAERBOUT

Administrateur délégué Monument Hainaut sa
Ingénieur civil en construction

Les charpentes de l'abbatiale de Floreffe

L'abbaye de Floreffe, fondée au XII^e siècle, a plusieurs fois été remaniée au cours de sa longue histoire.

Cette abbatale norbertine (chanoines réguliers de la congrégation des Prémontrés) est très riche de par son mobilier (stalles...) mais également par ses charpentes.

On peut considérer que les charpentes de la nef et du clocher sont le reflet de l'histoire des charpentes du XII^e siècle au XVIII^e siècle. Il y a des charpentes romanes, gothiques...

La restauration des charpentes de la nef a été réalisée lors de phases de travaux précédentes. La phase faisant l'objet de mon exposé traite uniquement de la restauration du clocher et plus particulièrement de sa charpente. L'ensemble des travaux comprend la restauration de la maçonnerie (épinglage, injection, remplacement de pieux, joints...), les vitraux, les charpentes et toitures.

Les différents intervenants :

- Maître de l'ouvrage : Bureau administratif du Séminaire de Namur
- Auteur de projet : Architecte Philippe Vermeren
- Bureau d'études stabilité : ir Paul Wéry
- Pouvoir subsidiant : Service Public de Wallonie - DGO4

59

Une étude sanitaire a montré que de nombreux éléments de la charpente étaient fortement dégradés voir inexistants. De plus, la charpente de cette tour a subi, au cours des siècles, de nombreuses restaurations, renforcements divers.

Les travaux ont débuté par la mise en place d'un échafaudage. Cet échafaudage a été calculé comme auto-stable c'est-à-dire qu'il ne pouvait transmettre des efforts horizontaux à la structure du clocher déjà fortement altérée.

Cet échafaudage monté, nous avons procédé au démontage de la partie supérieure de la flèche à savoir la croix, la flèche sommitale et le tambour sous cette flèche. La flèche a été transportée, en atelier, pour restauration. Le tambour a été déposé au sol pour sa restauration sur site.



Charpentes historiques en bois De la construction à la restauration

Restauration de la flèche



A ce démontage, nous avons placé une toiture provisoire sur l'ensemble de la tour pour permettre la restauration, hors intempéries, des charpentes et réaliser la pose des ardoises.

60

Restauration de la charpente



Coupe transversale du clocher



Après dépose des ardoises et le voligeage, une nouvelle étude sanitaire précise de la charpente a été réalisée. Nous avons constaté que l'enrayure à la base du clocher montrait de nombreuses lacunes.

Pour cette raison, nous avons placé une structure métallique pour une reprise en sous-œuvre de cette charpente. Cette structure s'appuyait sur les têtes des murs de la tour, la partie supérieure de la structure de la charpente s'appuyait sur celle-ci, tandis que la structure inférieure y était suspendue. Ceci a permis de réaliser une restauration du bas vers le haut, tout en garantissant la sécurité et la stabilité.



Charpentes historiques en bois De la construction à la restauration

De cette manière, nous avons pu réaliser les nouvelles poutres de ceinture d'appui en béton armé afin de garantir un bon appui.

Une grande partie des bois des restaurations antérieures ont été enlevés car devenus inutiles. Au cours des siècles et de par les nombreuses dégradations, la charpente s'est déformée. Ainsi, par exemple, l'enrayure de base montrait une déformation de plus de 30 cm.

Nous avons réduit cette déformation partiellement par vérinage.

La restauration de la charpente en elle-même s'est faite par :

- remplacement des éléments fortement dégradés ou devenus inexistants.
Les assemblages ont été réalisés à l'identique tout en conservant les assemblages anciens. Assemblage par tenons et mortaises + chevilles en bois.
- greffes
- et si aucune des 2 solutions précédentes n'était possible, la résine époxydique a été utilisée.

Une partie de la structure métallique de reprise en sous-œuvre a été maintenue pour soulager l'enrayure de base du clocher.

Une nouvelle structure métallique placée entre les 2 premiers niveaux du clocher a été mise en place afin de réaliser un meilleur contreventement.

Après la restauration et la couverture de la partie basse du clocher, le tambour, la flèche et la croix ont été reposés et fixés.

Photo après restauration



L'ensemble des travaux a nécessité plus de deux années.



Charpentes historiques en bois De la construction à la restauration

Ghislain CLAERBOUT

Administrateur délégué Monument Hainaut sa
Ingénieur civil en construction



Monument Hainaut SA
Rue du Serpolet 27
7522 Marquain

T: +32 69 88 85 40
F: +32 69 22 96 29

www.monument.be
info@monument.be

62

Né à Comines (B), le 01/10/1955
Ingénieur Civil en Construction (U.C.L.) – 1979

Administrateur délégué Monument Hainaut SA, à Tournai, faisant partie du Group Monument

Membre Icomos
Membre Comité Patrimoine & Histoire



Charpentes historiques en bois De la construction à la restauration

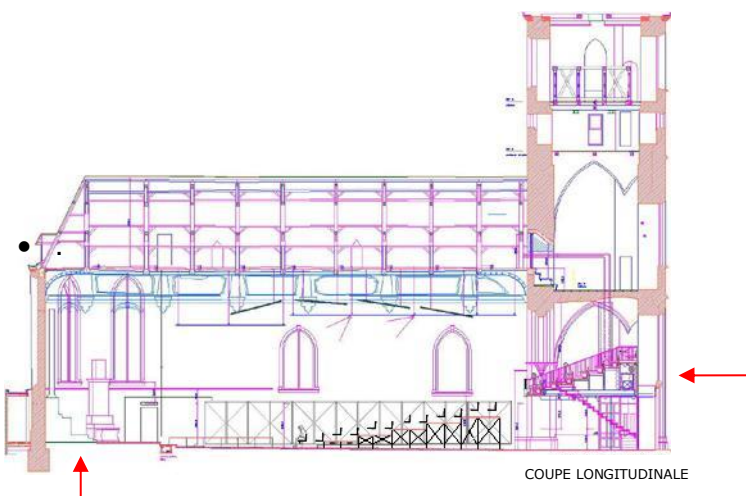
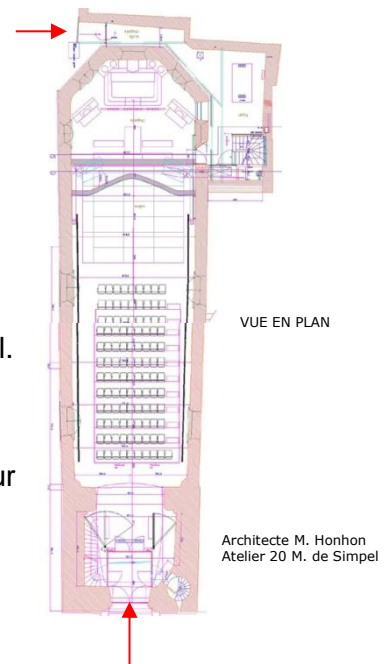
Robert MATRICHE
Gérant du bureau d'Etudes Matriche sprl
Ingénieur civil des constructions

Déformation torsionnelle du clocher tors de notre Dame du Marché à Jodoigne

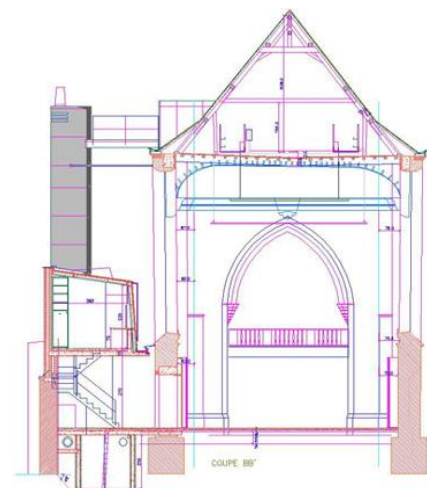
1. Rénovation/restauration de la Chapelle Notre-Dame du Marché à Jodoigne



- Réaffectation de l'ensemble en un lieu à la fois cultuel et culturel. Pas de désacralisation mais aménagements afin de permettre alternativement les deux activités.
- Création d'accès distincts par la rue latérale, via la sacristie, pour le culte et par l'ancien parvis sous le clocher pour le culturel.
- Partage de la nef à l'aide d'un rideau amovible permettant, au besoin, d'agrandir le lieu de culte



Architecte du projet, Mr Holon
Atelier 20 Mr De Simpel



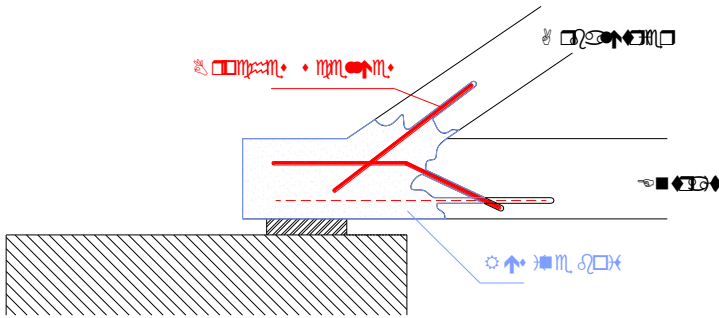
COUPE TRANSVERSALE

Architecte M. Honhon
Atelier 20 M. de Simpel



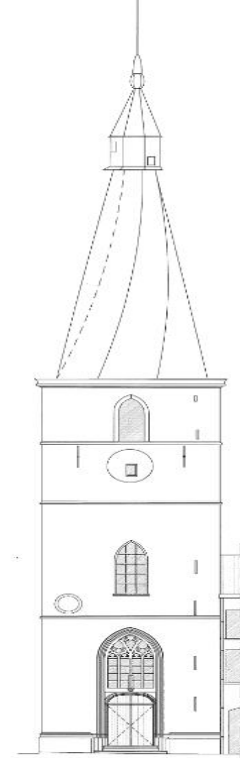
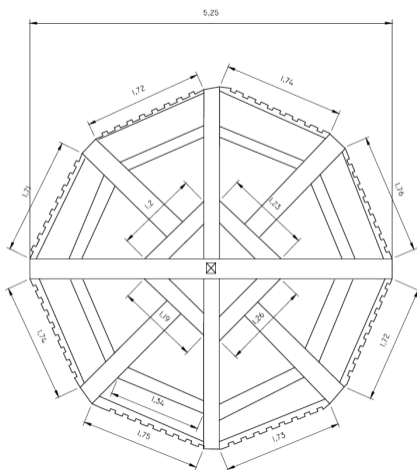
2. Restauration des charpentes de la nef

- Restauration et renforcement des charpentes pour support des plafonds techniques, rideau et équipements divers.
Travail délicat de résinage des appuis d'entrails.



