

FONTES, FERS ET ACIERS
DANS L'ARCHITECTURE

Étude, détection et conservation
des métaux ferreux dans les bâtiments



NANCY
16-17 et 18 novembre 1995

LE FER DANS LA RESTAURATION AU XIX^e SIÈCLE

*Fontes, fers et aciers dans l'architecture,
Étude, détection et conservation des métaux ferreux dans les bâtiments*

Nancy 16-17 et 18 novembre 1995

Les cahiers de la section française de l'Icomos, n°17,
Section française de l'ICOMOS, 1997

Le fer dans la restauration au XIX^e siècle

Poser la question de l'emploi du fer dans la restauration au XIX^e siècle, revient à s'interroger sur la manière dont les restaurateurs ont réagi à la modernité et au progrès technologique.

Le débat qui a traversé le XIX^e siècle, a dépassé la simple question du matériau lui-même pour se superposer à une réflexion sur la nature de l'ouvrage médiéval défini par son mode de couverture voûté. Une recherche sur le fer au XIX^e dans la restauration pourrait s'intituler "débat sur la signification du tirant".

Par opposition au débat doctrinal, "ce tirant peut-il être médiéval ?", l'emploi du métal s'est progressivement déplacé dans les combles de la cathédrale où a pu s'exprimer la recherche technologique.

Ces chantiers du métal permettent d'évoquer l'hypothèse de la constitution progressive d'une école de la restauration en fer, en France, à son apogée dans le dernier quart du XIX^e siècle.

LA PREMIÈRE MOITIÉ DU XIX^e SIÈCLE

L'héritage classique

L'emploi du métal, qualifié d'ouvrage de serrurerie, appartient au savoir-faire du chantier classique, dont témoignent les traités d'architecture du XVIII^e siècle et qui en assurent la transmission aux maîtres d'œuvre du XIX^e siècle.

Le fer peut être employé à la fois comme ouvrage de stabilité ou tirant, et comme élément intégré aux charpentes. A titre d'exemple, on peut citer l'art du serrurier, de la description des arts et métiers, par Duhamel du Monceau, 1767, qui offre, au chapitre "Des gros ouvrages en fer pour la solidité des bâtiments", un inventaire quasi-systématique des modèles de tirant témoignant de la maîtrise de leur emploi.

Ouvrage contemporain "Le cours d'architecture" de J.F. Blondel, 1771-1777, illustre le chapitre "Charpente" d'exemples de fermes associant le bois et le métal employé en renfort d'assemblage (comble de l'église Saint-Roch).

Le recours au métal-tirant et charpente devenu systématique

Malgré l'absence d'inventaire portant sur l'identification de tirants et charpentes à composants de fer, mis en œuvre à l'occasion de chantiers de restauration datables de la première moitié du XIX^e siècle, une tendance forte peut être reconnue.

Les témoignages du recours au fer devenu quasi systématique peuvent être recueillis dans les nouveaux traités de serrurerie publiés dans les années mille huit cent quarante, dans les nouveaux chantiers de construction d'édifices néo-gothiques qui entretiennent un rapport étroit avec le chantier de restauration d'édifices médiévaux, et enfin dans les chantiers de restauration eux-mêmes.

Les traités de serrurerie

Les traités de serrurerie, suivant un canevas commun à tout ouvrage de mise en œuvre, s'articulent entre une partie strictement technique orientée vers les nouveautés, témoin de l'essor technologique du fer, et une partie d'actualité illustrée de chantiers employant ces nouveaux savoir-faire.

Chez Emile Lecomte, *Choix de nouveaux modèles de serrurerie*, 1836, apparaît la nouvelle "poutrelle composée" ou "double", première poutre treillis triangulée par un fer en arc-segment (ill. 1), utilisant les qualités de la fonte de fer au travail en compression. L'emploi de la "poutrelle composée" est proposé en restauration par Ch. Eck dans le *Traité de l'application du fer, de la fonte et de la tôle dans toutes les constructions*, 1841. Le "projet de consolidation de l'église de N.", église basilicale, prévoit le renforcement de toutes les parties de bois : l'entrait de la ferme est suspendu par des "cordes en fer tréfilé", les architraves de bois, entre piles, sont remplacées par un frettage de "fermes doubles" (ill. 2 et 3).

