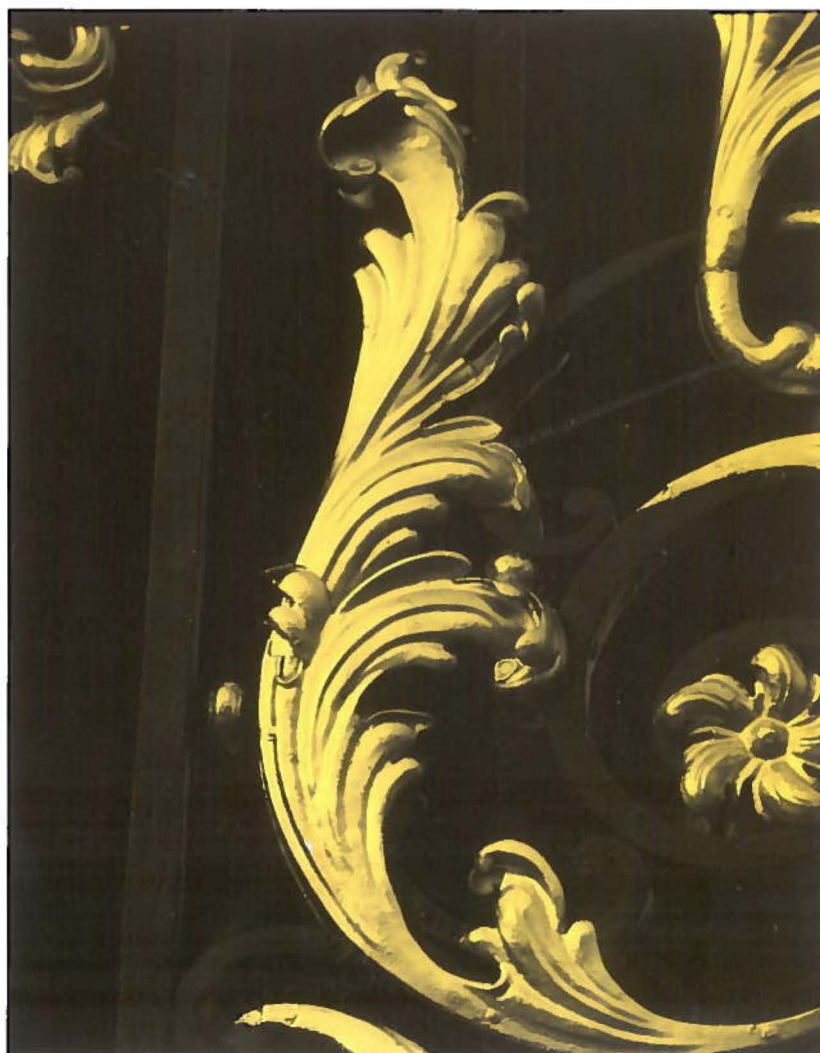


LES CAHIERS DE LA SECTION FRANÇAISE
DE
L'ICOMOS

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

FONTES, FERS ET ACIERS DANS L'ARCHITECTURE Étude, détection et conservation des métaux ferreux dans les bâtiments

Directeur de la publication

Michel JANTZEN,
Inspecteur général et architecte en chef des monuments historiques,
Président de la section française de l'ICOMOS.

Comité de rédaction, membres du Bureau de la section française de l'ICOMOS

Nancy BOUCHÉ,
Sous-directeur chargée de mission au Ministère de l'équipement.
S. CAHEN SALVADOR,
Présidente d'honneur de la FNASSEM
P. CHATAURET,
Architecte des bâtiments de France
D. DROCOURT,
Directeur de l'Atelier du patrimoine de la Ville de Marseille
J. FOSSEYEUX,
Inspecteur général de l'administration des affaires culturelles
Ph. GEFFRÉ,
Administrateur civil
G. LEMOINE,
Maire de Chartres
E. PONCELET,
Inspecteur général et architecte en chef des monuments historiques
R. POUJADE,
Député-maire de Dijon
Ch. SCHMUCKLE MOLLARD,
Architecte en chef des monuments historiques
J.-M. VINCENT,
Conservateur général du patrimoine

Secrétariat de rédaction

L. DECAZES
A. MAHEU
F. PITRAS

Organisation du colloque

L. DECAZES
F. PITRAS

Section française de l'ICOMOS
(Conseil international des monuments et des sites)
Secrétariat administratif :
62, rue Saint-Antoine 75186 Paris Cedex 04 – Tél. : 01.42.78.56.42

Illustration de couverture : détail des grilles de la
place Stanislas, Nancy © Ville de Nancy.

NANCY
16-17 et 18 novembre 1995

Sommaire

| | |
|--|---|
| Introduction, | |
| Michel Jantzen | 5 |
| Denis Grandjean | 7 |
| Ouverture, Maryvonne de Saint Pulgent | 9 |

ASPECTS DE L'HISTOIRE TECHNIQUE ET ARCHITECTURALE

| | |
|--|----|
| La fabrication des métaux ferreux et leur mise en œuvre dans la construction, par Jean-François Belhoste..... | 13 |
| Histoire de l'utilisation des métaux ferreux dans l'architecture jusque vers 1880, par Bertrand Lemoine | 15 |
| Histoire de la fabrication des métaux ferreux, des techniques de leur mise en œuvre, et de leur utilisation dans la période contemporaine, par Frédéric Seitz | 17 |
| L'expérience suédoise : étude, protection et restauration des anciennes usines sidérurgiques en Suède, par Marie Nisser..... | 25 |
| Conservation et présentation des grands sites sidérurgiques du XXe siècle à partir de trois exemples, dans la Sarre, la Ruhr et l'Oural, par Rolf Höhmann | 27 |
| <i>Débat</i> | 29 |

ASPECTS HISTORIQUES ET TECHNIQUES À PARTIR D'ÉTUDES DE CAS

| | |
|---|----|
| Le fer dans les architectures médiévales, par Jean-Louis Taupin..... | 33 |
| L'utilisation du fer dans le gros œuvre des bâtiments à l'époque classique, par Bernard Fonquernie | 35 |
| Les grilles monumentales. Éléments d'approche pour leur restauration, par Eric Pallot | 39 |
| Les grilles monumentales. Problèmes de fournitures, de matériau, de mise en œuvre, par Serge Pascal | 45 |
| Du fer à Nancy : de Jean Lamour à Jean Prouvé, par Vincent Bradel | 47 |
| Le fer outre-mer, par Etienne Poncelet | 53 |
| L'usine métallurgique de Völklingen : production de fonte, par Georg Skalecki | 57 |

MÉTHODES DE DIAGNOSTIC, ALTÉRATIONS ET REMÈDES

| | |
|---|----|
| Le Centre français de l'anticorrosion - CEFRACOR, par Claude Cabrillac | 61 |
| Crusnes : Eglise Sainte-Barbe, par Thierry Algrin | 63 |
| Géophysique appliquée à la détection d'éléments métalliques dans les maçonneries, par E. Marie-Victoire, A. Texier .. | 69 |
| La connaissance et la conservation des métaux ferreux dans les monuments historiques, par Annick Texier | 73 |
| Les matériaux métalliques ferreux : qualités et propriétés, par André Raharinaivo | 77 |
| <i>Débat</i> | 79 |

PROBLÈMES TECHNIQUES DE CONSERVATION ET DE RESTAURATION : PRÉSENTATION DE CAS

| | |
|---|-----|
| Des exemples américains : Les premiers gratte-ciel de Chicago, par Stephen J. Kelley | 85 |
| Conservation de la fonte et de l'acier : l'exemple du Pont Alexandre III, par Benjamin Mouton | 91 |
| La ferblanterie au Québec - La tôle à la canadienne, par François Varin | 95 |
| <i>Débat</i> | 99 |
| Noisiel, moulin Menier. Restauration du moulin, par Daniel Lefèvre | 101 |
| Le fer dans la restauration au XIXe siècle, par Pierre-Antoine Gatier et Thierry Algrin | 105 |

LA CONSERVATION D'ÉLÉMENTS EN FER DANS LA VILLE : INVENTAIRE, CONSERVATION ET USAGES

| | |
|---|-----|
| Les halles et marchés couverts métalliques en France, par Gilles-Henri Bailly et Philippe Laurent | 113 |
| Action des Services départementaux de l'architecture, par Michel Polge | 119 |
| <i>Débat</i> | 123 |

SÉANCE FINALE

| | |
|--|-----|
| Rapports , Aspects de l'histoire technique et architecturale, par Claudine Cartier | 127 |
| Aspects historiques et techniques à partir d'études de cas, par Pierre-Xavier Hans | 129 |
| Méthodes de diagnostic, altérations et remèdes, par Claude Forrières | 131 |
| Problèmes techniques de conservation et de restauration, par Jean Gabriel Mortamet | 133 |
| La conservation d'éléments en fer dans la ville : inventaire, conservation et usages, par Eric Pallot. | 135 |
| Conclusion , Maryvonne de Saint Pulgent | 137 |

| | |
|-------------------------------------|-----|
| Liste des participants | 139 |
|-------------------------------------|-----|

Introduction

Peut-être faut-il chercher dans les origines du fer, l'explication de cette sorte de pudeur qui conduisit longtemps les constructeurs à s'efforcer de dissimuler un auxiliaire indispensable, et à n'en dévoiler que tardivement la véritable nature.

Apparu à l'époque protohistorique, le fer se place dans la longue chaîne des découvertes techniques comme un substitut du bronze, métal noble par excellence, inaltérable, éternel, dont les origines se perdent dans le temps des Dieux.

De nature plus humble (bien qu'armant aussi les guerriers), le fer apparaît plus comme un métal de service ; en dehors de la guerre, c'est dans les usages mineurs - quincaillerie, accessoires domestiques - qu'il semble d'abord utilisé.

Sublimé dès l'origine dans l'art des clôtures dont les ferronniers feront à travers les siècles un art majeur, il est aussi utilisé par les bâtisseurs qui en font l'accessoire de leurs audaces en prenant bien soin de le dissimuler.

Les architectes de l'époque classique usèrent largement de cet artifice et la construction à la fin du XVIIIe siècle, de l'église Sainte Geneviève à Paris, qui doit grandement au fer, fut l'objet de vives controverses récemment ravivées par les problèmes de conservation que pose l'édifice.

Les constructions du Moyen-Age furent longtemps hors du débat et les grandes cathédrales considérées comme des chefs d'oeuvre ne devant leur stabilité qu'à un savant équilibre de la pierre.

Ce n'est qu'à travers les études qui accompagnèrent les idées rationalistes du XIXe siècle et plus récemment à l'issue de recherches sur les comptes des fabriques, que l'on admit la part non négligeable du fer dans ces réalisations.

Il fallut attendre le XIXe siècle et la naissance de l'industrie pour que le fer se montre, mais il resta longtemps voué aux usages industriels dont il ne sortait que pour être pudiquement dissimulé derrière des façades de pierre (les grandes halles font exception, encore furent-elles

longtemps considérées comme un mal nécessaire) mais la véritable nature du Grand Palais ou des grandes gares n'apparaît que vue du ciel et seule l'extravagante hauteur des tours de Manhattan indique que derrière le marbre se dissimule l'acier.

Pour le passant la monumentalité de la pierre domine. La flèche de Rouen puis, la tour Eiffel, furent raillées par les contemporains. Le fer reste à l'usage, il est noirci par la fumée des locomotives, autre produit de l'industrie voué au service, machines qui roulent sur le fer du chemin substitué aux ornières des siècles antérieurs.

A peine sorti de sa gangue de pierre pour quelques décennies, le fer est de nouveau dissimulé et noyé dans le béton !

Le minéral a toujours inspiré confiance et satisfait l'esprit, gloire au matériau nouveau qui montre ses rassurantes qualités de compression en dissimulant son pouvoir de traction et en imitant à l'occasion la pierre.

Les améliorations technologiques et la diversification des emplois ont enfin donné à la famille du fer le droit d'être vue. Les constructeurs de cette fin du XXe siècle déploient tout leur talent pour affirmer la primauté et l'élégance des structures d'acier. Mais le coût de leur entretien ne risque-t-il pas de rapidement nuancer cet engouement ?

Les métaux ferreux restent tributaires de soins constants. Après trois millénaires d'existence, on s'interroge sur la pérennité des produits les plus récents de cette industrie, comparés aux productions des siècles antérieurs qui, dans bien des cas, continuent de discrètement participer à des effets de l'art de bâtir où l'on ne pense voir que le savant assemblage de la pierre.

Michel JANTZEN
Architecte en chef et inspecteur général
des monuments historiques
Président de la section française de l'ICOMOS

Madame le Directeur, Monsieur le Président, Mesdames et Messieurs, et je peux le dire particulièrement aujourd'hui, chers amis, je suis très heureux de vous accueillir à Nancy au nom de notre député-maire, André Rossinot.

C'est un honneur pour notre ville d'accueillir ce colloque de l'ICOMOS puisqu'elle en est adhérente depuis 1975. Nous sommes donc de vieux compagnons de route !

Cette adhésion déjà ancienne, est contemporaine d'une prise de conscience des enjeux du patrimoine dans notre ville à une époque où des démolitions intempestives ont marqué et marquent toujours certains quartiers et l'opinion nancéienne.

Notre adhésion à l'ICOMOS a joué un rôle important dans l'évolution des esprits en matière de patrimoine en renforçant la position des protecteurs, tant au niveau des élus que des associations.

Le maire de Nancy a mesuré pendant la dernière campagne électorale des municipales combien le patrimoine restait une préoccupation politique présente dans la ville et de ce constat est née l'idée de conférer à un adjoint une responsabilité directe sur le patrimoine, responsabilité qu'il a bien voulu me confier. C'est pourquoi j'ai le plaisir de vous accueillir aujourd'hui et l'accueil d'une manifestation de l'ICOMOS dans notre ville prend un sens particulièrement fort.

Le directeur de l'Ecole d'Architecture se plaît aussi à souligner la présence à Nancy d'un groupe de professionnels

de haut niveau de plusieurs nations et, pour le célébrer avec éclat, j'ai mobilisé une importante délégation d'étudiants !

A vrai dire ce n'est peut-être pas seulement le colloque qui les intéresse, mais la présence du Directeur du patrimoine, et les évolutions institutionnelles en cours qui auront forcément une incidence sur le contenu des enseignements. Je tiens à réaffirmer l'intérêt que je trouve à cette évolution ministérielle qui, en ramenant l'architecture à la Culture va certainement faire émerger dans nos écoles des relations nouvelles entre création et patrimoine.

Je suis aussi très heureux de revoir dans cette salle beaucoup d'amis, rencontrés dans une vie professionnelle un peu nomade, mais constamment menée au service du patrimoine qu'il soit naturel ou architectural.

Merci à vous d'être venus à Nancy où ce colloque "Fontes, fers et aciers dans l'architecture" est parfaitement à sa place puisque l'un des symboles majeurs de l'identité de notre ville réside justement dans les éléments métalliques de son patrimoine : ne parle-t-on pas de Nancy comme de "la ville aux portes d'or" ?

Denis GRANDJEAN
Maire-adjoint de Nancy chargé du patrimoine
Directeur de l'Ecole d'Architecture de Nancy

Ouverture

Jusqu'en 1993, les entretiens du patrimoine ont été consacrés à des questions techniques, telles que "le bois dans l'architecture" ou "meubles et immeubles". Ils abordent désormais des thèmes plus généraux, mais non essentiels, portant sur la doctrine et la politique du patrimoine. Je suis heureuse que nous puissions renouer, à l'occasion de ce colloque, avec ces grandes rencontres de spécialistes qui avaient, par le passé, largement contribué à l'approfondissement et à l'enrichissement des pratiques patrimoniales. Leur organisation sera désormais confiée à l'ICOMOS.

Ce colloque répare une injustice. Il manifestera définitivement, je l'espère, la réhabilitation de l'architecture métallique longtemps délaissée au profit d'une architecture de pierre jugée plus noble. Des controverses qui entravèrent l'édification de la tour Eiffel, jusqu'à la destruction concertée, programmée et autorisée par l'État des Halles de Baltard en 1971, plus d'un siècle s'écoule sans que la construction métallique n'ait pu trouver au sein du patrimoine la place et l'intérêt qu'elle méritait. Ces rencontres devraient donc satisfaire aujourd'hui les architectes, les conservateurs et les historiens qui se passionnent pour le travail et l'emploi du fer.

Elles souligneront sans doute que la "grande architecture de pierre" n'a pas négligé, depuis l'antiquité, mais surtout depuis l'époque gothique, le recours au métal. Celui-ci est présent comme modeste adjuvant dissimulé dans la maçonnerie, dans le triforium de la cathédrale d'Amiens par exemple, ou comme élément de structure plus apparent, ainsi les tirants de la cathédrale de Beauvais. Souvent supprimés par le passé, tantôt parce qu'ils étaient oxydés et ne remplissaient plus leur rôle, tantôt parce qu'on les considérait comme étrangers au projet initial, ces éléments métalliques sont aujourd'hui pris en considération. On les observe, on les conserve et, quand on le peut, on cherche à les dater.

Nancy offre de multiples exemples de l'usage du fer dans l'ornementation architecturale. Les places Stanislas, de la Carrière ou d'Alliance, mais aussi les grilles intérieures de la cathédrale rappellent que les artistes du XVIII^e siècle, comme Jean Lamour, trouvaient dans le fer un matériau ductile qui se prêtait à merveille à l'expression des formes rocaille. Plus tard les artistes de l'École de Nancy, qui étaient tout à la fois architectes, dessinateurs et décorateurs, sauront créer des ensembles remarquables où le fer et la fonte jouent un rôle majeur. Le choix de

Nancy, au cœur d'un bassin minier qui favorisa le développement de la production et de la manufacture du fer, s'imposait donc pour l'organisation de ce colloque.

Sans préjuger de l'intérêt de nos travaux dont je ne doute pas, je tiens à en remercier vivement les organisateurs qui se sont associés à la direction du Patrimoine :

- la section française de l'ICOMOS, dont le bureau s'est mobilisé pour ce colloque et dont le secrétariat permanent a assuré la préparation matérielle. L'efficacité de son aide montre que l'ICOMOS est un partenaire précieux pour ce type de rencontre pour lesquelles il sait mobiliser ses réseaux de spécialistes français et internationaux ;

- la compagnie des architectes en chef des monuments historiques, et plus particulièrement Daniel Lefèvre et Eric Pallot qui, en étroite collaboration avec le laboratoire de recherche des monuments historiques et avec la mission du patrimoine industriel de l'Inventaire général, ont élaboré le contenu scientifique de cette rencontre ;

- l'École d'Architecture de Nancy qui a apporté à l'organisation de ces journées un précieux concours logistique ;

- la municipalité de Nancy, enfin, qui a témoigné de son vif intérêt pour cette manifestation et, à travers celle-ci, pour le patrimoine, en nous réservant un accueil chaleureux.

Grâce à ces différents concours, les plus grands spécialistes internationaux vont ainsi pouvoir se retrouver à Nancy pour partager leurs connaissances du fer, de la fonte et de l'acier, et pour évoquer leur expérience de la conservation, non seulement des matériaux ferreux, mais aussi des grands sites de production dont la préservation est indispensable pour une bonne compréhension des conditions historiques de cette production. Même si la conscience générale de l'intérêt de ce patrimoine industriel est apparu chez nous après nos voisins européens, comme les Anglais, elle n'en est pas moins vive aujourd'hui, comme en témoigne le développement des musées des techniques industrielles, parmi lesquels le musée du fer de Jarville fait figure de précurseur. Avec le laboratoire d'archéologie des métaux installé à proximité immédiate du musée, la région nancéenne démontre ainsi qu'elle se préoccupe depuis longtemps tout autant de conservation que de connaissance du fer.

Pendant ces trois jours, ingénieurs, conservateurs du patrimoine, historiens, architectes, vont faire partager à un large public leurs connaissances, leurs expériences et leurs recherches :

- une première journée sera consacrée à l'histoire de la fabrication et de l'utilisation des métaux ferreux. Elle apportera un éclairage sur les expériences de préservation et de présentation au public de grands sites sidérurgiques, qui se déroulent en Europe, de la Suède à l'Oural, en passant par la Sarre et la Ruhr.

- La deuxième journée s'attachera aux méthodes de diagnostic des altérations des métaux ferreux et aux techniques qui permettent d'y remédier. Elle sera illustrée d'études de cas concrets, français et étrangers et de visites de sites, comme celui de Völklingen en Sarre, inscrit sur la liste du patrimoine mondial de l'UNESCO.

- Enfin, au cours de la matinée de samedi, nous aborderons l'organisation et le déroulement des chantiers avant

d'écouter les conclusions des rapporteurs qui vont ainsi se consacrer exclusivement durant trois jours à la cause du fer.

Une visite de la ville de Nancy récompensera tous ceux qui auront assisté à ces rencontres jusqu'à leur terme.

Il me reste à formuler des vœux chaleureux pour que ces trois journées soient l'occasion, non seulement d'échanges de savoirs et d'expériences, mais aussi de débats animés et fructueux afin d'assurer une meilleure conservation de ces matériaux aux qualités très diverses, souplesse pour le fer, résistance à la compression pour la fonte, auxquels nous devons les plus extraordinaires réalisations de l'architecture et de la technologie des temps modernes.

Maryvonne de SAINT PULGENT
Directeur du Patrimoine

Aspects de l'histoire technique et architecturale

La fabrication des métaux ferreux et leur mise en œuvre dans la construction

Grandes étapes de l'évolution, jusque vers 1880

Il est moins évident qu'on ne pourrait croire d'établir un lien précis entre l'évolution des techniques sidérurgiques et celle de l'utilisation des produits ferreux dans la construction. Mise à part la deuxième moitié du XIX^e siècle – où l'on vit naître cette revue au titre suggestif : *Le Propagateur des travaux en fer* –, la question n'était que rapidement traitée dans les anciens ouvrages d'architecture et souvent de façon négative. Il suffit pour s'en convaincre de lire les deux pages que Philibert Delorme lui consacra dans son *Architecture* (1568), considérant en substance que l'usage du fer n'était qu'un palliatif dont les maçons parisiens abusaient par mesure d'économies et au mépris des bonnes règles de l'art : "Ainsy est-il du fer, lequel les meschantes maçonneries ayme de peur qu'elles ne tombent, mais à la fin il les ronge et mine". Il est vrai que, de leur côté, les sidérurgistes, malgré l'importance commerciale que pouvait représenter pour eux le marché du bâtiment, ne lui accordaient que peu d'attention en comparaison d'autres débouchés du fer, de la fonte et de l'acier, comme la construction mécanique et surtout l'armement. Entre eux et les maîtres d'ouvrage, s'interposaient de toute façon les marchands de fer et les serruriers ou constructeurs métalliques. L'étude documentaire, en particulier celle des devis, et l'observation archéologique des bâtiments y ont cependant révélé l'emploi courant de métal en grande quantité qui, de plus, jouait un rôle très souvent structurel. Pour fixer les idées, on notera seulement que, dans les années mille huit cent vingt, une grande maison parisienne pouvait contenir jusqu'à sept tonnes de fer et de fonte.

Ainsi est-il évident que l'évolution des techniques de construction a dépendu pour une bonne part de la façon dont a évolué l'utilisation du métal : d'où l'intérêt qu'il y a à suivre les conséquences des mutations techniques de l'industrie sidérurgique sur la nature des produits utilisés. On distinguera pour cela six étapes.

1. Il y eut d'abord l'apparition, vers la fin du XIII^e siècle, de la forge hydraulique qui utilisait la force de l'eau pour actionner la soufflerie des foyers de réduction et pour soulever les marteaux. Elle permit l'obtention de loupes de fer beaucoup plus lourdes qu'auparavant, pesant jusqu'à cinquante kilogrammes au lieu d'une dizaine au plus. Le prix du fer s'en trouva aussi apparemment diminué. On a émis l'hypothèse, probablement justifiée, que cette mutation pouvait être mise en relation avec l'emploi constaté de grosses chaînes et ancres servant à armer la maçonnerie des cathédrales de la deuxième moitié du XIII^e siècle.

2. L'industrie européenne du fer fut ensuite profondément remodelée à partir de la fin du XV^e siècle par l'expansion du procédé dit indirect ou en deux temps. On y coulait d'abord la fonte au haut fourneau avant de la décarburer, puis de forger le fer ainsi obtenu en grosses barres dans un atelier indépendant, appelé forge d'affinerie. La conséquence était double. D'une part, la nouvelle technique produisait un nouveau matériau moulable, la fonte. Elle permettait, d'autre part, une production beaucoup plus massive de fer forgé, à un coût par conséquent plus réduit. Cette production s'accrut d'autant plus que la technique, du fait de ses capacités épurantes, autorisait l'emploi de toutes sortes de minerais. C'est ce second aspect, plus que l'apparition de la fonte, qui eut un effet concret sur la construction. Il rendit possible la fabrication en masse de pièces de consolidation – regroupées dans les devis sous l'appellation "gros fers" – et servant à fortifier les ouvrages de maçonnerie ou de charpenterie, dont l'usage se multiplia dans les maisons urbaines, notamment parisiennes, au XVI^e siècle.

3. Ensuite, entre la fin du XVI^e siècle et le début du XVII^e siècle, apparut la fenderie qui permettait de fendre en long les barres de fer par passage entre deux cylindres armés de taillants, tournant en sens contraire. De cet ancêtre du laminoir, sortaient des tiges ou verges qui constituaient le produit de base de la clouterie. L'économie de main-d'œuvre pour former ces verges, autrefois martelées, était considérable. Le prix des clous baissa et leur usage s'étendit dans les couvertures et les lattis.

4. Parmi les nouveautés techniques générées par la sidérurgie anglaise à la fin du XVIII^e siècle, la refonte au four à réverbère de la fonte est celle qui eut l'effet le plus immédiat sur la construction. Donnant naissance à la fonderie de seconde fusion, elle rendit possible le coulage en série de poutres, de pièces de charpente et surtout de colonnes en fonte (en tirant parti de sa résistance à l'écrasement).

5. Mais les nouvelles techniques anglaises, importées en France au début du XIX^e siècle, comportaient surtout une révolution dans la technique de l'affinage – c'est-à-dire la transformation de la fonte en fer – avec l'apparition du procédé de puddlage. L'adoption de celui-ci, qui utilisait le four à réverbère alimenté à la houille au lieu du charbon de bois, permit une augmentation considérable de la capacité de production des nouvelles usines.

Il s'accompagna, en outre, de l'introduction du laminage au lieu du martelage pour la mise en forme des pièces. Cette innovation qui inonda le marché de barres et de tôles laminées n'eut pas d'incidence immédiate sur la construction, mis à part les fers de vitrage. Il fallut attendre, en effet, la fin des années mille huit cent quarante pour voir les sidérurgistes se mettre à fabriquer des profilés en U, T ou double T qui donneront naissance à la grande construction métallique de la deuxième moitié du XIXe siècle. Jusqu'alors la plupart des fers utilisés, en particulier dans les premiers combles métalliques, étaient encore des fers martelés.

6. Une nouvelle mutation intervint, enfin, dans les années mille huit cent soixante, avec la mise au point des deux nouveaux procédés de l'acier – Bessemer et Martin – qui permirent d'en accroître la production et d'en diminuer fortement le prix. En France, cette production prit son essor à partir du milieu des années mille huit cent soixante-dix. En tonnage, sa part dans la production cumulée du fer et de l'acier passa de 23 % en 1877 à 41 % en 1890. Ainsi, la substitution du fer par l'acier fut-elle relativement progressive. Plus cher que le fer, il ne s'imposait durant la décennie mille huit cent quatre-vingt-dix que pour les ouvrages de très grande portée. Beaucoup de constructeurs, restés sceptiques sur la qualité des aciers disponibles, préféraient s'en tenir encore au fer pour la majorité des autres ouvrages.

Ainsi, durant la période considérée, c'est le fer principalement qui a été utilisé dans la construction, un peu aussi la fonte et presque pas l'acier. Mais ce fer comportait lui-même différentes espèces, que les serruriers et les constructeurs métalliques classaient depuis le XVIIe siècle en fer doux (ou nerveux), fer dur (ou fer fort) et fer *rouverain* (ou cassant à chaud). Les usages correspondants étaient d'ailleurs bien spécifiés : le fer cassant convenait pour la clouterie, et le dur, utilisé pour la taillanderie, servait plutôt à confectionner de grosses pièces soumises à des compressions (poteaux, linteaux, bandes de trémie de cheminée). Le choix du fer doux, en revanche, s'imposait pour des pièces travaillant en traction, telles que les chaînes, tirants ou plates-bandes.

Pour finir, rappelons que le fer n'est pas datable par des analyses physico-chimiques. Mais les études métallographiques, déjà utilisées en particulier pour les objets d'armement, peuvent renseigner sur les qualités et les procédés d'élaboration mis en œuvre.

Jean-François BELHOSTE
Ingénieur de recherche
Sous-direction de l'Inventaire général

Histoire de l'utilisation des métaux ferreux dans l'architecture jusque vers 1880

Le renouvellement des typologies architecturales au XIXe siècle s'est largement fondé sur le matériau de construction jusque là peu utilisé qu'est le métal. L'Anglais Abraham Darby avait réussi dès 1709 à produire de la fonte en réduisant le minerai de fer avec du coke au lieu du charbon de bois. Ce procédé ouvrit la voie à une production industrielle, mais il fallut attendre 1776 pour que l'introduction par Wilkinson de machines soufflantes à vapeur permette à la production de fonte de véritablement "décoller".

La fonte était un matériau intéressant pour les constructeurs par ses qualités de résistance et d'incombustibilité. On l'utilisa pour la première fois en 1779 pour la construction d'un pont de trente mètres à Coalbrookdale dans le Shropshire en Angleterre. On en fit aussi usage dès 1796 dans la structure d'un certain nombre d'usines textiles, où les risques d'incendie étaient importants. La première fut édifée à Shrewsbury par Charles Bage. Elle comportait cinq étages portés par des poteaux en fonte et poutres du même métal, en forme de Y renversé. L'usage du métal était ici justifié pour des raisons de sécurité, tout comme dans nombre de théâtres, bâtiments d'archives, voire églises ou lieux publics qui se dotèrent de semblables charpentes dans les années 1820-1830. La coupole métallique de la Halle au Blé, construite à Paris en 1809-1813 à la place d'une charpente en bois détruite par un incendie marqua de façon spectaculaire tout le parti que l'on pouvait tirer du nouveau matériau, associé au verre, pour couvrir de vastes espaces. La relative facilité de moulage de la fonte fut également mise à profit dès cette époque pour produire en série du mobilier urbain, des grilles décoratives, voire des structures, comme à la bibliothèque Sainte-Geneviève, construite en 1848 sur les plans d'Henri Labrouste.

Les capacités de résistance de la fonte étaient néanmoins limitées : elle résiste bien à la compression mais mal au fléchissement ou à la traction. C'est le développement de la production industrielle du fer, grâce à la mécanisation du puddlage – un procédé qui permet d'épurer la fonte pour la transformer en fer – et au laminage, qui permit véritablement à partir des années 1840 la diffusion des structures métalliques. Les constructeurs disposèrent alors de gammes de profils – fers plats, cornières, fer en T, en I ou en U – qu'ils pouvaient assembler par des rivets posés à chaud. Par ailleurs, cette révolution industrielle s'accompagna d'une révolution des méthodes de conception et de calcul, intégrant la notion d'élasticité des matériaux. De nombreux systèmes de poutres et de

charpentes furent expérimentées à cette époque, avec parfois un grand succès comme la ferme inventée par Camille Polonceau en 1837. Enfin, la préfabrication partielle sinon totale des structures en usine devint monnaie courante dans la deuxième moitié du siècle. Le Crystal Palace, conçu par Joseph Paxton pour l'Exposition universelle de Londres en 1851, et construit partiellement en métal, marqua de façon spectaculaire les possibilités offertes par ces méthodes nouvelles.

Le fer commença à devenir un matériau apparent dans les nombreuses serres construites dans les années 1820-1850, comme la Palm House de Kew Gardens, en 1842, où le constructeur Thomas Turner et l'architecte Decimus Burton employèrent pour la première fois des profilés de section en forme de I. Puis les gares qui accompagnent le développement rapide des chemins de fer à partir des années 1840 offrirent au regard de vastes nefs inédites couvertes de métal et de verre. Celle de la gare de Saint-Pancras à Londres établit en 1868 un record avec soixante-treize mètres de portée et deux cents mètres de longueur sans points d'appui. En France, les potentialités du nouveau matériau furent révélées par la construction à partir de 1853 des Halles de Paris en fer et en brique par Victor Baltard et Félix Callet, qui marquèrent la naissance d'une typologie architecturale nouvelle diffusée à plusieurs centaines d'exemplaires sur le territoire. Puis vinrent d'autres typologies qui à leur tour firent entrer le métal dans la vie quotidienne, alors même qu'il se banalisait dans la structure des édifices : grands magasins comme le Bon Marché, bibliothèques avec la Bibliothèque nationale de Labrouste en 1865, bâtiments industriels avec l'usine Menier à Noisiel par Jules Saulnier en 1872. Comme laboratoires des technologies nouvelles, les expositions universelles contribuèrent à cette diffusion rapide du fer dans les années 1860-1870. L'emploi de la fonte se trouva alors cantonné aux supports verticaux et aux éléments décoratifs, et tendit même à disparaître devant la généralisation des fermes triangulées sans tirants inventées par Henri de Dion en 1878. La nature linéaire des supports métalliques posait des problèmes différents de ceux de la construction traditionnelle, que ce soit dans la définition formelle des éléments eux-mêmes ou dans la question de la clôture des espaces, même s'ils pouvaient former associés à la brique ou au verre des façades inédites. Aussi la possibilité de fonder une architecture nouvelle, conforme aux aspirations de l'époque sur l'usage raisonné du métal fut-elle un sujet de vives controverses tout au long de la

deuxième moitié du siècle, qui recoupe le débat entre éclectiques et rationalistes. Mais la diffusion massive à cette époque de bâtiments à structure métallique dut davantage aux progrès techniques qu'aux apports de "théoriciens", tel Viollet-Le-Duc.

À partir des années 1880, le perfectionnement des méthodes d'élaboration du métal permit de produire industriellement de l'acier, aux qualités de résistance supérieures à celles du fer grâce à la présence d'impuretés soigneusement contrôlées. Le convertisseur inventé par l'Allemand Bessemer en 1856, puis les fours Siemens-Martin (1864) et Thomas (1877) facilitèrent la production à grande échelle de l'acier, d'abord employé dans les armements et dans l'outillage, puis dans la construction. La substitution de l'acier au fer s'opéra progressivement dans les deux dernières décennies du siècle. Ainsi en 1889 la tour Eiffel fut-elle réalisée en fer puddlé, tandis que l'immense vaisseau de la galerie des Machines fut réalisé en acier. Mais les formes et les principes constructifs ne changèrent pas radicalement, même si les limites de résistance et de portées purent être

repoussées. L'acier fut aussi mis à profit aux États-Unis, et notamment à Chicago pour former l'ossature des skyscrapers, qui proposaient une nouvelle manière de constituer la ville. Les ossatures métalliques n'étaient pas visibles en façade, car revêtues de pierre ou de terre cuite, et cette tendance à dissimuler en partie les charpentes ne fit que s'accroître au tournant du siècle, témoignant du retour en force de l'éclectisme face au caractère jugé trop "industriel" de l'architecture métallique.