3. Restauration du clocher tors

- La charpente de la tour comporte 6 étages avec une structure cruciforme octogonale décroissante à chaque niveau.
Hauteur 23 m pour une base de 7,50 m sur une tour de 9 m de côté.
Les arbalétriers, dans cette tour, restent dans leurs plans verticaux depuis la base jusqu'au sommet.

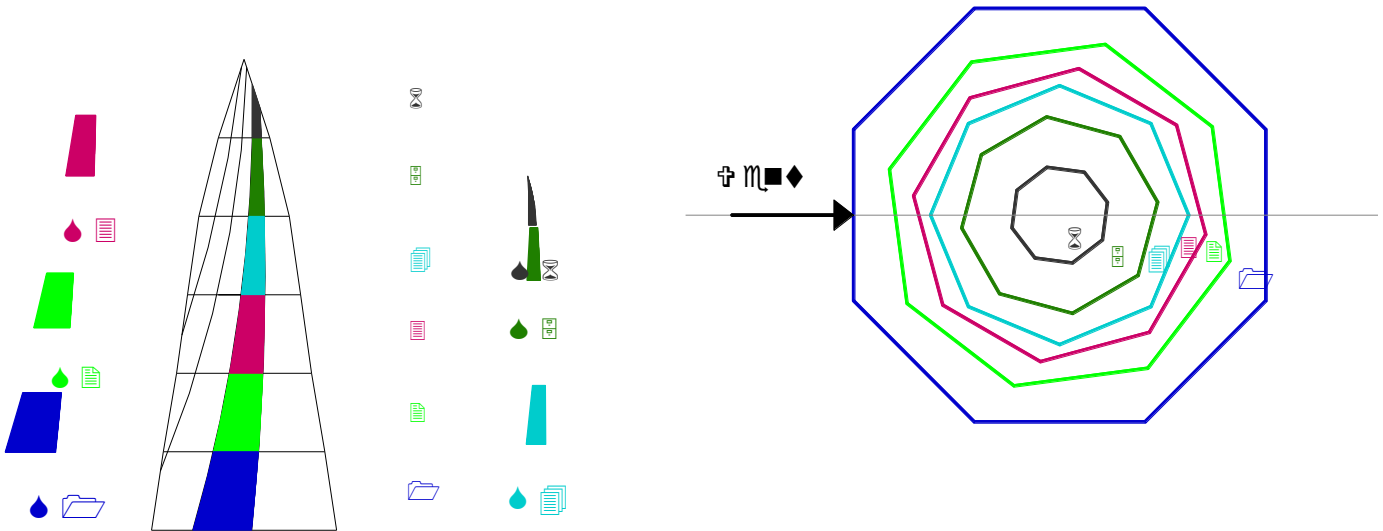


- Découverte d'une déformation torsionnelle antihorlogique de la présence d'un contreventement hélicoïdal sous forme de 4 arbalétriers montant dans le sens horlogique alors que les faces de couverture sont anti horlogiques.
Le contreventement, manifestement placé pour répondre à la déformation torsionnelle, est relativement récent comme en témoignent les connecteurs métalliques aux extrémités.



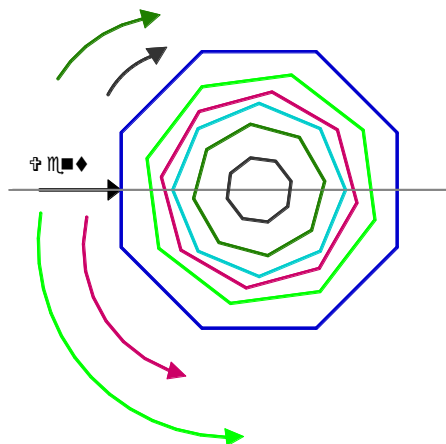
Charpentes historiques en bois De la construction à la restauration

- Normalité de la déformation torsionnelle ?
L'examen de la prise au vent, étage par étage, indique que, si les 1^{er} et 4^{ème} étage se présentent symétriquement face au vent, les 2^{ème} et 3^{ème} génèrent un couple anti horlogique alors que les 5^{ème} et 6^{ème} un couple horlogique.



65

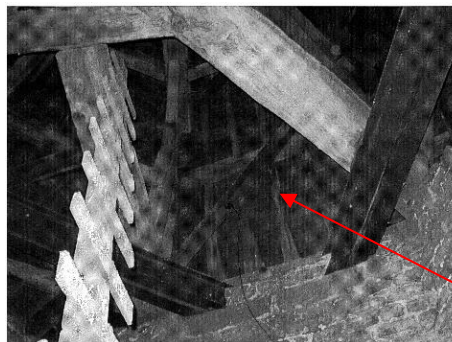
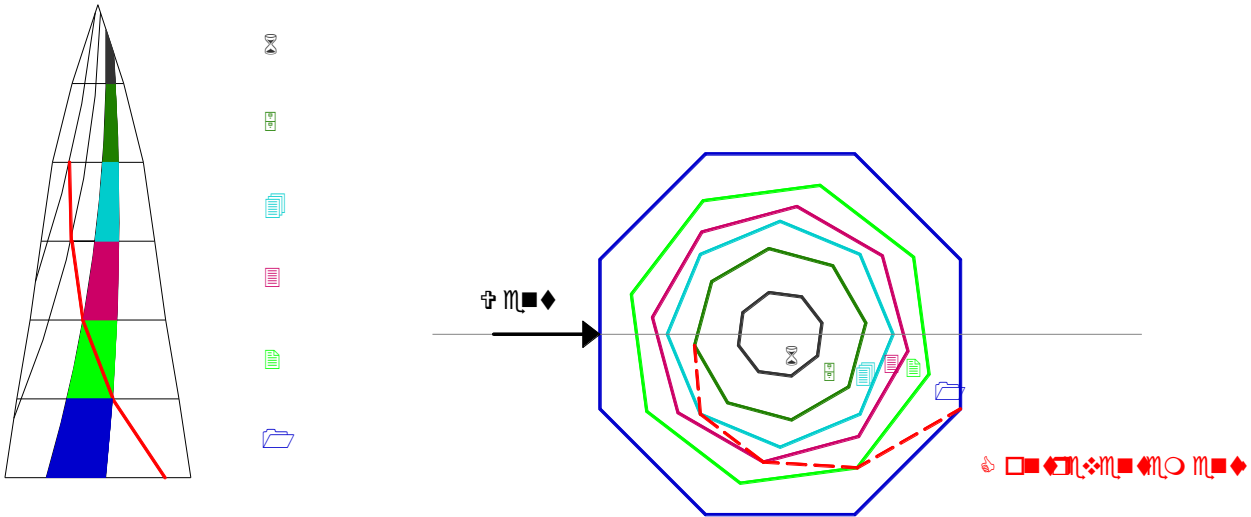
Les surfaces étant nettement plus importantes aux 2^{ème} et 3^{ème} étages qu'au 5^{ème} et 6^{ème}, les couples torsionnels ne s'équilibrent pas et l'ensemble subit naturellement un couple inverse à la forme de couverture.





Charpentes historiques en bois De la construction à la restauration

- La réponse des compagnons du début du XX^e siècle a consisté à monter une succession de 4 arbalétriers obliques contraires à l'hélicoïde du revêtement.



Contreventement

- La réponse technique placée à Jodoigne donne entièrement satisfaction. La restauration, sans modification structurelle, a pu être entreprise.