Le chantier néogothique

Les nouveaux chantiers d'édifices néo-gothiques, expérimentation de la forme médiévale, témoignent également de ce recours au métal, souligné par Paul Léon en 1917 dans *Les Monuments Historiques, conservation-restauration* : "l'emploi du chaînage est devenu si normal qu'en 1841 la commission chargée d'examiner les plans de Sainte-Clotilde exige des tirants en fer". Leur absence dans le projet de l'Architecte Gau en justifiera le refus par le conseil des bâtiments civils de 1840 à 1846.

Le chantier de restauration : les tirants

Le chantier de restauration, depuis la simple église rurale jusqu'à la cathédrale, utilise les mêmes modes de mise en œuvre, par pose de tirants et frettage. Ceux-ci peuvent compléter des éléments antérieurs déjà en place.

A la cathédrale de Chalons-sur-Marne, l'architecte diocésain de Granrut, propose en 1839 en complément de tirants anciens transversaux en place dans les combles de la nef, la pose de nouveaux tirants implantés le long des murs gouttereaux du transept : ils forment frettage (ill. 4).

Le même mode d'intervention peut être reconnu à l'église de Thibie (Marne) en 1845, où l'architecte Poisel propose sur l'édifice non protégé au titre des Monuments historiques, la pose d'un frettage périphérique autour de l'abside du XIII^e.

Les charpentes métalliques - Chartres 1837

La plus spectaculaire expérience d'emploi du fer, pour un chantier de restauration de la première moitié du XIX^e siècle est le comble à charpente de fer, mis en œuvre en 1837-1839 sur les toitures de la cathédrale de Chartres, après l'incendie de 1836.

Outre la valeur symbolique de la cathédrale et les circonstances de la destruction, le chantier est remarquable par la documentation dont il a fait l'objet dès sa réalisation. Ch. Eck publie en 1841 les trois projets du concours, ainsi qu'une variante, puis le projet lauréat de Gourlier est publié dans *Choix d'édifices publics...*, 1825-1850.

Le commentaire de Ch. Eck, en introduction des *Applications combinées du fer, de la fonte et de la tôle dans la construction des combles* (Eck, 1841, p. 32) identifie les qualités de la construction métallique, les "caractères de solidité à toute épreuve [anti-feu] joints à ceux d'une durée"; elles justifient le choix du comble métallique, rendu financièrement compétitif par rapport aux solutions traditionnelles (charpente bois), grâce à la pré-fabrication industrielle que permet l'ampleur du programme *Economie de matériau et de main d'œuvre*.

Les trois solutions proposées au concours se décomposent en deux choix techniques :

Le projet Roussel met en œuvre une ferme en pièce de fer, conservant les modes d'assemblage de la serrurerie XVIII^e (arbalétrier en deux pièces assemblé à trait de Jupiter). Les projets de Leturc et Martin ont recours à la fonte de fer pour la réalisation de pièces de charpente, travaillant à la compression (arbalétrier). Ils sont réalisés en "panneaux assemblés", technique proche des éléments "voussoirs" des arches de ponts. La triangulation (travail en traction) est réalisée par "triangle de fer". C'est la meilleure maîtrise des tirants dans le projet Martin (espace du comble dégagé de tirants) ainsi que la référence formelle au néo-gothique qui en fait le projet lauréat : "Projeté en ogive dont la forme est en parfaite harmonie avec l'architecture du Moyen-Age de la cathédrale elle-même... le câble permet à la fois un aspect élégant et un caractère de solidité" (ill. 5).

La réalisation de tirants de "tringles en fer", en triangulation de charpente confirme la diffusion du tirant métallique. Il faut également noter un même mode de pose sur les arases, en tête du mur gouttereau : les pieds d'arbalétrier sont scellés dans les maçonneries, par mise en œuvre de crampons.