Au tournant du siècle, l'acier était véritablement le matériau par excellence, utilisé aussi bien dans la construction ordinaire, dans les audacieux ouvrages d'art que dans les corolles des verrières qui fleurissaient dans les grands magasins, les banques, les hôtels, les casinos, les établissements thermaux... Au moment même où le métal semblait trouver son épanouissement technique et artistique, la concurrence du béton armé, puis la Grande Guerre, vinrent marquer un coup d'arrêt à son usage en Europe.

Bertrand LEMOINE
Architecte, Directeur de recherche au CNRS

Histoire de la fabrication des métaux ferreux, des techniques de leur mise en œuvre, et de leur utilisation dans la période contemporaine

L'industrie contemporaine manifeste un intérêt indéniable pour la sidérurgie. Le monde actuel est celui de l'acier. La sidérurgie du XX^e siècle est très différente de celle du siècle dernier¹, non seulement parce que ses instruments et ses équipements ont changé, mais aussi parce que les méthodes de travail qui lui sont propres ont connu une évolution considérable.

LA FABRICATION DES MÉTAUX POUR LE BÂTIMENT

Les caractéristiques physiques, mécaniques et chimiques des métaux peuvent être adaptées, selon leur usage, par ajustement de leur teneur en carbone – plus la teneur en carbone d'un acier est élevée, plus cet acier est dur et résistant – et par des interventions sur les produits finis.

Le fer, élément chimique de base, dont la teneur en carbone est très faible, est un matériau mou qui – de nos jours – n'est jamais utilisé à l'état pur, mais sous forme de produits métallurgiques tels que la fonte – constituée d'environ 96 % de fer et 4 % de carbone – ou l'acier – obtenu par affinage de la fonte après que le taux de carbone précédent a été ramené à moins de 2 % –.

Les procédés d'élaboration de l'acier se développent selon trois étapes :

La première est la transformation des matières premières : cette opération consiste d'abord à broyer le minerai puis à le fondre partiellement pour lui donner la consistance d'un mâchefer poreux. Ce produit est chargé dans un haut fourneau avec du coke – qui est du carbone presque pur. La combustion du coke permet la fusion du minerai et la réduction des oxydes de fer en fer pur. Le fer ainsi libéré se combine immédiatement aux atomes de carbone du coke et forme de la fonte liquide. La gangue, elle aussi liquide mais de densité moins élevée que celle de la fonte, se libère de celle-ci. La conversion de la fonte en acier est ensuite réalisée dans des convertisseurs, dans lesquels on insuffle de l'oxygène qui brûle les éléments indésirables, dont le carbone. Dans

des fours de métallurgie secondaire, on ajoute enfin au métal obtenu des éléments d'alliage et on lui fait subir différents traitements qui améliorent sa qualité.

La seconde est la transformation de l'acier en demi-produits : l'acier, recueilli à l'état liquide, est transporté jusqu'à un lieu de coulée. Celle-ci peut être effectuée "en lingots" ou de manière "continue", mode de coulée aujourd'hui prédominant². Dans le premier cas, l'acier est coulé dans des moules, les lingots obtenus étant laminés, après réchauffage, pour être transformés en ébauches de produits plats ou de produits longs. Dans le cas de la coulée "continue", l'acier est transformé directement, dans une lingotière, en une barre solidifiée par refroidissement, puis découpée en tronçons de longueur voulue.

La troisième est la transformation des demi-produits en produits finis : les demi-produits sont écrasés par laminage – à chaud, puis, si nécessaire, à froid – pour donner naissance à des produits finis directement utilisables pour la construction de bâtiments. Les produits finis sont des produits plats : plaques (épaisses), tôles (minces), ou des produits longs : rails, poutrelles, palplanches, ronds à béton, laminés marchands³.

L'ASSEMBLAGE DES PRODUITS FINIS DANS LA CONSTRUCTION

Construire un édifice en métal consiste à assembler des produits finis. Les assemblages peuvent être réalisés au moyen de liaisons mécaniques (les axes, les rivets, les boulons ou les rivetons) ou par reconstitution de la continuité de la matière (technique de la soudure).

Les liaisons mécaniques

Les axes sont employés pour la réalisation de liaisons simples. Ces éléments, munis d'une tête et d'une goupille,

¹ La production annuelle d'un haut fourneau, il y a cent ans, était de 100 t de fonte ; aujourd'hui, elle peut atteindre, pour un grand haut fourneau, 10 000 t par jour. La cornue Thomas, qui avait une capacité de quelques dizaines de tonnes est maintenant remplacée par des fours ou creusets à oxygène dont la capacité est de plusieurs centaines de tonnes. De même, un laminier à tôles minces débite de nos jours 3 à 5 millions de tonnes par an.

² On estime actuellement que près de 60 % de l'acier brut produit dans le monde a été coulé en continu, ce taux dépassant 80 % en Europe occidentale, et 94 % en France.

³ Selon le *Lexique de construction métallique et de résistance des matériaux* (Paris, OTUA, 1992, p.113), les palplanches sont des profilés dont la propriété essentielle est "de pouvoir être assemblés entre eux par coulisage longitudinal pour constituer, après enfoncement dans le sol, des murs de soutènement, des écrans imperméables, etc." Les laminés marchands, quant à eux, comprennent "les profils pleins : ronds, carrés, hexagones, plats et autres profils : cornières à ailes égales et inégales, tés à ailes égales, petits fers en "U".

sont introduits dans des trous forés dans les pièces à assembler, interdisant à ces pièces tout mouvement latéral.

Le rivetage est le mode d'assemblage le plus ancien⁴. Rarement utilisés dans la construction métallique aujourd'hui, les rivets ont été remplacés par les boulons⁵ dont l'avantage sur le rivet tient au fait qu'ils se posent à froid, sans intervention d'une main d'œuvre spécialisée. En revanche, contrairement au rivet, le boulon ne remplit pas totalement les trous des pièces assemblées. Dans la transmission des efforts, il peut donc y avoir déplacement de ces pièces. On évite cet inconvénient en utilisant les boulons dits "plein trous" qui sont mis en place avec un jeu très faible. Cette solution est cependant coûteuse et délicate dans la mesure où elle nécessite un alésage sur le chantier. Un autre type de boulon a fait son apparition, au cours des dernières années : le boulon dit "haute résistance" (ou boulon H.R.), identique, par la forme, au boulon ordinaire, mais composé d'un métal présentant des caractéristiques mécaniques beaucoup plus élevées et dont le serrage peut être contrôlé par une clef dynamométrique qui augmente la précision des assemblages.

L'idée de réunir les qualités du rivet et du boulon a donné naissance au rivelon⁶, qui peut être considéré comme un rivet posé à froid, au pistolet pneumatique.

La soudure

Ces liaisons mécaniques rendent nécessaire le percement préalable des pièces à assembler, imposent de difficiles contrôles sur les chantiers⁷ et présentent le grave inconvénient d'une étanchéité imparfaite entre les éléments des charpentes. Les constructeurs ont donc été amenés à réfléchir à la possibilité de remplacer ces types d'assemblages par d'autres procédés. C'est ainsi qu'est apparu le principe de la soudure qui, en joignant deux pièces par fusion de leurs bords, permet d'assurer la continuité de la matière des éléments à réunir et – contrairement aux systèmes mécaniques qui ne permettent que des liaisons

ponctuelles – autorise une distribution homogène des efforts dans le joint.

La mise au point assez longue de ce procédé d'assemblage est l'expression du décalage que l'on constate souvent – dans le secteur du bâtiment en particulier – entre la naissance d'une technique et la généralisation de son emploi. Alors que le soudage est une invention de la fin du XIXe et du début du XXe siècle, il faut attendre les années trente pour que les professionnels de la construction métallique commencent à élaborer des règlements de charpente métallique soudée⁸. Cette attitude réservée des acteurs de la construction explique probablement, en partie au moins, le fait que l'introduction généralisée de la soudure ait été, en France, plus lente qu'aux États-Unis notamment, pour ce qui concerne les ouvrages d'art⁹ ainsi, par ailleurs, que les bâtiments et immeubles de rapport¹⁰.

Les trois modes de soudure habituellement utilisés – bout à bout, par recouvrement ou en angle – permettent un nombre de combinaisons entre les éléments bien supérieur à ce qu'il était possible d'obtenir avec le rivetage ou le boulonnage. Cette technique a permis la confection facile de pièces nouvelles : les fers en "I", "U" ou "T", fabriquées par assemblage de tôles formant semelles soudées sur une âme, et pouvant être raidis par des goussets transversaux. Les profilés obtenus peuvent être employés comme poteaux ou comme poutres. Les poutres-trellis, dont l'âme centrale est remplacée par un système de barres triangulées, peuvent, quant à elles, être fabriquées de façon beaucoup plus simple et économique.

La soudure révolutionne les formes de l'architecture et de la construction métalliques. Les édifices acquièrent une plus grande légèreté par la réduction de l'encombrement des liaisons entre poutres et poteaux – moindre que celui imposé par l'utilisation des rivets ou des boulons – et par la substitution de minces cordons à peine visibles aux têtes des rivets qui faisaient partie intégrante de l'architecture métallique du XIXe siècle. La ligne des édifices construits en métal devient plus pure.

Ces effets de légèreté et de pureté des constructions métalliques ont d'ailleurs été accrus avec l'apparition, durant la période de l'entre-deux-guerres, des aciers à haute résistance. Grâce à leur limite d'élasticité élevée, les sections des profils ont pu être réduites et des économies de matière et donc de prix, de l'ordre de 20 à 30 %, ont pu être réalisées par rapport aux aciers normaux.

L'APPORT DU MÉTAL DANS L'ARCHITECTURE

Les structures métalliques présentent un certain nombre d'avantages, certains étant liés au matériau lui-même, d'autres au mode de production que son emploi permet de mettre en œuvre.

Les avantages liés au matériau

Du fait de sa structure physique, le métal présente deux avantages, qui ne sont certes pas prédominants, mais qui ne doivent cependant pas être négligés.

Le premier est la bonne tenue des constructions métalliques aux séismes, non seulement parce que leur masse est faible, mais également en raison des qualités physiques du métal. L'acier résiste bien aux sollicitations qu'entraînent, dans les structures, les renversements de moments¹¹ et la substitution des tractions aux compressions, mais aussi aux sollicitations horizontales qui créent des efforts tranchants dans les poteaux. L'acier est en outre un matériau ductile, c'est-à-dire qu'il a une grande capacité de déformation sans perte de résistance.

Le second est la possibilité de récupérer les métaux qui entrent dans la fabrication des machines, véhicules, navires, bâtiments, etc. lorsqu'ils sont démolis ou démontés, de les fondre et de les recycler dans des fours électriques. La composition des produits obtenus de cette manière peut être modifiée, pour une utilisation nouvelle, selon des procédés identiques à ceux utilisés pour les aciers à l'oxygène. Matériau indéfiniment recyclable, le métal participe à la sauvegarde des ressources naturelles et de l'environnement.

L'industrialisation

Le métal est un matériau qui permet de développer facilement et largement les techniques d'industrialisation du bâtiment, qu'il s'agisse de préfabriquer, en usine, des séries d'éléments propres à un chantier, des séries d'éléments standards qui pourront être stockés ou des séries industrielles complètes.

Par réaction à l'industrialisation dite "fermée" qui a consisté, dans des périodes comme celle de la reconstruction qui a suivi la seconde guerre mondiale, à préfa-

briquer des parties complètes de bâtiments, voire des bâtiments entiers, un grand nombre d'architectes, mais aussi de maîtres d'ouvrages et d'entrepreneurs, se sont tournés vers un nouveau type d'industrialisation qualifiée d'industrialisation "ouverte", parce qu'elle permet l'utilisation d'éléments modulés et disponibles sur catalogue et en raison de la qualité des produits fournis, de l'amélioration des conditions de travail, de la rapidité d'exécution des opérations, des qualités architecturales des édifices ainsi réalisés grâce à des combinatoires plus ou moins complexes. Des procédés – nombreux – ont été élaborés selon ces principes, qui ont permis de rattraper, en particulier dans les années 1960-1970, le retard considérable que notre pays avait pris en matière d'équipements, notamment scolaires, universitaires et sportifs.

La production industrielle des éléments de constructions métalliques engendre des réductions de coût importantes, toutes les fabrications, quel que soit le procédé utilisé, voyant en effet diminuer leur coût lorsqu'on augmente le nombre de pièces identiques. Au-delà de cette considération, le métal présente également des avantages économiques évidents du point de vue du coût global d'un bâtiment : l'industrialisation permet en effet, par un usinage des pièces de structures en atelier, alors que les travaux de terrassement et de fondation sont réalisés parallèlement, de réduire la durée des chantiers. En outre, lorsque la structure d'un édifice est composée d'éléments de dimensions précises et normalisées, le montage en est simple¹², comme l'est celui des éléments de second œuvre – qui peuvent être également standardisés –. A ce gain de temps et de main d'œuvre s'ajoute un gain de matière : la légèreté des ossatures métalliques permet de limiter l'importance des fondations des édifices. Enfin, en cours d'exploitation, un bâtiment construit en métal peut être transformé facilement, en fonction de l'évolution des besoins de ses utilisateurs. Après son utilisation, il peut être démonté (et non démolir). Ces opérations sont souvent génératrices d'économies, surtout si les matériaux peuvent être récupérés et revendus.

La qualité architecturale

Tous ces phénomènes ont naturellement eu des conséquences sur l'évolution de la qualité architecturale des édifices. La nouveauté et la diversité des espaces et des volumes générés par des systèmes ouverts et non figés, la netteté et la franchise des solutions proposées, la pureté de l'aspect des éléments constitutifs des structures, la qualité et la souplesse d'utilisation des lieux bâtis, sont caractéristiques, déjà, des édifices construits en métal au XIXe siècle. Largement développées par de nombreux architectes dans des pays étrangers – comme Mies Van der Rohe aux États-Unis par exemple – elles se retrouvent dans l'architecture française du XXe siècle.

DES OBSTACLES TECHNIQUES

L'emploi du métal dans l'architecture et la construction présente toutefois des difficultés dans deux domaines

⁴ Un rivet est un axe posé à chaud de manière à remplir totalement les trous des pièces à assembler. Il est composé d'une tête et d'un corps – ou tige. Avant d'être introduits dans les trous des pièces à assembler, les rivets sont placés dans un four à haute température. La tête du rivet étant maintenue, l'autre extrémité est forgée pour obtenir une seconde tête. Ce forgeage peut être fait à la main, sur le chantier, à l'aide d'un marteau pneumatique, ou en usine. Pendant cette opération, le métal est refoulé dans les trous (dont le diamètre est très légèrement supérieur à celui des rivets). En refroidissant, le rivet se rétracte et serre les deux pièces l'une contre l'autre. Le métal utilisé pour la fabrication des rivets est toujours un peu plus doux que celui des pièces à assembler, parce que les conditions de pose le durcissent. Cette technique entraîne en effet une modification de la structure cristalline du métal qui conduit à son durcissement, accompagné d'une augmentation de sa résistance, mais aussi d'une diminution de sa capacité d'allongement.

⁵ Les boulons sont composés d'une vis, axe comportant une tête à une extrémité et un filetage à l'autre, et d'un écrou, élément annulaire taraudé qui permet le serrage de la pièce.

⁶ Le rivelon est composé d'une tête ronde, d'un corps lisse suivi d'une tige rainurée – et non filetée – terminée par une autre tige rainurée après un étranglement appelé gorge de rupture ; une deuxième pièce est constituée par une bague sertie au pistolet qui tire en même temps sur la tige extérieure. Le sertissage terminé, la tige se rompt au droit de la gorge.

⁷ Pour les rivets, par exemple, ces contrôles portent sur la qualité du remplissage des trous des pièces assemblées et sur la pression exercée par leurs têtes sur les surfaces en contact.

⁸ C'est seulement le 19 juillet 1934 que le ministère des Travaux publics fait paraître une instruction provisoire concernant les charpentes métalliques soudées.

⁹ Lorsqu'à la fin de 1933, l'administration des Ponts et Chaussées, envisageant la reconstruction du pont de Neuilly, prévoit un ouvrage métallique, "dont la beauté architecturale résulterait principalement de la simplicité des lignes, d'où l'exclusion des rivets et l'adoption de la soudure, tout au moins pour les arcs de tête", les entreprises consultées, face aux difficultés que soulève ce projet, se retournent vers leur organisme professionnel. Après de longs débats, la direction de celui-ci "estime prématuré de construire en charpente soudée tout ou partie d'un pont de l'importance du pont de Neuilly, tant en raison de l'absence de cahier des charges officielles que des dimensions de ce pont qui excèdent de beaucoup celles des ouvrages soudés déjà exécutés" (Conseil d'administration de la Chambre syndicale des Entrepreneurs de construction métallique de France, séance du 24 novembre 1933, cité par J. Gibert dans "Un peu d'histoire syndicale et professionnelle", Bulletin d'information du Syndicat de la construction métallique de France). Ce n'est que par la volonté insistante de l'administration que ce pont sera, en définitive, réalisé selon la technique de la soudure. Il existe d'ailleurs encore et a été agrandi, il y a quelques années.

¹⁰ On observera en revanche et de manière paradoxale, que c'est chronologiquement, en France, que la soudure a été appliquée en premier aux bâtiments industriels, secteur dans lequel le développement de cette technique d'assemblage a été parallèle à celui de pays comme les États-Unis, la Belgique, la Suisse, l'Allemagne ou l'Autriche.

¹¹ "Le moment sert de tronc commun à plusieurs définitions de termes de la mécanique et de la résistance des matériaux. Sa signification la plus usuelle est celle donnée au produit de l'intensité d'un vecteur par la distance d'un point à ce vecteur. Ce moment est lui-même un vecteur perpendiculaire au plan défini par ce point et le vecteur considéré (...). En résistance des matériaux, on utilise ce terme dans plusieurs définitions : moment statique, moment d'inertie, moment sectoriel, etc." (*Lexique de construction métallique et de résistance des matériaux*, Paris, OTUA, 1992, p.129).

¹² Le montage "à sec" supprime l'humidité, les mauvais joints, les fissures, les taches, la lenteur du séchage, caractéristiques des modes d'assemblage à base de liants hydrauliques.

notamment, celui de sa protection contre la corrosion et celui de sa protection contre l'incendie.

La protection des structures en métal contre la corrosion

A la différence d'autres matériaux, les métaux, qui s'oxydent lorsqu'ils sont en contact avec l'air, doivent être protégés, en surface, pour que leur tenue dans le temps soit assurée. Cette contrainte a pu — et peut encore — être à l'origine du refus d'employer les structures métalliques, en particulier dans un pays comme la France, où l'entretien du patrimoine n'est pas considéré comme une phase normale de la vie d'un édifice, et représente un coût difficilement supportable par des maîtres d'ouvrages — publics ou privés — qui ne prennent jamais soin de l'intégrer dans leurs prévisions financières.

Le choix des procédés pouvant avoir une grande influence sur l'aspect fini du métal, cette question n'est pas seulement technique, elle est aussi architecturale. Il existe deux moyens principaux d'assurer la protection des surfaces métalliques :

Les peintures, qui sont des mélanges d'une matière protectrice (huile, goudron), d'un diluant (eau, essence), et de pigments colorés. Certaines d'entre elles contiennent des produits "passivants", dont les propriétés chimiques s'opposent à l'oxydation.

Les protections métalliques qui, elles-mêmes, se divisent en deux catégories : la galvanisation et la métallisation. La première est un traitement qui consiste à déposer sur l'acier une couche de zinc par électrolyse. Elle est généralement effectuée sur des pièces usinées, dans des bains de grandes dimensions. Certains procédés permettent d'opérer une galvanisation très pénétrante sur des tôles minces qui peuvent ensuite être usinées, pliées ou embouties sans altération de la protection. La métallisation diffère de la galvanisation en ce que le zinc (qui peut, dans ce cas, être remplacé par de l'aluminium) est déposé au pistolet, sous forme de poudre diluée. Cette opération, plus coûteuse que la précédente, est utilisée seulement pour des pièces de grandes dimensions, ou pour traiter des zones particulièrement importantes de grosses pièces.

Quel que soit le système utilisé, la durée d'une protection dépend de l'état de la surface de l'acier au moment de son application. Différentes techniques ont été mises au point pour assurer une préparation efficace des surfaces à traiter : le nettoyage, le dégraissage et le décapage au moyen de détergents et d'acide ; le brossage par brosse métallique (ce procédé est le plus courant et le moins coûteux, mais aussi le moins efficace) ; le sablage et le grenaillage, ces opérations consistant en un jet de sable ou de grenaille sur la surface de l'acier.

Certains métaux forment, en s'oxydant, une pellicule qui, contrairement à la rouille, adhère à la surface du produit et est imperméable aux agents oxydants, empêchant l'oxydation de se propager dans la masse du matériau, que l'on dit, dans ce cas "auto-protégé". Ce résultat peut être obtenu, pour l'acier, en l'alliant au cuivre, pour fabriquer l'acier dit "corten", dont l'aspect est celui de la rouille, mais dont la protection est totale.

De nombreux édifices, auxquels l'une ou l'autre de ces solutions a été appliquée, sont encore en bon état de conservation. Les structures de l'ensemble universitaire de la Halle aux Vins, ou du bâtiment qui abrite la Maison des sciences de l'Homme et l'École des hautes études en sciences sociales, réalisées à Paris dans les années soixante-dix, n'ont encore jamais été repeintes, mais n'ont perdu aucune de leurs qualités, grâce aux protections qui leur ont été appliquées à l'origine.

La protection des structures en métal contre l'incendie

L'importance accordée aujourd'hui à la protection des personnes et des biens contre l'incendie — notamment depuis les catastrophes qui ont marqué l'opinion publique dans les années soixante-dix — oblige les constructeurs à prendre en considération des données réglementaires qui influent considérablement à la fois sur les coûts et sur l'architecture des espaces.

La réglementation, définie par des décrets et des arrêtés publiés au *Journal Officiel*, distingue trois types d'édifices : les établissements recevant du public (E.R.P.), comme les hôpitaux, les écoles, les magasins, les lieux de spectacles etc. ; les immeubles de grande hauteur (I.G.H.), c'est-à-dire, ceux dont le plancher bas du dernier niveau est à plus de 28 m d'une voie accessible aux véhicules de pompiers pour les immeubles de bureaux, et à plus de 50 m pour les immeubles d'habitations ; enfin, les bâtiments d'habitation. Les matériaux eux-mêmes sont divisés en plusieurs catégories : les matériaux incombustibles, non inflammables, difficilement inflammables, moyennement inflammables, facilement inflammables et très facilement inflammables. Enfin, les éléments sont classés en éléments stables au feu (qui continuent de remplir leur fonction pendant un temps donné, malgré l'action du feu), en éléments pare-flamme (qui sont stables au feu et en même temps, étanches aux flammes pendant un temps donné), en éléments coupe-feu (qui sont pare-flamme pendant un temps donné, et dont la température sur la face opposée au feu ne dépasse pas 140°C en moyenne et 180°C en un point donné, pendant le même temps). La notion de stabilité au feu s'applique surtout aux éléments porteurs, les deux autres notions concernant plus particulièrement les murs, cloisons, planchers, portes, etc. Le classement s'effectue en fonction du temps pendant lequel chaque élément a résisté à des essais précis. On dit ainsi, par exemple, qu'un élément est stable au feu pendant une demi-heure, pare-flamme une heure ou coupe-feu un quart d'heure.

L'acier est un matériau parfaitement incombustible, dont la conductibilité thermique est assez faible, mais qui, sous l'action de la chaleur, se dilate¹⁴. Si cette dilatation est contrariée, elle peut créer des désordres dans la construction. Les techniques de lutte contre ces phénomènes peuvent être regroupées en quatre catégories : la diminution des contraintes, l'absorption des calories, les protections indirectes, les protections au contact des profilés.

La première méthode consiste à surdimensionner les sections des éléments utilisés, et à choisir un acier de résis-

¹⁴ Les aciers actuellement utilisés pour la construction peuvent résister, sans risque d'effondrement, à des températures inférieures à 500°C.

tance plus grande que celle qui est strictement nécessaire. On peut aussi augmenter l'hyperstaticité¹⁵ de la structure, et ainsi permettre, dans l'hypothèse d'un incendie, que les contraintes auxquelles un élément peut être soumis, soient transmises à toute la structure, évitant ainsi la ruine de l'ensemble. C'est le cas des structures tridimensionnelles qui n'ont pas besoin d'être protégées.

La seconde méthode permet, par une augmentation de l'inertie des profils, d'absorber les calories dégagées pendant un incendie, et de retarder l'échauffement des aciers. On obtient ce résultat, par exemple en remplissant les profils de béton (comme les tubes de la structure de l'immeuble de logements construit par Édouard Albert, rue Croulebarbe, à Paris) ou avec de l'eau (comme au Centre Pompidou à Paris). Dans ce dernier cas, l'eau chauffée monte et est remplacée par de l'eau froide. Ce système, basé sur le principe du thermosiphon, évacue les calories au fur et à mesure de leur production.

La technique de la protection indirecte, qui au Centre Pompidou, a été utilisée en complément de la technique précédente, consiste, quant à elle, à placer la structure à l'extérieur du bâtiment, en dehors des façades, qui jouent alors un rôle d'écran entre ces structures et un incendie éventuel. Le même principe de protection indirecte peut être réalisé par exemple, par la mise en place de faux-plafonds qui isolent des planchers métalliques. Cette protection n'est pas toujours architecturalement satisfaisante dans la mesure où elle dissimule les structures des édifices.

Enfin, les profils eux-mêmes peuvent être protégés par application directe de produits divers, tels les liants hydrauliques (plâtre, ciment ou chaux), les granulés (vermiculite), les matériaux fibreux (fibre minérale, fibre de verre, amiante) ou les peintures intumescents. Comme dans le cas précédent, ces types de protection s'opposent généralement à une expression architecturale des structures constitutives des édifices.

Ces mesures viennent en complément du dispositif essentiel que constituent les moyens d'évacuation des personnes.

ARCHITECTURES FRANÇAISES CONTEMPORAINES EN MÉTAL

Après la seconde guerre mondiale, le gigantesque développement du secteur du cadre bâti entrepris dans le cadre de la reconstruction¹⁶ bénéficie — sous l'impulsion

¹⁴ La notion d'hyperstaticité s'oppose à celle d'isostaticité. Les six équations fondamentales d'équilibre de la statique permettent de calculer les réactions d'appui, les contraintes et les flèches d'un système isostatique. Dans un système hyperstatique, ces équations sont en nombre insuffisant, et il faut leur adjoindre des équations fournies par l'étude de la structure en cause. Une structure hyperstatique offre des liaisons surabondantes.

¹⁵ La nécessité de remplacer les habitations détruites, de répondre aux besoins urgents de logements nés des mutations économiques, de l'exode rural, de la croissance démographique font passer de 71 000 en 1950 à 240 000 en 1956, 320 000 en 1959 puis 500 000 en 1969 le nombre d'habitations construites annuellement. A la même époque, les pouvoirs publics lancent de grandes opérations de construction : le

des pouvoirs publics — presque exclusivement aux techniques du béton armé. Le métal n'est utilisé, durant ces années, que pour la reconstitution de l'outil de production. Les exceptions sont rares : le pavillon de la France à l'Exposition de Bruxelles en 1958 de Guillaume Gillet, René Sarger et Jean Prouvé ; une piscine réalisée à Boulogne-Billancourt par l'architecte L. Saint-Calbre dans les années cinquante, dont la structure apparente préfigure les réalisations des années 1960-1970 ; certains procédés de construction d'habitation — comme celui connu sous le nom de "domofer", conçu vers 1956 — dont tous les éléments constitutifs (structures, façades, planchers, escaliers etc.) sont en métal.

La qualité architecturale de ce véritable "bétonnage" du pays est rapidement contestée. La génération des "reconstructeurs" qui occupe sans partage le terrain de la commande, abandonne celui des idées, laissant le champ libre à une contestation de l'architecture qu'elle produit. Des mouvements architecturaux vont naître, animés par des créateurs plus jeunes qui cherchent à faire valoir les droits d'une architecture différente.

Ce regain d'activité idéologique est une chance pour l'architecture en général et pour l'architecture métallique en particulier. Parmi toutes les écoles qui apparaissent alors, l'une des plus importantes est celle qui opère un retour à l'industrialisation légère — donc au métal — considérée non pas comme une fin en soi, mais comme un moyen de satisfaire les besoins du "plus grand nombre". Elle favorise la réapparition d'une architecture métallique française, parallèle à l'architecture de la reconstruction et dans l'ombre de celle-ci dans un premier temps, puis apparaissant plus ouvertement lorsque le moment sera propice.

Durant cette période, l'industrialisation "ouverte" se développe sous forme de nombreux systèmes.

Les structures poteaux/poutres

Ces structures sont les plus simples. Elles consistent en l'assemblage de pièces qui peuvent être soit cachées derrière des façades, soit exprimées extérieurement.

Des ouvrages récents se rattachent à la seconde catégorie, par exemple :

- Le Pavillon de l'Iran de la Cité internationale universitaire de Paris, réalisé en 1969 par les architectes Claude Parent, Mohsen Foroughi et Heydar Ghiaï. Ce pavillon, "*exercice rythmique de découpage de l'espace avec les moyens les plus simples et les plus utilisés de l'architecture contemporaine*", selon une expression de Claude Parent¹⁶, est porté par une mégastructure extérieure répondant aux dimensionnements stricts donnés par le calcul, détachée des volumes habitables, qui sont suspendus à l'intérieur de celle-ci.

pavillon de la France à l'Exposition Internationale de Bruxelles (réalisé par G. Gillet, R. Sarger et J. Prouvé), la basilique souterraine Saint-Pie X à Lourdes (de P. Vago et E. Freyssinet), le Centre national des industries et techniques (C.N.I.T.) à la Défense, près de Paris (de R. Camelot, J. de Mailly, B. Zehruss et J. Prouvé) ou le siège de l'UNESCO à Paris (de M. Breuer, B. Zehruss et P. L. Nervi).

¹⁶ Claude Parent, *L'Architecture d'aujourd'hui*, n° 144 (juin/juillet 1969), p. 64.

- certains équipements scolaires et sportifs, tels ceux réalisés par l'Atelier d'urbanisme et d'architecture (A.U.A.) dans les années 1965-1970 : le groupe scolaire Jean Lolive à Pantin des architectes Jacques Kalisz et Jean Perrotet, la piscine d'Aubervilliers et l'Ecole d'architecture de Nanterre, construites par Jacques Kalisz.

La combinaison de ce type d'ossatures en métal avec des structures en béton armé a donné naissance aux "structures mixtes" dont l'emploi permet la réalisation d'ouvrages importants comme certaines tours parisiennes (la tour Montparnasse de l'architecte Urbain Cassan) ou nombre des tours du quartier de La Défense.

Les structures tubulaires

L'emploi des tubes s'est développé plus lentement que celui des ossatures poteaux/poutres pour des raisons techniques – leur découpage est plus difficile et, à cause du vide qu'ils présentent en leur centre, leur assemblage n'est devenu réalisable qu'avec l'apparition de la soudure à l'arc – et économiques – leur coût d'achat est plus élevé que celui des laminés courants –.

Mais, parmi les profils existants, les tubes offrent les caractéristiques mécaniques les plus avantageuses : légers, ils sont très résistants aux forces de flambement¹⁷, de torsion et de flexion ; grâce à la soudure, on élimine les goussets, fourrures, rivets ou boulons ; leur entretien est moins coûteux car leur surface est réduite et leur forme géométrique simple.

Le nom de l'architecte Edouard Albert est indissolublement lié à l'évolution des constructions tubulaires en France. Auteur notamment d'immeubles d'habitations – dont celui de la rue Croulebarbe à Paris – de bâtiments administratifs – dont celui de la rue Jouffroy à Paris – de bâtiments universitaires – dont la bibliothèque universitaire de Nanterre et l'ensemble universitaire Jussieu à Paris – et de nombreux autres projets : *"Edouard Albert était à la recherche d'une harmonie entre les qualités de l'ingénieur et une extraordinaire culture poétique"*.¹⁸

Les Structures spatiales

Les systèmes précédents sont à base d'éléments porteurs reliés entre eux par des éléments secondaires. Ils impliquent une hiérarchie des éléments suivant la concentration des efforts ramenés en certains points. Les problèmes techniques qu'ils posent – poids propre de la structure qui constitue une charge non négligeable, parallélisme des poutres qui implique leur contreventement, mise en œuvre parfois difficile – joints à une demande croissante de grandes surfaces couvertes avec un minimum de points porteurs, modifient le contexte dans lequel s'inscrit la construction métallique. Dans ces

conditions sont apparues les "structures spatiales", qui regroupent les structures "multidirectionnelles" et les structures "tendues".

Les premières sont composées d'éléments identiques, disposés en nappes, croisés et de même inertie qui assurent en continuité une répartition uniforme des efforts guidés le long des barres du treillis ainsi constitué. De natures variées selon les directions des barres constitutives de chacune des nappes, les structures multidirectionnelles connaissent un succès croissant depuis les années trente, époque à partir de laquelle elles ont fait l'objet de recherches approfondies, notamment grâce à Robert Le Ricolais¹⁹, leur véritable essor débutant dans les années soixante. Plusieurs équipements scolaires, sportifs ou culturels sont construits de cette manière : le Palais des Expositions de Grenoble (œuvre dans laquelle Claude et Jean Prouvé utilisent également des tubes en métal pour les éléments porteurs verticaux), l'ensemble universitaire de Bron-Parilly, près de Lyon (architecte : René Dottelonde) ou le théâtre national du Palais de Chaillot rénové (architectes : Valentin Fabre et Jean Perrotet).

Les structures tridimensionnelles étant des structures spatiales, il n'y avait qu'un pas à franchir pour les transformer en structures habitables. L'ingénieur Stéphane du Château met ainsi au point un système connu sous le nom "Unibat" qui n'a pas trouvé d'application, mais qui a ouvert la voie à de nouvelles conceptions architecturales, comme par exemple le Conservatoire de musique de Montreuil, dans la banlieue parisienne, réalisé sous forme de cellules incluses dans une grande structure de métal.

Les structures tendues répondent aux mêmes préoccupations que les structures multidirectionnelles : couvrir de vastes espaces, la tension présentant sur la compression l'énorme avantage de ne pas comporter de phénomènes secondaires comme le flambement. Plusieurs architectes ont utilisé ce procédé : Anatole Kopp pour la construction d'un gymnase à Saint-Ouen ou Bernard Zehruss pour l'édification du siège social d'une société à Saint-Denis par exemple.