Charpentes historiques en bois De la construction à la restauration

Robert MATRICHE

Gérant du bureau d'Etudes Matriche sprl
Ingénieur civil des constructions



Bureau d'études Matriche
Grand Place 5
1440 Braine-le-Château
info@matriche.net
tél : 02/391.46.80

- Ingénieur civil des constructions - Université libre de Bruxelles
1974-1979
- Responsable projet à Abu Dhabi - United Arab Emirates - Six Construct International
1979-1980
- Responsable projet pont suspendu à Matadi - Congo (ex Zaïre) - Auxeltra Béton
1980-1983
- Bureau d'étude Matriche - Responsable d'études
1983-1995
- Bureau d'étude Matriche - Gérant
1995→
- Maître de Conférences à l'Université Libre de Bruxelles
1999→
Faculté des Sciences Appliquées
CNST H502 Pathologies, rénovation et réhabilitation des structures



Xavier TONON

Architecte

Architectes et Associés sa

Yves JACQUES

Ingénieur civil architecte

Administrateur de AA s.a

Catherine COLLET

Ingénieur civil architecte

Administrateur de AA s.a

Charpente de l'église Saint-Lambert à Soumagne. Etude préalable et projet de restauration

Contexte historique :

L'église de Soumagne est dédiée à Saint-Lambert. Les sources écrites du XIII^e siècle mentionnent un édifice antérieur à celui-ci, de style roman primitif, dont il ne subsiste aucun témoignage concret. Par contre il est établi avec certitude que cette église est étroitement liée à la vie des Prémontrés de Liège dès 1204, elle restera associée à cet ordre « Norbertin » jusqu'en 1804.

La construction du monument actuel date de l'Abbatiate d'Ambroise Defraigne qui présida aux destinées de Beaufort (actuelle église des prémontrés à Liège) de 1664 à 1695. L'édifice est en partie détruit par un incendie en 1694 et c'est lors de la reconstruction qui a suivi que fut réalisé le remarquable plafond armorié que nous pouvons admirer dans cette église aujourd'hui encore.

Le bâtiment subira par la suite quelques adjonctions au milieu et à la fin du XIX^e siècle qui n'auront pas d'influence sur les charpentes de la Nef.

Description de la charpente de la Nef :

Les combles de la nef de l'église Saint-Lambert à Soumagne présentent une série de 8 charpentes à fermes et pannes. L'ensemble date de la fin du XVII^e siècle. Cette époque se caractérise par des difficultés d'approvisionnement en bois d'œuvre, ce qui se perçoit nettement dans la typologie rencontrée. Les charpentes présentent un assemblage hybride qui fait penser aux constructions des granges dont les toitures sont soutenues par des poteaux dressés sur un entrait lui-même porté par des piliers en maçonnerie. La difficulté de se procurer des fûts de chêne suffisamment long et rectiligne explique sans doute cette typologie singulière pour un édifice religieux. Néanmoins cette configuration s'éloigne des charpentes des habitats ruraux par l'emploi d'arbalétrier de chambrée, disposition dans laquelle la panne et l'arbalétrier sont assemblés dans le même plan.

Chaque ferme est composée d'un entrait principal retroussé qui repose aux extrémités sur 2 poteaux qui prennent chacun appui sur des entrails secondaires. Ces entrails secondaires sont reliés d'un côté à la maçonnerie des murs gouttereaux et de l'autre sont supportés par une double panne sablière qui s'interpose entre l'abaque circulaire du chapiteau et la base de l'entrait secondaire. Sur cette structure se dresse une succession de portiques composés de poteaux courts associés à des aisseliers et des petits entrails liaisonnés avec les arbalétriers de faibles longueurs qui reçoivent les pannes dans le même plan. Cette technique renforcée par un aisselier disposé de part et d'autre de l'arbalétrier garantit un bon contreventement. Au sommet de la ferme, 2 courts arbalétriers se rejoignent sur un poinçon qui supporte la panne faitière.



Les fermes présentent une légère dissymétrie : le poteau qui porte l'extrémité Nord de l'entrait retroussé est secondé d'un aisselier qui renforce la liaison à cet endroit. L'extrémité du second arbalétrier vient se positionner sous le premier faux-entrait tandis que le versant Sud voit le second arbalétrier s'appuyer contre l'extrémité du faux-entrait pour se prolonger jusqu'au second faux-entrait.

Etude préalable :

L'étude préalable élaborée par les auteurs de projet a débuté par une analyse fine accompagnée d'un relevé de la situation existante précis réalisé par le LAPT. Ces opérations sont destinées à cerner au mieux le système constructif (notamment l'importance des assemblages), à déterminer les faiblesses inhérentes à sa conception, identifier les pathologies et repérer les changements relatifs aux éventuelles campagnes de travaux précédents.

L'observation de la charpente in situ fait apparaître :

- un manque de triangulation dans la composition globale des charpentes ;
- une discontinuité de l'entrait principal situé au-dessus de la travée centrale ;
- une dissymétrie dans la continuité de la transmission des efforts entre ce tirant principal et les 2 tirants partiels situés sur les travées latérales ;
- une section un peu faible pour les arbalétriers (14/14).

La conception du projet d'intervention doit toujours se fonder sur une bonne connaissance des causes des désordres et de la dégradation.

Après l'examen visuel minutieux, les charpentes ont été ensuite modélisées dans le logiciel de stabilité « Diamond » développé par *Build Soft* qui s'appuie sur la méthode de calculs des éléments finis.

Ce travail de modélisation est important et permet de déterminer le comportement et la manière dont sont sollicitées les pièces qui composent la charpente.

Le résultat de calcul de cette charpente soumise aux sollicitations du poids propre, des charges permanentes (couvertures de toiture, plancher sur travée centrale), des charges dues au passage (2 KN/m²), de la neige et du vent montrent la faiblesse des arbalétriers sur le versant sous le vent.

Conservation et restauration - proposition de solution :

L'objectif d'une intervention sur une structure du patrimoine architectural est de trouver le compromis le plus juste entre authenticité et sécurité de la structure. Les auteurs de projets, en référence à la charte d'ICOMOS – *principes pour l'analyse, la conservation et la restauration des structures du patrimoine architectural* – ont proposé de supprimer la dissymétrie constatée dans la transmission des efforts entre les entrails en rajoutant 2 UPN 180 de liaison entre l'entrait retroussé de la travée centrale et les 2 entrails secondaires des travées latérales. Il n'est pas prévu de remplacer les entrails.

Ce dispositif sera complété par l'ajout d'un plat métallique de 150 x 12 destiné à renforcer la liaison entre l'entrait retroussé et les petits entrails.

Les mesures préconisées présentent les avantages de respecter le concept originel, d'être réversibles et de ne pas dénaturer les qualités intrinsèques de la structure.



Charpentes historiques en bois De la construction à la restauration

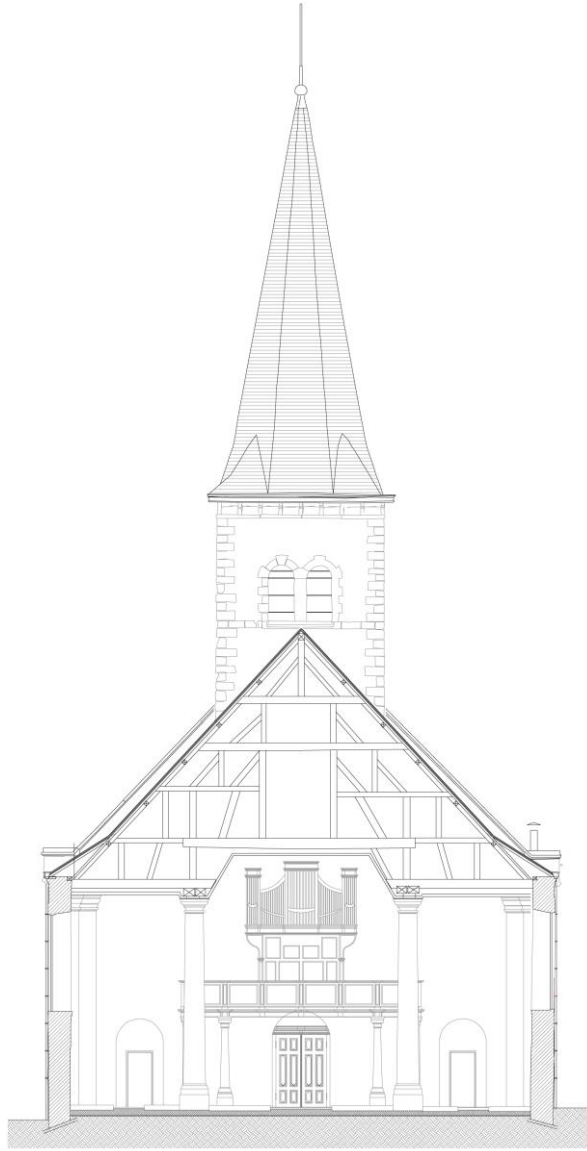


Illustration coupe Longitudinale





Illustration coupe transversale



COUPE AA



Charpentes historiques en bois De la construction à la restauration

Xavier TONON
Architecte
Architectes et Associés sa



Date de naissance : 30 octobre 1974.

Formations : 1999 Institut Supérieur d'Architecture Lambert-Lombard à Liège.
 2007 Formation Européenne de Spécialisation en Restauration du
 Patrimoine Architectural à l'institut Saint-Luc à Liège.

Fonction : Architecte collaborateur de AA s.a.

72

CURSUS PROFESSIONNEL

1999 Architecte stagiaire au bureau des architectes associés s.a.
2004 & 2009 Stages à la Paix Dieu – Stabilisation des ouvrages et Techniques de
 réception des pierres.
2011 Membre d'ICOMOS (International Council on Monuments and Sites).

EXPERIENCES PROFESSIONNELLES EN RESTAURATION DU PATRIMOINE (Extraits)

Cathédrale Saint-Paul | Liège
Restauration complète de l'édifice – monument classé – patrimoine majeur de Wallonie.

Abbaye du Val-Dieu | Aubel
Etablissement de la Fiche d'Etat Sanitaire (FES) – remplacement de châssis.