LES ANNÉES 1850 - LA RÉACTION "VIOULET-LE-DUCIENNE"

Les articles "chaînage" et "tirant" du "Dictionnaire" (1854-1868)

A partir des travaux de Viollet-Le-Duc, la pose de tirants métalliques fait l'objet d'une remise en cause. Cette prise de position s'appuie à la fois sur un jugement technique (métal scellé dans les maçonneries), et un jugement archéologique (le tirant médiéval est provisoire).

L'article "Chaînage" du *Dictionnaire* est au travers d'exemples archéologiques une critique du scellement d'éléments métalliques. A Notre-Dame-de-Paris les arases sont constituées de trois assises de corniches liaisonnées par deux rangs de crampons scellés de pierre en pierre, venant ponter les joints. Pour Viollet-Le-Duc, cette arase était comme "un puissant chaînage mais les crampons en s'oxydant... avaient pour effet de fêler toutes les pierres" (Viollet-Le-Duc, *Dictionnaire*, article "Chaînage", tome II, p. 400).

A la Sainte-Chapelle, le chaînage est constitué de trois nappes superposées, formant chaînage périphérique, et constituées de crampons assemblés les uns dans les autres : "Ce système de chaînage était certainement moins dangereux que celui employé à la cathédrale de Paris, cependant il a encore malgré la masse de plomb, l'inconvénient de faire casser un grand nombre de pierres".

L'article "Tirant" présente une argumentation archéologique, rejetant la notion de tirant définitif, bois comme métal. "Pour fermer les voûtes, les constructeurs du Moyen-Age plaçaient provisoirement des tirants afin d'éviter les pousées, en attendant que les piles fussent chargées. Les tirants étaient habituellement de bois et étaient sciés au ras de l'intrados du sommet des arcs quand les constructions étaient terminées. A la cathédrale de Reims, ces tirants étaient en fer" (Viollet-Le-Duc, *Dictionnaire*, article "Tirant", tome IX, p. 9).

Le caractère exclusivement provisoire du tirant est lié à la définition rationaliste donnée par Viollet-Le-Duc à l'édifice gothique, interprété comme structure à couverture voûtée qui s'équilibre par un jeu de pousées inverses.

Cette position est résumée par E. Viollet-Le-Duc, dans *Le douzième entretien* (E. Viollet-Le-Duc, *Les entretiens sur l'architecture*, Paris, 1863-1872, p. 68) : "On sait comme les architectes du Moyen-Age en France contrebutaient les voûtes par des moyens simples, naturels, par des contreforts ou même des arcs-boutants. Ce sont des forces extérieures passives ou agissant obliquement."

Cet équilibre de la structure réalisé par des ouvrages de maçonnerie seule (sans recours au métal) identifie l'architecture gothique française. Celle-ci est opposée au modèle italien, qui ne peut assurer la stabilité sans le recours à des ouvrages rapportés, les tirants : "En Italie, les architectes adoptaient un parti plus simple, ils posaient des tirants en fer horizontalement au-dessus des naissances des arcs, et au droit des poussées." (E. Viollet-Le-Duc, *Les entretiens sur l'architecture*, Paris 1872-1873, p. 69).

Le lien nécessaire entre couverture voûtée et ouvrage de contrebutement tel qu'il est exprimé dans les *Douzièmes entretiens* sous-tend l'intervention de E. Viollet-Le-Duc à Vézelay ; il justifie la dépose d'un système de contrebutement jugé inadapté, donc non fondé archéologiquement (tirant et contrefort) pour y substituer des arcs-boutants : "Les arcs de la nef ont été construits par Viollet-Le-Duc. Avant lui les voûtes n'étaient épaulées que par de minces contreforts portant sur les dossierets et les colonnes engagées des collatéraux. C'était insuffisant pour résister à la poussée. Pour obvier au déversement des murs, on avait dû jeter à travers la nef des tirants en fer qui s'accrochaient au dessus des chapiteaux, à la naissance des doubleaux, à de forts gonds chevillés sur des longrines en bois placées en long dans l'épaisseur des murs" (Ch. Porée, Vézelay, CAF, 1907, Avallon, p. 31).