L'ARCHITECTURE MÉTALLIQUE DES VINGT DERNIÈRES ANNÉES

L'incendie, dans la soirée du 6 février 1973, du collège Edouard Pailleron construit à Paris selon un modèle de construction industrialisé utilisant largement des structures métalliques, est à l'origine d'un mouvement très important de repli du métal dans l'architecture française. La production d'acier destiné au secteur du bâtiment, qui avait augmenté jusqu'en 1973, a immédiatement diminué après cette date pour atteindre, en 1976, des quantités inférieures à ce qu'elles étaient six ans auparavant.

Cette situation a eu des effets très importants sur les activités des architectes, des ingénieurs et des entreprises de

construction métallique, mais aussi sur la conception d'un certain nombre de réalisations. A partir de cette période, les règlements sont devenus plus draconiens et des édifices qui avaient été construits avant 1973, n'auraient pu l'être dans les années qui ont suivi sans de profondes modifications dans leur conception et le mode de leur réalisation. L'exemple le plus connu à cet égard est le Centre Pompidou à Paris, construit entre les années 1972 et 1977. Une interprétation stricte des règlements de sécurité a conduit les architectes, non seulement à prévoir un système de lutte contre l'incendie très complet, mais aussi à modifier leur projet initial sur plusieurs points, avec les conséquences que l'on connaît sur l'aspect et le fonctionnement de l'édifice : réduction de sa transparence, accroissement de sa compacité, disparition de certaines structures recouvertes de matières ignifugées, réduction de sa flexibilité intérieure etc.

Néanmoins, le temps aidant et de nouveaux moyens techniques faisant leur apparition, la situation a progressivement évolué en faveur de l'architecture métallique depuis 1985, année marquée par une forte augmentation du volume d'acier usiné en France pour le marché intérieur et du nombre des emplois dans la construction métallique. Toutes les enquêtes et études récentes confirment un regain d'intérêt pour l'architecture métallique au cours des dernières années.

Nombre d'édifices réalisés en métal depuis une vingtaine d'années font appel à des techniques de construction maintenant conventionnelles, comme par exemple le ministère des Finances à Paris (architectes : Paul Chémétov et Borja Huidobro).

D'autres constructions très récentes, bien qu'étant, par leur caractère atypique, un peu en marge de la production architecturale générale, sont plus intéressantes. Ainsi, la bibliothèque de Choisy-le-Roi (architecte : Jacques Kalisz), constituée de l'interpénétration de volumes cylindriques et sphériques en fonte d'aluminium et en verre, portés par un système de profilés d'aluminium cintrés ; ainsi encore le Zénith du parc de La Villette à Paris (architectes : Philippe Chaix et Morel).

D'autres encore dénotent la volonté de leurs auteurs – nouvelle dans l'histoire de l'architecture contemporaine – de rechercher un mélange cohérent et subtil des techniques de construction anciennes et modernes. Deux opérations parisiennes de réhabilitation illustrent cette tendance : l'immeuble de bureau du groupe ATYA (architecte : Frank Hammoutène), l'hôtel industriel du ministère des Finances (architectes : Robert Grosjean et Jean Philippe Pargade).

D'autres enfin semblent être le fondement d'approches originales de l'utilisation de l'acier, qui ont connu dans un passé récent – et qui connaissent encore – un certain succès, mais dont l'avenir seul pourra nous dire s'il s'agit d'un mouvement passager, d'une mode ou, au contraire, d'un mouvement architectural plus profond appelé à connaître un développement plus large. Deux sensibilités s'opposent : l'une tendant à l'appropriation des objets constitutifs de l'architecture, cherchant à montrer comment ils sont faits et mettant en valeur les usages auxquels ils peuvent conduire, l'autre tendant, à l'opposé, au formalisme.

La première a connu ses débuts en France avec le Centre Pompidou construit à Paris par Renzo Piano et Richard Rogers, ensemble complexe où se retrouvent à la fois la notion d'abri à l'intérieur duquel on peut changer les fonctions sans toucher à la structure, l'expression d'éléments "servants" placés en dehors des espaces "servis" permettant une meilleure lecture du bâtiment depuis la ville et l'utilisation d'une technologie très avancée²⁰.

Des failles sont cependant apparues rapidement dans cette démarche et Renzo Piano lui-même, dans ses œuvres les plus récentes, utilise les effets plastiques des volumes au détriment de l'expression des détails constructifs, rejoignant, d'une certaine manière, la tendance générale de retour au formalisme qui se fait jour en France. Le "carénage" des bâtiments comme des objets a engendré deux modes d'expressions architecturales :

- Dans le premier, toute notion de surface pleine et de surface ouverte disparaît. L'édifice construit ne s'affirme que par l'image réfléchie de son environnement dans le plan de ses façades.

- Le second est caractérisé par la transparence des enveloppes extérieures des espaces bâtis. Qu'il s'agisse de l'hôtel industriel de Dominique Perrault dans le 13^e arrondissement de Paris, des serres de la Cité des Sciences de la Villette d'Adrien Fainsilber, des nouvelles façades de la gare Montparnasse à Paris ou de plusieurs gares T.G.V. de province de Jean Duthilleul, ou enfin, de la Pyramide du Louvre de Ieoh Ming Pei, tous ont en commun d'être "dématérialisés", comme si cette dématérialisation pouvait assouplir et faciliter leur relation avec l'environnement.

Le métal est le support de cette dématérialisation.

Frédéric SEITZ
Architecte ingénieur de recherche
Ecole des hautes études en Sciences Sociales

¹⁷ Le flambement est "un phénomène d'instabilité élastique ou élastoplastique affectant la résistance d'une pièce comprimée axialement, soit par effet du second ordre (s'il s'agit d'une pièce élancée), soit par plastification partielle plus ou moins importante (s'il s'agit d'une pièce relativement courte). Il résulte de la ruine par flambement d'une pièce comprimée, une déformation permanente". (*Lexique de construction métallique et de résistance des matériaux*, Paris, OTUA, 1992, p. 79-80).

¹⁸ Jacques Kalisz, "Ode au métal", *L'Architecture d'Aujourd'hui*, n° 394, décembre 1975, p. 51.

¹⁹ On peut se reporter, à ce sujet, à l'étude qu'il publia en 1934 sur la répartition géodésique de la sphère et à son *Essai sur les systèmes réticulés à trois dimensions*, publié dans les *Annales des Ponts et Chaussées* en 1940.

²⁰ Ce mouvement architectural a continué à s'exprimer en France avec l'usine Fleetguard à Quimper (architecte : Richard Rogers) ou l'usine Center de Saint-Herblain (dans la conception de laquelle Richard Rogers a entrepris, pour des raisons d'économie et de rapidité de montage, un travail d'élargissement de la structure conçue pour l'usine Fleetguard, réussissant ainsi à optimiser l'utilisation de l'acier).

L'expérience suédoise : étude, protection et restauration des anciennes usines sidérurgiques en Suède

La Suède a traversé une période de mutation industrielle. Ce sont les industries fondées sur l'exploitation des matières premières qui ont été les premières touchées par les difficultés économiques, en premier lieu les industries minières de la Suède centrale et l'industrie métallurgique. Ces secteurs constituaient la clé de voûte de l'industrie nationale, et tous ont été affectés ces dernières années par de profonds changements structurels.

En Suède, la conservation des monuments industriels remonte à la fin du siècle dernier, mais ne concerne que la seule sidérurgie alors vivement touchée par la transformation industrielle. C'est d'abord parmi ses dirigeants, et chez eux seuls, que s'est développée une conscience historique. Au début du XXe siècle, quelques usines sidérurgiques esquisaient la protection de leurs hauts fourneaux, de leurs forges, de leurs manoirs ainsi que des habitations des ouvriers. C'était une obligation morale que de conserver ces bâtiments et leur environnement. Dans le même temps, le tournant du siècle voyait se développer un intérêt général pour le patrimoine industriel antérieur à l'industrialisation. Des écrivains, des artistes, des architectes commençaient à s'inspirer des antiquités nouvelles que constituaient les vieilles fonderies, les maisons de maître et les logements d'ouvriers.

Ce sont les entreprises elles-mêmes qui se chargeaient de la conservation de leurs monuments. Ce qui, alors, était facile. Les frais de restauration et d'entretien n'étaient pas très élevés. Les monuments étaient situés dans des sites agréables, on n'envisageait pas d'utiliser les terrains où ils se trouvaient pour d'autres buts. De nombreux hauts fourneaux et forges ont ainsi pu être sauvegardés : Lööa Hytta (1906), Engelsbergs Bruk (1918), Korså Bruk (1927) et beaucoup d'autres. L'entreprise Stora Kopparbergs Bergslags Aktiebolag commençait déjà au début du XXe siècle à conserver son patrimoine industriel. Ces sites historiques étaient constitués de parties anciennes :

- les mines de cuivre au Falun, exploitées depuis le VIIIe siècle, avec leurs constructions à l'intérieur;
- le grand puits à ciel ouvert, qui s'est formé après un effondrement des trois puits en 1688;
- les galeries souterraines de la mine ;
- les bâtiments et les autres constructions autour de la mine – les roues hydrauliques, les vieilles pompes, les bâtiments des XVIIe et XVIIIe siècles, etc.

Le musée de l'entreprise a été inauguré en 1923 dans un édifice administratif du XVIIIe siècle; il comporte des

collections superbes de vieux modèles et installations du XVIIe siècle à nos jours.

Signalons que les archives de l'entreprise sont très riches en documents historiques et contiennent des séries complètes de livres de comptes, de livres sur les ouvriers, de cartes géographiques et topographiques des mines, des dessins et des rapports datés, du XVIIe siècle à nos jours.

Les mines de cuivre ont joué un rôle économique important en Suède, surtout au XVIIe siècle quand la Suède était le plus grand exportateur de cuivre en Europe. Il faut rappeler que le cuivre qui recouvre le toit du château de Versailles vient des mines de Falun. L'exploitation du cuivre a été abandonnée il y a quelques années. L'entreprise a pris la décision de conserver des parties anciennes des galeries qui peuvent être visitées.

L'entreprise Stora Kopparbergs (aujourd'hui entreprise Stora) produisait également du fer dans les hauts fourneaux de la province de Dalarna. Dans les années vingt, ces sites ont été placés sous la protection de l'entreprise qui a tenu à sauvegarder ces hauts lieux du patrimoine industriel. L'entreprise a également réalisé des films documentaires qui constituent une source d'informations encore aujourd'hui très intéressante.

Stora Kopparbergs Bergslags Aktiebolag n'était pas la seule entreprise à s'être engagée dans la sauvegarde du patrimoine industriel. Plusieurs autres entreprises ont édifié des musées ou sauvegardé des sites industriels en conservant des hauts fourneaux ou des forges. C'est grâce à cette tradition très ancienne que la Suède peut se targuer de posséder de nombreux monuments du patrimoine industriel. L'histoire du développement sidérurgique en Suède peut ainsi être aisément retracée.

Les archives d'entreprises

Une commission de sauvegarde des archives industrielles a été créée sous l'égide de la direction des Archives de Suède. L'association des entreprises sidérurgiques – Jernkontoret – a nommé une Commission des archives pour étudier les problèmes spécifiques à cette branche. Il est souvent difficile de convaincre le monde industriel de sauvegarder ses archives et de suivre l'exemple de certaines grandes entreprises comme Stora qui possède un service d'archives organisé et efficace.

Une nouvelle politique des monuments historiques
Jusqu'en 1970, l'administration centrale des Monuments

Historiques ne se préoccupait guère de patrimoine industriel ou d'archéologie industrielle. Il en allait de même pour l'opinion publique.

Aussi, si la Direction nationale du travail pour les chômeurs s'était engagée dans la conservation de quelques monuments industriels anciens, rares étaient ceux qui voyaient dans l'étude des témoins matériels de l'industrie et des savoirs technologiques un moyen de renouveler la réflexion sur le patrimoine et sur la place du travail dans la société contemporaine. C'est en 1975 que le ministre de la Culture déclare dans une série de propositions générales que les efforts pour sauvegarder les monuments historiques doivent aussi porter sur la conservation des lieux de travail, des logements ouvriers et des édifices des organisations populaires — bâtiments et lieux souvent négligés —.

Cette déclaration gouvernementale constitue la reconnaissance officielle de l'importance du patrimoine industriel pour l'ensemble de la société.

Depuis deux ans, l'administration centrale des Monuments Historiques ainsi que le ministère de la Culture ont donné une priorité au patrimoine industriel et une conservatrice des antiquités est chargée de travailler sur un programme d'action pour la protection du patrimoine industriel qui doit être présenté l'année prochaine. Parallèlement, les administrations régionales des Monuments Historiques sont en train d'inventorier les sites historiques de l'industrie, particulièrement dans le centre de la Suède où sont situés la plupart des sites industriels-monuments historiques. Durant les cinq dernières années, six cent cinquante six inventaires et programmes de conservation ont été répertoriés. Le registre central contient actuellement douze mille trois cent trente trois postes dont une majorité concerne les locaux de l'industrie des mines et de la production métallique.

Différentes administrations, nationales et régionales, liées à la recherche et à la culture, aux entreprises et aux syndicats ont constitué une association sous le nom de "Industrihistoriskt forum". Cette association a pour objectif de mettre au point un programme d'information et d'action pour sauvegarder et conserver le patrimoine industriel.

Le classement des monuments et des édifices

La Suède, comme tous les autres pays européens, possède une législation qui permet le classement des monuments et des édifices dont la conservation présente un intérêt au point de vue historique, artistique ou scientifique. En principe, cette loi donne la possibilité de classer les bâtiments industriels et les ensembles de bâtiments industriels. Néanmoins, les possibilités de les conserver sont limitées. Jusqu'à une période récente, l'Inventaire général ne couvrait pas le champ des bâtiments industriels des XIXe et XXe siècles. De plus, l'ou-

tillage était négligé ainsi que les produits de la production, les processus techniques, et les savoirs ouvriers qui s'y rattachent.

Jernkontoret

En 1968, l'association des Entreprises sidérurgiques — Jernkontoret — nommait un comité pour l'étude et la mise en valeur du patrimoine industriel. Ses membres représentent les entreprises, les universités, les musées, l'administration centrale et régionale des Monuments Historiques, etc. Une cinquantaine de rapports ont été publiés. Des questions scientifiques ont été discutées dans de nombreux séminaires nationaux et des colloques internationaux.

Une vingtaine de sous-commissions travaillent sur les problèmes scientifiques, la documentation des sites, etc. Une cinquantaine d'ingénieurs et d'anciens dirigeants retraités de l'industrie travaillent actuellement à rassembler une importante documentation sur l'histoire de la technologie de la sidérurgie de 1850 à nos jours.

Les fouilles archéologiques

Plus récemment, au début des années quatre-vingt, des fouilles archéologiques ont révélé que l'introduction du haut fourneau pour une production continue en Suède date du XIIe siècle. Les fouilles du site de Lapphyttan dans le Västmanland ont suscité une discussion très vive entre historiens et archéologues européens. Les épreuves indiquent que l'introduction d'une technologie nouvelle s'est réalisée beaucoup plus tôt dans le monde sidérurgique qu'on ne le pensait.

Les résultats

Les résultats obtenus ces dernières années dans le domaine de la protection et de la restauration des anciennes usines sidérurgiques sont considérables. Le patrimoine industriel est en constant renouvellement, et c'est l'observation et la réactualisation permanente des choix qu'il faut mettre en relief.

Ils répondent déjà à une demande sociale locale et, dans la mesure où l'industrialisation est sans frontières on peut penser qu'ils répondront demain à un souci supra-national.

La collaboration entre la recherche fondamentale et la conservation du patrimoine est nécessaire pour faire les meilleurs choix et trouver les meilleures méthodes et solutions en vue de la protection du patrimoine sidérurgique. Car, à l'évidence imposé par la nécessité économique, et pour rester crédible et être efficace, le programme ne peut pas recommander la conservation de toutes les traces matérielles de l'industrialisation.

Marie NISSER

Professeur à l'Institut royal de technologie de Suède

Conservation et présentation des grands sites sidérurgiques du XXe siècle à partir de trois exemples, dans la Sarre, la Ruhr et l'Oural

Le premier effort de conservation d'une usine de production du fer du XXe siècle en Europe est peu connu à l'Ouest. Dans une petite ville industrielle du sud-est de la Pologne, Starachowice, le producteur de camions Star crée dans les années soixante-dix un musée de plein air et du travail dans les traditions scandinave et socialiste. Le haut fourneau, de hauteur moyenne, est le centre de cette installation, qui inclue aussi la halle à couler, une machine à vapeur pour la production d'air chaud et beaucoup d'autres équipements. Je présente cet exemple parce qu'il est en danger en raison de la crise économique que traverse la Pologne et particulièrement son propriétaire.

Une première expérience allemande a lieu avec la fermeture de l'usine Stumm à Neunkirchen dans la Sarre. Cette usine représente le type intégré de la production du fer, de l'acier et de la lamination au même endroit. Fermée en 1982 et presque totalement démolie, une discussion entre le conservateur, les politiciens et le public s'instaure. Seules la préservation et la rénovation du haut fourneau n°2 étaient possibles, un autre fourneau appartenant à un groupe de quatre, un château d'eau et une halle de coulée restant en mauvais état. Le haut fourneau renoué est aujourd'hui isolé, tous ses tuyaux démontés et peints haut en couleur, et présenté comme une sculpture d'acier. Pour les conservateurs et les archéologues industriels, Neunkirchen est presque une perte, mais elle offre une expérience pour une politique de conservation de grands objets industriels qui sera utile dans le futur :

- Les morceaux isolés d'une grande usine ne présentent pas suffisamment l'héritage industriel de cet espace.
- Une rénovation très chère de même qu'une présentation muséographique ne prennent pas en considération les circonstances environnementales de la production du fer ; de plus elles ne respectent pas les théories employées dans la conservation des monuments classiques.
- L'argent dévolu à ce type d'exposition serait mieux utilisé dans le cadre d'un travail de réparation à petite échelle respectant la continuité.

Grâce à l'expérience de Neunkirchen, une nouvelle chance se présente au conservateur des monuments de la Sarre avec l'arrêt de la production de fer à Völklingen en 1986. Toutes les portes sont fermées et soudées ; l'espace reste sous le contrôle des gardes de l'usine et produit encore de l'acier — une chance contre le vandalisme et la démolition ! — La grande halle avec les compresseurs géants reste ouverte et accueille des spectacles, des concerts et d'autres manifestations, favorisant ainsi au

sein du public l'émergence d'un goût pour les machines impressionnantes et la valeur historique de l'usine. Une initiative particulière organise ces spectacles et aussi des visites guidées de l'usine. La situation financière de l'Etat fédéral de la Sarre est très critique à cause de la récession qui touche sa plus importante industrie, le charbon et le fer. Une longue polémique sur le coût qu'engendre la conservation de cette construction désormais inutilisée, ne cessera que lorsqu'elle aura été inscrite sur la liste du patrimoine mondial, en 1995.

Depuis 1986 la politique de conservation mise en place par le conservateur est lente, notamment à cause du manque d'argent. Notre bureau a terminé son travail de documentation et d'évaluation de l'usine de fer et de coke en 1992. La réparation et la rénovation à petite échelle est organisée avec un programme pour les ouvriers au chômage. L'accès du haut fourneau n°6 a été assuré par une compagnie professionnelle qui a réparé la structure et dépensé 600 000 DM. Le propriétaire de l'espace historique de production de fer et de coke est aujourd'hui l'Etat fédéral de la Sarre.

L'autre grande région industrielle d'Allemagne, la région de la Ruhr, développe dans le même temps deux projets pour la conservation du site historique de production de fer. Les trois hauts fourneaux de Duisburg-Meiderich, conservés par l'Internationale Bauausstellung Emscher Park, font partie de leur programme de réhabilitation des vieux sites industriels ; et le seul haut fourneau de Hattingen, est incorporé dans le musée industriel de Westphalie.

A Duisburg-Meiderich l'usine a été fermée en 1985. Le premier engagement d'une association volontaire conduit à l'incorporation de celle-ci dans l'IBA. Dans un grand projet de réhabilitation du nord de Duisburg, le site de l'usine de fer représente seulement une petite partie d'un espace paysager, vert et nouveau, respecté comme objet historique de valeur au sein du parc.

Les problèmes sont les mêmes qu'à Völklingen : conservation des structures en acier, future utilisation des bâtiments abandonnés, politique de conservation. Le plus grand problème était naturellement celui des coûts de conservation des hauts fourneaux. En 1991, une commission d'experts discute diverses possibilités : rénovation muséographique, sécurité à long terme, démolition des parties ou de la totalité. Toutes les options sont envi-

sagées ainsi que leur coût spécifique. Les résultats montrent qu'une conservation à un horizon de dix ans est moins chère qu'une démolition totale. En conclusion, la commission développe un programme pour la conservation des installations techniques et des bâtiments.

Notre bureau explore l'histoire de l'usine et des installations, fait l'évaluation des monuments, puis réalise les rénovations de quelques uns des bâtiments.

La rénovation suit les lignes décrites pour les monuments historiques en général : politique d'"interventions minimales", préférence marquée pour la réparation plutôt que pour la rénovation ou la reconstruction. Aujourd'hui un grand nombre de bâtiments est réutilisé — spectacles, musique, formation des ouvriers au chômage, bureaux, etc. L'escalier du haut fourneau n°5 a été transformé afin de permettre l'accès au public qui peut ainsi bénéficier d'une belle vue sur le parc naturel — c'est peut-être le seul haut fourneau dans le monde avec un accès public non contrôlé jour et nuit ! Les quinze millions de marks calculés pour la démolition totale de l'usine seront utilisés différemment : la conservation du site industriel est assurée pour les dix prochaines années. L'acceptation publique et la conscience historique qui sont nées grâce à un grand nombre de visiteurs de ce parc paysager, constituent un grand succès.

En conclusion, pour les projets allemands, quatre sites de production de fer sont protégés, un luxe extraordinaire pour l'Europe. Ce n'est pas le résultat d'une politique stricte ou stratégique : le destin de Völklingen et de Meiderich changeait toutes les semaines entre 1986 et 1992, toutes les solutions allant de la démolition à la conservation étant alors possibles. La conservation de deux grands sites d'une grande valeur est le résultat de beaucoup de travail de la part de volontaires, de conservateurs et de quelques hommes politiques, mais aussi de coïncidences heureuses. Il reste cependant beaucoup de travail dans la phase de crise financière que traverse l'Etat.

Un autre projet strictement contrôlé par l'Etat ou les offi-

ciels est le musée de Nijni Tagil dans l'Oural. Le développement de l'industrie du fer dans l'Oural du XVIII^e s suivra le modèle suédois. Fondée en 1722, l'usine de Nijni Tagil fut construite en aval d'un barrage ; le bassin devait produire l'énergie hydraulique nécessaire. La raison du développement de l'industrie est la grande richesse de la région en minerai de fer, spécialement dans la montagne Vysokaïa. Le musée de Nijni Tagil sera fondé en 1840 ; une collection en relation avec l'industrie du fer et du minerai sera incluse à la fin du XIX^e siècle. La vieille usine de fer et d'acier de Nijni Tagil, située presque dans le bâtiment du musée, sera incorporée en 1987 comme section de plein air, complétée par deux hauts fourneaux, une usine de type Siemens-Martin pour la production d'acier et une usine de rouleaux, ces deux dernières en mauvais état de conservation. On ne connaît pas les dates de construction de ces diverses installations ; les hauts fourneaux sont comparables aux exemples allemands. Le fourneau Siemens-Martin est très rare.

La politique de conservation russe n'est pas claire, mais les hauts fourneaux sont dans un état acceptable, avec une peinture brune, neuve, sur toutes les surfaces. Les autres parties très abîmées seront renouées ou reconstruites on ne sait quand : cela dépend des décisions politiques et des possibilités de financement. Un grand projet pour le développement du tourisme industriel dans cette région semble un peu fantasque.

Le musée administre un certain nombre de sites industriels de la région très intéressants mais moins importants que celui de Nijni Tagil. Le propriétaire du musée et de toutes les installations historiques, même les mines, les usines nouvelles des années quarante et de l'après-guerre est toujours le grand combinat de Nijni Tagil. Son futur dépend directement de l'évolution de l'économie russe.

Rolf HÖHMANN
Ingénieur au bureau d'archéologie
industrielle de Darmstadt

DÉBAT

Le débat a porté sur les principaux points suivants

1. L'acier corten :

M. Jantzen cite deux exemples de problèmes rencontrés : les tours du carrefour Pleyel où l'on a dû récemment intervenir pour leur trouver une protection extérieure — la flèche de la cathédrale de Rouen où a été introduite il y a vingt ans une prothèse en acier corten, mais qui continue à s'oxyder en surface, présentant même sur certains points des oxydations pulvérulentes et fragmentaires.

M. Seitz avoue qu'il n'a pas de réponse dans la polémique actuelle sur l'acier corten, à propos duquel certains constructeurs mettent actuellement en cause la capacité de la couche de rouille à autoprotéger le métal. En revanche il signale des aspects psychologiques ou esthétiques de certaines controverses : au carrefour Pleyel — ou à l'Agence Havas de Neuilly, peinte en gris à la demande de la municipalité qui n'aimait pas la couleur du corten, puis repeinte en couleur acier corten à la demande de la municipalité suivante.

M. Cabrillac rappelle que l'acier corten, qui est de l'acier allié au cuivre, a été inventé en 1928 par un ingénieur visionnaire, Herzog, mais qu'il a fallu des années pour qu'il réapparaisse, utilisé de manière inconsidérée. Il signale par exemple qu'au carrefour Pleyel, quel que soit l'acier utilisé il est difficile d'avoir un oxyde stable et en tout cas adhérent. Il y a à l'heure actuelle des matériaux extrêmement élaborés et performants, mais encore faut-il qu'ils soient utilisés correctement. Un autre exemple est celui du lycée technologique de Versailles où les toitures, en surfaces horizontales, ont été réalisées en acier corten. Dans ce cas aucune passivation de cet acier n'est possible. L'anticorrosion, la durabilité des matériaux implique d'abord une étude à la planche à dessin. Le coût de la corrosion dans notre pays représente environ 4 % du produit intérieur brut, dont 20 % pourraient tout à fait être économisés.

2. A propos d'architectes :

A deux questions d'un intervenant concernant les architectes Claude Parent et Stéphane du Château, M. Seitz répond de la façon suivante :

Claude Parent (cité dans son exposé notamment à propos du pavillon de l'Iran à la cité universitaire) n'est pas spécialement un architecte du métal, en effet. Mais au delà de sa pratique du béton armé il est plutôt, dans une certaine période de sa carrière, un architecte du plan oblique ce qui n'enlève rien à la qualité du pavillon de l'Iran, construit en métal parce que sur une ancienne carrière. C'est ceci qui a conduit les architectes à des fondations partielles au lieu d'une fondation de type linéaire, avec des points porteurs correspondant aux pieds des grands arcs qui soutiennent l'ensemble de l'édifice. Le choix du métal est donc un choix technique, mais dans une optique architecturale qui mérite d'être

soulignée, car produisant un des exemples les plus intéressants d'architecture métallique de la seconde moitié du 20^e siècle.

Stéphane du Château, ingénieur de formation, est l'un de ceux qui a le plus contribué à l'extension des structures tridimensionnelles dans l'architecture contemporaine. L'intérêt de ses structures pour la constitution de nappes destinées à couvrir des espaces importants est d'avoir pu être retransposées dans des éléments de beaucoup plus grandes dimensions, qui pouvaient d'ailleurs atteindre celles d'un volume habitable, et ses petites pyramides, quand on leur donne la dimension d'un étage complet, peuvent, devenir des structures habitables, donner une forme à l'architecture, ou d'ailleurs aux travaux publics, pour de grands ouvrages d'art (avec des projets de sa part en ce sens qui n'ont jusqu'à présent pas été construits). Certains exemples de développements de cette nature de structures spatiales ont été repris par d'autres architectes, avec d'autres techniques, mais toujours avec le métal, et c'est à Stéphane du Château qu'on le doit.

3. Sur l'intervention de M. Höhmann :

M. Bergeron se dit très frappé par la diversité des réflexions qui ont été menées et des solutions qui ont adoptées pour les trois sites allemands de Duisburg-Meiderich, Neuenkirchen et Völklingen.

Dans le cas de Neuenkirchen et, un peu, dans celui de Duisburg, on est, lui semble-t-il, en présence d'une solution peut-être résolument avant-gardiste ou peut-être franchement passeiste, hardie en tous cas, de nature à susciter beaucoup de débats, et consistant à laisser survivre un monument ou un fragment de monument industriel à l'état de monument célèbre en ruine, destiné à continuer à servir de repère de la mémoire, sans qu'on sache véritablement quoi en faire. Il y a là de la fierté locale, presque municipale dans le cas de Neuenkirchen, puisqu'on a affaire à un bâtiment soigneusement repeint, au milieu d'une zone résidentielle. Dans le cas de Meiderich, de ce haut fourneau dont M. Höhmann nous a dit qu'il était accessible sans aucune barrière, jour et nuit, on y organiserait des fêtes, en particulier les samedis et dimanches.

Mais la solution adoptée à Völklingen est plus hardie et intéressante car fondée sur la volonté de respecter, d'entretenir et d'expliquer aux générations suivantes la signification d'un système technique cohérent, celui de la sidérurgie sarroise entre 1870 et 1940, ayant eu un rayonnement international considérable. Il y a, au moins sur une partie du site, un plan de muséification active et de mise sur pied d'une didactique, d'une pédagogie de l'histoire technique régionale qui renvoie à la fierté des Sarrois à l'égard de leur patrimoine culturel et non pas simplement un monument entouré d'une aura, d'un prestige, d'un souvenir. Naturellement cela demande des efforts importants d'entretien, de remise en état, d'orga-

nisation de circuits, mais aussi d'explication, d'adaptation envers les esprits des générations suivantes, qui n'ont plus le souvenir de ceux qui y ont travaillé. Il s'agit là d'une entreprise considérable dont on pourrait s'inspirer en France.

Quant à l'Oural et la remise en état de certains éléments du patrimoine de Nijni Tagil notamment, l'enjeu est important puisqu'il y a là des éléments modernes, mais aussi des éléments très anciens, du XVIIIe siècle, manifestant une influence occidentale à très longue distance,

qui renforce l'attachement sentimental qu'on peut avoir pour l'ancienne sidérurgie des Demidoff par exemple, les plus anciens maîtres de forges de la région. Malgré des conditions extrêmement difficiles économiquement ou financièrement, un élément qui peut être très favorable à une préservation est la tentative de l'Oural de se constituer en troisième pôle politique et culturel de la Russie, et d'inspirer une marche vers une réforme des structures russes dans un sens régionalisé. Peut-être qu'un tel sentiment régionaliste puissant en même temps que très russe aidera-t-il.

Aspects historiques et techniques à partir d'études de cas

Le fer dans les architectures médiévales

Il est commode et utile pour aborder la question du fer dans les structures médiévales de mesurer comment l'équivoque et l'oubli ont handicapé notre compréhension du sujet au point de nous faire perdre presque complètement l'idée de l'importance de ce matériau.

Il ne faut pas oublier qu'en disant "fer médiéval" on évoque un matériau autre que le fer écoulé en grande quantité au XVIIe ou au XVIIIe siècle (celui connu sous un mauvais jour au Panthéon), autre que celui représenté par les aciers de construction que nous connaissons aujourd'hui. Un matériau de faible teneur en carbone, intensément travaillé à la forge : les analyses métallographiques en témoignent.

La présence d'éléments en fer dans les monuments est ordinairement connotée d'une façon fort négative. L'insertion d'accessoires ferreux dans les maçonneries de l'époque classique a été source de déconvenues. Leur présence dans les structures médiévales est habituellement comprise comme le résultat d'un expédient de secours. L'idéalisation de la maçonnerie et plus particulièrement le culte de la maçonnerie de pierre a fait du fer, au-delà du raisonnable, un élément exogène, impur, parasitaire.

La manifestation de ce jugement excessif se trouve dans l'élimination de tirants, endommagés ou non, effectuée dans les édifices médiévaux. On rencontre certaines des bases argumentaires de cette pratique dans les commentaires hostiles des érudits des XIXe et XXe siècles, dans les fulminations de Ruskin, et dans les préceptes de Philibert Delorme et d'Alberti.

Des moyens modernes – intellectuels et techniques – nous entraînent vers une relecture des monuments inven-

tés par la puissance conceptuelle et edificatrice des XIIe et XIIIe siècles. Cette relecture nous permet aujourd'hui de poser, à l'inverse, que la floraison architecturale la plus conquérante du Moyen Age ne pouvait ni se développer ni même s'imaginer sans la maîtrise de la production d'un matériau fiable et sans l'art de le mettre en œuvre.

Nous savons qu'à Chartres le fer a permis les fenêtres occidentales et que des ancrages de fer ont été insérés au cœur des piliers lors de l'édification des grandes arcades, que les piliers du chœur de Bourges sont "entretenus" par une longue chaîne de fer au niveau du tritorium, que la croissance des hautes colonnes de Beauvais sur des fondations et des matériaux longs à stabiliser a été géométriquement ordonnée grâce à des réseaux de barres de fer intérieurs, que les baies des fenêtres qui n'ont cessé de grandir (de 16 m² à Reims à 195 m² à Milan) se sont trouvées traversées par un nombre croissant de barres ancrées dans leurs piédroits.

Nous observons que lorsque la structure médiévale à force d'amplification est entrée dans un jeu mécanique d'un autre ordre – comme on le voit aux culées du chevet de Beauvais – le fer a été appelé à tenir sa partie compte tenu de ses aptitudes propres selon un jeu dynamique et non plus seulement statique.

Un recensement des cas d'utilisation et la constitution d'une typologie fondée sur les caractéristiques métallographiques permettront d'améliorer la compréhension de ces techniques.

Jean-Louis TAUPIN
Architecte en chef des monuments historiques

L'utilisation du fer dans le gros œuvre des bâtiments à l'époque classique

L'examen de rapports d'expertise et de devis de travaux exécutés sur les édifices au cours des XVII^e et XVIII^e siècles montre bien souvent l'existence d'un poste pour la fourniture d'éléments de serrurerie dont l'importance dépasse de beaucoup les ouvrages de serrurerie apparents. Il s'agit en fait des fers en chaînages, le plus souvent noyés à l'intérieur des maçonneries pour les renforcer.

Duhamel du Monceau dans son "Art du serrurier" publié en 1767 dans la série "Description des Arts et métiers" et l'encyclopédie de Diderot consacrent plusieurs pages pour définir et illustrer les "fers du bâtiment". En partant du principe que le fer est la plus forte des matières utilisables dans la construction des édifices, ce matériau peut être considéré comme étant le plus apte à relier et conforter ses principaux éléments. "Par son emploi, il est possible de réaliser des constructions plus légères, aussi solides et moins coûteuses parce qu'il permet de supprimer des efforts auxquels il conviendrait d'opposer des masses considérables de grandes dimensions, difficiles à transporter et à mettre en œuvre."