Eglise Saint-Jacques | Liège
Restauration complète de l'édifice – monument classé – patrimoine majeur de Wallonie

Eglise Saint-Jacques | Clermont
Restauration complète de l'église et de l'enclos paroissial – monuments classés.

Eglise Saint-Lambert | Soumagne
Restauration de la tour et de la toiture du chœur.



Yves JACQUES
Ingénieur civil architecte
Administrateur de AA S.A.

Date de naissance : 11 mai 1952

Formation : 1977 Ingénieur civil architecte – Université de Liège
1983 Certificat en physique du bâtiment délivré par l'Université de Liège

Fonction : Ingénieur civil architecte Administrateur de AA S.A.

CURSUS PROFESSIONNEL

1977 - 1978 Architecte stagiaire au bureau des architectes Barbason - Brévers
1982 Fondateur d'Architectes Associés S.A.
1992 Fondateur de Techniques Générales & Infrastructures S.A.
1998 Membre de la Chambre Provinciale de la Commission des Monuments Sites et Fouilles de Liège (CRMSF).
2003 Membre d'ICOMOS (International Council on Monuments and Sites).

73

EXPERIENCES PROFESSIONNELLES EN RESTAURATION DU PATRIMOINE (Extraits)

Cathédrale Saint Paul | Liège.
Restauration complète de l'édifice – monument classé – patrimoine majeur de Wallonie.

Opéra de Liège | Liège.
Agrandissement, restauration et remise aux normes du Théâtre Royal de Liège.

Eglise Saint Jacques | Liège.
Restauration complète de l'édifice – monument classé – patrimoine majeur de Wallonie.

Eglise Saint-Lambert | Soumagne
Restauration de la tour et de la toiture du chœur.

Eglise Saint-Jean l'Evangeliste | Beaufays.
Restauration complète de l'église et de l'orgue – monuments classés.



Catherine COLLET
Ingénieur civil architecte
Administrateur de AA S.A.

Date de naissance : 2 septembre 1963.

Formation : 1986 Ingénieur civil architecte – Université Catholique de Louvain.

Fonction : Ingénieur civil architecte - Administrateur de AA S.A. depuis 2008.

CURSUS PROFESSIONNEL

| | |
|-------------|--|
| 1986 - 1987 | Architecte stagiaire d'Architectes Associés S.A. |
| 2008 | Administratrice d'Architectes Associés S.A. et de TGI S.A. (Techniques Générales & Infrastructures S.A.) |

EXPERIENCES PROFESSIONNELLES EN RESTAURATION DU PATRIMOINE (Extraits)

Eglise Saint-Lambert | Soumagne.

Etude préalable de stabilité relative aux maçonneries et aux charpentes.

Hôpital Notre-Dame à La Rose | Lessines.

Mission complète d'étude et de contrôle relative aux travaux de stabilité du clocher.

Hôtel de Ville | Seraing.

Mission complète d'étude et de contrôle relative aux travaux de stabilité de la charpente.

Chapelle Templière | Haneffe.

Etude préalable de stabilité relative aux maçonneries et aux charpentes.

Forge Roussel | Florenville.

Mission complète d'étude et de contrôle relative aux travaux de stabilisation et de reconstruction de murs de soutènement.



Clara BERTOLINI CESTARI

Prof. Architecte
Politecnico di Torino
Dipartimento di Architettura e Design

Viale Mattioli 39, 10125 Torino, Italy
Ph. +390110906507, Fax. +390110906599
e-mail: clara.bertolini@polito.it

Analyse et évaluation d'interventions antérieures sur les charpentes historiques de la toiture du Château Valentino à Turin

Profile

Professor of Construction and Technology of Architecture (ICAR 12) at the Politecnico di Torino, professor of "Laboratory of Constructions" and of "Building Maintenance" in the Master Degree Courses in History and Conservation of Architectural and environmental Heritage and Architecture for Restoration.

•She is a Member of the PhD course in "Technological innovation for built heritage". •Tutor of the PhD research on "Nanotechnologies / nanosciences: from wood improvement to the reinforcement of timber and monitoring of interventions".•She teaches the II° level Master classes in "Conservation, Management and Valorisation of Industrial Heritage •Italian Co-ordinator of the international post-graduate Master course

"URBANWOOD ". For this international MSc Program, students share their time between the three participating universities in Dresden, Turin and Vienna. In particular Module 2 on "Restoration and Refurbishment of Wood-based Buildings" is co-ordinated by Prof. Clara Bertolini Cestari. <http://urbanwood.tuwien.ac.at>

•Lessons and workshops in the frame of the post-graduate Master course on "Knowledge, Conservation and Enhancement of Industrial Heritage" (coordinated by the University of Padua in collaboration with IUAV of Venice, University of Naples and Polito).

•She is responsible of the Erasmus Exchange Programme for the Faculty of Architecture of Politecnico di Torino; • Member of RILEM, Réunion Internationale des Laboratoires d'Essais et de Recherches sur les Matériaux et les Constructions, - Commission RILEM - TC 149- HTS: Diagnosis and repair of Historic load-bearing Timber Structures.

• Nominated by MIUR (Italian Ministry for University and Research) MC Member of EU COST Action FP1101 "Assessment, Reinforcement and Monitoring of Timber Structures" (2010-2013).

• She is a member of UNI SC10 Commission "Recommendations for structural restoration of civil works and architectural heritage".

• Member designed by the Ministry of Cultural Heritage of UNI-NORMAL GL20 "Legno e derivati" (Wood and its derivatives) Commission.

• Member of the Scientific Board of CTA (Italian Steel Technicians Council

•She has coordinated several research activities, among the main researches:

• Research contract between Politecnico di Torino and Soprintendenza per i Beni architettonici, per il paesaggio e per il patrimonio artistico e Demoetnologico di

• Venezia e Laguna on "Survey of the wood of the foundations of the bell-tower of Santa Maria Gloriosa dei Frari Basilica in Venice"



- Research contract between Politecnico di Torino and Soprintendenza per i Beni architettonici, per il paesaggio e per il patrimonio artistico e Demoetnologico di Venezia e Laguna on "Survey of the wood of the foundations of the bell-tower of of the Church of Santo Stefano in Venice"

1. RESUME AND SIGNIFICANT PUBLICATIONS

- Project First qualified at the public competition for projects and ideas: Urban requalification and transformation and re-use of the site of excotton factory Caselli in Chieri (2006). Member of the project group.
- Research contract between Politecnico di Torino and Soprintendenza per i Beni architettonici, per il paesaggio e per il patrimonio artistico e Demoetnologico di Venezia e Laguna on the evaluation of the state of conservation of the "Roof Timber structures of the Venice Arsenal".
- Research contract between Politecnico di Torino and the Arcibishop Administration of Vercelli on the evaluation of the state of conservation of the "Roof Timber structures of the Cathedral of Vercelli".
- Was project manager for Italy of the European Community project Raphael "Management of the European Wooden Building Heritage" (University of Oulu-Finland, National Board of Antiquities-Finland, VTT-Finland, NTUA-Greece, University of Gävle-Sweden).
- Was project-leader of the three years European Project "WoodenHandwork/Wooden Carpentry: European Restoration Sites" developed within the Culture 2000 EU Project (2000-2004) which entails the participation of nine member States (Finland, Sweden, Norway, France, Luxemburg, Belgium, Greece, Portugal, Italy) and 24 O.U. in Europe. A dedicated website was implemented for this project: www.culture2000-wood.org.
- She was responsible for the international research contracts with multinational bodies "Assessment of the thermo-hygrometric behaviour of typical Italian pitched roofing systems fitted with various types of under-tile membranes".
- Since 2005 she is national co-ordinator of a two-year research project in the frame of Programs of National Interests (PRIN) of the Italian Ministry of Scientific Research on the subject "Use of nanotechnologies in cultural heritage for the efficiency of maintenance systems in wooden built heritage: innovative technologies for restoration".
- Since 2007 she is Italian Co-ordinator of the international postgraduate Master course "URBANWOOD-
- Member of the Scientific Board of CTA (Italian Steel Technicians Council)
- Co-ordin., with Proff. Bardelli and Marchis of Polito, of the Project "The cement in the identity of Monferrato Casalese area" in the frame of an agreement between Polito and the Cultural Association "Il Cemento" and received co-funding of CRT-Foundation-Alfieri Programme.

2. RESUME AND SIGNIFICANT PUBLICATIONS

- Co-ordin. of agreements with the National Board of Antiquities of Venice for research projects on "Survey of the wood of the foundations of the bell-tower of the Church of Santo Stefano and of Santa Maria Gloriosa dei Frari Basilica in Venice and on "Roof Timber structures of the Venice Arsenal". (2000-2006)
- Co-ordin. of the research project, with agreement between Polito and the town of Chieri, on "Feasability project of the transformation of the ex-cotton factory Tabasso in Chieri" (2005).
- Coordinator of the project "Wood as a resource / Building in the wood" in collaboration with the Ragional National Park of Gran Bosco di Salbertrand (funded by Compagnia di San Paolo).



- National co-ordin. of the research project with the NTUA of Athens and the Greek Ministry of Culture on "Paleochristian-Mid Byzantine Basilica of Hagia Paraskevi in Halkida: Diagnosis, assessment and intervention proposals concerning the central timber roof". (2006-2007).
- Project funded by UNESCO for the rehabilitation of the great historic crane of the Venice Arsenal (2008-2009).
- Coordinator, in the frame of EU 7FP of the project proposals of "Nanotechnology/nanoscience for the safety of timber constructions: wood improvement and reinforcement, monitoring of interventions and maintenance" (2007) and "Nano/micro technologies: new materials in timber constructions for intelligent structures" • (2008). Project-coordinator Prof. Clara Bertolini Cestari. The project has positively passed the first stage of the evaluation process, but not the second one.