Le caractère désormais officiel de la position doctrinale de E. Viollet-Le-Duc est entériné dans la description que Paul Léon donne en 1917 des travaux de restauration de la première moitié du XIX^e siècle. Les restaurateurs ont recours à des matériaux de substitution et prothèse (P. Léon, *Les Monuments historiques*, 1917, p. 250-251), matériaux de ragréage substitués à la pierre, tirants rapportés pour maintenir un équilibre provisoire.

Le chantier d'expérimentation : le comble à charpente en fer en 1850

Le comble à charpente en fer, inauguré à Chartres, devient le lieu où se replie la recherche technologique. N'ayant aucun rôle reconnu dans la définition statique de l'édifice médiéval, le comble n'étant qu'une charge continue en tête d'arase, rien ne s'oppose à ce que sa morphologie ne soit transformée par le nouveau matériau.

Les expériences développées au cours des années mille huit cent cinquante, offrent un inventaire complet des utilisations possibles du fer, désormais dépouillé de toute référence esthétique du formalisme néo-gothique, comme à Chartres.

Le fer peut intervenir comme bride de renfort d'assemblage d'une charpente en bois : à Sainte-Cécile d'Albi, la ferme conçue par C. Daly en 1851-1857, présente des renforts d'assemblage en pied d'arbalétrier traités en sabot de fonte.

Le fer intervient dans les charpentes mixtes, telle la ferme Polonceau en 1837 qui utilise l'assemblage de matériaux différents, sélectionnés pour leur qualité mécanique propre, arbalétrier en bois, bielle en fonte, et tirants en fer.

Le cas du projet de charpente à mettre en œuvre sur les toitures hautes de la cathédrale de Langres est exemplaire parce qu'il souligne le rôle tenu par E. Viollet-Le-Duc, dans la diffusion, sur le chantier, du métal, et aussi parce qu'il identifie les résistances à ce courant. Le vaisseau central présente un couvrement en croisée d'ogives bombées, caractéristiques de l'architecture bourguignonne du XII^e siècle. Les arases ont été surélevées au XIV^e siècle d'un mur bahut qui constitue l'appui de la charpente permettant d'échapper les voûtes. La restitution des superstructures XII^e siècle, décidée en 1851 devait entraîner la dépose du mur bahut et la conception d'une nouvelle charpente. A. Macquet présente de décembre 1851 à mars 1852 quatre projets, deux à ferme Polonceau, deux à ferme en bois. La mise au point d'un projet de ferme Polonceau est directement liée à l'intervention de E. Viollet-Le-Duc, inspecteur général : "J'ai cru devoir engager M. Macquet à combiner les fermes en fer et bois" (E. Viollet-Le-Duc, 1851, Rapport à la commission) (ill. 6). Le projet d'un comble en bois, fer et fonte est détaillé : les chevrons pannes seraient en bois, les bielles et les plaques ou sabots d'attaches seraient en fonte, les tirants seraient en tringle de fer". Le projet de ferme est annoté par A. Macquet : "Projet proposé sur les observations de Monsieur Viollet-Le-Duc." (ill. 7).

Malgré l'avis favorable de Viollet-Le-Duc du 17 mars 1852, le parti technique d'emploi du métal est refusé par la Commission pour des raisons de mise en œuvre : "... le genre de charpente exigeant une perfection toute particulière d'exécution sur laquelle il semble difficile de compter..." Un parti de mise en œuvre plus traditionnel est choisi avec "un système plus généralement moisé entièrement en bois" (ill. 8).

Dans une autre perspective technique, poursuivant les expériences de comble "en tout métal" sont réalisées, en restauration, la charpente des toitures hautes de la basilique de Saint-Denis (Debret, 1842-1845), de Pierrefonds (E. Viollet-Le-Duc, 1863), avec l'emploi des nouveaux profilés en T et double T, assemblés par entretoises.