Les fers utilisés doivent agir en tirants. Ils résistent aux efforts d'écartement grâce "à leur ténacité ou à l'adhérence des parties qui les composent. Ces propriétés constituent la qualité essentielle du fer qui augmente en le forgeant."

Certes le fer s'oxyde plus ou moins rapidement selon qu'il est forgé ou limé et selon la nature du matériau à l'intérieur duquel il se trouve inséré ou scellé (plâtre, ciment, plomb). Pour éviter cette oxydation, il est recommandé d'enduire les fers avec du goudron, de la poix, de la cire, des vernis, du mastic, de la graisse de chapon.

Dans son cours d'architecture Blondel souligne la nécessité de soulager le poids et la poussée des plates-bandes au moyen d'un linteau de fer, encastré de toute son épaisseur par dessous, ou par des chaînes de fer carré placées au-dessus, et auxquelles sont attachés des étriers ou T renversés insérés dans les claveaux qui se trouvent ainsi suspendus à la chaîne.

De même, pour contenir l'écartement des murs dû à la charge des planchers, il préconise de mettre en œuvre des chaînes de fer plat bien tendues et solidement arrêtées à leur extrémité avec des ancrs. Placées au fur et à mesure de la construction des murs, leur assemblage est réalisé avec des crémaillères ou des moufles bandés à l'aide

de coins rentrés de force. Ces tirants sont placés ponctuellement à la rencontre des refends avec les murs de façade. Ce n'est que pour les très grands édifices que l'on place des chaînes dans toute la longueur des murs. Pour diminuer l'aspect visuel des têtes d'ancrage en forme de S ou de Y, Blondel recommande de mettre en œuvre des têtes droites, encastrées dans une tranchée rebouchée avec du mortier.

Outre ces chaînes et tirants, il convient également de placer, à chaque extrémité des poutres des planchers, une bande de fer à talon, fixée sur le dessus ou dessous de la poutre, à l'aide de clous crantés, et reliée à une ancre encastrée dans l'épaisseur du mur porteur. Ces bandes de fer sont également utiles dans les charpentes de comble en particulier, à l'extrémité des entrails des fermes ainsi que des pannes et faitage lorsque celles-ci prennent appui dans les murs.

Pour soutenir et éviter le basculement des balcons en saillie, l'usage d'armatures apparaît indispensable. Les procédés vont des simples carrés soutenant par le dessous la dalle du balcon à la mise en œuvre d'un système de tirants et d'ancrages dans des consoles soutenant la dalle, ou si cette dernière est supportée, par une voussure à l'aide d'un tirant auquel sont suspendus des étriers placés entre les voussoirs.

De même, l'usage de fer pour la construction des escaliers, et plus particulièrement des paliers lorsqu'ils sont soutenus par des voûtes plates apparaît nécessaire. Quels que soient en effet les artifices de stéréotomie mis en œuvre pour reporter aux angles des murs de la cage les poussées du voûtement, des tirants métalliques mis en place sur l'extrados de la voûte doivent permettre d'annuler les poussées. La plate-bande appareillée qui forme la rive du palier doit, pour sa part, être armée d'une chaîne à laquelle sont suspendus à l'aide de boulons, des étriers passés dans les joints des claveaux. L'ensemble de ce dispositif permet ainsi de s'opposer à l'écartement des murs de la cage de l'escalier.

Ces diverses mises en œuvre se retrouvent effectivement dans les édifices des XVII^e et XVIII^e siècles.

Si l'on prend comme exemple l'hôtel de Beauvais dans le Marais, construit par Le Pautre de 1656 à 1660, les sondages que nous avons pratiqués récemment pour retrouver d'anciens planchers disparus confirment bien

l'usage de toutes ces chaînes de fer pour relier les murs de façades aux refends intérieurs et diminuer les poussées des plates-bandes appareillées des fenêtres.

Lors de réfection des charpentes et couvertures d'hôtels du Marais construits à la fin du XVI^e siècle et au cours du XVII^e siècle, des chaînages ont été retrouvés de manière systématique sur le dessus des corniches couronnant l'édifice. En outre, à l'hôtel Chalon Luxembourg, des crampons lient les pierres d'assise les unes aux autres dans les trumeaux bien qu'en ces endroits ne s'exerce aucun effort particulier de poussées.

Ces armatures sont utilisées pour réparer les désordres affectant le gros œuvre des édifices. Un rapport d'expertise établi le 1^{er} septembre 1642 pour un immeuble dépendant de l'hôtel de Bretonvilliers, rue Saint-Louis en l'Isle à Paris, fait état de la mise en place systématique de barres de fer reliées à des ancrages au droit des nombreuses fissures et déformations dans les murs, plates-bandes de baies et planchers désorganisés par des tassements différentiels.

Les travaux de consolidation de la coupole de Saint-Pierre de Rome menés de 1743 à 1747 retiennent l'attention. La mise en place de trois cerclages métalliques, en même temps que la construction de la double coupole par Fontana et della Porta en 1590, n'avaient pas empêché de sérieux désordres de se produire allant de la rupture d'une cerce à la multiplication des lézardes dans le soulèvement, les plates-bandes des croisées, les contreforts et la partie inférieure de la coupole. Pour remédier à cette inquiétante situation, outre la réparation de la cerce rompue et le remaillage des lézardes, trois cerclages supplémentaires ont été mis en œuvre sur la coupole extérieure et la coupole intérieure. Ces cerces sont composées de plats de 95 mm de large par 56 mm d'épaisseur longs de 5 mètres. Ils sont assemblés par des mouffes à clavettes.

La référence à la réalisation d'ouvrages utilisant le métal mais ne relevant pas de l'architecture civile courante intéresse les concepteurs et tend à justifier l'emploi du métal.

Sur le phare de Cordouan, chef d'œuvre de Louis de Foix gravé par Chastillon, la partie sommitale achevée dans les toutes premières années du XVII^e siècle, est entièrement dégradée par la chaleur du feu. L'ingénieur de Bitri est chargé de rétablir une lanterne en 1727. Sur un dôme dont les pierres sont solidarisées à l'aide de crampons métalliques scellés au plomb, une lanterne en fer est érigée et contreventée par une triangulation métallique reprise à la base du nouveau dôme.

Le démontage d'une échauguette du demi-bastion du port de la citadelle de Blaye construit juste après l'insurrection des lieux par Vauban en 1685, a permis de mettre à jour l'ossature métallique qui devait s'opposer au déversement de l'échauguette implantée sur son étroit culot. La médiocrité de sa mise en œuvre ne pouvait s'opposer au basculement des pierres en encorbellement non agrafées. Il est à noter qu'en élévation, les pierres des assises n'étaient pas cramponnées alors que sur l'échauguette de la Porte Royale, toutes les pierres d'appareil sans exception sont liées les unes aux autres par des agrafes métalliques.

Pierre Patte, dont on verra le rôle important qu'il va prendre dans le débat qui s'instaure au cours de la seconde moitié du XVIII^e siècle au sujet de la pierre armée, cite en exemple le quai Le Pelletier et le quai de l'Horloge bordant la Seine.

Bullet, chargé en 1675 de la reconstruction du quai Le Pelletier dont l'étroitesse n'autorisait pas le croisement de deux voitures, propose sur une longueur de 128 mètres l'élargissement du quai par un encorbellement sur le fleuve afin de préserver l'alignement des constructions existantes.

Cette solution, très novatrice pour l'époque et jugée osée, fait appel à une ingénieuse combinaison de plates-bandes appareillées superposées, calées par des sommiers en forme de coins renversés et armés de barres de fer et de tirants à deux branches s'opposant au basculement des claveaux en encorbellement.

Une solution voisine a été mise en œuvre ultérieurement pour le quai de l'Horloge. À la place des deux plates-bandes superposées se substitue une seule plate-bande. Les tirants qui renaient la queue des pierres en encorbellement sont remplacés par trois assises de libage cramponnées qui retiennent la bascule des claveaux en saillie.

Patte donne la préférence à cette seconde solution qui exige certes la mise en œuvre d'un cube de pierre de taille plus important mais qui lui paraît "plus solide, mieux liée et mieux construite pour la durée."

C'est dans le traitement du très délicat problème d'annulation des poussées au vide des plates-bandes et plafonds appareillés des péristyles et du transfert des charges de leurs entablements et frontons sur des points d'appuis isolés, les colonnes, que va s'instaurer un débat tout à la fois doctrinal et technique. La réalisation de la colonnade du Louvre en 1670, de la façade de Saint Sulpice de Servandoni achevée en 1777, des bâtiments de Gabriel, place Louis XV commencés en 1758, de la Madeleine de Contant d'Ivry en 1763, vont en effet servir de support à un débat alimenté par les difficultés d'ordre structurel affectant l'achèvement de l'église Sainte-Geneviève dont les plans de Soufflot avaient été approuvés en 1756.

Pour s'opposer aux poussées au vide des plates-bandes appareillées transversales et des plafonds couvrant les entre-colonnements de la colonne du Louvre, Perrault met en effet en place une complexe armature :

- dans l'axe de chaque colonne un axe de fer de 54 mm d'épaisseur monte dans toute la hauteur de l'entablement ;
- des fers en Z permettant de cramponner les claveaux deux à deux sont insérés dans les plates-bandes ;
- sur la tête des claveaux, des tirants horizontaux servent à lier les axes de colonnes entre elles et avec le mur de fond du péristyle ;
- une seconde série de tirants horizontaux est placée de la même manière sur le dessus des claveaux de la frise ;
- des chaînes en croix de Saint-André sont en outre reliées à cette deuxième nappe de tirants, passent au-dessus des plafonds et sont ancrées dans le mur de fond.

Rondelet note que les clavettes assemblant ces tirants diagonaux jouent dans les nœuds d'assemblage et sont en conséquence inactifs et surabondants.

Un système d'arcs de décharge, associé à un dispositif de tirants, permet à Perrault de reporter les charges de la maçonnerie du fronton du corps central sur les colonnes et sur le mur qui leur est adossé. Pour éviter les poussées des assises de la corniche rampante, d'imposants blocs de pierre de près de 4 mètres de longueur et faisant queue dans les murs s'opposent au basculement de l'entablement et à la poussée du rampant. L'épaisseur du fronton est allégée par un arc brisé de décharge en son milieu et par deux arcs rampants à ses extrémités. Deux chaînes placées derrière le tympan et ancrées dans le rampant annulent les poussées de celui-ci en partie haute. Ces chaînes sont soulagées par des jambes de force reportant une partie du poids sur le mur intérieur. Le tympan du fronton est lié au mur intérieur et aux arcs de décharge par une série de tirants à talons et de crampons placés sous le rampant.

Cette complexité mise en œuvre fut considérée comme étant une étape très novatrice sur le plan structurel. Elle va inspirer les hommes de l'art pour le traitement de problèmes similaires tant sur des monuments prestigieux que sur des édifices plus communs.

Sur la façade de Saint-Sulpice, le système d'armatures des plates-bandes appareillées est associé à un arc de décharge placé au-dessus de celles-ci. En partie inférieure, des barres horizontales formant linteaux traversent les claveaux et sont suspendues, par l'intermédiaire d'étriers placés dans les joints des claveaux, à deux tirants horizontaux allant d'une colonne à l'autre et placés au-dessus de l'architrave et de la frise. Un tirant cintré au-dessus de l'arc de décharge soulage ces tirants.

Un dispositif assez semblable pour les entablements des bâtiments de la place de la Concorde a été exécuté sous les ordres de Gabriel par l'appareilleur Bernard qui était déjà intervenu sur la façade de Saint-Sulpice. Un berceau brisé supportant la couverture décharge le plafond du péristyle. Les poussées de ce berceau ne sont contrebutées que par l'importance des pierres de la corniche cramponnées les unes aux autres.

L'ensemble des armatures mis en œuvre pour la façade de l'église Sainte-Geneviève par Rondelet, à la demande de Soufflot en 1770, a pour objectif de contenir la poussée des plates-bandes, ainsi que celle de la grande voûte du milieu du péristyle et des plafonds appareillés. Il était en outre nécessaire de reporter sur les colonnes la charge du fronton et des plafonds tout en allégeant au maximum le poids de ceux-ci. La faiblesse de la section des colonnes isolées les rendaient en effet incapables de supporter une charge importante.

Pour résoudre ce problème, Rondelet associe aux plates-bandes dont les claveaux sont fortement réduits en hauteur, des arcs de décharge reprenant le poids de l'entablement. Ces plates-bandes sont en outre armées et munies de suspentes dont les ancrages sont placés à l'aplomb des colonnes. Deux chaînes supplémentaires placées au-dessus des arcs de décharge soutiennent, par

l'intermédiaire d'étriers, les pierres de la corniche et la chaîne située au-dessus des claveaux des plates-bandes.

Le fronton est allégé par cinq grands arcs dont les retombées correspondent à l'aplomb des colonnes. Le rampant est muni d'un tirant ancré à ses extrémités pour annuler les poussées latérales.

À la complexité de ce dispositif, il est intéressant de faire le rapprochement avec la solution imaginée par Victor Louis pour le péristyle du Grand Théâtre de Bordeaux achevé en 1780. L'architecte met au point pour traiter l'angle du péristyle un savant appareil de pierre, assemblé à tenons en queue d'aronde et rayonnant à partir de l'avant dernière travée. Cet appareil a pour effet de diminuer la poussée au vide du plafond et des plates-bandes et de la reporter vers le mur d'élévation intérieure du portique. L'armature métallique mise en place comprend une barre horizontale et une chaîne dans la hauteur de la plate-bande reliées à leurs extrémités par des ancrages verticales implantées à l'aplomb des colonnes et derrière le mur d'adossement du péristyle. À chaque travée d'extrémité du portique, trois étriers relient les chaînages horizontaux entre eux. Une chaîne placée sur l'extrados du plafond selon la diagonale de la travée assure une liaison supplémentaire entre la colonne d'angle du péristyle et son mur d'adossement.

Dans cet exemple, il apparaît clairement que Victor Louis, architecte perfectionniste, a cherché à minimiser l'emploi des armatures de fer, expédient particulièrement impur à ses yeux dans la mise en œuvre d'une architecture de pierre pour laquelle l'art de la stéréotomie doit être mis à son service et exploité au maximum.

Ces différents exemples illustrent bien le problème de la construction des plates-bandes appareillées et des poussées latérales qu'elles occasionnent. Ce sujet devient particulièrement d'actualité dès lors que l'architecture fait référence et prend comme modèle les monuments de l'antiquité grecque et romaine. L'objectif est de reporter les masses supérieures des édifices sur des colonnes isolées par l'intermédiaire de plates-bandes et non pas d'arcades. Le débat ne porte pas seulement sur une question d'ordre formel mais également sur des problèmes d'ordre structurel.

Les difficultés rencontrées pour la construction du dôme de l'église Sainte-Geneviève ouvrent une polémique entre Soufflot, Patte, Perronet, Gauthey, Frézier. Le débat constructif se cristallise autour de la notion de solidité qui doit guider le concepteur. L'idée de structure débouche sur l'économie de matière tandis que l'intérêt porté sur l'architecture gothique se développe.

À l'aube du XIX^e siècle, la question se pose de savoir si l'armature métallique doit rester un expédient constructif et ne jouer qu'un rôle de simple moyen de sauvegarde et non pas constituer un élément fondamental de la construction.

Le fer n'ayant pas le statut d'éternité attribué à la pierre, celle-ci demeure le matériau noble qui seul convient à la grande architecture.

Bernard FONQUERNIE
Architecte en chef et inspecteur général
des monuments historiques

Les grilles monumentales

Éléments d'approche pour leur restauration

L'intervention de l'Architecte en chef des monuments historiques en matière de restauration, en général, et de restauration de grilles monumentales, en particulier, repose sur quelques principes qui sous-tendent l'action du service des monuments historiques :

- tout d'abord, l'analyse fine de l'existant, analyse portant sur le matériau, sur l'authenticité de ses formes et finitions, sur son état sanitaire,
- l'analyse, ensuite, de l'histoire de l'édifice au travers de ses archives et de la documentation inhérente à celui-ci,
- la connaissance, enfin, de l'histoire en général, de l'histoire de l'art et de l'architecture en particulier et de ses techniques, de son vocabulaire, du contexte de production de l'œuvre analysée, de l'impact et de l'importance de celle-ci dans le contexte général.

Ces analyses préliminaires, dans le cas de grilles monumentales sont d'autant plus nécessaires que les causes de leurs évolutions ou altérations par rapport à leur programme originel sont multiples. Citons notamment :

- leur caractère mobilier les rendant aisément déposable,
- l'évolution des réformes liturgiques pour les grandes grilles d'églises, clôture de chœur, jubés, tables de comunions,
- les altérations dues à l'époque révolutionnaire,
- les modifications ou transformations d'un XIX^e siècle en quête d'un style idéal,
- la corrosion enfin qui les altère, les modifie, les appauvrit quelquefois.

Il en découle un projet de restauration réalisé souvent en deux temps, tout d'abord dans le cadre d'une étude préalable, puis dans celui d'un projet de consultation d'entreprises où apparaissent à la fois :

- une approche doctrinale précisant la nécessité ou l'absence de nécessité de restaurer l'œuvre en question, à l'identique, avec apport d'éléments la complétant ou non, ou l'intérêt de restituer des éléments disparus,
- une approche plus technique, appuyée sur des plans, détails et descriptif de travaux, analyses menées par des laboratoires comme le Laboratoire de recherche des monuments historiques visant à définir précisément ceux-ci, la façon de les réaliser et, dans le cas particulier de grilles monumentales, la nature du matériau à utiliser, la section de ses composantes, les types de ses assemblages, l'aspect de ses finitions, le protocole de stabilisation de sa corrosion...

Ces prescriptions, au regard de l'approche préliminaire historique, nous amènent à demander souvent à nos parte-

naires - les entreprises chargées de la restauration - la mise en oeuvre et la conservation de techniques anciennes que la production, les outils et la main-d'œuvre actuels rendent souvent difficiles à préserver.

Ainsi, dans le cas de la restitution d'une grille monumentale à la cathédrale de Saint-Claude (Jura) ai-je eu l'occasion de demander :

- l'emploi d'un fer pur, pauvre en carbone, aussi proche que possible de celui réalisé autrefois dans des forges au charbon de bois,
- l'utilisation d'un fer, forgé à la main par martelage, afin de retrouver visuellement l'aspect et le modelé des fers anciens,
- le recours à des sections de barreaux et traverses, différentes de celles débitées commercialement aujourd'hui, en raison surtout du remplacement des unités de mesures anciennes par le système métrique,
- l'utilisation d'assemblages tels que le tenon-mortaise sur un fer épaulé, le trou renflé, le gousset de renfort d'angle, les jambes de force de renfort etc.

Il a donc paru intéressant ici de connaître les réponses qu'une entreprise actuelle, spécialisée dans le travail du fer, pouvait donner aujourd'hui à nos prescriptions.

C'est après une relation fructueuse menée dans le cadre de ce chantier de Saint-Claude avec l'entreprise *Les Métalliers Champenois* qu'il m'a semblé intéressant de faire appel à elle aujourd'hui. Elle offrait en outre l'avantage :

- d'être une entreprise à la fois rattachée à la tradition de par ses composantes compagnonniques et, à notre époque, de par sa structure, son outillage actuel et ses interventions contemporaines,
- d'animer l'Ecole internationale de la ferronnerie française de Muizon,
- d'avoir réalisé enfin avec les *Métalliers Lorrains*, sous la maîtrise d'œuvre de mes confrères Rocard et Colas, le chantier de restauration des grilles de Jean Lamour à Nancy.

La seconde partie de cet exposé sera faite par Monsieur Pascal, dirigeant de l'entreprise, qui tentera de répondre principalement aux questions suivantes :

- quels sont les matériaux utilisables sur le marché actuel pour la restauration ou la création de grilles monumentales ?
- comment, en fonction de ceux-ci, arriver à l'aspect fini du fer d'autrefois ?

• les outils actuels, la main-d'œuvre, le travail plus important réalisé aujourd'hui en atelier modifient-ils la façon de travailler le fer ?

Mais auparavant il m'a semblé intéressant, de manière rapide et certes, non exhaustive, de rappeler nos connaissances sur les matériaux utilisés dans la réalisation des grilles monumentales et de retracer l'histoire et l'évolution des formes et techniques de ces ouvrages.

Ces rappels s'appuient principalement sur les traités anciens de Mathurin Jousse, *La fidèle couverture de l'Art du Serrurier*, 1627, de Duhamel de Montceau, *Art du Serrurier*, 1767, de Diderot et d'Alembert *Encyclopédie*, 1771, sur le d'Allemagne et le catalogue du Musée Le Secq des Tournelles de Rouen (1924-1943), sur d'autres encore tels Jean Lamour, Vattin, Viollet-Le-Duc ou le fond de relevés du Centre de recherche des monuments historiques et, enfin, sur le remarquable ouvrage de Raymond Lecoq sur la serrurerie ancienne (1973).

Le métier :

Quant à la corporation des fèvres, artisans travaillant le fer, elle semble être née au XIIIe siècle. Elle était divisée en cinq catégories :

- les fèvres maréchaux, spécialisés dans les voitures,
- les fèvres vrilliers, spécialisés dans les instruments de perçage,
- les fèvres greffiers, spécialisés dans les pentures et ancrés,
- les fèvres heaumiers, spécialisés dans les armes,
- les fèvres grossiers, spécialisés dans les grilles et rampes, ouvrages qui nous intéressent aujourd'hui.

La qualité des fers anciens :

Duhamel de Montceau précise qu'était disponible, chez les marchands, un certain nombre de fers :

- Les fers de meilleure qualité, les plus doux et les plus chers, provenaient de Lorraine,
- venaient ensuite ceux du Berry, du Nivernais et des rives de la Loire,
- puis ceux de Champagne et de Bourgogne.

Dans l'ordre de la qualité des fers à être travaillés, on utilisait d'abord les fers doux de Lorraine, puis les fers de roche, les fers de demi-roche et enfin les fers communs.

La section et l'appellation des fers anciens :

Rappelons que la transcription métrique des unités de mesure ancienne (adoptée depuis 1795 et imposée depuis 1837) est à peu près celle-ci :

| | | |
|---------|------------|---------|
| 1 ligne | 1/12 pouce | 2,25 mm |
| 1 pouce | 12 lignes | 2,7 cm |
| 1 pied | 12 pouces | 32,4 cm |
| 1 toise | 6 pieds | 1,949 m |

Duhamel de Montceau toujours, évoque plusieurs sections :

- Les plus petits fers appelés carillons sont des fers carrés de 4 à 5 lignes (9 mm) jusqu'à 8 à 9 lignes de côté.
- Tous les autres fers étaient désignés sous le nom de fers carrés variant de 9 à 10 lignes à 3,5 à 4 pouces carrés (10,8 cm) que l'on trouvait tant en fer de Lorraine que roche ou commun.

Mais l'on désignait également certains fers en fonction de leur usage :

- Les côtes de vaches, fers refendus dans les fenderies de 2 à 12 lignes, carrés,
- les fers méplats forgés au gros marteau et utilisés surtout pour les bandages des voitures de 29 à 32 lignes de large et de 12 à 15 lignes d'épaisseur,
- le fer demi-laine, utilisé pour les bornes de 5 à 6 lignes d'épaisseur, 12 à 13 lignes de largeur et 9 à 10 pieds de long,
- le fer cornette de 6 à 8 lignes d'épaisseur, 5 à 7 pouces de large et 4 à 6 pieds de long, pour les escaliers,
- le fer rond de 5 à 10 lignes de diamètre,
- les feuilles de tôle à partir d'une ligne d'épaisseur,
- etc.

Les grilles monumentales, rappel historique et évolution stylistique :

Sans prétendre à l'exhaustivité, on peut retracer l'évolution historique des grilles ainsi :

Aux XIe et XIIe siècles, les ouvrages proviennent essentiellement d'édifices religieux, grilles de chœur destinées à clore celui-ci, les grilles sont composées de petits panneaux qui se répètent souvent, simplement, les panneaux sont maintenus entre des montants par des colliers, le décor est formé de volutes ou d'éléments en C, les fers sont ornés de dessins en pointillé réalisés au pointeau, le couronnement est parfois défensif, la technique est celle du fer étiré au marteau, les assemblages sont à colliers, à trous renflés ou par soudage à chaud, et les pentures procédant du même raisonnement se développent.

Les exemples les plus connus sont : la grille de l'abbaye d'Ourscamp au musée Le Secq ; la grille du cloître de la cathédrale du Puy ; la grille du chœur de Sainte-Foy de Conques.

Au XIIIe siècle, les grilles restent de petites dimensions à motifs répétitifs simples, elles sont fixées entre des montants ou dans un cadre, le décor est principalement à base de C, à volutes ouvertes souvent terminées par un ornement étagé (feuillage), il y a peu de couronnement; le fer est étiré au marteau et mouluré par étagage, l'aspect est plus lourd car les fers sont sur plats, les assemblages sont à embrèvements.

Les exemples les plus connus sont ceux du musée d'Auxerre, de la crypte de l'abbatiale de Saint-Denis, de la cathédrale de Reims, les pentures de Notre-Dame de Paris, refaits par P. Boulanger pour Viollet-le-Duc.

Aux XIVe et XVe siècles, il apparaît deux types de décor :

- Le premier reste à motifs à répétition, avec peu de volutes, mais surtout des quadrilobes, parfois décorés d'étampes. En couronnement apparaissent des ornements en fer battu découpé et sommairement repoussé. Aux assemblages, apparaissent des rondelles florales.

- Le deuxième s'inspire de l'architecture : c'est l'apparition de l'orbe voie, effet de relief obtenu par la superposition de plaques repercées. Les reliefs évoquent la menuiserie et la sculpture sur bois.

Le couronnement est en tôle découpée et repoussée. Le fer reste étiré au marteau ; la technique de la plate, tôle martelée, découpée et repoussée, apparaît ; les assemblages

deviennent à mi-fer, à tenons et mortaises. Vis et rivets apparaissent.

On connaît de ce type la grille de l'ancien jubé de la cathédrale de Rouen, attribué au forgeron Bertin ou encore les grilles supprimées en 1540 relevées par d'Allemagne et aujourd'hui au musée des Antiquités de Rouen.

La fin du XVe et le début du XVIe siècles voient une véritable renaissance de la ferronnerie française ; l'influence italienne est forte, on traite le fer comme le bronze. L'ensemble le plus impressionnant en fut, sans doute, le grillage en argent massif que Louis XI avait donné à la basilique Saint-Martin de Tours et qui fut fondu sous François Ier.

Les grilles sont souvent constituées d'une suite de barreaux maintenus par des traverses, les motifs de décoration sont à répétition (S inversés) ou disposés en bandes horizontales en tôle découpée et repoussée, et quelquefois gravée (palmettes et feuilles) ; on note l'introduction de personnages dans l'ornementation.

Le couronnement gagne en richesse, les parties ouvrantes sont surmontées d'arcs en accolade, les volutes des décors sont très ouvertes, la technique reste celle du fer étiré, de la tôle ; le martinet hydraulique apparaît ; les assemblages sont à mi-fer, tenons et mortaises, le trou renflé pour les barreaux se développe.

Les églises de Sarrancolin (Hautes-Pyrénées), Belpech (Aude), Venerque (Haute-Garonne), de l'hôtel de Marisy à Troyes, de la grille de la porte Dauphine au Palais de Fontainebleau ou encore les grilles de l'hôtel Jacques Coeur de Bourges (au Musée Le Secq), de l'échauguette de l'hôtel de Marisy à Troyes (dessin de Lecoq), la grille du chœur de la cathédrale d'Albi en sont de beaux exemples.

Le XVIIe siècle est l'époque de plein développement des grilles :

Au début XVIIe siècle, les grilles sont une suite de barreaux avec bandes horizontales de C et de S, avec peu de décor en tôle. L'effet est d'une grande légèreté comme dans l'église d'Aneau (Hautes-Pyrénées), les cathédrales de Noyon et de Besançon.

Sous Louis XIII, on remarque des grilles à panneaux, au décor léger, répétitif et inversé. Les grilles civiles se développent. Les fers sont souvent plats et sont maintenus dans un cadre. Le décor de feuillage est rivé sur les fers, souvent sèchement découpé. On peut citer les exemples des grilles de l'église des Minimes de Tours, de l'église Saint-Jean-de-Malte d'Aix-en-Provence, du château de Maisons (au Louvre) et la grille du château de Carrouges (Orne), la grille d'une rose de la cathédrale d'Amiens (Musée Le Secq).

Sous Louis XIV, on note deux périodes :

- la première, dans la continuité du style Louis XIII et Renaissance,
- la seconde à partir de 1660, voit la période classique, l'ordre, la symétrie avec le début des grands travaux extérieurs : grilles à barreaux surmontés de fers de lance et pilastres au décor plus riche qui raidit l'ensemble,

les grandes grilles ouvrantes : grilles consolidées par des arcs-boutants,

grilles à barreaux droits à pilastres plats portant un entablement et surmontés d'un fronton, grille au décor symétrique de bandes horizontales et verticales. En témoignent les grilles du Val-de-Grâce de Jean Mouchy et Sébastien Mathérion (v. 1666), les grilles de Versailles (v. 1679) et du potager du Roy par Fordrin (1681) les grilles de l'ancienne abbaye de Saint-Denis, du lycée Henri IV à Paris.

Durant toute cette période, les fers sont principalement plats, le laminoir à feuillard apparaît en 1615. Les moulures sont obtenues par superposition de fers. La dorure apparaît.

Les assemblages sont surtout à mi-fer, apparaissent les liens à cordons, les colliers rivés, la tôle est embrevée et rivée sur les fers.

Dans le décor, les fers s'amincissent vers le noyau formant quelquefois un œil très serré, le feuillage se découpe parfois en retroussis.

Au XVIIIe siècle, sous Louis XV, on note que jusqu'à 1730, perdure l'influence du style Louis XIV, de 1730 à 1760, c'est le triomphe du style rocaille avec des frontons de plus en plus importants, un entablement souvent courbe, des pilastres à quatre faces avec chapiteau à l'antique, des barreaux rarement continus, un décor symétrique ou asymétrique avec des lignes souples, des éléments en tôle repoussée au modelé nerveux, quelquefois des ornements fondus, des volutes se terminant en corne de bélier ; le laminoir à chaud permet, vers 1750, l'emploi de fers profilés; la fonte de fer est utilisée depuis 1722 (Réaumur), les assemblages présentent peu de colliers, les billes sont créées ainsi que les congés de renfort d'angle. Certains parmi les exemples les plus connus l'église Saint-Ouen de Rouen, de Nicolas Flambert (1749), l'Hotel-Dieu de Troyes, de Pierre Delphin (1760), les grilles des places Stanislas et Carrière de Nancy, par Jean Lamour, 1752-1755, les grilles des cathédrales de Bayeux, Noyon, Sens, Bordeaux, Amiens.

Sous Louis XVI de nouvelles conceptions de grilles, en réaction au rocaille, émergent :

les grilles sont de plus en plus architecturales, les pilastres, entablements, frontons s'alourdissent, le décor devient froid et s'inspire de l'antiquité, les volutes se dédoublent, les grecques apparaissent. Sur le plan technique, le fer est poli. On note l'apport d'éléments en fonte ou en bronze.

Les grilles de l'Ecole Militaire de Paris, par Claude Rayet sur un dessin de Gabriel (1773), les grilles du Palais de Justice de Paris, par Bigonnet sur un dessin de Demaisons (1785), la table de communion de Saint-Roch, par Dere sur un dessin de Challe, la grille du Palais des Etats de Dijon, par Meiguieu sur un dessin de Jolivet (v. 1783-85) en sont des témoins véritables.

Enfin, au XIXe siècle, avec l'Empire, apparaît un style nouveau :

fronton et entablement perdent de l'importance, les pilastres sont remplacés par des faisceaux de lances, le décor s'inspire toujours de l'antiquité, une impression de maigre s'en détache, l'emploi de la fonte se développe, les styles se mêlent.

On admirera à ce titre la Maison des Cariatides de Nantes et la grille de la Cour du Cheval Blanc à Fontainebleau (1810)

Assemblages et techniques

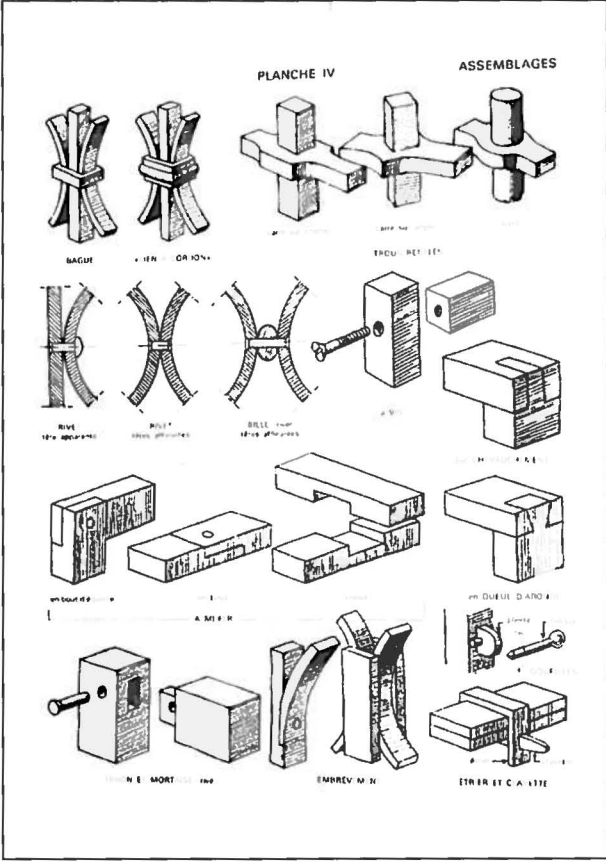
On présentera ici très succinctement les principaux assemblages : les bagues, les trous renflés, les rivets, les vis, les billes, les mi-fers, l'embrèvement, le tenon et mortaise, la queue d'aronde, le chevauchement, la clavette, la goupille, etc.

Les opérations de forge du fer réalisées le plus souvent à chaud, permettent de le cintrer, former, couder, plier, dégorgier, épauler, refouler, étamper, poinçonner, fendre, trancher, étirer, amincir, appointir, torsader, etc. Les techniques principales de décor font appel au découpage, repérage, à l'orbe-voie, la gravure, au relevé, au repoussé, à l'étampage, etc.