3. SELECTION OF SIGNIFICANT PUBLICATIONS

She has edited over 150 publications of which 53 have been published in the last years.

- C. Bertolini Cestari, S. Invernizzi, A. Spanò, M. Nicola, A. Torretta, T. Marzi, S. Cravanzola, F. Cesano, D. Scarano (2012) INNOVATIVE MODELLING, ASSESSMENT AND REINFORCEMENT: THE WOODEN DOME OF THE VALENTINO CASTLE IN TORINO. In: The Protection of Historic Load-bearing Structures and the Society. 14th edition of International Scientific Conference on Historic Structures, Cluj-Napoca, Romania, September 20-22, 2012.
- C. Bertolini Cestari, S. Invernizzi, A. Spanò, L. Mallamaci (2012) LASER MODELING AND STRUCTURAL ASSESSMENT OF A XVIIITH CENTURY WOODEN DOME. In: 8th International Conference on Structural Analysis of Historical Constructions, Wroclaw, Poland, October 15-17, 2012. pp. 2280-2287

4. RESUME AND SIGNIFICANT PUBLICATIONS

- Invernizzi S., Bertolini-Cestari C., Fioravanti M., Chiabrera E. (2012) Numerical modeling and assessment of the Ebe schooner-brig. In: INTERNATIONAL JOURNAL OF ARCHITECTURAL HERITAGE, vol. 6 n. 5, pp. 453-477. – ISSN 1558-3058
- Bertolini Cestari C., Biglione G., Cestari L., Corradino G., Crivellaro A., De Luca D., Marzi T., Panosch P., Pasquino R. (2011) Learning from a case-study: the great roof structures of the Cathedral of Vercelli. In: SHATIS'11 International Conference on Structural Health Assessment of Timber Structures, Lisbona (Portogallo), 16-17 Giugno 2011. pp. 77-78
- Bertolini Cestari Clara; Invernizzi S; Marzi T; Tulliani J.M (2010) Nanotechnologies / Smart-materials in timber constructions belonging to cultural heritage. In: WCTE, 11th World Conference on Timber Engineering, Riva del Garda (Italia), 20-24 June 2010. pp. 761-762
- Bertolini Cestari Clara (2009) Inspection, diagnosis methodologies and maintenance of ancient timber structures: case-studies in Italy. In: Structures en bois dans le patrimoine bâti. ICOMOS, PARIS, pp. 14-17.
- Bertolini Cestari Clara (2009) Wooden handiwork/wooden carpentry. In: Preserving our heritage, improving our environment. Cultural heritage research: FP5, FP6 and related projects / M. CHAPUIS; A. LYDON; A. BRANDT-GRAU. European Union Publication Office, LUXEMBOURG, pp. 242-243. ISBN 9789279090295



- Bertolini Cestari Clara, Lombardi C., Oliaro P., Evaluation of the Thermohygro-metric Behavior of Wood Roofing Systems with under Tile Membrane to ensure Durability, in "MATERIALS AND STRUCTURES", Volume 36, No. 262, 2003, ISSN: 1359-5997., pp. 541-547.
- Bertolini Cestari Clara, Marzi T., Seip E., Touliatos P. (editors), Interaction between Science, Technology and Architecture in Timber Construction, Elsevier, Paris 2004, ISBN: 2-84299-605-4.
- Bertolini Cestari Clara; Amorim Faria J.; Soikkeli A., European Timber Buildings as an Expression of Technological and Technical Cultures. ELSEVIER, PARIS 2002.
- Bertolini Cestari Clara, Wooden Hanwork/ Wooden Carpentry European Restoration Sites, Elsevier, Paris 2001.
- Bertolini Cestari Clara; Sokkeili A.; Touliatos P., European timber constructions, in Restoration of old and Modern Wooden Buildings in Management of the European Wooden Building Heritage, Raphael Project, OULU 2001
- Bertolini Cestari C., Touliatos P., Miltiadou N., Delinikolas N., Crivellaro A., Marzi T., Tsakanika E., Pignatelli O., Biglione G., "The timber roof of Hagia Paraskevi Basilica in Halkida, Greece: Multi-disciplinary methodological approaches for the understanding of the structural behaviour. Analysis and diagnosis" in "From Material to Structure: mechanical behaviour and failures of the timber structures", 16th Icomos International Wood Committee International Conference and Symposium, Florence November 2007.

5. SELECTED WORKS

Selection of PLANNING RESEARCH AND PROFESSIONAL ACTIVITIES in the filed of RESTORATION OF HISTORICAL TIMBER STRUCTURES BELONGING TO CULTURAL HERITAGE

- National coordinator of the international research project in collaboration with the Faculté Polytechnique de Mons (Belgium) and the Belgian Ministry of Cultural Heritage for the diagnosis and assessment of the state of conservation of the timber structures of the Cathedral of Tournai (Belgium) – UNESCO World Heritage List - in view of its restoration.
- National coordinator of the international Research Project in collaboration with National Technical University of Athens and Greek Ministry of Cultural Heritage on the "Paleochristian–Mid Byzantine Basilica of Hagia Paraskevi in Halkida : Diagnosis, assessment and intervention proposals concerning the central timber roof". The work consisted in the definition of the diagnostic activity on the complex of the XIVth century timber roof structure of the church of Hagia Paraskevi in Halkida (Greece), giving indications on the restoration and reinforcement interventions for this structural complex located in a highly seismic area (2006-2007).
- National coordinator of the international Research Project in collaboration with National Technical University of Athens and Greek Ministry of Cultural Heritage on the study of the timber roof structure of the Mosque in Didimoticho (Greece) in view of its restoration (2000-2002).
- Survey, diagnosis and restoration interventions on the timber roof structures of the Valentino Castle in Turin (Italy)
- Survey, diagnosis and restoration interventions on the timber roof structures of the Church of Salbertrand (Italy)
- Coordinator of the Research Project between Politecnico di Torino and Soprintendenza per i Beni architettonici, per il paesaggio e per il patrimonio artistico e Demoetnologico di Venezia e Laguna (Italian Ministry of Cultural Heritage) on "Survey of the wood of the foundations of the bell-tower of Santa Maria Gloriosa dei Frari Basilica in Venice" (2000- 2006)



- Coordinator of the Research Project between Politecnico di Torino and Soprintendenza per i Beni architettonici, per il paesaggio e per il patrimonio artistico e Demoetnologico di Venezia e Laguna (Italian Ministry of Cultural Heritage) on “Survey of the wood of the foundations of the bell-tower of of the Church of Santo Stefano in Venice” (2000-2006)
- Coordinator of the Research Project between Politecnico di Torino and Soprintendenza per i Beni architettonici, per il paesaggio e per il patrimonio artistico e Demoetnologico di Venezia eLaguna (Italian Ministry of Cultural Heritage) on the evaluation of the state of conservation of the great “Roof Timber structures of the Venice Arsenal” (2000-2008)
- Reasearch project funded by UNESCO for the rehabilitation and restoration of the great historic crane of the Venice Arsenal (2008-2009).
- Coordinator of the Research Project between Politecnico di Torino and the Arcibishop Administration of Vercelli (Italy) on the evaluation of the state of conservation of the “Roof Timber structures of the Cathedral of Vercelli” in view of its restoration.
- Coordinator of the research project for the evaluation of the state of conservation of the timber roof structure of the Porta Nuova Railway Station in Turin (Italy) (2012-2013)

6. SIGNIFICANT PROJECTS

Prof. Arch. CLARA BERTOLINI CESTARI

•Project location: Tournai (Belgium)

•Date: 2002-2003

•Client: Belgian Ministry of Cultural Heritage

•International Research group: Politecnico di Torino (coord. Prof. Bertolini Cestari),
Faculté

Polytechnique de Mons (Belgium), CNR-IVALSA

•Type of work conducted by the group coord. by Prof. C. Bertolini: diagnosis and assessment of the overall timber roof structures in view of the restoration intervention

•Brief description: The Cathedral of Notre-Dame in Tournai is registered by UNESCO on the World Heritage list since year 2000. With a a length of 136 mt., a width of 66 mt. and 5 clocktowers, it is one of the most impressive monument in Belgium. The cathedral was subject to important work of restoration and consolidation. Studies have been carried out at the structure level as well as archaeological investigation commissioned to Belgian and other European experts. Specialised staff members were chosen for the study and assessment of the transepts, apse, 4 towers and the lantern tower, possibly the most ancient bell tower structure in Europe. The international team of experts, involving among others architects, engineers, and wood technicians have determined the state of conservation of the structure and identified what options had to be taken regarding restoration.

TIMBER ROOF OF THE CATHEDRAL OF TOURNAI

(Belgium)

interventions for the restoration and conservation

7. SIGNIFICANT PROJECTS

Prof. Arch. CLARA BERTOLINI CESTARI

Project location: Halkida (Greece) Date: 2006-2007

Client: Hellenic Ministry of Culture (Directorate for Thechnical Research on Restoration and 1st Ephorate of Byzantine Antiquities)

International Research group: Politecnico di Torino (coord. Prof. Bertolini Cestari), National Technical University of Athens (Greece)

Type of work conducted by the group coord. by Prof. C. Bertolini:



Diagnosis, assessment and intervention proposals concerning the central timber roof

•Brief description:

The activity involved an international team of architects, civil engineers, architecture historians, technologists, dendrochronologists to determine the structural behaviour of an extraordinary timber roof structure. The activity that has been carried out at international level for the specific characteristics of the structure recalls in its forms, materials, decorations, and of the Venetian typology.