LES ANNÉES 1880 - LA NAISSANCE D'UNE ÉCOLE DE LA RESTAURATION EN MÉTAL

Les choix des architectes restaurateurs après 1870 semblent se démarquer des positions doctrinales de E. Viollet-Le-Duc, auteur du *Dictionnaire*, mais restent fidèles au message des "Entretiens" porteurs d'une synthèse entre architecture médiévale et architecture métallique.

Là encore, une synthèse précise des travaux de restauration du deuxième quart du XIX^e siècle et des partis de mise en œuvre doit être entreprise, mais l'état des connaissances révèle un recours plus courant au métal.

J.-C. Formigé, architecte en chef des monuments historiques, et architecte diocésain de la cathédrale de Meaux, conserve les tirants scellés dans les naissances des arcatures du triforium du chœur lors de la campagne de restauration (1891).

Cette attitude doit être rapprochée de son activité de constructeur hors du chantier de restauration. Il est l'un des bâtisseurs à la pointe des nouvelles technologies dans l'emploi du métal : en tant qu'architecte de la ville de Paris, il est l'auteur des serres du fleuriste municipal d'Auteuil ; il participe au chantier du métro aérien et il réalise les marquises des stations (1901-1903).

Le chantier de restauration des combles du palais ducal de Nancy, en 1871

A la suite de l'incendie du Palais Ducal de Nancy, la restauration des toitures de la "galerie des cerfs" (ill. 9) par E. Boewillwald prévoit la réalisation d'un comble en fer, développant l'emploi des profilés, constitués (après 1850) des cornières et plats rivetés : "Les combles de cet édifice seront construits en fer et tôle assemblés avec boulons et rivures, les chevrons et même le lattis recevant la couverture en ardoise, seront également en fer selon le système breveté du Sieur Lachambre employé dans plusieurs monuments publics."

La partie non classée de l'édifice, restaurée par l'architecte Prosper Morey, architecte de la ville de Nancy, est dotée d'un comble en charpente en bois. (Th. Algrin, Palais Ducal de Nancy, étude préalable, 1995).

D'une manière ici très tranchée, c'est le projet du service des Monuments historiques qui assure l'emploi des nouvelles technologies.

Le service des Monuments historiques rejoint l'architecture de l'ingénierie. Une intervention des services du Génie, comme la reconstruction du dôme de Val-de-Grâce, en charpente métallique, par le chef de bataillon Darodes en 1863-1865, n'est à ce titre pas si éloignée de la problématique du "chantier monument historique".

L'ABANDON DU FER - L'APPARITION DU BÉTON ; LA PINCE DE J.-P. PAQUET

Les conditions qui avaient permis la mise en place dans le dernier quart du XIX^e siècle d'une école française de la restauration en métal, vont entraîner sa disparition au profit du béton armé.

Le choix du métal a le plus souvent été justifié par la prise en compte du risque d'incendie et la recherche d'un matériau résistant au feu. Le fer déformable à la chaleur, ne résistera pas à la concurrence du béton.

La doctrine rationaliste, véhiculée par E. Viollet-le-Duc

et les *Entretiens*, sous-tend l'action de ses élèves et de ses contemporains.

A. de Baudot, à la nouvelle chaire de Chaillot (1887), héritier de cette approche rationaliste, en transforme l'expression technique. L'architecture nouvelle ne se fera plus en métal, mais en béton. (Saint-Jean-de-Montmartre, 1894-1904).

Lorsque les élèves de A. de Baudot sont nommés architectes en chef des monuments historiques, ce sera dans les circonstances de la reconstruction, d'après 1918 : tout naturellement les architectes tels que H. Deneux, G. Güet, P. Vorin multiplient les projets de consolidation du béton armé.

Presque trop caricaturale est la comparaison des deux carrières d'architecte en chef des monuments historiques de Jean-Just Lisch (1828-1910) et André Ventre (1814-1951).