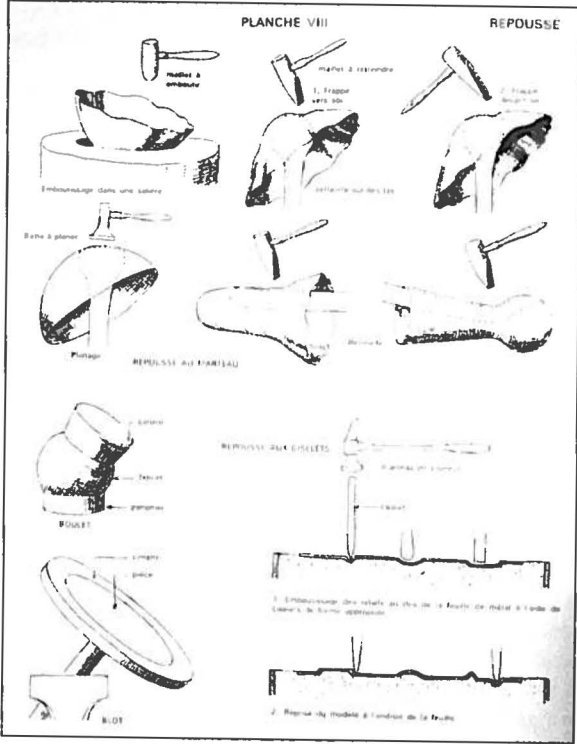
Eric PALLOT
Architecte en chef des monuments historiques



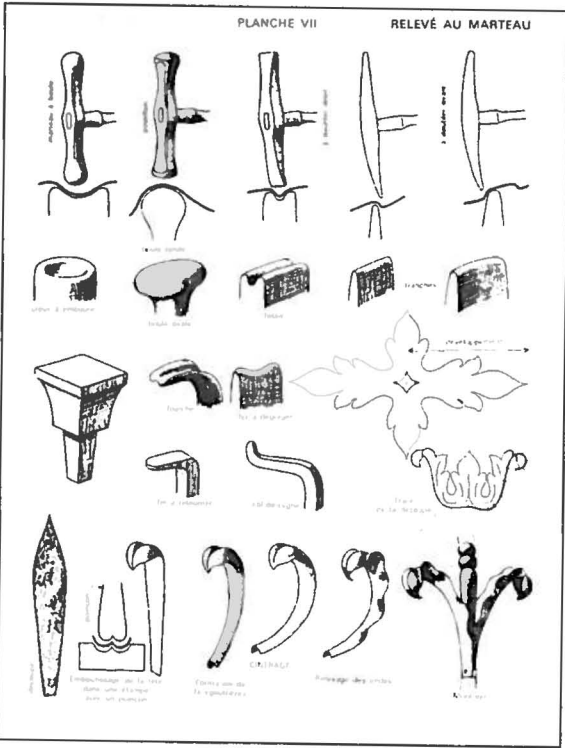
Techniques.



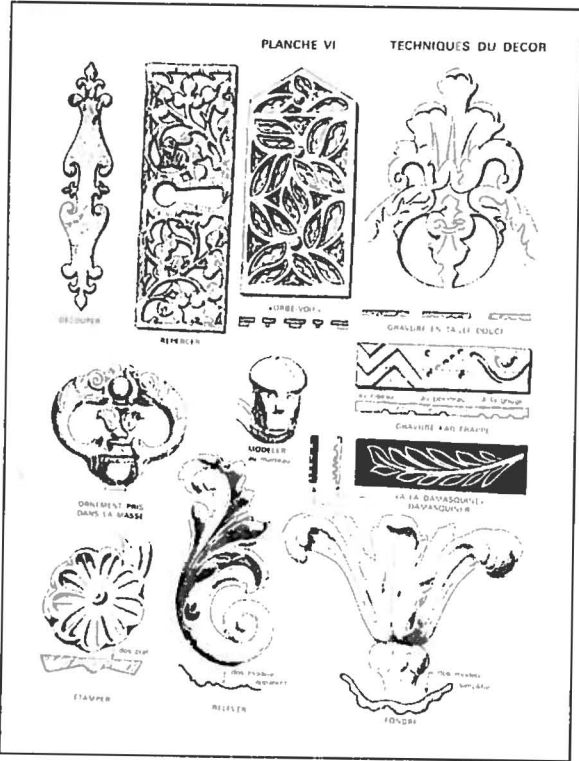
Assemblages.



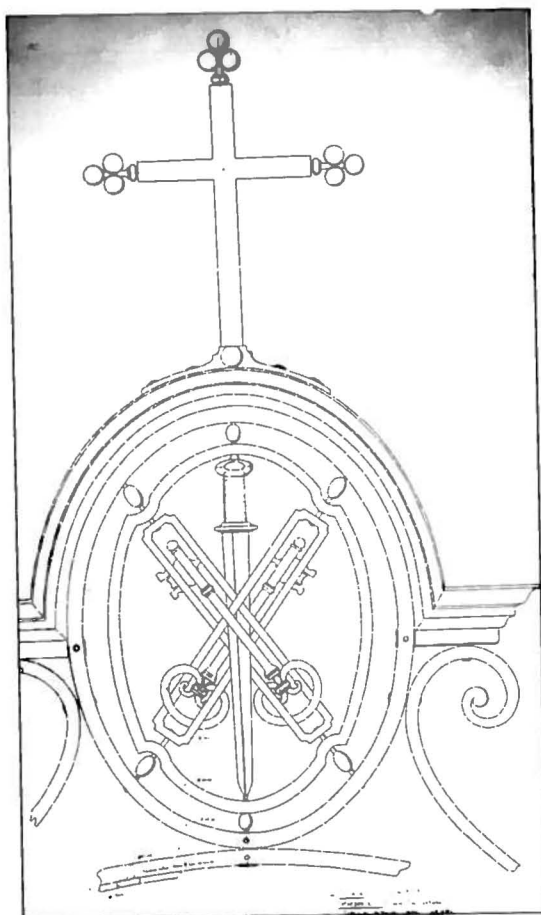
Technique du repoussé.



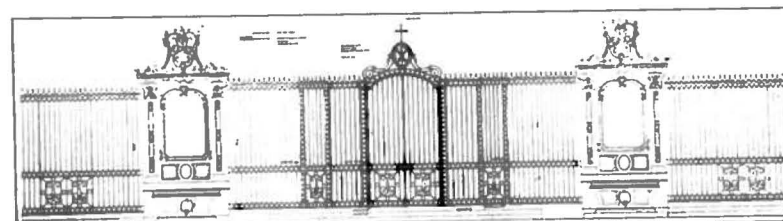
Technique du relevé.



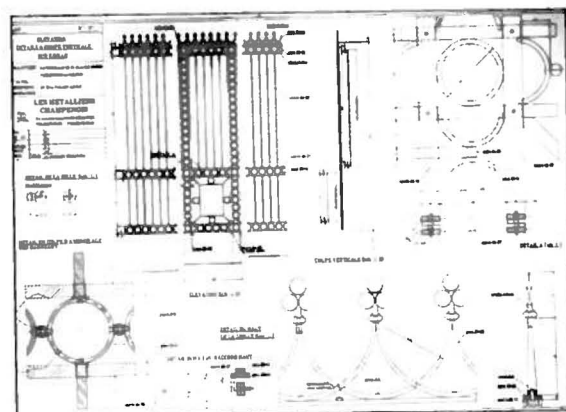
Technique du décor.



Détail du fronton d'axe.



Élévation générale de la grille à restituer.



Détail du calepinage de l'entreprise.



Ouvrage terminé.

Cathédrale de Saint Claude - Jura - Restitution de la grille du chœur.
E. Pallot ACMH. ent. les Métalliers champenois.

Les grilles monumentales Problèmes de fournitures, de matériau, de mise en œuvre

Pratique du forgeage direct des fers pour mise en œuvre de grilles décoratives en fer forgé suivant la tradition des serruriers d'antan.

Les origines du fer forgé se perdent dans la nuit des temps. Le métier de serrurier, qui a produit des ouvrages remarquables, a évolué lentement ; la production actuelle de fer forgé décoratif est infiniment plus faible que dans les siècles passés voire pratiquement inexistante ; il est important de faire valoir encore aujourd'hui sa richesse d'ornementation et ses multiples applications.

On peut d'autant plus admirer les œuvres du passé que les forgerons d'antan, avant d'exécuter un ouvrage, préparaient eux-mêmes leur fer, c'est-à-dire qu'il le mettaient en état d'être forgé car, avant de façonner le fer il fallait le battre pour bien l'amalgamer, et le rendre ainsi, plus malléable d'une part et plus compact d'autre part.

Toute cette préparation était autrefois entièrement faite à la main à grand renfort de coups de marteau ce qui permettait au fer de conserver aussi un aspect plus agréable que celui des barres actuelles qui sont rigides et monotones et ont des arêtes trop vives.

Aujourd'hui le fer est livré aux ferronniers laminé, préparé en barres carrées et de toutes dimensions ; ceux-ci n'ont plus qu'à choisir les fers dont ils ont besoin. Ce fer n'est autre qu'un acier doux ADX, ou encore laminé marchand, capable de s'adapter à toutes les circonstances dans le domaine de la construction.

Les sections des barres commerciales sont d'après les normes AFNOR A 45-003 livrées en longueur courante de 6 Ml environ ; les sections de fer carré par exemple, sont cotées en millimètres de 6 - 8 - 10 - 12 - 14 - 16 - 18 - 20 - etc. Sur commande spéciale et sous condition d'une quantité dépassant plusieurs tonnes, il sera possible d'obtenir des cotes variantes (15 - 19 - 28 etc.)

Cet acier doux, ne contient qu'une légère quantité de carbone. Il remplace le fer que l'on ne trouve pas sur le marché ; il est très malléable malgré tout et on peut le chauffer à de très hautes températures sans craindre de le brûler (entre 900° et 1400°) par contre on le soude moins aisément que le fer au feu de forge.

Le forgeage des éléments constitutifs d'une grille monumentale, consiste à façonner les profilés à chaud par choc

ou par pression, à l'enclume, ou au pilon de force moyenne. Cette opération de forgeage va nous permettre d'exécuter plusieurs catégories de pièces telles que montants, traverses, rotations, pivots, crapaudines, sabots...

Les pièces qui doivent rester "brutes de forge" c'est-à-dire celles qui, après avoir été exécutées suivant les cotes exactes du dessin, sont mises directement en service ne subiront aucun autre travail.

Aux pièces qui doivent être usinées c'est-à-dire subir après le forgeage, des opérations d'ajustage et de finissage, il sera nécessaire de réserver un excédent de métal.

La difficulté de forger et de mettre un fer à section, est d'avoir à l'esprit son aspect fini ; il n'est pas rare de transformer une section du commerce par exemple, un carré de 30 x 30 pour obtenir un forgeage d'aspect sur un profil transformé en carré de 27 x 27 - on obtiendra une section correspondante au fer ancien et en plus un aspect esthétique de fer martelé (opération dite de corroyage).

Les imitations de fer ancien peuvent être réalisées par passes successives sur un petit laminoir, suivant l'importance, à chaud ou bien à froid. Les assemblages sont exécutés à la presse en général pour des sections de fer carré 60 x 60 sur une presse de 100 à 200 tonnes avec les outillages appropriés, en fonction du résultat que l'on cherche à obtenir : tenons ou mortaises, et opérations de matriçage et d'étampage.

Bien entendu, ce forgeage d'aspect est pour nous un peu obligatoire... (nous ne pouvons garder le fer brut de laminoir à la surface trop plane et aux arêtes rectilignes).

Il est essentiel que l'œuvre de fer forgé en cours de fabrication se rapproche le plus possible du traitement de surface des fers anciens.

L'acier doux ADX doit être bien protégé en cas d'exposition en terrain humide. Après sablage léger une protection anticorrosion des structures métalliques en acier par métallisation au zinc est nécessaire (le zinc bloquant ainsi le processus d'oxydation).

Depuis quelques années, nous avons une autre possibilité, car nous trouvons une production de fer pur type ARMCO gamme TELAR 57, commercialisée sous forme de barres étirées d'un diamètre allant de 8 à 58 mm et en tôle de 1 à 30 mm.

L'avantage de ce fer, c'est que l'on peut le trouver en section ébauchée : c'est-à-dire ayant déjà subi un forgeage d'approche et nous pouvons ainsi appuyer son aspect ; il se forge très bien et permet des "exploits" avec des déformations de toutes sortes.

Ce fer chauffé à température convenable, devient extrêmement plastique : il peut être allongé, refoulé, cintré, roulé, percé, soudé au feu, etc. On peut également le relever au marteau lorsqu'il est de faible épaisseur 10/10 cm (par exemple les feuillages décoratifs des grilles monumentales de la place Stanislas).

Ce fer pur a plusieurs inconvénients. Tout d'abord, pour le forgeron il y a une "zone critique de travail à chaud" qui s'étend de 860° à 1050°, or ce métal ne doit jamais être travaillé à cette température. Si la température du métal est évaluée d'après sa couleur, il faut veiller à ne pas le chauffer au rouge-cerise. Si on travaille le fer pur entre les deux limites de la température critique, on est assuré de "criquer" ou de le casser... Il est important de le forger, métal porté au blanc, et de cesser le forgeage dès que la température tombe aux environs de 1050°. Seule cette question de température critique rend un peu délicate, certaines opérations de forgeage ; par ailleurs, ce fer se prête facilement à tous les travaux.

Le second inconvénient est son prix d'achat ; il faut considérer en gros environ dix fois le prix au kilo gramme d'un fer laminé marchand.

Depuis 1982, il existe une autre possibilité de fourniture de fer pur par "The Iron Bridge Gorge Museum" (Angleterre) : il nous est proposée une série de profils ou fer pur dont les sections en fer carré, plats et rond. Pour les fers carrés de 3/8" = 9.5 mm x 9.5 à 1' 1/4" = 31.75 mm x 31 x 75, les dimensions anglaises portent le carré de 25 x 25 par exemple en 1 inch = 25.4 x 25.4.

Ainsi pour le forgeage, la production de fer pur existe, mais son prix est élevé et il faut transformer le fer afin d'obtenir un aspect et des sections convenables ; on sait que ce forgeage ne sera ni limé, ni poli, ni rectifié par la suite, mais conservé de telle manière que la possibilité de donner à un fer forgé une surface lisse ou rugueuse, figure parmi les moyens d'expression de l'artisan.

Le métier de serrurier... ferronnier procède d'une très ancienne tradition ; les gestes du forgeron d'aujourd'hui sont les mêmes que ceux de ses ancêtres les plus lointains.

Il faut toutefois reconnaître que la puissance motrice des diverses presses hydrauliques et pilons de toutes tailles favorise un forgeage moins pénible et plus rapide, sans avoir pour autant permis de provoquer une révolution importante dans la conception d'ouvrage. De même, les fours de chauffe remplacent petit à petit la forge traditionnelle au charbon (houille).

Le serrurier reste à l'écoute dans le cas d'une création de grille, par exemple, et s'attache à la logique de l'architecte qui, lui, de par son analyse historique favorise les recherches sur l'aspect de la surface, le respect des sections anciennes et l'étude des divers assemblages qui doivent composer l'œuvre, afin d'obtenir une symbiose entre l'objet à créer et à insérer et l'architecture du patrimoine, pour le respect du site et de l'époque. L'objectif est de proposer un ensemble équilibré aux justes proportions.

Il s'agit en général de réalisations inspirées de la tradition et de restaurations effectuées sur des ouvrages ayant subi les attaques du temps.

Il faut savoir qu'il est difficile dans le contexte actuel de conserver une forge en activité journalière ; cette activité devient malheureusement de plus en plus occasionnelle et la dextérité manuelle en souffre chaque jour un peu plus.

Grâce aux travaux d'entretien notre métier arrive à conserver malgré tout une activité régulière : le feu de forge couve encore... et ne doit pas s'éteindre !

Chacun a pu observer le spectacle fascinant du forgeron devant sa forge, le visage illuminé par les flammes il surveille son fer dans le feu, prépare ses outils, essuie d'un revers de main la table de son enclume ; il sort du foyer la barre rougie et avec des gestes larges et précis, il frappe sur l'enclume qui sonne ; chaque coup porte et modifie peu à peu la forme jusqu'à l'état final désiré...

Le texte de Jean Lamour, serrurier du Roy Stanislas garde toute son actualité :

"La forge a des parties pleines d'agrément, de délicatesse et de majesté. Elle est susceptible de toutes les formes. Elle a quand elle le veut, l'énergie de la peinture et de la sculpture, la hardiesse de l'architecture et toujours la solidité. Tout ce qui sort de ses mains devient monument..."

Serge PASCAL
Directeur général
des "Métalliers champenois"

Du fer à Nancy : de Jean Lamour à Jean Prouvé

Avouons-le d'emblée, malgré sa situation au cœur d'une des régions sidérurgiques les plus importantes d'Europe, la capitale lorraine est longtemps restée pour l'essentiel une ville de pierre et de bois, avant de sacrifier au béton, comme tant d'autres. Au delà de quelques exceptions qui confirment la règle, le patrimoine architectural nancéen recèle cependant nombre d'éléments de second œuvre d'une très grande qualité qui témoignent d'une véritable culture régionale du métal dont le Musée de l'Histoire du fer pérennise la mémoire depuis quelques décennies déjà.

En dix siècles d'existence, Nancy a connu trois âges d'or, à commencer par le XVI^e siècle qui a vu la capitale du duché de Lorraine renaître de ses cendres, au lendemain de la défaite de Charles le Téméraire, pour devenir l'une des plus belles places fortes d'Europe. Mais il faut attendre les célèbres embellissements entrepris au milieu du XVIII^e siècle par Stanislas, en vue de relier le noyau médiéval à la ville Neuve créée à la Renaissance, pour voir le fer occuper le devant de la scène grâce aux merveilleuses grilles de Jean Lamour. Si l'Ecole de Nancy ne reprendra ce flambeau qu'un siècle et demi plus tard, les efforts parallèles d'entrepreneurs, comme François Schertzer (1845-?), et de créateurs, comme Louis Majorelle (1859-1926), vont relancer cette culture du métal nancéenne dont Jean Prouvé (1900-1981) deviendra l'un des principaux champions.

Nous ne reviendrons pas ici sur l'œuvre de Jean Lamour, si bien décrite par Emile France-Lanord, pour mieux nous concentrer sur la place du fer dans la ville de l'âge industriel qui démarre à Nancy avec l'arrivée du chemin de fer au début du Second Empire.

UN PREMIER RENOUVEAU

La mort de Stanislas et le rattachement de la Lorraine à la France scellent la fin d'un monde que confirme la Révolution française. Malgré une croissance démographique non négligeable, bientôt stimulée par l'arrivée conjointe du chemin de fer Paris-Strasbourg et du canal de la Marne au Rhin, puis par le retour de l'Université et de la Manufacture des tabacs, l'urbanisation nancéenne se limite longtemps à la densification de la ville Neuve. Tant et si bien qu'à quelques exceptions près, le fer ne retrouvera vraiment sa place le long des alignements nancéens qu'au lendemain du traité de Francfort, avec l'arrivée massive des Alsaciens-Lorrains. Propulsée aux

avant-postes, l'ancienne capitale ducale va en effet connaître, le temps d'un premier entre-deux guerres, une croissance urbaine sans précédent.

Sans attendre l'ouverture longuement discutée de la ligne Paris-Strasbourg, le fer fait une entrée remarquée sur le territoire nancéen, dans le cadre du concours organisé par la commune pour la construction d'un marché couvert, en plein cœur de la Ville Neuve. Les partisans du fer y trouvent, en effet, une première occasion de se mesurer aux tenants des matériaux traditionnels. Cependant, le débat se limite encore à la charpente, aussi la première grande structure métallique réalisée à Nancy demeure-t-elle la grande halle de la gare, entreprise en 1856 par l'architecte-ingénieur Chatelain à l'issue de plus de dix années de discussions stylistiques et financières sur un embarcadere réalisé en pierre. Les échos à cette première halle métallique restent lointains. C'est l'emploi, des plus discrets, de la technique de la pierre armée pour la structure de la basilique néo-gothique Saint-Epvre, élevée de 1864 à 1874 sur les plans du Grand Prix de Rome local, l'architecte municipal Prosper Morey, qui, d'ailleurs, ne renouvellera pas cette expérience. C'est aussi l'emploi de colonnes en fonte, supportant encore des poutres en bois, dans la construction sur des plans-types de la Manufacture des tabacs qui démarre en 1866. A côté de ces quelques expériences menées, pour l'essentiel, dans le cadre de la grande commande publique, la place accordée au métal dans les constructions particulières nancéennes du XIX^e siècle se limite longtemps à des gardes-corps des plus modestes, qu'ils s'enroulent à la rampe d'un escalier, ou qu'ils accompagnent les ouvertures d'une façade. Mais avec la reprise de la croissance urbaine amorcée par l'arrivée massive des Alsaciens-Lorrains, une nouvelle architecture domestique s'impose à partir du milieu des années quatre-vingt, sous la double impulsion d'une nouvelle génération de commanditaires et d'architectes, au premier rang desquels il faut citer Ferdinand Genay et Charles-Désiré Bourgon. Immeubles de rapport, villas et hôtels particuliers déclinent toutes les ressources décoratives d'un éclectisme qui puise, aussi bien dans l'histoire de la grande architecture, que dans les multiples ressources du patrimoine lorrain et plus particulièrement nancéen. Tout en renouvelant le registre traditionnel de la ferronnerie, cette architecture de pierre se prolonge bientôt, côté rue et côté jardin, de structures plus légères, marquises, jardins d'hiver, galeries et annexes qui articulent le métal au verre et à la brique.

Cette efflorescence du métal n'est pas étrangère à la montée en puissance d'une entreprise nancéienne de serrurerie, sous la conduite d'un ingénieur alsacien-lorrain d'origine strasbourgeoise, Frédéric Schertzer. Au début des années quatre-vingt-dix, ce fils d'un ouvrier relieur de l'imprimerie Berger-Levrault, transforme la maison Zimmermann, avec laquelle il travaille depuis vingt ans, en une grande entreprise de "Construction en fer, Charpentes et Ponts". Non content de participer à la construction de nombreuses usines nancéiennes et lorraines, Frédéric Schertzer s'intéresse de près à ce nouveau marché des adonctions comme en témoigne le catalogue de référence de l'entreprise et les quelques archives sauvegardées. Y figurent au côté de la structure métallique des premiers Magasins Réunis conçus par Lucien Weissenburger, ou de la Salle Poirel dessinée par Albert Jasson, de nombreux jardins d'hiver, le plus souvent conçus par la maison. Cette réussite professionnelle se double d'une carrière publique qui l'amène jusqu'au Conseil municipal de Nancy. Président du Syndicat des entrepreneurs de Meurthe-et-Moselle, il sera l'un des principaux promoteurs de l'Exposition internationale de l'Est de la France organisée à Nancy en 1909, dans de vastes hangars décorés, à charpente métallique.

L'ECOLE DE NANCY

Seule rescapée de l'annexion parmi les trois grandes villes de l'est, Nancy s'impose peu à peu comme la capitale financière et culturelle d'une grande région industrielle. Avec l'apport de bon nombre d'intellectuels messins et strasbourgeois, Nancy dispose alors d'une élite que bien des métropoles régionales pourraient lui envier. Cependant les commanditaires potentiels de l'Ecole de Nancy restent ceux d'une ville moyenne. Aussi l'Art Nouveau ne s'impose-t-il que tardivement dans le domaine de l'architecture, et sous des formes relativement modestes, en comparaison d'autres foyers européens. Dans l'ensemble, cette production demeure fidèle à la pierre, ne recourant que ponctuellement au métal, le temps de quelques morceaux de bravours où se distingue Louis Majorelle.

Hormis les imposants Magasins Réunis de Lucien Weissenburger aujourd'hui disparus, les quelques réalisations du corpus architectural Art Nouveau nancéen affichant une structure métallique, se caractérisent par leur petite taille, mais aussi par une situation ou un programme singuliers à l'image du hall de la Société nancéienne de crédit industriel développé par Joseph Hornecker sur un plan ovale et deux niveaux dans la cour d'un ancien hôtel particulier. Si ce dernier a malheureusement disparu, l'on peut toujours admirer rue Saint-Jean, le petit immeuble réalisé par les Gutton, oncle et neveu, sur une petite parcelle d'angle, héritée du XVI^e siècle, qui déploie une structure d'acier riveté, magnifiée par l'articulation d'un bow-window. Mais la plus étonnante de ces quelques réalisations est sans aucun doute l'éphémère guinguette de la Cure d'air Trianon, construite en 1902 sur les pentes du plateau de Malzéville, au nord-est de Nancy. Issu d'une étroite collaboration entre l'architecte Georges Biet et l'ingénieur Frédéric Schertzer, ce simple auvent, supportant une terrasse tournée vers la vallée, tire son élégance de la finesse de sa

structure, et des rehauts de couleurs d'une ceinture de vitraux publicitaires.

A contrario, l'architecture domestique correspondante va cantonner le fer dans des emplois traditionnels, que se soit sous forme d'IPN dans les planchers de rez-de-chaussée, ou de ferronneries décoratives en façade, jusqu'à délaisser la thématique du jardin d'hiver. Si les alignements nancéiens laissent apparaître de place en place des fontes d'Hector Guimard, l'essentiel de la ferronnerie d'art est dessinée et produite sur place. De tous les architectes nancéiens de l'époque, Emile André est sans aucun doute le plus heureux et le plus constant dans ses tentatives de renouvellement du genre. En témoignent, au parc de Saurupt, le portail d'entrée et la grille de la maison Fernbach où il recourt à la tôle perforée. Si Georges Biet lui emboîte le pas avec succès pour sa propre maison située rue de la Commanderie, Joseph Hornecker va, quant à lui, recourir le plus souvent aux services d'un ferronnier parisien des plus connus, rencontré au moment de ses études : Edgar Brandt, dont les ferronneries pour la maison Luc, conservées au Musée de l'Ecole de Nancy révèlent une manière plus stylisée que celle des artistes nancéiens. Mais, c'est peut-être à Louis Majorelle que reviennent les plus grandes réussites locales en la matière.

Artiste-décorateur, maître ébéniste, Louis Majorelle associe très tôt le bronze au bois dans sa production de meubles, avant de se lancer dans la ferronnerie à l'occasion de la réalisation de sa maison dont il confie la conception à Henri Sauvage et le chantier à Lucien Weissenburger. Après cette première expérience, ce dernier l'invite à collaborer à cette œuvre collective, très caractéristique de l'Ecole de Nancy, que constitue la maison d'Albert Bergeret, imprimeur et fabricant de carte postale. Aux côtés d'Eugène Vallin et de Jacques Gruber, Louis Majorelle fournit le portail du jardin et la rampe d'escalier sur un motif de monnaie du pape. La commande par l'Etat d'une réplique de cette rampe pour le musée des Arts décoratifs vient consacrer la réussite de Louis Majorelle en la matière. Sur sa lancée, il réalise en 1909 la marquise et la porte d'entrée de la Chambre de commerce, et ne cesse de développer son atelier de ferronnerie qui représente le quart de l'activité de la maison, et devient le plus important de Nancy. Signe des temps, Emile André, lui-même, lui confiera en 1911 la rampe de l'escalier du hall d'accueil de la Banque d'Alsace-Lorraine (aujourd'hui occupée par la BNP) sur la place André Maginot.

DU DÉCOR AU PROJET

Même si elle épargne miraculeusement la ville, la première guerre mondiale va remettre en cause l'essentiel des acquis du début du siècle. Sans doute Nancy garde-t-elle un rapport privilégié avec la sidérurgie du pays de Briey, sans doute ses industries de luxe se maintiennent-elles jusqu'à la crise économique. Mais la capitale lorraine a laissé une partie de ses forces dans la bataille. Dans l'espoir de retrouver la dynamique du début du siècle un groupe de jeunes intellectuels fonde le Comité Nancy-Paris : l'exposition d'architecture moderne confiée à André Lurçat en 1926 témoigne du triomphe du béton

armé que symbolise localement la reconstruction des Magasins Réunis, incendiés pendant la guerre. Mais, paradoxalement, c'est un jeune ferronnier, un certain Jean Prouvé, qui va bientôt s'imposer à l'avant-garde moderniste, comme le fer de lance de la jeune génération nancéienne.

Après avoir fait son apprentissage dans les ateliers parisiens d'Emile Robert et d'Adalbert Szabo, Jean Prouvé s'installe comme ferronnier d'art à Nancy en 1923. La réputation de son père Victor, successeur d'Emile Gallé à la tête de l'Ecole de Nancy, et la qualité de son travail, lui valent bientôt des commandes de la plupart des architectes de la ville et de la région qui lui donnent carte blanche. Ainsi, Pierre Le Bourgeois lui confie-t-il, en 1926, la conception et la réalisation de la verrière et des meubles du Palais de la Bière - une grande brasserie de la rue Saint-Jean aujourd'hui transformée en succursale bancaire -, avant de l'associer au chantier des nouveaux Magasins Réunis. Au fil des réalisations, l'inspiration florale des débuts fait place à des formes géométriques beaucoup plus abstraites, comme en témoigne sa participation à l'aménagement de la Cité universitaire de Monbois réalisée au début des années trente par Jean Bourgon. Stimulés par ces commandes nancéiennes qui ouvrent une large porte à l'expérimentation, les *Ateliers Jean Prouvé* ne cessent de s'agrandir et de diversifier une production où la serrurerie et le mobilier prennent peu à peu le pas sur la ferronnerie traditionnelle. Mais, c'est grâce à des contacts avec l'avant-garde parisienne, que Jean Prouvé va s'ouvrir à l'architecture et aux structures métalliques.

Envisagée dès 1937, la construction d'un véritable lieu de production est entreprise au lendemain de la seconde guerre mondiale, dans la banlieue nord de Nancy. Si le marché de la reconstruction ne tient pas toutes ses promesses, qu'il s'agisse de baraquements provisoires, ou de maisons à ossature métallique, le développement des *Ateliers* permet tout de même à Jean Prouvé de monter un bureau d'études, doublé d'un atelier de prototypes, avec l'aide de ses frères Pierre et Henri, alors tout jeune architecte. Y sont étudiées de multiples variantes des structures à portiques mises au point pendant la guerre, mais aussi de nouveaux éléments comme la toiture coque en forme de shed, ou la béquille. Cette volonté d'expérimentation ne tarde pas à faire de l'usine de Maxéville un lieu de passage très fréquenté notamment par les jeunes architectes. Cependant, Jean Prouvé néglige le suivi de son affaire dont il se voit peu à peu déposséder par des partenaires comme l'Aluminium français, au point de ne plus s'y reconnaître et d'y renoncer en 1954.

Paradoxalement, hormis la maison personnelle de Jean Prouvé, cette période de créativité, brève mais intense, aura peu laissé de traces dans une ville, il est vrai, peu touchée par la guerre.

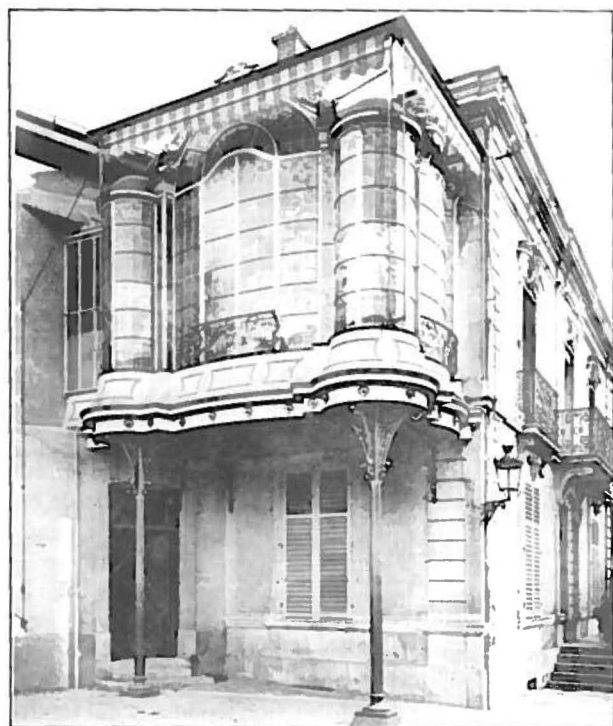
Construite durant l'été 54 sur les pentes du Haut-du-Lièvre au nord-ouest de Nancy, la maison de Jean Prouvé garde la mémoire de cette page tournée. Parti du principe de la coque en tôle en forme de shed, ce dernier se voit très vite contraint, par la force des choses, de réviser son projet pour bricoler, avec des rebuts rachetés à sa propre usine, une œuvre pleine d'inventivité. S'il poursuit alors sa carrière dans un cadre plus parisien, il n'en continuera pas moins à travailler régulièrement en Lorraine et à Nancy, notamment pour développer des systèmes constructifs. C'est ainsi qu'avec l'ingénieur Léon Petroff, il étudie un système de charpente modulaire qui sera inauguré en 1970 à l'Ecole d'architecture de Nancy, alors située à Villers-les-Nancy, par Jacques Binoux et Michel Foliasson. Dans le même temps, son fils Claude, devenu architecte, l'associe avec l'ingénieur Georges Quentin au sein de la Société Industrielle de *Recherche et de Réalisation de l'Habitat* pour travailler à la mise au point d'un système de construction modulaire qui figurera parmi les lauréats de la première session du programme *Modèle innovation* lancé en 1973 par le *Plan Construction*. Testé à Ludres près de Nancy, ce procédé restera, quant à lui, dans les cartons, faute d'une commande suffisante.

Est-ce le charisme du personnage ? Toujours est-il qu'au cours des années soixante, Nancy voit s'édifier plusieurs constructions importantes faisant une large part à l'acier. Aux côtés du très symbolique musée de l'Histoire du fer confié à Jacques et Michel André, figurent la tour des Coopérateurs de Lorraine réalisée par Louis Fleck, et le building Joffre conçu par Henri Prouvé. Qui plus est, les deux premières d'entre elles seront récompensées coup sur coup par une "Equerre d'argent". Mais cette brève efflorescence apparaît aujourd'hui comme un chant du cygne. Depuis lors, le métal ne joue plus, ici comme ailleurs, qu'un rôle architectural des plus limités, le Zénith réalisé en 1993 par l'équipe Sloan et Cernay (Paris) - Graille et Pierron (Nancy) n'étant que l'exception de taille qui confirme la règle.