The work can be subdivided in main activities:

- diagnosis and assessment of the components and connections of the timber structures
- overall assessment and estimation of the structural efficiency of the elements and connections of the roof timber structure.
- proposals of restoration and reinforcement interventions

For this study have been involved the the Hellenic Ministry of Culture (Directorate for Thechnical Research on Restoration and 1st Ephorate of Byzantine Antiuqities), the Venetian National Board of Antiquities, the National Technical University of Athens and the Politecnico of Turin.

TIMBER ROOF OF THE BASILICA OF HAGIA

PARASKEVI IN HALKIDA (Greece)

interventions for the restoration and conservation

8. SIGNIFICANT PROJECTS

Prof. Arch. CLARA BERTOLINI CESTARI

•Project location: Torino (Italy) •Date: from 1989

•Client: Politecnico di Torino

•Research group: Politecnico di Torino (coord. Prof. Bertolini Cestari)

•Type of work conducted by the group coord. by Prof. C. Bertolini: diagnosis and assessment of the overall timber roof structures, interventions of restoration and conservation

•Brief description: The work starts from the analysis of biodeterioration and biodegradation of historical wood belonging to monumental architectures. The structural investigation carried out was aimed at verifying the load-bearing capability and general deformation of the truss structure. In the late 1980s a conservative action was needed because a scarce maintenance through the years have caused damage which could have compromised the conservation of this timber structure. During the restoration a particular caution was needed because of the historical relevance of the building as an UNESCO listed site and in order to preserve as much as possible the original carpentry. In the organization of the building site two different phases have taken place, involving first the exterior of the tower and then all the interventions inside the roof. The main conservative intervention is meant as a reinforcement of the structural system using wood products.

The project was designed by Prof. Clara Bertolini from Politecnico di Torino.

TIMBER ROOF OF THE VALENTINO CASTLE (Italy)

interventions of restoration and conservation

9. SIGNIFICANT PROJECTS

Prof. Arch. CLARA BERTOLINI CESTARI

•Project location: Salbertrand (Italy)

•Date: 2000

•Client: Municipality of Salbertrand

•Research group: Politecnico di Torino (coord. Prof. Bertolini Cestari)



- Type of work conducted by the group coord. by Prof. C. Bertolini: diagnosis and assessment of the overall timber roof structures, definition of the restoration intervention, works of restoration
- Brief description: The Church of San Giovanni Battista of Salbertrand dates back to XVIth century and constitutes one of the most interesting example of religious architecture of Susa Valley. The church was subject to important work of restoration and consolidation. Studies have been carried out for the study and assessment of the conservation state: geometrical survey, structural evaluation, diagnosis on timber structures, identification of wooden species, dendrochronology. The first assessment phase was followed by the second phase involving the definition of the restoration and reinforcement interventions and by the execution of the works.

TIMBER ROOF OF THE CHURCH OF SALBERTRAND (Italy)
interventions for the restoration and conservation

10. SIGNIFICANT PROJECTS

Prof. Arch. CLARA BERTOLINI CESTARI

- Project location: Venice (Italy)
- Date: 2000-2008
- Client: Soprintendenza per i Beni architettonici, per il paesaggio e per il patrimonio artistico e Demoetnologico di Venezia e Laguna (Italian Ministry of Cultural Heritage)
- Research group: Politecnico di Torino (coord. Prof. Bertolini Cestari), Soprintendenza per i Beni architettonici, per il paesaggio e per il patrimonio artistico e Demoetnologico di Venezia e Laguna
- Type of work conducted by the group coord. by Prof. C. Bertolini: diagnosis and assessment of the timber roof structures and restoration intervention

•Brief description: The Venice Arsenal, with its 48 acres of extension and a history that goes back more than 800 years, is an extraordinary subject of study of constructivetechniques and of experimentation in thedevelopment of restoration methods. The wooden covering systems in particular are the most precious example we have of almost 700 years of building technology, that was strictly linked to and influenced by the development of the naval shipbuilding industry. Since 1983 the VeniceSuperintendency has been working and investing many resources on a program of study of the Arsenal, concentrating above all on the roof's structures. An important results of the study has been given by the restoration works on the wooden structures of the "tesa" of the Isolotto, built in the 14th century. These are the oldest structures of the whole building, and still maintain the original constructive characteristics. Restoration works carried out on the trusses of the Isolotto and of the relative study to develop a model in the preservation, diagnostics and individuation of the wooden structures.

TIMBER ROOFS OF THE VENICE ARSENAL
(Italy) interventions for the restoration and conservation
11

11. SIGNIFICANT PROJECTS

Prof. Arch. CLARA BERTOLINI CESTARI

- Project location: Torino (Italy)
- Date: 2012-2013
- Client: Grandi Stazioni. Gruppo Ferrovie dello Stato
- Research group: Politecnico di Torino (coord. Prof. Bertolini Cestari)
- Total project value: 700.000 Euro
- Type of work conducted by the group coord. by Prof. C. Bertolini:



diagnosis and assessment of the overall timber roof structures in view of the restoration intervention• Brief description: Torino, in 1861, was the first capital of the just unified Reign of Italy. In the same year, Eng. A. Mazzucchetti was charged for the design of the railway station of Porta Nuova in Torino, in correspondence of the arrival of the railway connecting Genova. The design and construction of the station deserved contributions from the most outstanding scientists of that time. The two main branches were conceived with masonry bearing structure and a wide span timber roof covered with stone plates. The station, during the years, was object of several interventions, including restorations, dismantling of parts, and changes in the destination of use. Nowadays, the roof structure needs for important maintenance interventions due to the water leaking which caused the deterioration of the beneath timber structure. The present holders are considering the restoration of the entire roof. The study carried out describes the correct and sustainable approach for the structural assessment, restoration and maintenance program for the preservation of this important structure belonging to cultural heritage.

TIMBER ROOF OF PORTA NUOVA RAILWAY STATION

(Italy)

interventions for the restoration and conservation

12. SIGNIFICANT PROJECTS

Prof. Arch. CLARA BERTOLINI CESTARI

•Project location: Torino (Italy)

•Date: 20009-2008

•Client: SACE

•Research group: Politecnico di Torino (coord. Prof. Bertolini Cestari)

•Type of work conducted by the group coord. by Prof. C. Bertolini: diagnosis and assessment of the overall

timber roof structures in view of the restoration intervention

•Brief description:

The work was carried out on an important roof structure that was designed in 1950 by the famous Eng. Guglielmo Giordano for the roof structure of an industrial building located in Torino. Giordano was one the leading experts of timber technology in Italy. In the SACE building he experimented an innovative roof structure to cover a big industrial hall (40 x 60 mt), realising 4 roof structures of 10 mt span. The work can consisted in different activities:

- structural and technological survey
- diagnosis and assessment of the components and connections of the timber structures
- overall assessment and estimation of the structural efficiency of the elements and connections of the roof timber structure-proposals of restoration and reinforcement interventions
- restoration interventions

TIMBER ROOF OF SACE industrial building (Italy)

interventions for the restoration and conservation

13. SIGNIFICANT PROJECTS

Prof. Arch. CLARA BERTOLINI CESTARI

•Project location: Vercelli (Italy)

•Date: 2008-2008

•Client: Ufficio Beni Culturali, Arcidiocesi di Vercelli

•Project area: 3.800 sq. m. of timber roof

•Total project value: 2.000.000 Euro



- Type of work conducted by the group coord. by Prof. C. Bertolini: diagnosis and assessment of the overall timber roof structures

- Brief description:

The great timber roof structures of the Cathedral of Vercelli offer an extraordinary path of knowledge,

diagnosis and conservation, through a collaboration between the architects of the Cultural Heritage Office of the Diocese of Vercelli – responsible for the restoration process – and experts in the field of timber structures. The interest of the architectural complex is witnessed also by the contribution of renewed architects of Piedmont between the XVIth and XIXth centuries. The work goes beyond the diagnostic evaluation, giving an overview on the main consolidation interventions respectful of the conservation of the timber structure.

TIMBER ROOF OF THE CATHEDRAL OF VERCELLI
interventions for the restoration and conservation

14. METHODOLOGICAL INTRODUCTION

The need for structural assessment can arise from multiple motivations such as performance reports to address structural adequacy and historic preservation. The time and cost of inspections is justified with the assurance of safety gained, the protection of capital investments and minimization of costs involved with maintaining the structure.

For historic structures, **quality assessments** of members allow for the maximum retention of original material. The preservation of original structural fabric and associated construction conserves both the cultural significance of the building including architectural qualities and building techniques and the historic and socially important aspects associated with the structure.