Tout deux ont en dehors des monuments historiques une activité de constructeur comme architectes de la Compagnie des chemins de fer de l'ouest. J.-J. Lisch réalise des ouvrages à structures métalliques (M. Rapine, Juste, Lisch, 1827-1920, Notice nécrologique, s.d.) ; A. Ventre réalisera des édifices en béton armé (la gare de Versailles-chantier), notamment dans le cadre des restaurations de la reconstruction des années 1920-1930.

CONCLUSION

La pince en béton armé mise au point par J.-P. Paquet à Saint-Leu-d'Esserent peut être la conclusion provisoire à cette histoire de la diffusion... du métal. L'ouvrage mis en œuvre par J.-P. Paquet, fondateur de la pratique actuelle de la stabilisation, peut être interprété comme une dernière transcription des positions de E. Viollet-Le-Duc sur la relation structure médiévale-tirant : la structure médiévale française doit trouver son équilibre sans avoir recours à des ouvrages de type "tirants", qui ne sont pas acceptables visuellement (E. Viollet-Le-Duc, *Entretiens*, XII^e entretien, 1863-1872, p. 69).

En revanche un ouvrage de maçonnerie rapporté, non-vu, masqué à l'intérieur de l'espace du comble, lieu à vocation de service, et lieu d'expérimentation technologique, serait compatible avec l'édifice médiéval relu par E. Viollet-Le-Duc.

Pierre-Antoine GATIER et Thierry ALGRIN
Architectes en chef des monuments historiques

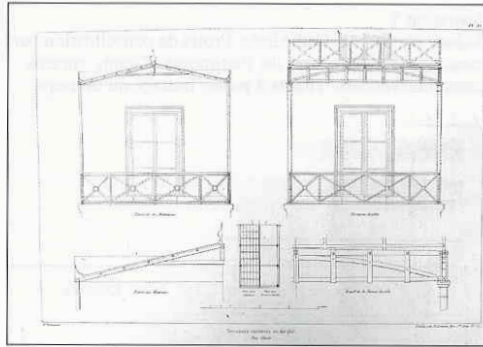


Illustration 1
 Comparaison entre demi-ferme en bois et "poutre double" en fer, à profilé en arc segment, travaillant en compression. Émile Lecomte, 1836. Photo TDR

Illustration 2
 Consolidation de l'église de N. Plan des arases avec distribution des frettages et "poutres doubles". Ch. Eck, 1841. Photo TDR. Photo TDR.

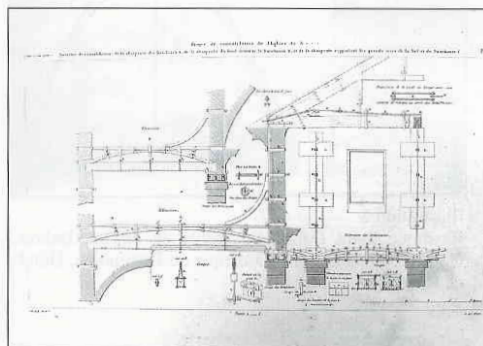
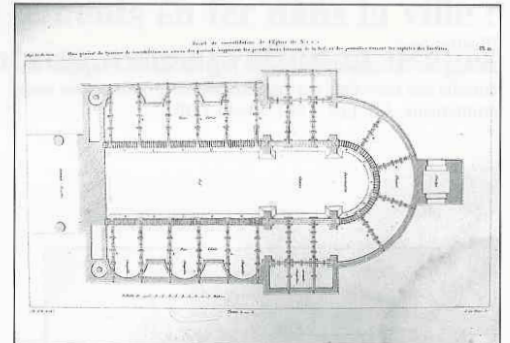
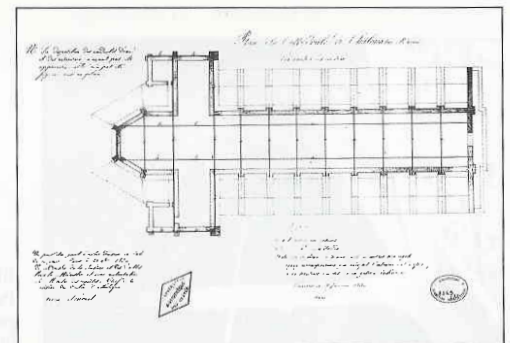


Illustration 3
 Chartres. Cathédrale. Projet lauréat du concours par Martin, 1837.
 Ferme à arbalétrier en cintre ogival. Ch. Eck., 1841.
 Photo TDR.