Vincent BRADEL
Enseignant-chercheur au Laboratoire d'histoire
de l'architecture contemporaine de l'Ecole
d'architecture de Nancy

BIBLIOGRAPHIE SOMMAIRE

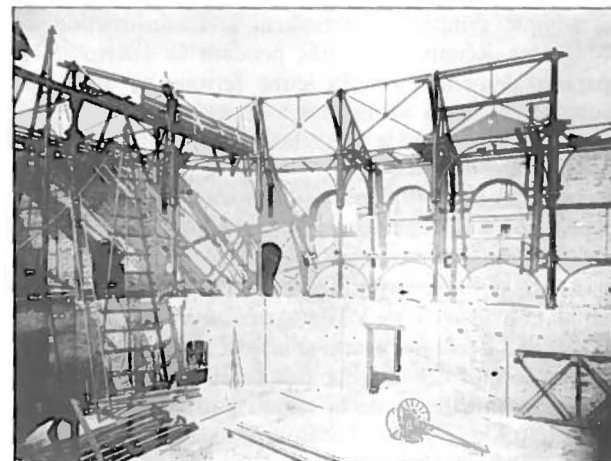
- Bouvier Roselyne, *Majorelle*, une aventure moderne. Paris, La Bibliothèque des Arts ; Metz, Editions Serpenoise, 1991.
Coley Catherine, *Jean Prouvé*. Paris, Editions du Centre Georges Pompidou, 1993. 72 p. Collection "Jalons"
Coley Catherine, *La Salle Poirel, Albert Jasson architecte* PUN-AMAL, Nancy, 1989, 40 p.
France-Lanord Albert, *Jean Lamour*, serrurier du Roi 1698-1771. Nancy, Université de Nancy II, 1977. 104 p.
Joseph Hornecker, *architecte à Nancy (1773-1942)* / Bradel Vincent (ss la dir.). PUN-AMAL, Nancy 1989, 80 p.
Inventaire Général, Lorraine, *Nancy architecture 1900* par F. Roussel et D. Bastien photographe. Metz, Editions Serpenoise, 1992. T. 1-3, 283 p



Nancy, rue Granville, maison Pernot, le « bow-window ». Georges Biet arch., Frédéric Schertzer serr. © Inventaire Général.



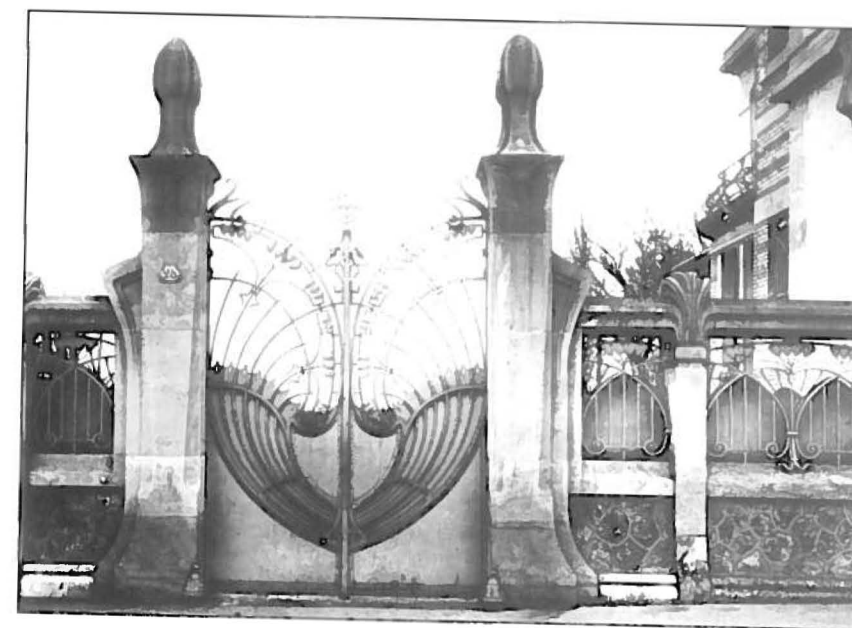
Nancy, rue Déglin, maison Bizalion, édicule. Frédéric Schertzer serr. © Inventaire Général.



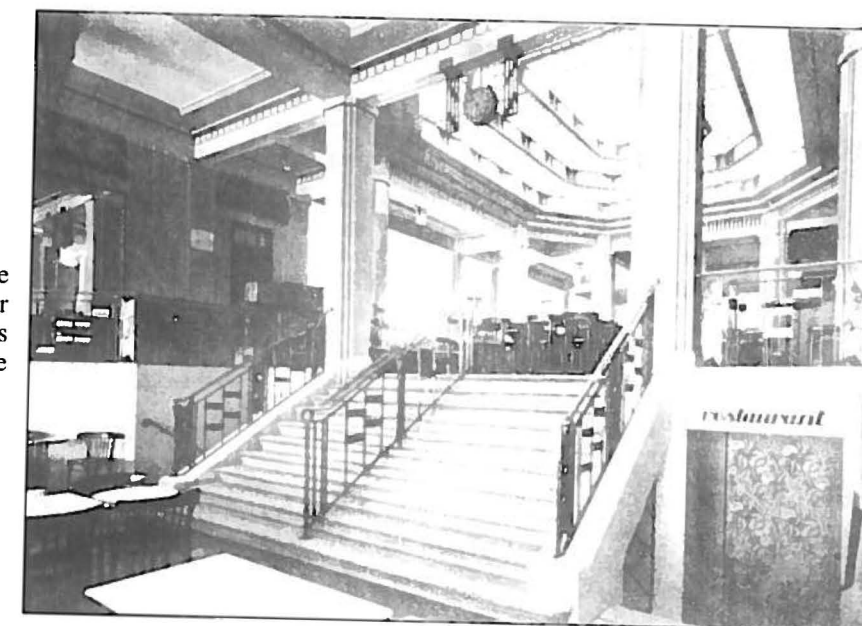
Nancy, rue Poirel, la Salle Poirel, vue du chantier. Albert Jasson arch., Frédéric Schertzer serr. © Inventaire Général.



Nancy, rue Saint-Jean, la maison Génin. Henri et Henry-Barthélémy Gutton arch. © Inventaire Général.



Nancy, rue Lionnois, la maison Bergeret, le portail du jardin. Lucien Weissenburger arch., Louis Majorelle ferr. © Inventaire Général.



Nancy, rue Saint-Jean, Brasserie « Le Palais de la Bière », vue de l'intérieur et de la verrière. Pierre Le Bourgeois arch., Jean Prouvé serr. © Inventaire Général.



Nancy, rue Augustin Hacquard, la maison Prouvé. Jean Prouvé const. © Inventaire Général.

Le fer outre-mer

Une île est d'abord un milieu limité, souvent pauvre en matériaux de construction, éloigné des sources d'approvisionnement et donc fondé sur une parcimonie des moyens et une optimisation des réutilisations.

Dans ce contexte rigoureux, il convient de s'adapter à des programmes de construction très différents, selon l'évolution des mono-cultures ou des mono-industries successives qui caractérisent son économie (le sucre, la banane, le tourisme).

De surcroît, le climat tropical exige des matériaux résistants aux termites, aux cyclones et aux séismes.

Face à de telles contraintes, le XVIII^e siècle fut le siècle du bois, permettant les réemplois et les renouvellements périodiques.

Le XIX^e siècle fut pour les îles le siècle du fer.

Matériau d'importation outre-mer, le fer est d'abord occasionnel au sein d'une architecture du bois et du réemploi (pentures, barreaudage et chaînes forgées sur les habitations sucrières).

Les rôles des moulins à cannes sont d'abord en bois avant d'être en fonte. Les chaudières à mélasse sont fournies par les ateliers métropolitains, notamment ceux du Périgord. L'accastillage des navires est réutilisé dans la construction. On trouve ainsi des pentures et des barres de bronze dans certaines menuiseries. Les canons sont récupérés, comme dans beaucoup de ports pour servir de chasse-roues ou de bittes d'amarrage aux bateaux bien sûr, mais aussi aux moulins à vent.

La première moitié du XIX^e siècle reste traditionnelle, continuant d'utiliser les services des nombreux artisans du bois qui abondent sur les habitations et les chantiers portuaires.

La reconstruction de Pointe-à-Pitre après le tremblement de terre de 1843 se fait essentiellement à pans de bois encastres sur des rez-de-chaussée maçonnés, comme en témoignent les édifices importants de l'époque (mairie, hôpital, écoles, casernes). La ville de Cayenne est construite presque entièrement à pans de bois à la même époque.

Il faudra attendre les grands incendies de 1871 à Pointe-à-Pitre et de 1890 à Fort-de-France pour que le bois soit systématiquement remplacé par le fer.

La plupart des grandes constructions en fer aux Antilles datent de la fin du XIX^e siècle.

L'usage du fer se généralise en effet avec une forme de rationalisation de la colonisation dans cette seconde moitié du XIX^e siècle. Cette époque voit se développer un effort de colonisation institutionnelle (par le bagne, en Guyane, et l'occupation militaire généralisée ailleurs) ainsi que par l'essor des usines centrales pour la production sucrière.

L'abolition de l'esclavage en 1848 n'est pas étrangère à cette reconversion de la société insulaire.

La nécessité d'économiser la main d'œuvre et de rentabiliser les investissements joue en premier lieu sur les programmes de construction.

Les échanges commerciaux et l'immigration d'une population plus spécialisée et urbanisée se développent.

Ce contexte facilite les importations massives de la métropole et d'Amérique du Nord de matériels et de matériaux préfabriqués pour la construction. Les ateliers de Fives-Lille, Cail et Saint-Quentin fournissent le matériel mais aussi les hangars et bientôt les habitations elles-mêmes.

Les ingénieurs accompagnent les usines fournies. Ils s'installent sur place et épousent les héritières des domaines de l'Ancien Régime dont ils deviennent progressivement les patrons comme l'ingénieur Bougenot, devenu directeur des usines du Galion.

Par ses qualités, le fer répond exactement au contexte de la construction insulaire :

Il résiste aux agressions naturelles (termites, séismes et cyclones).

Préfabriqués, les éléments de fer répondent aux difficultés de mise en œuvre des équipes peu spécialisées.

Mobile et démontable, la construction de fer répond à l'adaptation permanente et toujours renouvelée de l'économie locale (l'église de Saint-Laurent-du-Maroni, à pans de fer, est déplacée trois fois au fur et à mesure de l'essor de la commune).

Le fer est présent dans tous les corps d'état et toutes les fonctions.

Il apparaît d'abord dans l'architecture militaire, notamment dans les constructions des casernes et hôpitaux militaires. Les colonnes en fonte supportent des galeries dont les planchers sont formés de voûtains en briques sur des fers profilés. Ce type de structure se retrouve au camp Jacob-de-Saint-Claude en 1840 comme à l'hôpital militaire de Fort-de-France, ou, plus tard, au camp de Balata.

Le fort Napoléon, construit de 1847 à 1867, possède la même structure de plancher sur voûtains.

La généralisation de cette architecture mixte se fera à l'occasion de l'extension du bagne de Guyane, après 1854, à Cayenne, aux Iles du Salut et surtout lors de la construction de la ville pénitentiaire de Saint-Laurent-du-Maroni.

Un exemple caractéristique de cette évolution vers l'architecture en fer est celui de la reconstruction de l'église Saint-Pierre Saint-Paul à Pointe-à-Pitre après le tremblement de terre de 1843.

Conçue tout d'abord, en 1849, en pierres armées de raidisseurs métalliques noyés dans les murs, la nef devait être supportée par des colonnes en fonte revêtues de briques.

Ce parti technique fut abandonné en 1869 au profit d'une structure intérieure, entièrement métallique, apparente.

La cathédrale de Fort-de-France, métallique à l'intérieur comme à l'extérieur, sera construite par l'architecte Picq de 1891 à 1895. Elle est l'aboutissement de ce mouvement de constructions sur catalogue exécutées en série.



Martinique, Fort de France, Cathédrale Saint Louis.
Une cathédrale éclectique sur catalogue construite par l'architecte Picq de 1891 à 1895. Photo Etienne Poncelet.

Les premiers ouvrages entièrement métalliques furent utilitaires. L'aqueduc en bois de Pointe-à-Pitre fut refait en fonte en 1850.

De la même manière, les nombreux ponts de la colonie furent refaits en fer comme les ponts de Goyave en 1860, par l'atelier Gouin et en 1874 par l'atelier Eiffel.

Les constructions civiles suivirent ce mouvement à partir des années 1870. Parmi elles, on peut citer la villa Souques-Pagès, l'habitation Zevalos en Guadeloupe et la maison Bougenot à Fort-de-France.

De 1870 à la fin du siècle, la plupart des villes et villages se dotèrent de marchés ou d'abattoirs métalliques comme le marché en fer de Pointe-à-Pitre et sa fontaine inaugurée en 1874.

Les grandes institutions de l'époque sont construites en fer. On peut citer le lycée Carnot de Pointe-à-Pitre en 1883, encore proche de la typologie militaire, ou la bibliothèque Schoelcher de 1885 résolument exemplaire, présentée à l'exposition de Paris avant son remontage à Fort de France.

Les usines centrales se créent à la fin du siècle, comme les usines du Lareinty et du Galion ou celle des Trois Rivières construite entièrement en fer à Sainte-Luce en 1897.

Si le fer se généralise dans tous les programmes de constructions, il est également présent dans la plupart des corps d'état.

La charpente métallique forme la structure de ces constructions et les remplissages à pans de fer. La serrurerie se développe avec les multiples balcons, auvents, grilles et fenêtres persiennées que génère l'architecture créole et le goût décoratif de cette fin de siècle.

Le fer est également présent en couverture où apparaissent les tôles ondulées à petites et grandes ondes mais aussi les tuiles de fer embouties comme à l'église d'Iracoubo ou sur de nombreuses constructions industrielles.

Ce patrimoine a fait l'objet de protections au titre des Monuments Historiques depuis la villa Souques-Pagès en 1979 jusqu'au classement récent de la maison Zevalos au Moule ou de la cathédrale de Fort-de-France en 1990.

La restauration de la maison Souques-Pagès, commencée par Michel Jantzen, Architecte en chef des monuments historiques, est maintenant terminée. Les grands chantiers de restauration de l'architecture métallique sont initiés pour la plupart et nous permettent d'évoquer les questions de restauration.

Nous avons été confrontés aux problèmes de réfection des couvertures métalliques à la Gravelière, en zone rurale, mais aussi en centre ville, à l'église du Moule et à l'ancienne mairie de Pointe-à-Pitre (tôle ondulée et couvertures en inox).

Concurremment aux toitures en essentes de bois, certains hangars agricoles sont conçus dès l'origine avec une

pente très faible, apte à recevoir des tôles ondulées. La restauration du hangar d'entrée de la Gravelière nous a permis de poser une couverture de ce type que nous avons pré-oxydée.



Guadeloupe, Pointe à Pitre, Villa Souques Pagès.
Une maison coloniale en fer avec galerie circulaire, au centre de Pointe à Pitre. Photo Etienne Poncelet.

Au Moule comme à Pointe-à-Pitre, nous avons posé des lés d'inox plombé non ferritique posés à joint debout. Ce matériau est sujet à des mises au point par le fabricant qu'il convient de contrôler. Le choix d'une patine étamée semble retenu pour les nouvelles fabrications. Il faut signaler à ce sujet l'usage de nos voisins québécois d'utiliser des feuilles de cuivre étamé en remplacement des couvertures en écailles de fer d'origine. Ce matériau de substitution semble leur donner toutes satisfactions dans un climat pourtant rude.

Les restaurations de la villa Souques-Pagès, de la bibliothèque Schoelcher et de la cathédrale de Fort-de-France sont l'occasion de traiter à la fois la structure, l'épiderme et les couvertures métalliques.



Martinique, Fort de France, La bibliothèque Schoelcher.
Un stand de l'exposition universelle de 1889 en métal et lave émaillée avant de devenir la bibliothèque municipale de Fort de France. Photo Etienne Poncelet.

Dans les deux premiers cas, le pan de fer reçoit un remplissage décoratif constitué de plaques émaillées. Soumis à d'importantes dilatations, ces ouvrages sont très sollici-

tés et fragiles. Ils sont, dès l'origine, protégés par de larges auvents en tôle. Leur restauration nécessite un surcroît d'attention et, dans le temps, une surveillance régulière.

Les sondages que nous avons effectués dans les murs à pans de fer de la cathédrale Saint-Louis de Fort-de-France nous ont montré les difficultés de gérer les pénétrations d'eau dans les creux des profilés et les goussets de liaison. Le remplissage de moellons enduits n'est pas suffisamment étanche pour éviter les amenées d'eau. Le projet en cours envisage de couvrir les ailes métalliques par des noquets assurant l'écoulement des eaux. Nous avons constaté que, dès l'origine, un certain nombre de trous avaient été pratiqués dans ces profilés afin de favoriser l'évacuation des eaux.

Les restaurations du bagne aux îles du Salut et à Saint-Laurent-du-Maroni nous ont permis, comme au fort Napoléon de Saintes d'appréhender les questions des profilés métalliques structurant la maçonnerie. La restauration des structures en fonte et notamment des poteaux formant descentes d'eau, comme au marché de Pointe-à-Pitre, font partie des questions à résoudre.

Les réponses à apporter concernent les traitements et les consolidations, ainsi que la doctrine sur les remplacements de pièces et l'authenticité.

La conservation des fers rouillés et leur passivation est le point essentiel de ce type de restauration. Au-delà des techniques traditionnelles de traitement anti-rouille, nous examinons avec le professeur Fauck la possibilité de traiter les fers au cœur des maçonneries par le procédé d'électro-passivation.

Cette technique permettrait d'opérer de manière moins destructive dans ses ensembles mixtes où le fer et les maçonneries se marient intimement.

Les difficultés de trouver un matériau de substitution proche de celui d'origine sont également importantes, tant sur le plan de la qualité des aciers que sur le plan des formes (profilés, tôles embouties...).

En conclusion, il convient de mieux connaître la production industrielle de cette architecture en développant la recherche sur les circuits d'importation liés à l'essor des usines centrales au XIXe siècle et en faisant un inventaire et une analyse raisonnée des fers et profilés utilisés. L'expérimentation sur la passivation des fers doit être poursuivie et adaptée à la variété des cas à traiter. La technicité de nos chantiers doit substituer progressivement le savoir-faire traditionnel de chantier à un savoir-faire d'atelier avec simple montage sur place.

Nous devons enfin nous poser la question du concept même de monument qui doit s'adapter à cette architecture métallique.

Comment la construction métallique fournie en série, mobile, démontable et répétitive peut-elle encore constituer un monument ?

Quel seuil d'authenticité permet de reconnaître la vérité de tels monuments ?

Dans quelles conditions la substitution complète de pièces défectueuses peut-elle être admise ?

L'architecture de fer outre-mer n'aura été qu'une étape transitoire et précaire de l'histoire faste de l'économie sucrière des îles.

Avec l'architecture de bois, elle caractérise le patrimoine antillais et guyanais.

Sa conservation dans des conditions climatiques difficiles justifie la mise en place de moyens spécifiques pour en approfondir la connaissance et développer les techniques de restauration.

Etienne PONCELET
Architecte en chef et inspecteur général
des monuments historiques

L'usine métallurgique de Völklingen : Production de fonte

L'usine métallurgique de Völklingen est l'une des dernières fondées en Europe de l'ouest au XIXe siècle (fondée en 1873, arrêtée en 1986). C'est également la dernière des cinq usines métallurgiques de la Sarre ayant survécu à la guerre. Ses installations de production de fonte sont conservées sans grande altération dans leur état d'origine.

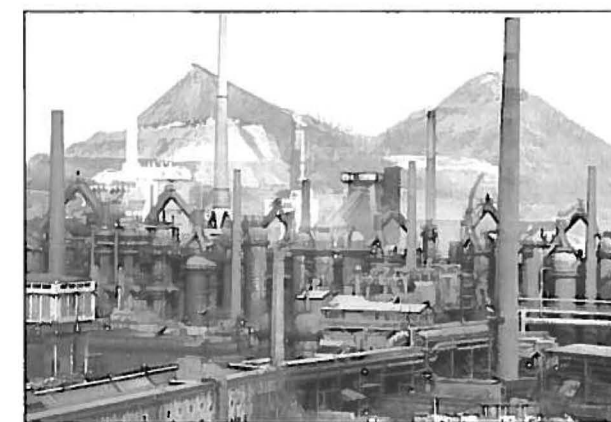
Depuis leur arrêt en 1986, les installations de production de fonte ont été classées monuments historiques. Leur valeur à ce titre est justifiée par de multiples raisons.

Du fait de la compacité complexe des installations et de l'intégrité maintenue jusqu'à ce jour s'offre la possibilité d'illustrer au moyen d'installations d'origine, le procédé devenu entre-temps historique, d'une grande technique de production de fonte. Cela permettra en même temps de conserver des monuments d'une importance capitale pour l'histoire de la technique. La salle des soufflantes avec son ensemble de machines uniques, les épurateurs de gaz à sec, les installations de voies suspendues et l'atelier d'agglomération par frittage attestent à chaque fois, en tant qu'inventions techniques, les capacités novatrices des pionniers de leur temps, qui ont influencé l'industrie de la fonte, du fer et de l'acier dans le monde entier. Dans leur état originel de conservation, elles procurent des jalons matériels vivaces de l'histoire de la technique.

Sur une superficie d'environ 6 ha sont en particulier classés monuments historiques comme installations principales la soute à minerai, le traitement du minerai, l'atelier de frittage, les voies suspendues, les six hauts fourneaux et les cowpers, la plate-forme de chargement, le bureau des hauts fourneaux, les épurateurs de gaz à sec, la salle des soufflantes avec les grandes soufflantes à gaz, la cokerie, le bâtiment des pompes, le château d'eau et la ruelle des artisans.

L'histoire du développement de l'ensemble de l'ouvrage sera plus claire si l'on considère les différentes étapes de l'extension de la production de fonte de l'usine.

Un atelier de puddlage, créé en 1873 par l'ingénieur métallurgiste de Cologne Julius Bruch produisit tout d'abord des poutrelles de fer et des traverses de chemin de fer à partir de fonte luxembourgeoise. Les restes de cet atelier de puddlage sont conservés dans la centrale électrique sous la rangée de hauts fourneaux et viennent s'ajouter à l'ensemble du site architectural.

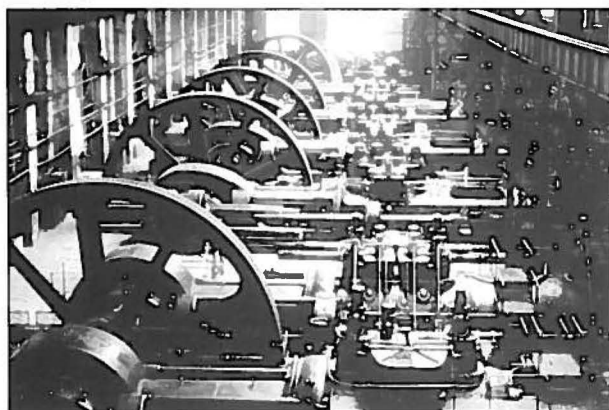


Völklingen. Sarre. L'usine métallurgique.
Photo Staatliches Konservatoramt Saarland.

Après l'arrêt survenu en 1879, débutèrent en 1882 les nouvelles installations de l'usine. Son premier haut fourneau fut construit en 1882. Jusqu'en 1899, l'usine se développa ensuite par étapes successives pour devenir une des plus productives d'Europe et le plus important producteur de poutrelles d'acier d'Allemagne. Jusqu'à 1893 quatre nouveaux hauts fourneaux furent construits, de telle sorte qu'après tout juste dix années de développement, l'usine disposait de cinq hauts fourneaux en ligne. Malgré des modifications partielles et des remplacements de pièces usées dus aux conditions de fonctionnement, des éléments d'origine considérables des charpentes métalliques et des plates-formes de ces hauts fourneaux subsistent. Ces éléments du XIXe siècle sont restés jusqu'à aujourd'hui le noyau de l'usine.

A la fin du XIXe et au début du XXe siècle, d'autres installations vinrent s'ajouter autour des hauts fourneaux et à chaque fois démontrèrent les capacités particulièrement exceptionnelles de la technique d'autrefois. Ainsi fut ensuite construite de 1896 à 1897 une cokerie pour la production de coke de haut fourneau. D'importantes parties de cette cokerie ont été conservées aussi après les agrandissements des années trente, notamment une tour à charbon datant de 1898. La phase significative suivante du développement se produisit avec la construction de la salle des soufflantes en 1900 (agrandie en 1913 et 1938) et l'emploi intensif des soufflantes à gaz de gueulard. L'utilisation du gaz de gueulard, provenant du haut fourneau, pour l'entraînement d'énormes soufflantes qui en retour soufflent l'air dans les hauts-fourneaux, fut pra-

tiquée pour la première fois au monde, à grande échelle, à Völklingen, tout d'abord avec deux, puis avec neuf soufflantes. Aujourd'hui six soufflantes sont conservées (elles furent fabriquées de 1905 à 1914) ; elles témoignent du niveau de qualité de la construction mécanique de cette époque.



Völklingen Sarre. L'usine métallurgique. La salle des soufflantes. Etat 1989. Photo D. Leistner

A partir de 1910, au cours d'une nouvelle phase d'extension, un système subtil de transport par voies suspendues fut installé pour assurer la liaison entre les postes de traitement du minerai et la cokerie avec les hauts fourneaux. Le système fonctionnait électriquement. En cela et du fait de son importance, il constitua la première installation du genre. Elle est conservée jusqu'à maintenant dans son état d'origine.

De même, les épurateurs de gaz à sec, construits à partir de 1911, furent les premières installations au monde qui, au-delà du stade expérimental, utilisèrent à une grande échelle la technologie d'épuration des gaz de gueulard. Excepté quelques petites modernisations, les installations subsistent à l'état originel.

Le dernier agrandissement décisif résulta de la mise en place du frittage du minerai. A cet effet, après des essais d'une installation d'agglomération des poches de coulée, un grand atelier de frittage en bande fut aménagé à partir de 1928. Cette installation constitua une véritable œuvre de pionnier dans l'histoire de la technique. Elle servit de modèle pour un grand nombre d'installations de ce type à l'échelle mondiale. La construction de l'usine fut avec cela pour l'essentiel achevée. Elle fonctionna ainsi jusqu'à sa fermeture en 1986. Plus tard, on effectua uniquement le remplacement des parties usées (en particulier bien sûr des hauts fourneaux) ainsi que d'infimes détails de modernisation.

Depuis la fermeture en 1986, l'importance du site architectural classé a connu la notoriété grâce aux visites guidées, aux manifestations organisées à l'intérieur de l'usine et aux publications dans les médias. En 1989, l'Ecole supérieure des Beaux-Arts nouvellement créée a installé ses ateliers, notamment de sculpture, dans la ruelle des artisans. La salle des soufflantes est aménagée pour des concerts. Depuis 1990, des festivals sont régulièrement organisés avec le soutien du gouvernement du Land et de nombreux amateurs sous le titre "La relève", la première manifestation présentée dans ce contexte ayant été Steelopolis.

Avant la fermeture, la protection et l'entretien étaient effectués par les exploitants de l'usine métallurgique. Depuis 1986, des travaux de remise en état de la salle des soufflantes, dont le toit a été en partie rénové et réparé en 1988 grâce à des fonds de la Communauté Européenne, et des révisions constantes de l'ensemble de l'enceinte de l'usine sont exécutés par une équipe d'ouvriers sur place. Depuis 1992, la remise en état du haut fourneau n°6 et du bureau du haut fourneau est en cours. Elle sera achevée pour l'essentiel en 1994. En 1995-1996, les monte-charges inclinés destinés au minerai et au charbon ont été révisés et conservés, l'infrastructure d'exploitation du groupe des hauts fourneaux est consolidée.

La protection et l'entretien d'une usine métallurgique en tant qu'installation à l'échelle industrielle d'une complexité toute singulière sont sans exemple jusqu'à ce jour dans le domaine de la protection des monuments historiques. La conservation de cette usine en train de rouiller et présentant un danger pour l'environnement détermine la création d'une "fondation de la culture industrielle".

Ce monument historique de la production de fonte ne peut pas à long terme être conservé dans toutes ses parties et sans discernement. Des programmes spécifiques, variés, de protection, d'origine différente en fonction de la vétusté et de l'exigence technique, peuvent être appliqués aux éléments des hauts fourneaux, des récupérateurs d'air, des cokeries, des ateliers de frittage et d'épuration de gaz, qui existent en plusieurs exemplaires. Ils englobent la protection contre la corrosion traditionnelle, le maintien des voies d'accès, l'observation soignée du processus de vieillissement naturel. Le développement des concepts de protection présuppose la connaissance des réactions physiques et chimiques, des reliquats, des sous-produits et des contaminations (contamination écologique) dus à la production de fer qui ne visait à l'origine qu'à la rentabilité et qui est aujourd'hui nuisible par ses effets destructeurs.

Avec le refroidissement des installations, il se produit des réactions inverses auxquelles les pièces métalliques, initialement chauffées en permanence ne sont pas préparées.

L'usine métallurgique est un témoin unique de l'histoire de la technique et de la culture industrielle des XIXe et XXe siècles. Elle présente le procédé de production de fonte à grande échelle, devenu entre-temps historique dans une intégralité exceptionnelle. Comme synonyme et symbole des performances de l'homme au cours des première et deuxième révolutions industrielles, elle s'impose comme "cathédrale" de l'ère industrielle.

Les installations conservées de l'usine métallurgique de Völklingen personnifient le monde du travail et de la production d'une industrie aujourd'hui disparue en raison de l'évolution des techniques et de la modernisation incessante. L'usine métallurgique de Völklingen doit être conservée comme musée de l'industrie et doit être conçue et développée comme pôle de recherche pour le fer, l'acier et les problèmes d'environnement. Le parc-musée – maintenant ouvert – ainsi conçu peut donner accès à toutes les étapes-clés de la production historique de fonte.

Georg SKALECKI
Conservateur adjoint des monuments
historiques de la Sarre

Méthodes de diagnostic, altérations et remèdes

Le Centre français de l'anticorrosion - CEFRACOR

Si le Centre français de l'anticorrosion (CEFRACOR) est connu par quelques-uns d'entre vous, il ne l'est pas pour la grande majorité. Voici quelques informations succinctes le concernant.

Le Centre français de l'anticorrosion est une structure associative loi 1901 à but non lucratif. Il se situe à l'interface des recherches fondamentales et des applications industrielles en matière de corrosion et d'anticorrosion.

Le CEFRACOR a été créé en 1960 par les professeurs Chaudron et Portevin, des pionniers tous deux, au plan international, en matières d'études métallurgiques.

Le professeur Chaudron a orienté ses recherches principalement sur la pureté des métaux. Les impuretés et toutes hétérogénéités sont source initiatique de corrosion. Aussi ai-je noté avec intérêt que la pureté des métaux semble être un thème qui vous préoccupe ; vous regrettez de ne pas pouvoir utiliser suffisamment le fer pur pour satisfaire vos besoins car vous estimez qu'il est l'une des solutions à vos problèmes, d'autres solutions, comme celle que vous évoquez, existent ; la fréquentation du CEFRACOR peut, pour une grande part de vos interrogations, vous être utile dans la recherche de solutions.

D'autre part, dans les missions qui sont les nôtres, nous avons essayé – et personnellement cela a été un peu l'orientation que j'ai donnée en tant que délégué général et président du Comité scientifique et technique – d'établir des contacts et d'organiser des journées de travail en des domaines parfois très variés, chaque fois que les notions de durabilité, de résistance à la corrosion ou d'aptitude à la fonction étaient en jeu. Pour illustrer notre polyvalence d'actions, je peux par exemple préciser que dans quelques semaines, je participerai à une réunion de

travail avec des chirurgiens, des orthopédistes qui sont confrontés aux problèmes de durabilité des matériaux utilisés dans la réalisation des prothèses. De même, il y a quelques jours nous mettions sur pied une rencontre entre micro-biologistes et corrosionnistes, organisations à leur intention une école d'été CNRS où se sont confrontées ces différentes disciplines.

Je caresse depuis fort longtemps avec un de mes collègues de l'Université de technologie de Compiègne, le professeur Béranger, en sa qualité de président de la Société française de métallurgie et de matériaux, l'idée d'organiser un colloque traitant de la paléo-métallurgie qui pourrait se tenir sur les bords de la Vézère, région encore extrêmement riche en vestiges de la métallurgie et de la sidérurgie tels que les hauts fourneaux, les bas fourneaux, les fours à puddler... A ce thème pourrait s'ajouter, celui de la conservation du patrimoine métallique, si riche en France. Pourquoi, à ce sujet, ne pourrait-on ajouter celui complémentaire de l'étude de la conservation des matériaux ?

Pourquoi alors ne pas se faire rencontrer corrosionnistes et architectes, ceux d'entre vous qui sont confrontés à ces problèmes de durabilité et de conservation des matériaux ? Le Centre français de l'anticorrosion est à votre disposition pour envisager avec vous cette rencontre si cela vous paraît opportun... je suis convaincu que cet échange aiderait à résoudre de très nombreux problèmes. Je remercie les organisateurs d'ICOMOS et aussi Mesdames Pallot-Frossard et Texier de leur invitation.

Claude CABRILLAC
Président du Comité scientifique et technique
du Centre français de l'anticorrosion (CEFRACOR)

Crusnes : Eglise Sainte-Barbe¹



Crusnes. Meurthe-et-Moselle. L'église Sainte-Barbe. Photo TDR.

Présentation

On ne peut présenter l'église métallique de Crusnes sans évoquer, très brièvement, la place du fer dans l'histoire de la construction. Rappelons que, mis à part les ouvrages de couverture et de ferronnerie, le métal n'est d'abord employé que pour ses qualités mécaniques, notamment sa très grande résistance à la traction (renfort d'assemblages, agrafes, chaînages, etc.) C'est à la fin du XVIII^e siècle, à partir du moment où l'on peut produire industriellement des barres de fonte, que l'architecture est enrichie d'éléments nouveaux sous forme de poutrelles et poteaux. Hormis les colonnes de l'église Sainte-Anne de Liverpool réalisée par Dodd en 1770, la fonte n'est guère utilisée que pour la structure interne de bâtiments à caractère industriel comme les entrepôts et filatures (docks Saint-Katharine à Londres en 1824). De même, le fer ou le cuivre sont d'abord utilisés quasi subrepticement, pour leurs qualités techniques, et en leur déniaient toute valeur plastique en raison de leur "maigreur". Curieusement, en revanche, les ponts qui seront les ouvrages les plus importants réalisés en métal échappent à cette critique architecturale. En France, les premiers grands ouvrages réalisés en fer ou en cuivre sont principalement des charpentes, comme celles couvrant la salle du Théâtre Français, par Victor Louis en 1786, la Halle au Blé par Bélanger et Brunet en 1811, la cathédrale de Chartres et la basilique de Saint-Denis.

Les progrès accomplis par l'industrie du verre permettent par la suite d'entreprendre des réalisations de plus en plus grandioses, en associant les deux matériaux ; ce sont, à Paris, la galerie d'Orléans au Palais Royal par Fontaine (1823), la serre du Jardin des Plantes par Rouhault de Fleury (1833) et surtout, à Londres, le Crystal Palace par Paxton (1851). En fait l'emploi du métal reste limité à la résolution de programmes nouveaux : marchés, halls de gare, serres, usines, grands magasins, viaducs, et bien sûr expositions universelles dont la tour Eiffel sera la démonstration la plus ostentatoire.