Furthermore, gaining additional understanding of building material durability, capacity, behavior and use, as well as building techniques and craftsmanship from existing structures provides knowledge that can be applied to present-day construction. A quality assessment begins with the assessment of the members and components that make up the structure as a whole. A **visual inspection** of the member under consideration is performed and naturally occurring characteristics and deterioration are inventoried. Natural characteristics include features such as knots, slope of grain and seasoning checks while deterioration includes damage from insect infestation or fungal decay and potential damage due to progressive failure. After the visual inspection, **in situ grading** provides a structural grade based on the size, number and location of growth characteristics according to the member's size and structural use. **The structural grade is assigned to a section without the portion decayed by biotic agents.** A common practice in evaluating and assessing timber members in existing structures, in situ grading allows for the assignment of structural grades through the application of **grading rules**. Grading rules are published by a variety of organizations and written for different species and regions. Grading organizations that write grading rules and the grading rules themselves are certified and monitored by different national standardization bodies that are typically coordinated at an international level, such as the CEN in Europe. After establishing the member grade with appropriate grading rules, design values for visually graded timber published at national level, e.g. National Design Specification (NDS) for Wood Construction are referenced to establish mechanical property design values. All of the reference design values are categorized by species, size and grade. Strength ratios and adjustment factors are based upon natural characteristics present within the material, environmental conditions and the intended structural use. This practice of reducing clear wood values is based on extensive research including tests of small clear specimens and of full-sized members as well as detailed studies of strength and



variability of clear wood and the effect of various factors and defects on those properties. There are several drawbacks associated with this type of assessment and assignment of design values to in situ timbers. Not only do current inspection techniques and in situ grading run the risk of underestimating individual member properties, member capacities can also be overestimated if areas of deterioration are not located and the extent of the deterioration quantified. Detection and quantification of biotic deterioration is difficult or even impossible through visual inspection. Biotic deterioration refers to the damage caused by the attack of living agents such as bacteria, fungi, or insects. Loss in weight, stiffness and strength can occur before decay can be visually detected. Mechanical properties can be reduced by 10% before any visual indicators are present, and when a weight loss due to decay of only 5-10% is detected, the loss in mechanical properties can be as large as 80%. The assessment of in situ timber members can be improved in two ways: by gaining more accurate estimates of individual member strengths and by locating and quantifying deterioration. For this study, several techniques were researched and applied to members to predict individual member strengths or locate and quantify deterioration. This work includes a description of the **nondestructive and semi-destructive testing methods** investigated, details of testing, results and a discussion of the findings.

significant projects

Prof. Arch. CLARA BERTOLINI CESTARI
TIMBER ROOF OF THE CATHEDRAL OF VERCELLI
interventions for the restoration and conservation

15. RESISTOGRAPHIC DRILLING

The most common damage to timber members comes from deterioration which can inflict internal damage without surface indicators until the damage is considerable and severe. Resistance drilling is a semi-destructive method that inflicts minimal damage to the member surface while giving information on the internal condition of timber members. Resistance drilling has been used in many applications including tree growth and health investigations, bridge and building investigations, and in the termite and pest control industry.

Equipment

Resistance drilling offers a non-destructive means of analyzing the quality of the interior material in wood members. Resistance drills use small diameter (1.5-3.0 mm [0.6-0.12 in]) needle-like drills to bore into timber members and measures the resistance the drill bit encounters as a function of the penetrated depth. Resistance drills have electric motors and are battery operated, offering portability for field investigations. Drill bits are flexible, tungsten steel-tipped needles that will vary in length depending on manufacturer. The needle has to be replaced after 50 to 100 drillings, depending on manufacturer and use. The drill bit is advanced and rotated at a constant speed throughout the drilling. The torque required to maintain the constant cutting speed corresponds to resistance and is recorded and graphed with respect to the penetration depth. Graphing of resistance data can be done with paper strips, wax paper, or recorded and stored electronically on computer. Peaks in drilling plots correspond to higher resistance or density, while dips and low points are associated with lower resistance and density.

significant projects
Prof. Arch. CLARA BERTOLINI CESTARI
TIMBER ROOF OF THE CATHEDRAL OF VERCELLI
interventions for the restoration and conservation



16. RESISTOGRAPHIC DRILLING

Application

Resistance drilling is used to locate and quantify deterioration in wood members. Resistance observed while drilling is proportional to density variations, or relative densities, of the timber member. Less drilling resistance requires less torque production by the motor. Areas requiring less torque are associated with reduced density such as points with interior voids, deterioration, splits or cracks. Insect damage will also present distinct drilling patterns. As insects, such as termites, target different parts of wood, they leave some areas intact and others void. Drill plots will show repeating spikes in resistance as the drill passes through the sound wood left behind and the voids resulting from the insect infestation. High correlations between resistance drilling and gross density can be achieved. The profiles of current devices is printed with respect to drilling depth in a resolution of up to 1/100mm and achieves correlations of even $r^2 > 0.9$ between mean resistance value and gross density of the penetrated wood. Resistance drilling only delivers reliable results, if applied at the appropriate point, in the correct way and if interpreted regarding wood anatomical properties of the wood. Due to growth ring structure, beams of ring

porous species have a higher density in the center. Conifers are mostly softer inside, thus the profiles drops should not be misinterpreted as incipient decay. With some resistance drills the user has to select the drilling speed regarding the density of the wood. Selection of the optimum drilling speed is a critical point and requires experience. High-resolution drill versions maximize their drilling speed automatically during drilling. In “soft” density wood, the needle penetrates with maximum speed, in “hard” wood it slows down. These drilling machines pull the needle back automatically if it reached maximum penetration depth, and, in addition, the obtained values are calibrated to the same scale and enables the user to compare profiles derived from different species. Resistance drilling can, however, be used to estimate mechanical properties of members based on the quantification of deterioration and basing calculations on the remaining sound material and information on clear strength that can be estimated with other nonand semi-destructive testing. significant projects

Prof. Arch. CLARA BERTOLINI CESTARI
TIMBER ROOF OF THE CATHEDRAL OF VERCELLI
interventions for the restoration and conservation
17

17. MOISTURE MEASUREMENT

Elevated moisture content of members can affect the results of nondestructive and semidestructive testing, particularly stress wave behavior. Moisture content also has a surprisingly strong influence on mechanical properties and should be considered when inspecting in situ members. Moisture infiltration in structural systems is a common source of damage to structural materials and moisture measurements can help to identify water infiltration paths as well as locate areas that may need further investigation to assess damage and material condition associated with elevated moisture exposure. These factors should be considered during in situ assessments and moisture measurements can be used to aid in nondestructive and semi-destructive investigations.

Equipment

Oven drying of wood specimens is the traditional method of measuring moisture contents; however this method is not suitable for in situ investigations and therefore hand held moisture meters are commonly used. Substantial data for wood exists to calibrate moisture meters, allowing moisture content to be quantified from meter readings based on wood species and temperature. Quantified moisture readings represent the water weight in the member as a



percentage of the oven dry weight of the member. Moisture meters can be described and grouped by the principles on which they operate; resistance, capacitance, voltage, microwave, or thermal methods. Resistance methods utilize the electrical resistance of the material, capacitance methods measure radiofrequency power loss, and voltage methods measure moisture in terms of a DC voltage across a known resistor. Microwave methods also utilize radio-frequency power loss but at higher frequencies, and thermal methods are based on temperature change associated with moisture content changes. In situ member assessments are generally intended to evaluate current structural conditions and are not intended as long term monitoring exhibitions; therefore hand held moisture meters are most often employed and discussion will be limited to these devices. Hand held moisture meters utilize the electric properties of materials to measure moisture content and are most commonly of the resistance and capacitance type. Resistancebased moisture meters are employed in probe-type or pin meters while capacitance methods are applied with surface or pin-less meters. significant projects

Prof. Arch. CLARA BERTOLINI CESTARI

TIMBER ROOF OF THE CATHEDRAL OF VERCELLI

interventions for the restoration and conservation

18. DENDROCHRONOLOGY

Dendrochronology is an accurate and precise method for dating wooden artifacts that in specific cases can provide the year or even the season in which the parent trees were felled. This method that was developed by the American astronomer A. Douglass at the beginning of the last century is utilized in the Cultural Heritage profession in Europe and in North America and recently in Asia. Dendrochronological dating offers an important tool for reconstructing the history of ancient architecture and construction, and the comprehension of its evolution. The results of these investigations are of great value not only for historical studies but also for preservation, restoration and consolidation purposes. In fact, knowing the dates of the various components in a building allows investigators to assess different intervention methods according to the date of construction. Recently a technical standard, the UNI 11141:2004, was published in Italy by the UNINormal Working Group 20. In this document, some guidelines for dendrochronological dating of wood in Cultural Heritage sites are proposed. To better understand the outcomes of these investigations, a brief introduction on general principles and procedures is presented, followed by a summary of different aspects of dendrochronological dating as applied to historic timber structures.