Illustration 4
 Langres, Haute-Marne. Cathédrale. Comparaison entre état actuel (arase XIIe, galerie XIVe, charpente XVIe). et projet de A. Macquet, 1851. Photo Bibliothèque du Patrimoine, Hôtel de Croisilles.



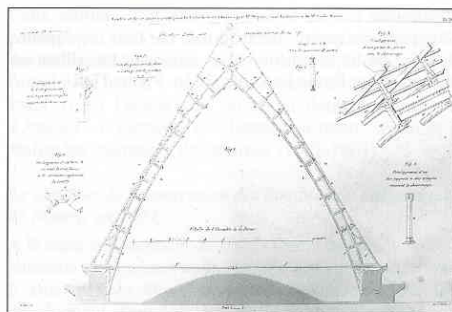


Illustration 5
Chalons sur Marne. Cathédrale. Projet de consolidation par Granrut, 1839. Direction du Patrimoine, Tirants anciens : tirants transversaux. Tirants à poser: frettage du transept.

Illustration 6
Détail de la consolidation de l'église de N. Reprise des entrails des bas-côtés par "poutre double", frettage des murs gouttereaux. Ch. Eck, 1841. Photo TDR.

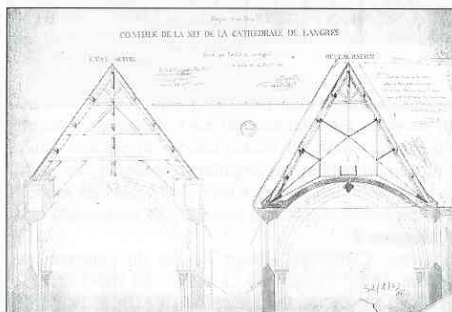


Illustration 7
Langres, Haute-Marne. Cathédrale. Projet de "comble en bois, fer et fonte", par A. Macquet, Architecte diocésain, 17 décembre 1851 ; le plan est annoté "projet proposé sur des observations de Monsieur Viollet-Le-Duc". Photo Bibliothèque du Patrimoine, Hôtel de Croisilles.

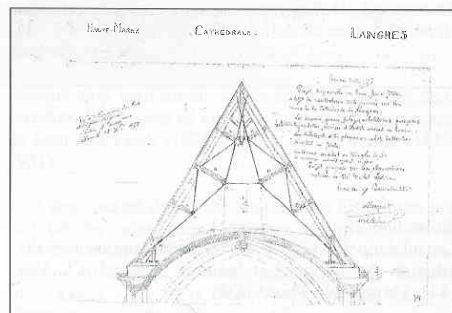


Illustration 8
Basilique Saint Denis. Charpente en fer par Debret (1842-1845). Photo Bibliothèque du Patrimoine, Hôtel de Croisilles.

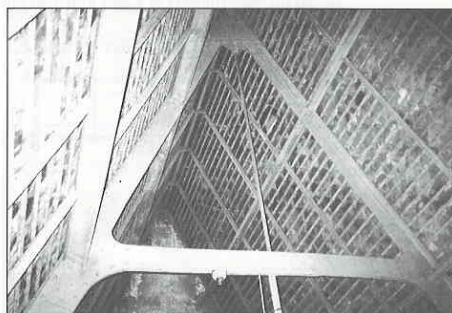


Illustration 9
Palais Ducal de Nancy. Comble de la "Galerie des Cerfs", par E. Boeswillwald, 1871. Charpente en "fer et tôle assemblés avec boulons et rivures". Photo Thierry Algrin.