En ce qui concerne les programmes traditionnels, l'emploi du fer reste limité pendant tout le XIX^e siècle, au seul rôle d'ossature : Labrousse manifeste son opposition à l'enseignement de l'Ecole des Beaux-Arts en recourant à une structure apparente en fonte pour couvrir les salles de lecture des bibliothèques Sainte-Geneviève (1843) puis Nationale (1858). Il se tient cependant pour la décoration, à des formes éclectiques mais académiques et, pour l'extérieur, à une construction traditionnelle en pierre de taille. Boileau ne procédera guère différemment pour son église Saint-Eugène.

Pourtant la tôle ondulée, galvanisée, pouvant être utilisée en couverture et en paroi existe dès 1829. La tôle emboutie, nous apprend Marc Braham², apparaît en 1868 et est due au français Mollet, suivie par la tôle estampée à laquelle on peut donner les reliefs les plus variés. Ni l'une ni l'autre ne sera utilisée, tout au moins en Europe, avant les années mille huit cent quatre-vingts. Outremer en revanche, il semble que loin de la critique architecturale académique, on se soit livré à des expériences que l'exotisme pouvait sans doute permettre : en 1843, le palais du roi Eyambo à Calabar River au Nigeria est érigé par des Anglais, entièrement en fer ; en France, en 1850, on réalise des maisons démontables destinées à la région de Dakar. De toutes façons, comme le souligne Marc Braham, la réalisation et le développement de maisons entièrement en fer, de 1885 jusqu'à la Première guerre mondiale qui semble avoir mis un frein à ces ambitions, restera une préoccupation d'ingénieurs et de métallurgistes. Différents "systèmes" connus grâce aux brevets déposés, seront mis au point qui tous sous-entendent la préfabrication en usine, la modularité des éléments, la mise au point d'assemblages types etc. Nous ne pouvons

¹ Article publié dans la revue *Monumental*.

² In *Les maisons métalliques centennaires françaises*, cf. bibliographie.

que renvoyer à l'ouvrage de Marc Braham qui recense parfaitement ces maisons métalliques. On y retrouve notamment la villa de Poissy attribuée pendant un temps à Eiffel (on ne prête qu'aux riches...) la maison de Jarville toute proche de Crusnes, mais d'une conception radicalement différente des modèles réalisés en Amérique du Sud, etc.

Le principe d'une construction entièrement métallique appliqué à l'architecture religieuse est resté exceptionnel. On peut citer :

- l'église de Vendin-le-Vieil (Nord), vers 1910
- l'église dite "bulgare" construite à Istanbul à la fin du XIXe siècle dans un style néo-byzantin
- l'église de Lambaréné au Gabon (mission du père Petit).

Ces édifices semblent non seulement ne pas avoir été conçus suivant un système semblable de préfabrication, mais encore cachent-ils plus ou moins habilement leur nature réelle en imitant une architecture traditionnelle en maçonnerie.

En 1938-1939, l'architecte Claude Robbe et Alphonse Fenaux son successeur, reprennent pour l'église de Crusnes le principe d'une construction entièrement métallique, pouvant être préfabriquée.

Le commanditaire de l'opération est la famille Wendel, propriétaire des mines de Crusnes.

La société de Wendel implantée à Hayange en Moselle depuis la fin du XIXe siècle, a gagné sa notoriété grâce à la découverte et l'exploitation d'un nouveau mode de fusion du métal, permettant une mise en œuvre plus appropriée du fer dans les constructions métalliques. Ce nouveau procédé a contribué à l'essor de cette société et à l'exportation de sa production en Europe.

En réalisant l'église de Crusnes, la famille de Wendel avait deux objectifs :

- agir en mécène et mettre au service des mineurs de nationalités à majorité Polonaise et Italienne, donc catholiques fort pratiquants, une église dédiée à sainte Barbe, leur sainte patronne
- mettre au point grâce à des solutions industrielles novatrices, un modèle d'église préfabriquée, exportable élément par élément partout dans le monde, plus particulièrement dans les colonies et pays de mission, où les composants pouvaient être assemblés par une main-d'œuvre non spécialisée.

La guerre a empêché l'aboutissement du projet des Wendel et la réalisation de Crusnes est restée unique. Il existe encore en Afrique des exemples d'églises métalliques transportées par bateau et assemblées dans les missions, comme l'église de Lambaréné au Gabon (mission du père Petit). Ces exemples restent toutefois anecdotiques et correspondent à des initiatives isolées. Ils diffèrent donc de celui de Crusnes dans la mesure où ils ne correspondent pas à la diffusion d'un même modèle, conçu dans le cadre d'un projet industriel ambitieux.

En outre, l'architecture de l'église Sainte-Barbe de Crusnes correspond tout à fait à celle de son époque. Sa qualité architecturale est réelle et authentique, même si l'on note une certaine familiarité de forme avec la construction en béton armé, dans le dessin des baies notamment. La qualité des volumes intérieurs et l'esthétisme de ses bas-côtés du reste, ne sont pas sans rappeler l'église de Montmagny d'Auguste Perret.

L'édifice est de plan allongé. La nef, séparée des bas-côtés par des piliers à pans, comporte quatre travées et s'ouvre sur un chœur octogonal. Celui-ci, enveloppé par un déambulatoire, domine la nef de quelques marches. L'ensemble est couvert de plafonds plats. A l'opposé, une tribune surmonte le porche d'entrée. Celui-ci est flanqué des fonds baptismaux d'une part et de l'escalier d'accès à la tribune d'autre part.

A l'extérieur, l'emboîtement des volumes, très organique, traduit la hiérarchie des différents espaces. La façade, à portail unique, est surmontée d'un clocher-mur à trois ouïes.

La réalisation de l'édifice sera confiée aux établissements Fillod (industrie jurassienne de Saint-Amour). Cette entreprise est précisément spécialisée dans la construction de maisons individuelles métalliques composées d'éléments standardisés.

Les arguments de vente, persuasifs et novateurs, sont principalement :

- "Une maison de 100 m² peut être rendue habitable dix jours après sa mise en œuvre"
- "Les fondations sont réduites à des murettes superficielles en béton, et ce même sur un mauvais terrain"
- "L'expédition d'une maison peut être faite dans un seul wagon"
- "S'il s'agit d'expédier cette construction aux colonies, le métal est réparti en quatre caisses spéciales en acier léger et finalement, même en terrain accidenté, les pièces peuvent être amenées à pied d'œuvre par éléments individuels n'excédant jamais 80 kg"
- "Les murs à double paroi sont remplis de matière inerte non conductrice et offrent un indice d'imperméabilité remarquable"
- "La maison tout acier répond aussi d'une façon parfaite au problème des constructions destinées aux régions à tremblements de terre : la maison peut vibrer, être déversée sans danger pour ses occupants" etc.

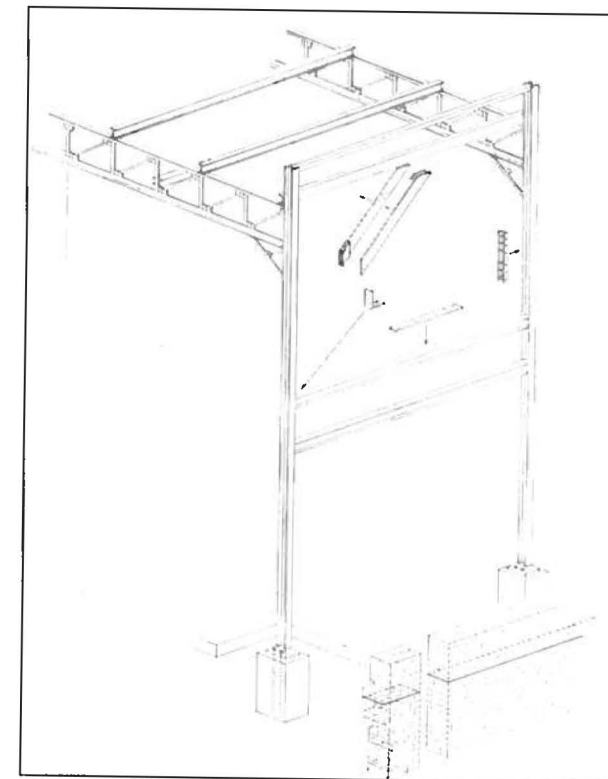
L'église de Crusnes est conçue dans cet esprit.

L'élément de base, accroché à une ossature en poteaux et poutrelles acier classique, est un panneau en tôle fine, plié. Cette sorte de palplanche est assemblée par clips, sans vis ni boulons, en deux parois parallèles entre lesquelles est intercalé un matériau isolant ; elle forme les parements intérieurs et extérieurs de l'édifice. Le même principe est adopté pour la couverture. La totalité des matériaux provient du bassin sidérurgique. Un laitier, résidu de haut fourneau, est utilisé comme isolant entre les deux peaux.

Grâce aux photos prises par un habitant de Crusnes pendant la construction¹, nous pouvons reconstituer le processus de mise en œuvre :

¹ Ce qui n'a pas été le cas à Crusnes, comme nous le verrons plus loin

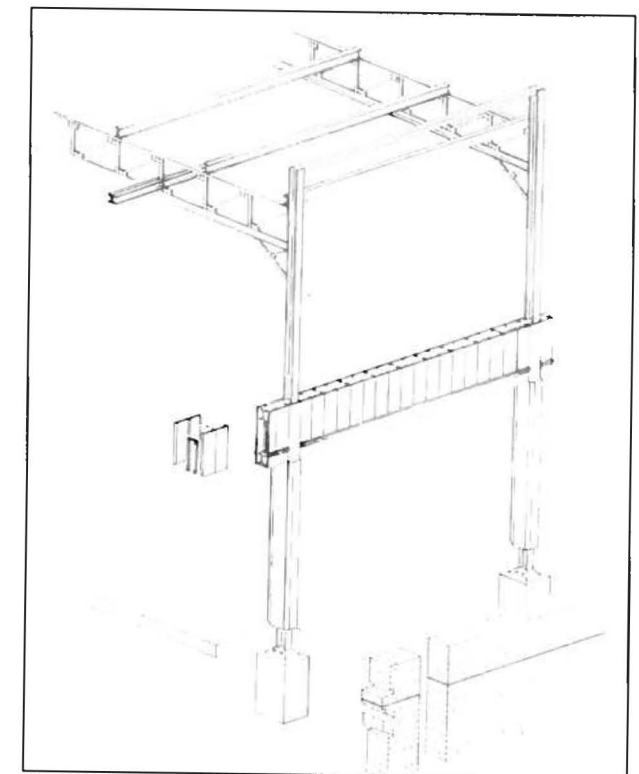
² Clichés SPADEM, Inventaire de Lorraine



Début 1938

Réalisation des fondations et des soubassements en maçonnerie de moellons traditionnelle, destinés à être enduits.

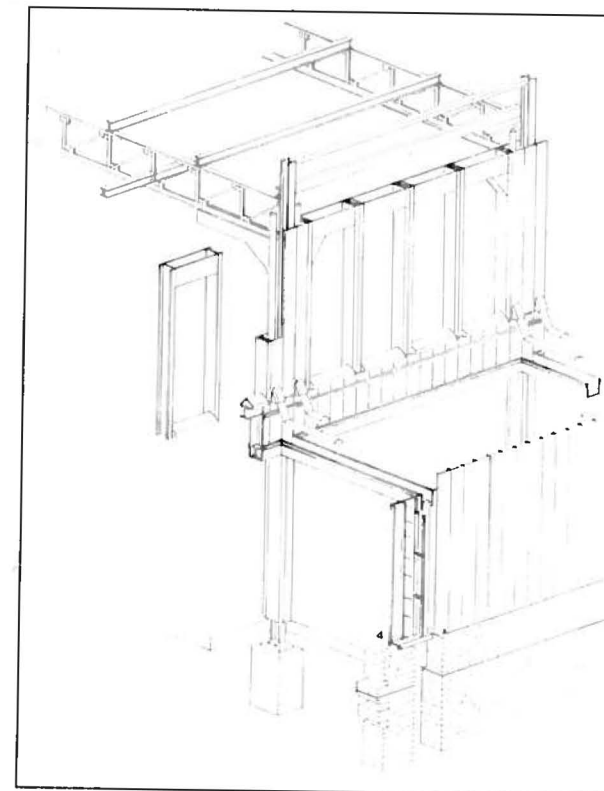
Mise en place de la structure primaire composée d'une succession de portiques étré sillonnés entre eux et composés de poteaux et poutres en acier en profil normalisé. La structure du toit est composée de poutre-trillis constituées de profils simples assemblés par goussets.



Octobre 1938

L'ossature primaire de la nef est terminée.

On commence à monter les bardages intérieurs et extérieurs des parties basses, jusqu'au triforium, à hauteur des appuis des fenêtres hautes. On met en place le laitier devant former isolation entre les deux peaux métalliques, ainsi que les descentes d'eaux pluviales.

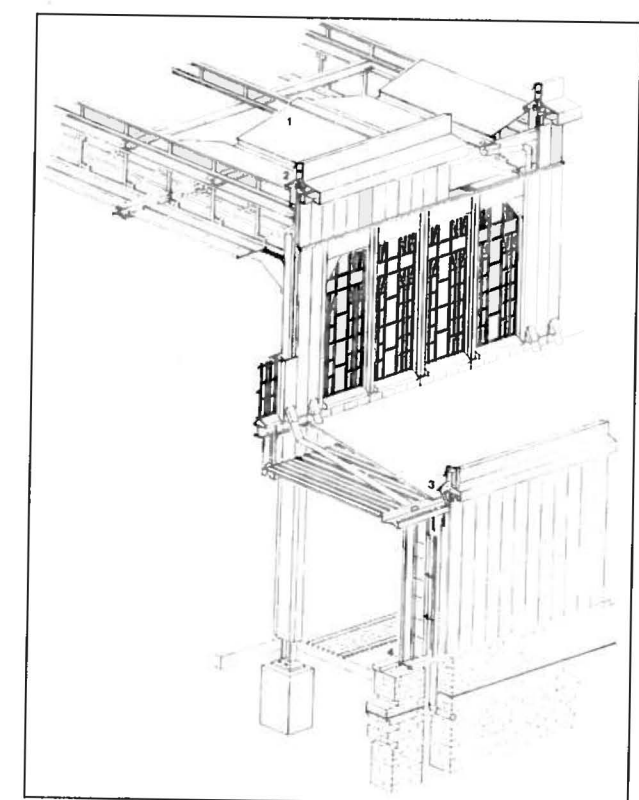


Hiver 1938

On achève la pose des bardages intérieurs et extérieurs sur l'ensemble de la nef, du chœur et de la façade.

On met en place les précadres des fenêtres hautes.

C'est seulement à ce moment que l'on réalise la structure primaire des bas-côtés en suivant le même processus.

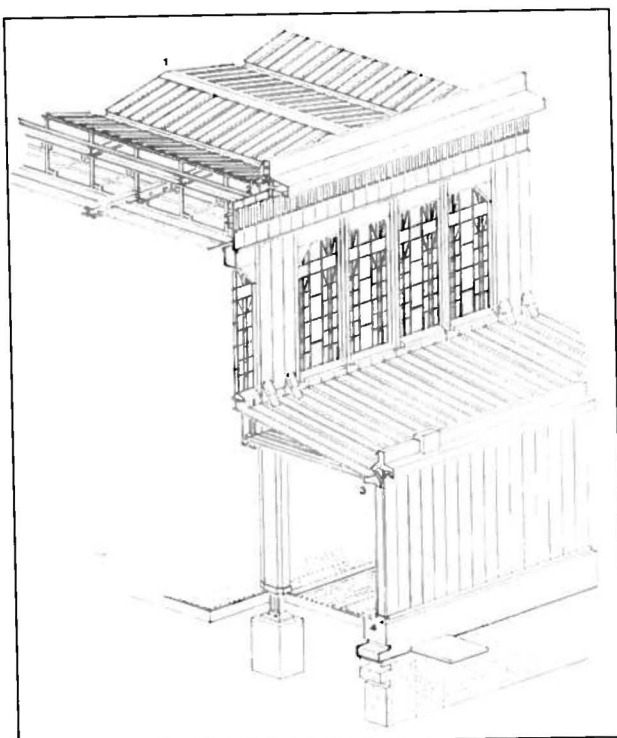


Printemps 1939

Réalisation de la couverture, puis des plafonds.

On met en place les châssis de fenêtres en fer cornière.

On applique les premières couches de peintures (antirouille) et on mastique les joints entre palplanches.



Été 1939
On met en place les frises décoratives sous corniches, au pourtour de la nef.
On pose les verres des fenêtres. Le soubassement en maçonnerie est enduit et l'ensemble de la métallerie est peint dans la couleur définitive.
Les tilleuls sont plantés.

En ce qui concerne le mobilier et la décoration, l'église recèle un ensemble fort homogène :

L'ensemble est éclairé par des vitraux losangés verts et bleus disposés en brins de fougère, et composés de simples verres de couleurs sertis dans des châssis en fer cornière. On remarque le vitrail du chœur composé par Hélène Delaroche-Untersteller et exécuté par Mauméjean. Il représente sainte Barbe, patronne des mineurs et de la paroisse. Les nuances de couleurs sont obtenues par des variations de l'épaisseur du verre. A l'opposé, au second niveau de la façade, un vitrail octogone dont le dessin central est une croix éclaire la tribune.

Des fresques courent sur tout le pourtour de la nef centrale, entre linteau ouvrant sur les bas-côtés et appui des fenêtres hautes. Elles sont l'œuvre de M. Untersteller. Elles évoquent des saints lorrains, italiens et polonais, protecteurs des mineurs. Sur les murs des bas-côtés, se succèdent les panneaux d'un chemin de croix taillé dans le minerai. Les lampes des mineurs sont l'œuvre de M. Bachelet ainsi que le Christ en bois sur la croix métallique.

Chronologie

- Juin 1938 Pose de la première pierre de l'église.
- Sept. 1938 Achèvement des fondations.
- Oct. 1938 Achèvement de l'assemblage de l'ossature métallique.
- Mai 1939 Achèvement de la construction de l'église.
Bénédiction le 29 mai par Monseigneur Fleury, évêque de Nancy

- 1940-1945 Dommages de guerre.
- 1950 Application d'une peinture jaune à l'extérieur et grise à l'intérieur.
- 1968 L'église, propriété jusqu'alors des Wendel, est rétrocédée à la commune.
- 1970 Remise en peinture des extérieurs, en gris proche de la couleur d'origine.
- 1973 Ralentissement des activités minières de Crusnes, l'église est délaissée.
- 1975 Fermeture des mines de Crusnes ; L'église est cédée à l'Association diocésaine de Nancy.
- 1977 Effondrement d'anciennes galeries dans la partie basse de la ville^a
- 1989 Réfection totale de la couverture par la Société Astron, installation de bacs acier laqués boulonnés.
- 1989-1990 Protection de l'église au titre des Monuments Historiques. Inscription à l'Inventaire supplémentaire (30 octobre 1989). Classement (14 juin 1990).

Etat sanitaire^b

L'état général est impressionnant, l'ensemble de la peau extérieure apparaît fortement corrodée. La rouille attaque 80 % de la face sud, 70 % de la façade ouest, 15 % de la face nord. En revanche, les poteaux de la structure principale, accessibles après dépose du bardage, présentent une corrosion peu significative de réduction d'épaisseur. L'enrouillement des surfaces externes du bardage à l'extérieur de l'édifice est de l'ordre de 40 à 50% minimum de rouille visible ayant traversé le revêtement (degré cinq de l'échelle internationale ISO).

Les surfaces externes à l'intérieur de l'édifice, moins sollicitées, sont en meilleur état. Après sondages à 1,60 m de hauteur, le métal est apparu sain.

Les surfaces internes de ces bardages, observées après dépose de certains panneaux, correspondent aussi au degré cinq de l'échelle ISO.

Les plus fortes dégradations se remarquent au long des appuis de fenêtres, au contact des soubassements en maçonnerie, au long des corniches et acrotères. Les châssis et cadres des vitraux sont attaqués (particulièrement ceux du chœur) entraînant l'éclatement des verres.

Enfin, on constate une déformation des bardages intérieurs et extérieurs qui présentent un ventre en partie basse.

On peut recenser trois causes principales de ces dégradations :

- l'action de l'eau
- la corrosivité du laitier
- l'action mécanique du laitier

^a Contrairement à certaines affirmations, cet incident survenu dans un endroit très éloigné de l'édifice n'en a pas affecté la stabilité.

^b Nous avons été assistés par le Laboratoire Régional des Ponts et Chaussées de Nancy (dossier n°93-482, qui a travaillé à notre demande en relation avec le Laboratoire de Recherches sur les Monuments Historiques de Champs-sur-Marne, section métal - Madame A. Texier).

Les eaux de pluies ruissellent sur les parties exposées comme les appuis de fenêtres ou les ornements architecturaux. Elles pénètrent en outre entre les deux bardages métalliques par les impacts de balles des mitrailleuses de la dernière guerre, ou par les descentes d'eau pluviales qui passent entre ces deux peaux. Ces dernières sont en zinc ; attaquées par l'effet électrolytique, elles sont percées et fuient en imbibant le laitier. Enfin, le défaut d'isolation de la toiture produit une condensation en sous-face intérieure des plafonds et le long de la cheminée de chauffage central (à droite de l'autel).

La corrosivité potentielle du laitier isolant existant entre les deux peaux résulte de sa teneur élevée en sulfures S qui est de 11 500 mg/kg alors qu'il est recommandé de ne pas excéder 300 mg/kg. On observe une corrosion accélérée du métal et une disparition quasi-complète de la protection anti-corrosion dans les zones où les sulfures contenus dans le laitier, mis en solution, ont migré : partie basse des parois sur 1 m à 1,50 m de hauteur, ainsi que dans les plis et agrafes (zones peu ventilées).

Ce laitier produit un effort mécanique sur les bardages. En effet, lorsqu'il est humide, il peut gonfler jusqu'à cinq fois son volume initial. Il se tasse en partie basse où il appuie sur les bardages et les déforme.

L'analyse chimique, les essais de traction et une métallographie des bardages, révèlent les éléments suivants :

- Le métal utilisé est un acier extra doux à 0,003 % de carbone chargé en cuivre 0,28 correspondant à des aciers de construction à résistance améliorée à la corrosion atmosphérique (normes NFA A35-502 et EN 10.155).
- La structure métallographique est de type ferrito-perlitique avec un indice de grosseur de grain voisin de 6 à un grossissement de 100, ce qui correspond à une structure normalisée du type NFA 04.102.
- Les teneurs en soufre (0,025 %) et phosphore (0,015 %) sont faibles ce qui est favorable à une technique traditionnelle de réparation par soudage.
- L'absence de silicium est favorable à un traitement anti-corrosion par galvanisation.
- L'épaisseur des bardages des parois intérieures, mesurées après décapage de la protection anti-corrosion varie de 1,90 à 2,00 mm (sur un bardage sain l'épaisseur relevée est de 2,00 mm).

BIBLIOGRAPHIE

- Braham M. : "Les maisons métalliques centennaires françaises", Revue *Construction Métallique*, tiré à part n°4, 1991
- Charpentier J.L. : *L'Eglise de Crusnes in Apologie du périssable*, Editions du Rouergue
- Fillod F. : "La maison "tout acier" F.S.A". Plaquette publicitaire
- Lemoine B. : *L'architecture du fer au XIX^e siècle*, Champvallon, coll. Milieux, Paris, 1988.
- Roset Ch. : *Maisons métalliques*, ibid.
- Schleich L. : *Crusnes, mon village*, Crusnes, 1988, pp.79-115.
- Schmitt X. : "Sainte-Barbe, martyre de la rouille", *Métal Plus*, Avril-Mai 1988, n°26, pp.5-7.
- Service régional de l'inventaire de Lorraine (Dossier Crusnes)
Direction régionale des affaires culturelles de Lorraine

Les travaux envisagés

Les travaux envisagés dont une première tranche était programmée pour l'automne 1996 consistent à pratiquer les opérations suivantes :

- Démontage des bardages intérieurs et extérieurs, et transport en atelier.
- Protection de l'édifice par bâchage.
- Décapage de la structure par sablage à sec pour une mise à nu du métal ; après nettoyage pour éliminer le laitier, application d'une peinture anti-corrosion à la brosse puis d'une peinture de finition.
- Sur les bardages déposés, élimination des poussières et du laitier, coupage des parties de métal altérées de façon définitive ou présentant de trop grosses déficiences d'épaisseur.
- Remplacement en raccords soudés de ces tôles par un acier d'une composition la plus proche possible des bardages anciens. Le procédé de soudage proposé est manuel à électrode basique pour obtenir un cordon de soudure continu. Ces soudures seront meulées pour un raccord parfait, invisible sous la peinture future. Ce procédé est proche de celui utilisé pour la restauration des carrosseries de voitures.
- Décapage pour une mise à nu du métal des parties conservées après nettoyage afin d'éliminer le laitier.
- Traitement par galvanisation au zinc.
- Peinture.
- Remplacement des descentes d'eaux pluviales.
- Remontage des bardages avec pose d'un isolant neutre, laine de roche ou granulé expansé avec entretoises permettant de conserver un vide continu entre l'isolant et la surface interne de chaque bardage.
- Masticage pour améliorer l'étanchéité soit par mastic souple soit par mastic epoxy peint.
- Dernières couches de peinture sur bardages après diverses reprises des rayures éventuelles dues au remontage.
- Mêmes opérations pour les ornements, élément par élément.

Thierry ALGRIN

Architecte en chef des monuments historiques

Géophysique appliquée à la détection d'éléments métalliques dans les maçonneries

INTRODUCTION

La présence de métal dans les maçonneries anciennes est fréquente. Qu'ils soient d'origine ou issus de restauration, ces éléments métalliques s'oxydent et sont souvent à l'origine de dégradations de la pierre.

Afin de prévenir ces altérations et pour faciliter les restaurations actuelles, il serait utile de pouvoir localiser précisément ces éléments métalliques.

Diverses techniques sont utilisées en géophysique pour la prospection minière ou en génie civil pour la détection des armatures du béton. Mais elles ne sont pas adaptées à l'auscultation de monuments historiques dont les reliefs sont complexes et pour lesquels les profondeurs d'investigation dépassent le cadre habituel d'utilisation de ces méthodes.

Depuis 1993, une étude comparative de ces techniques de détection est menée au sein du Cercle des Partenaires du Patrimoine. L'objectif de cette étude est de répertorier les différentes méthodes existantes, puis de les tester et éventuellement de les adapter aux problèmes spécifiques rencontrés dans les monuments historiques.

Plusieurs méthodes ont donc été testées sur différents sites. Les principes de fonctionnement des différentes méthodes, ainsi que les résultats d'investigations menées à la cathédrale de Reims, sont présentés ici.

CATHÉDRALE DE REIMS : STATUES DE MOÏSE, ABRAHAM ET AARON

Les premiers essais in situ se sont déroulés à Reims. Trois statues du portail sud de la façade occidentale de la cathédrale ont été auscultées : Moïse, Abraham et Aaron. Ces statues de 3,13 m de hauteur ont été sélectionnées pour leur facilité d'accès, et aussi parce qu'elles sont renforcées par des éléments métalliques. Certains fers de fixation et goudjons sont apparents. Les archives indiquent également que les statues ont été restaurées à plusieurs reprises, avec l'utilisation d'inserts métalliques. Elles vont par ailleurs être démontées lors d'une prochaine restauration, ce qui permettra de valider les résultats.

MÉTHODES ELECTROMAGNÉTIQUES

Ces méthodes très nombreuses fonctionnent selon le même principe.

Principe et matériel

Les méthodes électromagnétiques consistent à créer un champ magnétique dit "primaire", dans la zone auscultée. Tout objet métallique soumis à ce champ primaire créera à son tour un champ magnétique dit "secondaire", qui permettra de le détecter.

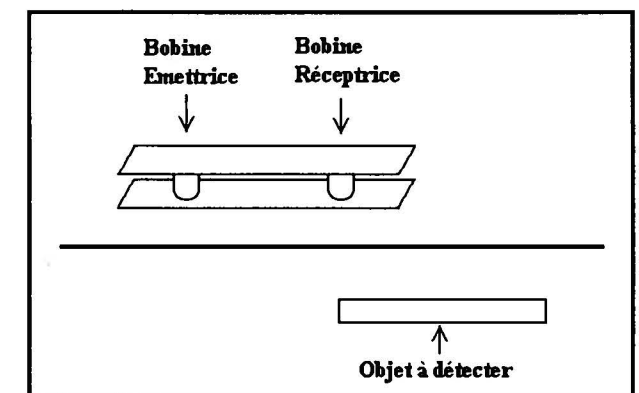


Schéma 1 : Principe de fonctionnement des méthodes électromagnétiques. Bobines parallèles.

Seul le matériel de mesure de ces différentes méthodes diffère. Pour toutes, il se compose d'une antenne et d'un boîtier de mesure. L'antenne étant constituée d'une bobine émettrice qui crée le champs magnétique primaire et d'une bobine réceptrice qui détecte les éventuels champs secondaires. Mais la position des bobines dans l'antenne varie d'une méthode à l'autre. Elles peuvent être parallèles (Cf. schéma 1) ou concentriques (Cf. schéma 2).

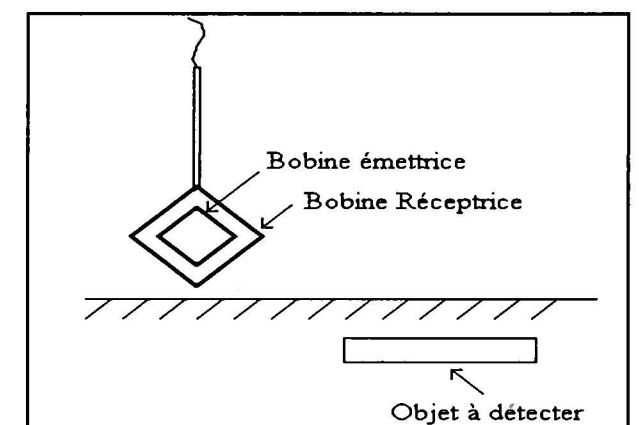


Schéma 2 : Principe de fonctionnement des méthodes électromagnétiques. Bobines concentriques.

Résultats

Lors des essais menés à Reims et à Versailles, trois de ces méthodes électromagnétiques ont été testées :

- un détecteur de métaux à impulsions,
- un prototype de laboratoire : le "Slingram",
- et un pachomètre.

La carte n° 1 est un exemple des résultats obtenus. Elle a été réalisée à l'aide d'un détecteur de métaux à impulsions, à Reims, sur la statue de Moïse qui se trouve sur le portail sud de la façade occidentale de la cathédrale. Elle montre qu'une auscultation rapide permet de localiser des masses métalliques (dans la colonne, le pied gauche de Moïse, le drapé du bras gauche...) Pour obtenir une plus grande précision sur la géométrie des inserts métalliques, il serait nécessaire de procéder à une auscultation plus poussée, avec un maillage précis.

Remarques

Les méthodes électromagnétiques présentent un grand avantage : elles permettent de détecter presque tous les métaux. En effet, si dans la statue de Moïse, la plupart des masses métalliques détectées coïncident avec des zones de restauration, pour lesquelles des éléments ferreux pourraient avoir été utilisés, une zone métallique a également été détectée en pied de statue, qui pourrait correspondre à une feuille de plomb.

Par contre les profondeurs d'investigation de ces méthodes sont limitées à environ 30 cm. Au-delà de cette distance, la fiabilité de la mesure est liée à la masse métallique. Un clou placé à 35 cm de la surface ne sera pas décelable. Par contre la détection d'un tirant de 6 cm de diamètre à la même profondeur est probable.

Enfin les mesures peuvent être perturbées par la présence de métal dans la zone d'auscultation. Il faut donc, par exemple, veiller à éviter de placer les montants d'un échafaudage métallique trop près de l'élément ausculté.

MÉTHODES ÉLECTRIQUES

Lors des essais, une seule méthode a été testée : la méthode dite de mise à la masse.

Principe et matériel

Cette méthode permet de préciser le prolongement d'éléments métalliques apparents. Elle consiste à envoyer un courant électrique par la partie apparente de l'élément métallique. Cet élément est alors porté dans son ensemble à des valeurs de potentiel électrique identiques et sa surface est assimilable à une équipotentielle. Des mesures de potentiel électrique à la surface de la maçonnerie permettent ensuite de détecter ces équipotentielles (Cf. schéma 3).

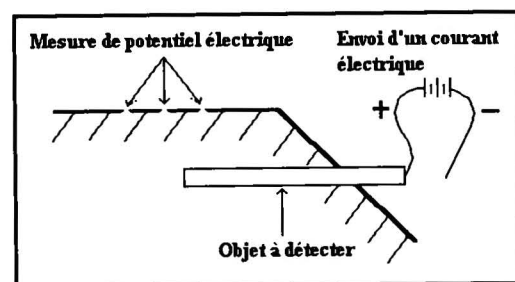


Schéma 3 : Principe de fonctionnement de la méthode de "mise à la masse".

Le matériel, portable, se compose d'une batterie, d'un boîtier de mesure et d'une série d'électrodes.

La précision de la mesure est directement liée à la qualité du contact électrode-pierre et à la conductibilité du matériau environnant l'élément métallique.

Des électrodes médicales, munies d'une mousse imbibée d'une solution conductrice incolore sont donc utilisées pour les mesures de potentiel.

Résultats

Les mesures réalisées à Reims, sur la statue d'Abraham, qui se trouve sur le portail sud de la façade occidentale de la cathédrale, ont permis d'évaluer le prolongement à la fois dans la statue et dans le mur (Cf. Carte n° 2), des goujons et fers de fixation partiellement apparents (goujons dans le bras droit d'Abraham, dans le cou d'Isaac...)

Remarques

Cette méthode électrique permet de donner des précisions sur les éléments métalliques apparents, mais elle ne permet pas de détecter des éléments totalement enfouis dans la pierre à moins qu'ils soient en contact avec les éléments apparents.

Les profondeurs d'investigation sont par ailleurs limitées par la conductivité du milieu environnant le métal à détecter. Il est parfois nécessaire d'humidifier la surface pour améliorer ces contacts électriques.

MÉTHODES MAGNÉTIQUES

Elles sont fondées sur les propriétés magnétiques des métaux.

La principale méthode magnétique nécessite l'utilisation d'un magnétomètre différentiel.

Principe et matériel

Certains métaux émettent spontanément un champ magnétique mesurable ; c'est notamment le cas du fer.

Un magnétomètre différentiel permet de mesurer ces champs magnétiques. Il mesure en fait un champ magnétique global, puis s'affranchit du champ magnétique terrestre (qui occulte tous les autres champs magnétiques), pour n'évaluer, en définitive, que les champs magnétiques faibles tels que ceux qui peuvent être émis par des métaux magnétiques (Cf. schéma 4).