Equipment

Dendrochronological analyses are normally done by measuring tree-ring width on the cross-section (end grain) of a timber. For historic timber structures, generally one or two cores that can be accurately studied in the laboratory are extracted from each selected element by means of an electric or manual increment corer. The core produces a hole approximately 10 mm to 15 mm in diameter, depending on the specification of the corer. Areas without knots or visible defects are most suitable for coring, starting from the edge and attempting to reach the axial centre so as to obtain the longest possible ring sequences. In the rare cases in which some elements have to be replaced during repair works, slices with 5 to 10 cm thickness can be cut from the timbers. For end sections of timbers, measurements can be made in situ by using a magnifying glass with a graduated scale after adequately preparing the surface along the selected measuring direction. If the tree-rings are clearly visible on a cross-section or radial section, other types of non-destructive sampling methods can also be carried out. significant projects interventions for the restoration and conservation



Prof. Arch. CLARA BERTOLINI CESTARI
TIMBER ROOF OF THE CATHEDRAL OF VERCELLI

19. DESCRIPTION OF THE EXISTING

CONDITIONS

The technological-structural survey must identify and understand the reference system through the complete analysis of the building's characteristics and structural subsystems. This activity represents a "redesign" of the structure with the goal of understanding the system from structural point of view. Such understanding is essential for potential future remediation work and/or alterations if necessary or permitted. The survey is a complex information system that includes observations, understanding of the structure, measurements, interpretation and, graphic representation of the object. Geometry and morphology of the investigated structure represent the initial data set that is used as a framework for subsequent data organization. The initial survey must include:

- photographic survey of all the elements and all the structural connections;
- identification of structural typologies;
- graphic representation of the building details drawn to a scale;
- dimensions of all elements and relationships between them;
- representation of the data as an abacus;
- overlapping on the abaci of the obtained data with the results of the in-situ inspections and drawings of the thematic and synthesis

charts. Properly organised and performed survey and graphic representation are necessary for a successful on-site diagnosis and design of an eventual restoration plan. The survey described above provides fundamental information about the investigated system that must be complemented by complete identification of details and connections. The typologies of connections (such as mortise and tenon, dovetail, half wood, mechanical fasteners, etc.) and relevant dimensions must be documented. The structural geometry survey is then complemented by results of the physical and biological survey that includes species identification, defects (nature, position and dimensions), biotic attack (nature, extension and position), and structural damages.

IDENTIFICATION DATA OF THE STRUCTURE

Date of inspection

3rd/4th /12th Dec. 08, 6th/9th Mar. 09, 6th/12th May 09

Place Vercelli - Italy

Site Dome Vercelli

Team Prof. Clara Bertolini Cestari (Co-ordinatore), Arch. Gianoreste Biglione, Dott. Alan Crivellaro (CNR-IVALSA), Luciana Cestari (restauratrice), DI. Pia Panosch, Arch. Daniele De Luca

Evaluation of the conservation state of the wooden material and of timber joints

Tie-beam

From fungi Fungi is present. It interests the superficial part of the element for about 1cm depth on each side. Biological decay From insects Absent Joints Weak (intervention necessary) Ring-shakes No signs (absent) Defects Twist deviation of the fibre direction Wooden species Oak Humidity 18 % Water infiltration visible N and S side 30 x 30 cm Section Rectangular Bevel Bevel and deviation of the fibre direction Average dimensions of the element Geometric peculiarity



Deformations Slightly deformed Other characteristics The state of the truss is critical, because the joint (bottom chord - top chord) doesn't work anymore. Water infiltrations provoked grow of

fungi (Xilofagi), which caused a heavy degrade at the final part of the bottom chord (point of support on the wall). The bottom chord (tie beam) enters on both sides (N and S) 75cm into the wall.

Resistographic profiles

Data Profile N° from Direction Observations

Rafter North Side

From fungi Fungi is present in the Biological superficial part of the element. decay From insects Absent Joints Moderate (connection tie beam) Better (connection king beam) Ring-shakes No signs (absent) Defects Twist No signs (absent) Wooden species Oak Humidity According to the surrounding air about 16% 27 x 21 cm Section Rectangular Bevel Average dimensions of the element Geometric peculiarity Deformations Nothing found Other characteristics Knots, but generally in a good condition

I ° b

significant projects

Prof. Arch. CLARA BERTOLINI CESTARI

TIMBER ROOF OF THE CATHEDRAL OF VERCELLI

interventions for the restoration and conservation

20. DESCRIPTION OF THE EXISTING

CONDITIONS

Objectives of the Inspection

The inspection must evaluate the original characteristics of each timber member and modifications that each member underwent during its service life. The collected information must include (standardize lists/bullet points and punctuation used):

- wood species;
- wood moisture contents and moisture gradients;
- class of biological risk, according to EN 335-1 and EN 335-2;
- geometry and morphology timber members indicating position and extension of defects, decay or possible damage;
- position, shape and dimension of critical area and critical cross-section;
- strength grading of the wood member and/or member in critical areas.

To conduct the inspection correctly, the object must be accessible, clean and visible.

Rafter South Side

From fungi Present in Biological the part inside the masonry. decay From insects Absent Joints Weak (connection tie beam) Better (connection king beam) Ring-shakes No signs (absent) Defects Twist No signs (absent) Wooden species Oak Humidity 16 % Water infiltration visible 27 x 27 cm Section Rectangular Bevel Average dimensions of the element Geometric peculiarity Deformations Bevel Other characteristics

Bevel, generally in a moderate condition

King Beam

Biological From fungi Present in the part inside the masonry.

decay From insects Absent significant projects interventions for the restoration and conservation

Prof. Arch. CLARA BERTOLINI CESTARI

TIMBER ROOF OF THE CATHEDRAL OF VERCELLI



21. DESCRIPTION OF THE EXISTING CONDITIONS

Procedure

The procedure involves the species identification, non-destructive moisture content measurements via, and determination of biological risk according to standards. The geometric survey must include structural system and individual member characteristics (such as position of the pith, growth irregularities, type, length and position of defects), and any other information necessary for estimating the mechanical characteristics of investigated individual elements. In order to evaluate the mechanical performance of each timber member a “critical area” must be identified. The critical area is defined as “part of a wood element with longitudinal axes no less than 150 mm, which is considered to be relevant because of defects, position, state of conservation and stress conditions that are determined by static analysis”. Critical areas are then used to apply grading rules and determine the grade of the structural member. Visual grading can only be used if the investigate element (such as a beam or column) is visible. If there is no access to a structural member, other investigative methods such as those described in this report must be used. The methods must be non-invasive so that structural and non-structural characteristics are not compromised. The following general criteria need to be applied during grading:

- grade the entire wood member and if necessary, identify each critical area separately;
- account for potential lack of full access impairing the ability of inspecting the entire member surface area;
- if an alteration occurs due to mechanical damage or localized biological decay (rot, insect attacks found on the surface) use the efficient section only; significant projects

Prof. Arch. CLARA BERTOLINI CESTARI
TIMBER ROOF OF THE CATHEDRAL OF VERCELLI
interventions for the restoration and conservation

22. THEMATIC MAPPING

significant projects

Prof. Arch. CLARA BERTOLINI CESTARI
TIMBER ROOF OF THE CATHEDRAL OF VERCELLI
interventions for the restoration and conservation

23

CODES AND STANDARDS

International standards

Despite relatively large numbers of technical papers, few international standards related to in situ evaluation of timber exist. At an international level the standard ISO 13822 “Bases for Design of Structures - Assessment of Existing Structures” is the closest to this topic. The introduction states: “This document is intended not only as a standard of principles and procedures for the assessment of existing structures but also as a guide for use by structural engineers and clients. Engineers can apply specific methods for assessment to save structures and to reduce a client's expenditure. The goal is to limit construction intervention to a strict minimum, a goal that is clearly in agreement with the principles of sustainable development.” Clearly, the adaptability of this standard to the in situ evaluation of timber members is only partial. The standard is intended for all types of existing structures and materials (steel, concrete, masonry and timber). The standard focus is safety, economy and in situ evaluation of historic timber structures and focuses on conservation of cultural heritage (“This International Standard is applicable to historical



structures, provided additional considerations are taken into account concerning the preservation of the historical appearance of the structure and the preservation of its historical materials”).

CEN, the European standardization body, started the activity on the cultural heritage topic at the end of 2004 (TC 346 – Conservation of cultural properties), but no standards have been produced and no research on in situ evaluation of timber elements has been published.

Italian standards

At a national level, Italy has a complete series of standards regarding the approach to the wooden artifacts, including timber structures, belonging to cultural heritage sites. establishes requirements for conservation, maintenance and restoration of wooden artifacts that are a part of Italy's cultural heritage program. This standard defines essential criteria that must be followed when carrying out interventions. It is applicable for all types of wooden artifacts including timber structures. The following items are covered by the document mentioned above: historical documentation; chronological documentation of interventions and changes; object description and photographic documentation; graphical representation; object dating; description of used methodology; wood species identification; environmental thermo-hygrometric conditions and moisture content of wood documentation; description of the environmental thermohygrometric conditions after intervention; condition diagnosis of all wood components, and classification and quantification of potential decay. These eight points can be separated into two groups: the description of the present state (historical documentation, description, survey and graphical representation of the object, and dating), and diagnosis of the elements (wood identification, dating, existing and future environmental conditions). In the US, no standards specific to in situ evaluation of timber exist. The ASCE Standard covers the most fundamental aspects of evaluation of existing buildings but does not offer enough information to be of any practical

significance. Material-specific codes are used to establish, for example, moisture contents, density or some mechanical properties but these codes are only applicable if prescribed specimens can be extracted from the structure.

significant projects

Prof. Arch. CLARA BERTOLINI CESTARI

TIMBER ROOF OF THE CATHEDRAL OF VERCELLI

interventions for the restoration and conservation

JOURNÉE D'ÉTUDE

**CHARPENTES
HISTORIQUES EN BOIS
DE LA CONSTRUCTION
À LA RESTAURATION**



Wallonie



COMITÉ ORGANISATEUR

Institut du Patrimoine wallon
Jacques Barlet / Sandrine Mathot / Stéphanie Bonato
Rue du Lombard, 79
5000 Namur

Pour tous renseignements, s'adresser à Sandrine Mathot
(081 / 654 864 ou charpentes2014@idpw.be)

FABI Comité Patrimoine et Histoire
Michel Provost / Bernard Espion
Rue Hobbema, 2
1000 Bruxelles