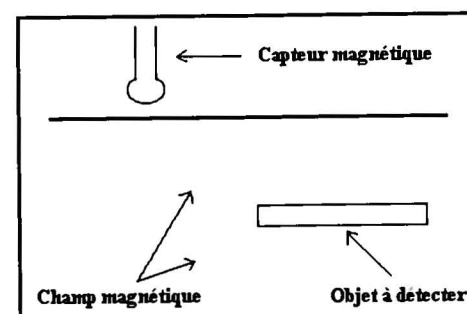


Schéma 4 : Principe de fonctionnement du gradientmètre.

Le magnétomètre testé au cours de ces essais, le gradientmètre, est un appareil portable. Il se compose d'une sonde différentielle et d'un boîtier de mesure.

Résultats

Le gradientmètre fonctionne en plusieurs modes. Un simple signal sonore permet de préciser rapidement si une maçonnerie contient du métal.

Pour une détection plus fine, on peut coupler un voltmètre au gradientmètre. Il est alors possible de détecter avec plus de précisions les extrémités des masses métalliques insérées dans la maçonnerie.

Le gradientmètre a permis d'établir la carte n° 3, après l'auscultation de la statue de Moïse à Reims.

Comme dans le cas des méthodes électromagnétiques, ce sont essentiellement des masses métalliques qui ont pu être détectées (dans la colonne, les drapés du bras gauche et de la jambe droite...), sans grande précision sur leur géométrie.

Remarques

Bien que très pratique, le gradientmètre ne permet de détecter que les métaux ayant certaines propriétés magnétiques. Dans le cadre de l'auscultation de monuments historiques, il permet essentiellement de détecter les métaux ferreux, mais il ne permet pas la détection du plomb par exemple. Les mesures sont par ailleurs perturbées par la présence de masses magnétiques proches de la zone auscultée (nacelle, échafaudage).

Ces trois premières catégories de méthodes permettent exclusivement de détecter des matériaux métalliques possédant pour certaines des propriétés magnétiques particulières.

La dernière catégorie regroupe toutes les méthodes testées au cours de ces essais, et permet de détecter non seulement le métal, mais aussi d'autres matériaux (détection d'interfaces...)

AUTRES

Deux méthodes permettent des mesures particulièrement intéressantes : le radar géologique et la gammagraphie.

Radar géologique

Un radar géologique fonctionne suivant un principe très simple. Des ondes à haute fréquence sont émises sur la surface auscultée. Les échos sont ensuite captés après propagation des ondes et réflexion sur les cibles que constituent les discontinuités entre les différents milieux physiques. Plus simplement, le radar géologique permet de détecter des interfaces entre différents matériaux (Cf. schéma 5).

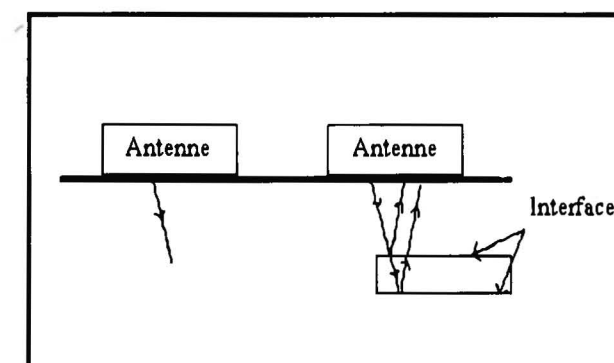


Schéma 5 : Principe de fonctionnement d'un radar géologique.

L'analyse des échos se révèle assez ardue. Pour faciliter l'exploitation des résultats, le matériel de mesure permet d'enregistrer ces échos afin de les examiner plus en détail par la suite.

Le radar géologique est habituellement utilisé pour l'auscultation de sols. Les surfaces sont donc généralement planes et les profondeurs d'investigation relèvent plus du mètre que du centimètre.

L'auscultation des statues de Reims était donc une application particulièrement difficile. Le matériel a dû être adapté pour ces investigations. Il faut préciser que pour une mesure optimale, l'antenne doit être le plus proche possible de la surface. Si elle en est trop éloignée, la lame d'air située entre l'antenne et la surface constitue un premier milieu et la surface de pierre est une première interface où les ondes sont réfléchies.

Le relief des statues de Reims ne permettait pas au départ un bon contact antenne-pierre. Pour s'adapter à la complexité de ce relief, l'antenne a donc été miniaturisée. Mais l'auscultation est restée difficile. Les seuls résultats intéressants ont été obtenus sur les éléments les plus plans : la colonne et le mur à l'arrière d'Abraham.

Le radar géologique n'est donc pas un outil très adapté à l'auscultation de statues aux reliefs complexes, mais des essais réalisés sur d'autres sites montrent qu'il est particulièrement efficace sur des maçonneries aux reliefs simples. L'interprétation des échos reste néanmoins compliquée et doit être confiée à des spécialistes.

Gammagraphie

La gammagraphie est très proche de la radiographie médicale. Elle nécessite d'avoir accès à deux faces de l'objet ausculté. Elle consiste à envoyer un rayonnement de photons sur l'une des faces. Ce rayonnement est ensuite atténué différemment en fonction du matériau traversé. En plaçant un film sur l'autre face, on obtient un cliché photographique en négatif de l'objet et de son éventuelle ossature métallique. (Cf. schéma 6).

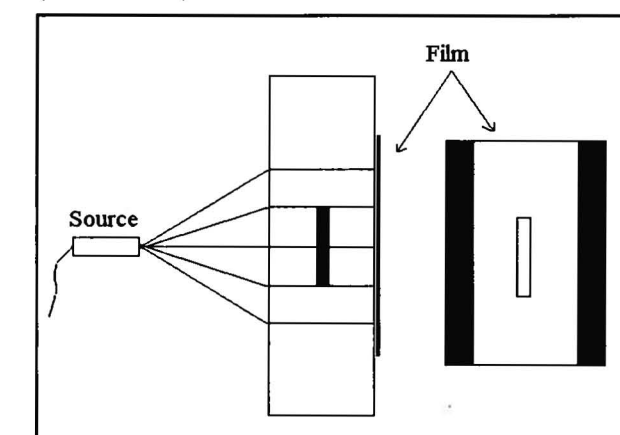


Schéma 6 : Principe de fonctionnement d'une gammagraphie.

En gammagraphie les sources utilisées sont des radioéléments tels que l'iridium ou le cobalt. Or les conditions de sécurité imposées par l'utilisation de radioéléments sont très contraignantes. Un périmètre de sécurité au sein duquel lors de l'essai personne ne doit pénétrer doit en effet être signalé autour de la zone auscultée. Ce périmètre de

sécurité augmente avec la puissance du radioélément. Il n'a pas été possible de procéder à une gammagraphie à Reims. Les profondeurs d'investigation ne nécessitaient pas l'utilisation d'une source très puissante mais les habitations étaient très proches de la zone d'essais.

Néanmoins, lorsque l'auscultation est possible, elle permet d'obtenir une image très précise de l'élément ausculté, de ses éventuels inserts métalliques, des fissures... Lors d'investigations complémentaires aux essais de Reims, il a par exemple été possible de visualiser un goujon probablement ferreux enrobé d'une gaine de plomb, inséré dans une maçonnerie de pierre.

CONCLUSION

Issues de la géophysique ou du génie civil, les méthodes de détection d'éléments métalliques sont nombreuses. Mais le relief des surfaces ou les épaisseurs d'enrobage rencontrés dans les monuments historiques sortent du cadre habituel d'utilisation de ces méthodes. Les essais menés à Reims montrent que moyennant quelques adaptations du matériel pour certaines méthodes, la détection est possible malgré les contraintes liées au support. Cependant, si pour chaque type de détection, il existe une méthode adaptée, il n'y a pas de méthode universelle qui convienne à tous les sites.

Ainsi, les méthodes électromagnétiques ou magnétiques sont-elles plus adaptées à l'auscultation de statues aux reliefs complexes dont les éléments métalliques sont faiblement enfouis, que le radar géologique, qui est plus adapté à l'auscultation de maçonneries aux reliefs simples, mais dont les inserts métalliques sont profondément enfouis dans la pierre.

Néanmoins, quelle que soit la méthode utilisée, la détection révèle généralement plus des masses métalliques que des structures précises (avec des détails sur leur géométrie et leur dimension...)

BIBLIOGRAPHIE

1. D. Gilbert, Détection magnétique, *Compte rendu de l'intervention* - Institut de physique du globe, Paris, mars 1994
2. A. Hesse, *Cathédrale de Reims. Détection des armatures métalliques de statues* - C.N.R.S, Garchy (France), mars 1994
3. GEOMEGA, Auscultation Géoradar. Etude de faisabilité. Investigations sur des statues de la cathédrale de Reims - Rapport 94 RA 284, Créteil (France), mai 1994.
4. CGG, *Détection des armatures métalliques dans les statues de Moïse, Abraham et Aaron. Cathédrale de Reims* - Mission 100.25.12, Massy (France), mars 1994.
5. R. Guinez, E. Hoyrup, *Contrôle non destructif des ouvrages d'art par gammagraphie, radiographie et radioscopie*, L.C.P.C. Bulletin de liaison, France, 1991.
6. L. Le Devehat, M.J. Lagogue, R. Cyssau, G. Pichon, D. Cluzel, *Les moyens de percement et de localisation des singularités dans les parois*.- Annales de l'ITBTP- COSTIC, Série Equipement Technique 117, N°510, janvier 1993.
7. P. Kurmann, *La façade de la cathédrale de Reims*, C.N.R.S-Payot Lausanne, 1987.

Mais la plupart des méthodes testées au cours de ces essais sont évolutives, que ce soit au niveau du matériel ou de sa mise en œuvre dans des conditions particulières. En effet, le matériel de certaines méthodes a déjà évolué au cours de ces essais et les spécialistes qui ont procédé aux investigations se sont également formés à ces auscultations spécifiques.

RÉSUMÉ

Le métal était un matériau couramment utilisé dans la restauration de maçonneries ou de statues, particulièrement durant le XIXe siècle, en France. A l'heure actuelle, l'altération de la pierre, notamment dans le cas des statues, est souvent liée à l'oxydation de ces renforts métalliques. Pour prévenir ce genre de dégradation et pour faciliter les restaurations actuelles, il serait utile de pouvoir localiser précisément ces inserts métalliques. Mais les moyens de détection, adaptés aux problèmes spécifiques des monuments historiques (reliefs complexes, faibles profondeurs d'investigation...) manquent. Parmi les nombreuses méthodes employées essentiellement en génie civil ou en géophysique, huit ont été sélectionnées, testées sur divers sites historiques et adaptées si nécessaire. Les premières cartes d'éléments métalliques obtenues sont assez précises.

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier Madame Geraads et Messieurs Andrieu, Bouvier, Garcia, Gilbert, Hesse, Le Daëron, Walle pour leur assistance technique, ainsi que Messieurs Boulangeau, Bourillon, Goguel et Musso, de leur coopération.

Elisabeth MARIE-VICTOIRE*, Annick TEXIER**

*Cercle des partenaires du patrimoine

**Laboratoire de recherche des monuments historiques

La connaissance et la conservation des métaux ferreux dans les monuments historiques

Approche méthodologique

INTRODUCTION

Seul ou associé à d'autres matériaux, l'emploi des métaux et alliages est largement répandu dans les ouvrages. Cependant, lorsqu'il n'est pas archéologique et à fortiori qu'il est ferreux et non ornemental, le métal a souvent été considéré comme très secondaire, d'autant plus que sa corrosion, liée dans la plupart des cas à des erreurs de conception ou à un manque d'entretien, a pu affecter les divers composants de la construction.

Fort heureusement, cet état de fait a bien évolué au cours de la dernière décennie et les règles déontologiques et techniques de la conservation-restauration sont appliquées aux métaux dans les monuments historiques.

Pour cela, faut-il revenir à l'élaboration du métal, à sa mise en forme, à son analyse chimique et à l'observation de sa microstructure, développer tous les problèmes de corrosion susceptibles de l'atteindre, définir ses propriétés mécaniques et enfin examiner les phénomènes de compatibilité de ces métaux entre eux et vis-à-vis des matériaux auxquels ils sont étroitement liés ?

Face à un métal, toutes ces pistes doivent être exploitées, afin de parvenir au choix de conservation le plus approprié.

Que ces métaux soient goujons, agrafes, tirants, chaînes, charpentes, toitures, sculptures..., la procédure d'investigation dans le cadre d'une étude préalable est à quelques variations près, la même, le développement de chaque étape étant plus ou moins approfondi.

Nous proposons un schéma d'intervention face aux utilisations des fontes, fers et aciers dans l'architecture des monuments historiques ; cette procédure est bien sûr applicable aux autres métaux.

RAPPELS

La corrosion des métaux et de leurs alliages témoigne de leur tendance naturelle à revenir à leur état originel de minerai, sous l'action des agents atmosphériques. Elle aboutit à la destruction du métal.

La corrosion est un phénomène plus ou moins rapide, provoqué par une ou des actions de type chimique (gaz), physique (vent, sable, frottements), biologique (micro-organismes), électrochimique (au contact de solutions). La corrosion électrochimique est la plus courante.

Un métal dans une solution se corrode parce qu'il est hétérogène. Ces hétérogénéités peuvent être de nature chimique (impuretés, précipités, inclusions...) ou de nature physique (zones déformées par écrouissage...). L'hétérogénéité peut provenir aussi d'un gradient de température ou de concentration de gaz dissous dans la solution. Ces hétérogénéités forment des micro piles, comme est formée une pile quand deux métaux de composition différente se trouvent en contact.

Dans le cas concret des monuments historiques, la solution est l'eau plus ou moins concentrée en sels, en acide par les matériaux et polluants environnants. Les métaux auxquels nous avons à faire sont pratiquement toujours hétérogènes et/ou couplés deux à deux, ce qui implique que les facteurs d'une corrosion potentielle sont en présence.

Les types de corrosion sont variés (corrosion uniforme, par piqûres, intergranulaire, par aération différentielle...) et provoqués par les agents atmosphériques, mais aussi par des vibrations, des contraintes mécaniques (corrosion sous contrainte, corrosion par fatigue).

Or, nous avons à notre disposition bien des moyens pour lutter contre cette corrosion.

- Pour les pièces de remplacement, quand cela est nécessaire et possible, (éléments de substitution), la conception des pièces et des assemblages doit être étudiée en fonction de leur utilisation : propriétés mécaniques, esthétiques, résistance à la corrosion, facilité de mise en forme...

- Pour les pièces d'origine conservées en place, isolant et système de protection anticorrosion offrent des garanties nécessaires à la préservation des éléments métalliques, à condition de suivre les protocoles établis. Il est possible parfois d'agir sur l'environnement (baisse de l'humidité relative...).

PROTOCOLE D'INVESTIGATION

Comme pour tous les autres matériaux utilisés dans les monuments historiques, le métal n'est pas l'affaire d'un

seul spécialiste. Face à la complexité des paramètres influençant leur conservation, seule la pluridisciplinarité d'une équipe permet d'aboutir aux solutions les plus appropriées.

Enquête préliminaire

a. Recherche documentaire historique et technique
Elle permet parfois d'obtenir les plans, la date de mise en place, de préciser le type de métal utilisé, les techniques pratiquées pour la mise en œuvre, et de connaître le nom des artistes, des entreprises ayant réalisé les travaux à l'origine ou lors de restaurations anciennes. Même si, dans beaucoup de cas, cette recherche apporte peu d'informations précises sur les métaux, c'est une étape incontournable.

b. Examen in situ
Cet examen comporte une visite détaillée, non seulement de l'objet ou de la zone incriminée, mais de tout son environnement : l'inventaire des matériaux en présence, un relevé des désordres et l'observation des conditions environnementales (température, humidité relative, écoulement d'eau...).

Cette enquête préliminaire recentre la problématique et doit aboutir à la définition des objectifs de l'étude préalable.

L'ensemble des données obtenues au cours de cette première phase est utilisé pour établir et chiffrer l'étude préalable scientifique (interventions du Laboratoire de recherche des monuments historiques, interventions extérieures au service).

Etude

Le programme d'une étude préalable est très variable. S'il s'agit d'intervenir ponctuellement sur un goujonnage ou sur un pont, un bâtiment, une structure totalement métallique, l'envergure des investigations est totalement différente.

Chaque cas étant bien particulier, il faut établir les étapes de l'étude, savoir pourquoi et en quoi elles seront utiles.

a. Etude in situ
Détection, non destructive, d'éléments métalliques insérés dans les maçonneries
Ces méthodes, utilisées en géophysique, permettent dans certaines conditions, de localiser et de dimensionner ces éléments métalliques (cf. recherche Cercle des partenaires du patrimoine).

Détection, localisation de défauts dans les structures métalliques
La détection et la localisation des fissures, zones de corrosion, zones de déformation, ainsi que l'évaluation de leur incidence sur la résistance mécanique, sont des facteurs primordiaux pour la révision des calculs de structure.

Sondage
Afin de contrôler des éléments métalliques non visibles, des sondages peuvent être pratiqués (structure porteuse, type d'agrafe...).

Prélèvements
L'enquête préliminaire aura permis de déterminer les zones, le nombre et le volume des prélèvements nécessaires pour avoir un échantillonnage représentatif de l'objet, du site à étudier.

b. Etude en laboratoire
Observations et analyses (cf. annexe I)
Des observations macroscopiques et microscopiques doivent être réalisées, ainsi que des analyses chimiques permettant l'identification du métal, de ses produits de corrosion et des revêtements protecteurs utilisés. L'analyse quantitative et l'examen de la structure cristalline du métal apportent des données sur les risques potentiels de corrosion de ce métal, sur ses propriétés mécaniques, sur les traitements pouvant lui être appliqués (soudage, brasage, mise en forme, protection...). L'étude stratigraphique des revêtements peut faciliter la reconnaissance des revêtements d'origine et révéler les causes de détérioration rapide.

Essais
Dans certains cas, la mise en place d'une étude plus complexe est nécessaire. Elle comporte en général, la mise au point d'une méthodologie, la confection d'éprouvettes, des tests de vieillissement artificiel, avec des analyses physico-chimiques aux différentes phases de l'expérimentation.

Diagnostic
La synthèse des résultats des étapes précédentes aboutit, dans la majorité des cas, à un constat d'état précis et à la compréhension des processus d'altération du métal dans un environnement défini.

Cette appréciation globale peut permettre d'évaluer l'évolution de la pathologie dans le temps. Elle définit le niveau des interventions et leur degré d'urgence.

Préconisation
Toutes ces données obtenues par les observations, les analyses, les essais, apportent les éléments nécessaires à l'optimisation des techniques de restauration. Les opérations de type décapage, découpe, soudage, remise en forme, protection, etc., seront décrites avec précision, en se référant, si cela est possible, à des normes. Le phasage des opérations sera lui aussi précisé (ordre des opérations, délai entre chacune, etc.).

Contrôles
Durant le déroulement des travaux, des contrôles techniques sont parfois nécessaires, afin d'éviter toute mauvaise interprétation du cahier des charges (degré de soin et rugosité des décapages, fini des soudures, collage, application et épaisseur des revêtements organiques...).

Entretien
Comme pour tous les autres matériaux, les métaux ne sont pas indestructibles, pas plus que les systèmes assurant leur protection.

Dans de nombreux cas, une visite périodique, assortie d'un petit entretien, permet d'augmenter de manière non

négligeable la pérennité des restaurations, et donc la conservation des éléments, objets, bâtiments métalliques.

CONCLUSION

Ainsi qu'il a été précisé plus haut, l'objet est ici de donner les grandes lignes d'une étude permettant d'aider le donneur d'ordres à établir un projet technique et architectural. En aucune façon, cette liste n'est exhaustive, bien d'autres nécessités pouvant se révéler au cas par cas. Le Laboratoire de recherche des monuments historiques peut assurer ce soutien technique, seul ou en relation avec d'autres laboratoires publics et privés.

Le Laboratoire de recherche des monuments historiques

est aussi à l'écoute des innovations industrielles et évalue les possibilités de leur application aux problèmes de conservation des métaux dans les monuments historiques.

Une concertation permanente entre les responsables du service, les restaurateurs, les scientifiques, nous permettra à tous d'œuvrer pour la conservation-restauration des métaux, en établissant et en menant des programmes de recherche qui répondent aux nécessités particulières des monuments historiques.

MÉTHODES D'ANALYSES

Ce tableau rappelle les analyses les plus fréquemment pratiquées sur les métaux. Chaque technique a ses limites,

| Méthodes | |
|--|--|
| Observation binoculaire | Sans préparation. Grandissement de 4 à 25 fois. Permet de visualiser certains défauts, de sélectionner les échantillons devant être analysés |
| Spectrométrie de fluorescence | Sans préparation. Analyse élémentaire qualitative. Taille minimum : une écaille de 1/10 mm |
| Coupe stratigraphique | Avec préparation. Inclusion dans résine. Grandissement de 40 à 160 fois. Observation en coupe transversale de revêtements (peinture, dorure, métallisation) et des préparations de surface |
| Microscope électronique à balayage (M.E.B.) | Avec préparation. Grandissement de 50 à 10 000 fois. Observation de coupe stratigraphique. Observation de la surface du métal, des produits de corrosion |
| Spectrométrie en dispersion d'énergie couplé au M.E.B. | Avec préparation. Microanalyse élémentaire qualitative à semi quantitative du métal, des produits de corrosion, des différentes couches du revêtement (volume minimum analysé : 1µm³) |
| Spectrométrie infrarouge à transformée de Fourier | Avec préparation. Identification de composés organiques ou minéraux (revêtements, produits de corrosion...) |
| Diffraction de rayons X | Avec préparation. Analyse de phases cristallines (produits de corrosion) |
| Spectrométrie de masse | Avec préparation. Analyse quantitative du métal |
| Métallographie | Avec préparation. Examen de la microstructure du métal. Identification des phases, des inclusions, du type de corrosion |
| Analyse microbiologique | Avec préparation. Identification des micro-organismes, sélection des traitements |

Annick TEXIER
Ingénieur
Laboratoire de recherche des monuments historiques

BIBLIOGRAPHIE

Notion de base sur la corrosion par Raymond BENSIMON

Lexique à l'usage des utilisateurs par M.C. ORLANDI

Compatibles - incompatibles par Frédéric OFFENSTEIN

Manuel des fontes moulées - Centre d'Information des fontes moulées

Protection des ouvrages métalliques contre la corrosion :

Cahier des clauses techniques générales - fascicule N°56 - Bulletin officiel

Guide d'utilisation du fascicule 56 - Service d'études techniques des routes et autoroutes

Homologation pour la protection des ouvrages métalliques contre la corrosion - Textes officiels du Ministère de l'Équipement.

Les matériaux métalliques ferreux : qualités et propriétés

LES MATÉRIAUX FERREUX

Leurs utilisations dans les bâtiments

Les premières utilisations des matériaux ferreux dans les bâtiments concernaient soit le second œuvre (serrures, etc.), soit les ornements, avec notamment les balustrades. Plus tard, ces matériaux ont été placés dans les parties du "gros œuvre". En ce qui concerne les constructions en maçonnerie, il s'agit surtout de pallier les faiblesses de la pierre. En effet, la pierre travaille essentiellement en compression et résiste mal au cisaillement, encore moins à la traction. C'est pourquoi, les matériaux ferreux sont introduits dans ces constructions, en tant qu'agrafes, tirants ou éléments analogues.

Plus récemment, les matériaux ferreux ont été placés en tant qu'armatures dans les bétons qui, comme la pierre, résistent mal à la traction. Ils sont aussi utilisés dans les éléments porteurs, comme les poutres ou piliers. Dans tous ces cas, les matériaux ferreux sont sous des charges de traction ou de flexion, car c'est là leur principale qualité.

Les différents matériaux ferreux

Les matériaux métalliques à base de fer sont de diverses natures. Ces différents produits se classent selon ce qui pourrait s'appeler leur "domaine d'homogénéité", en fonction de la température. Ces "domaines" dépendent fortement de la composition chimique du matériau.

Ainsi, les fontes sont des produits qui ne sont homogènes qu'à l'état liquide. Dès qu'elles se refroidissent pour se solidifier, il se forme dans les produits solidifiés, non seulement des grains de fer (pouvant dissoudre de façon invisible certains éléments tels que le carbone), mais aussi des grains de carbure de fer et de graphite. Pour les fontes classiques, la teneur en carbone est comprise entre 2 % et 5 % (en masse).

Les aciers sont homogènes à l'état liquide et aussi à l'état solide, tant que la température dépasse environ 1000°C. Leur teneur en carbone est inférieure à 1,5 %. A haute température, un acier (solide) est constitué d'un seul type de grains de fer ayant dissous (de façon invisible) d'autres éléments. Après un refroidissement jusqu'à la température ambiante, cet acier n'est plus homogène. Si ce refroidissement est assez lent, il se forme des carbures de fer, dans les produits les plus courants. Un refroidissement assez rapide donne à l'acier une microstructure plus complexe.

Les matériaux appelés "fers" sont homogènes à toute température. Leur teneur en carbone est inférieure à 0,03 %. Ils sont constitués de grains de fer ayant dissous, de façon invisible, d'autres éléments tels que le carbone. Mais il s'agit souvent de produits très anciens qui contiennent des impuretés, sous formes d'inclusions non métalliques.

Depuis environ un siècle, la composition des matériaux ferreux ne cesse d'évoluer. Mais ces grandes classes de produits restent les mêmes.

Les aciers non alliés, courants sont désignés par le symbole E suivi d'un nombre qui indique sa classe de limite d'élasticité (en N/mm²), par exemple E235. Les aciers non alliés, spéciaux pour traitements thermiques sont désignés par XC suivi d'un nombre qui qualifie la teneur en carbone, par exemple XC32.

Les aciers alliés (au moins un élément d'addition à une teneur dépassant 5 % en masse), sont très nombreux. D'après la norme française (AFNOR), leur désignation comporte trois parties : la teneur en carbone (en centième de pourcent), les lettres qui précisent les éléments d'addition et les concentrations de ceux-ci. Les éléments d'addition sont indiqués par un code, avec par exemple, C: chrome, N: nickel, D: molybdène, T: titane, F: soufre. Si, de plus, un acier allié rentre dans la classe des aciers inoxydables, la lettre Z est placée devant la désignation des aciers alliés. Quelques aciers inoxydables, dont l'usage est le plus courant, sont donnés par le tableau 1.

La désignation préconisée par l'Institut américain du fer et de l'acier (AISI) est parfois utilisée. Elle comporte un nombre de trois chiffres, suivi parfois d'une lettre ou deux. Le tableau 1 donne des exemples de correspondance entre la désignation française et l'américaine.

Les méthodes d'assemblage des métaux

Les matériaux métalliques sont assemblés de trois façons. La première des méthodes consiste à percer des trous dans les parties à assembler et à y fixer un rivet ou un boulon. Cette méthode s'applique pour tous les matériaux métalliques, la seule difficulté étant de choisir et de bien mettre en place le rivet ou le boulon.

La seconde méthode, qui est peu utilisée, consiste à coller les pièces métalliques. Cette méthode ne dépend pas de la nature des matériaux métalliques. Elle dépend for-

tement de la colle utilisée et des conditions d'application. En général, pour les pièces qui doivent avoir une certaine durabilité, les collages ne se font qu'en atelier, pour des structures de haute technologie.

La troisième méthode consiste à souder les matériaux métalliques, c'est-à-dire à fondre (en chauffant) localement les extrémités des éléments à assembler pour qu'au refroidissement le joint fondu réunisse ces deux éléments. Le plus souvent, un métal d'apport est introduit. La difficulté de cette méthode vient du fait que la partie qui est chauffée, puis refroidie (joint soudé) doit avoir les mêmes propriétés que les éléments d'origine (à assembler).

Pour qu'une soudure soit convenable, il faut donc s'assurer que le chauffage (y compris le métal d'apport) n'introduit pas des éléments nocifs dans ces matériaux. Mais surtout, il faut s'assurer que les vitesses de refroidissement sont à peu près aussi faibles que celle des pièces lors de leur fabrication et qu'aucune déformation résiduelle n'est introduite (effet des bridages des pièces, par exemple). Cette condition est pratiquement impossible à remplir pour les pièces en fonte. Pour les aciers alliés (inoxydables, par exemple), les spécialistes peuvent prévoir les conditions de soudage sans risque de fissuration ni affaiblissement des pièces à souder. Les aciers non alliés sont faciles à souder à l'arc ou par des méthodes classiques. Mais les conditions de soudage doivent tenir compte de la nature de l'acier.

Tableau 1 : Aciers inoxydables d'usage courant
(Les nuances principales sont en gras, avec leur correspondance pour la désignation AISI)

| Cr = 12% | Cr = 17 % | |
|---|--|--|
| Z2 C13 (AISI 410) Z6 C13 Z12 CF13 Z30 C13 Z30 CF13 Composition : C = 0,0 % Ni = 0 %, Mo = 0 % | Z8 CD17-1 (AISI 434) Composition : C = 0,07 % Ni = 0 %, Mo = 2 % | Z8 C17 (AISI 430) Z10 CF17 Composition : C = 0,07 % Ni = 0 %, Mo = 0 % |
| Z6 CT12 (AISI 409) Composition : C = 0,02 % et/ou Ti et Nb Ni = 0 %, Mo = 0% | (AISI 444) Composition : C = 0,02 % et/ou Ti et Nb Ni = 0 %, Mo = 2 % | Z8 CT17 (AISI 430Ti) Composition : C = 0,02 % et/ou Ti et Nb Ni = 0 %, Mo = 0 % |
| | Z2 CND17-13 (AISI 316L) Z6 CNDT17-12 Composition : C = 0,02 % et/ou Ti et Nb Ni = 9 %, Mo = 2 % | Z2 CN18-10 (AISI 304L) Z6 CNT18-10 Z6 CNNb18-10 Composition : C = 0,02 % et/ou Ti et Nb Ni = 9 %, Mo = 0 % |
| | Z6 CND17-11 (AISI 316) Composition : C = 0,07 % Ni = 9 %, Mo = 2 % | Z6 CN18-09 (AISI 302) Z12 CN17-7 Z8 CN18-12 Z10 CNF18-9 Composition : C = 0,07 % Ni = 0 %, Mo = 0 % |

LES PROPRIÉTÉS MÉCANIQUES

La déformabilité

Les matériaux ferreux sont au départ moulés. Mais seules les fontes gardent leurs dimensions obtenues par ce moulage. Les autres matériaux sont déformés :

- soit par forgeage, emboutissage, cintrage ou autre méthode sans enlèvement de matière,
- soit usinés : fraisage, tournage, etc.

Après ces traitements, les produits ferreux restent bien déformables, leurs allongements à la rupture dépassent souvent 10 %. Il convient de remarquer que les produits contenant des inclusions d'impuretés dures ou des grains de graphite non sphériques se déforment mal. Les aciers

ou les fers assez propres se déforment mieux. Cette déformabilité a beaucoup d'applications : mise en forme du fer forgé, etc. Elle est l'une des caractéristiques utiles des matériaux métalliques.

La résistance mécanique

Les matériaux métalliques résistent beaucoup mieux à la traction que les autres matériaux traditionnels. Leur résistance à la traction varie de 50 à 2000 N/mm², selon les produits. Il convient de remarquer que cette résistance est souvent due à la présence de carbures (donc à la teneur en carbone) ou à une forte déformation du produit lors de sa mise en forme (écrouissage).

En règle générale, une augmentation de la résistance mécanique d'un produit se fait au détriment de sa déformabilité. Il convient donc de trouver le meilleur compromis entre ces deux caractéristiques, pour un emploi donné. Par exemple, un câble qui reste tendu n'a pas besoin d'être plié : sa déformabilité peut donc être restreinte. Par contre, un acier de béton armé est souvent

contré (coudé), sa déformabilité a donc une grande importance, plus encore que sa résistance.

Les aciers inoxydables se déforment plus ou moins facilement. Le tableau 2 donne des exemples d'aptitude à la conformation de ces aciers.

Tableau 2 : Aciers inoxydables recommandés pour leur aptitude à la conformation à froid
(Une « déformation importante » se fait avec un adoucissement maximal)

| Cr = 12 % | Cr = 17 % | |
|--|--|--|
| Z2 C13 et analogues travaux courants | Z8 CD17-1 travaux courants | Z8 C17 et analogue travaux courants |
| Z6 CT12 déformation importante | AISI 444 déformation importante | Z8 C17 déformation importante |
| | Z2 CND17-13 et analogue déformation importante | Z2 CN18-10 et analogues emboutissage profond |
| | Z6 CND17-11 déformation importante | Z6 CN18-09 et analogues emboutissage profond |

LA DURABILITÉ

La tenue dans les milieux naturels

Les bâtiments et constructions semblables sont soumis aux effets des milieux naturels que sont les atmosphères, les intempéries ou parfois les sols. Ces divers milieux agissent sur tous les matériaux de construction. Leurs actions sont très diversifiées. Pourtant la dégradation des aciers relève toujours du même processus de corrosion qui est le suivant.

En premier lieu, un acier se corrode si le milieu qui l'entoure contient de l'eau, qui peut éventuellement être produite par condensation de l'atmosphère. Mais il peut s'agir aussi d'eau de rivière, de mer, de précipitation atmosphérique ou contenue dans les sols. Cette eau est plus ou moins saline, plus ou moins acide.

Ensuite, il se produit à la surface du matériau métallique, au contact de l'eau, deux réactions simultanées, mais en des endroits différents. L'une de ces réactions (dite parfois "anodique" ou "d'oxydation") est la dissolution métallique. L'autre est une réaction complémentaire (dite parfois "cathodique" ou de "réduction") où intervient très souvent l'oxygène dissous dans l'eau. Cette réaction complémentaire peut parfois faire intervenir l'hydrogène qui est sous forme ionisée dans l'eau. Lorsque ces deux réactions se produisent en des lieux pas trop éloignés l'un de l'autre, une troisième réaction se produit. Il s'agit d'une précipitation (dépôt dit parfois "passivation") d'un corps formé par des ions qui ont été introduits dans l'eau par les deux autres réactions. Cette précipitation donne la rouille sur les aciers.

Les protections contre la corrosion

D'après le mécanisme même de la corrosion, celle-ci est arrêtée si :

- le matériau ferreux n'est pas en contact avec de l'eau,
- l'une des réactions "anodique" ou cathodique" est empêchée volontairement,
- le produit qui est sur le métal est imperméable et empêche le contact entre métal et eau. Un tel produit peut être un revêtement ajouté volontairement, mais il peut aussi être formé spontanément par précipitation d'un dépôt.

Les principaux types de protection contre la corrosion sont donc les suivants :

- **Revêtements** : des peintures ou vernis permettent d'isoler le matériau métallique de son environnement. Mais un défaut, même de faible dimension, de ce revêtement provoque une corrosion.
- **Formation de produits "de passivation"** : un dépôt de type rouille peut être imperméable, même s'il est très mince. En fait la qualité et l'efficacité d'un tel dépôt dépend à la fois de la composition chimique du matériau métallique et de son environnement.
- **Protection cathodique** : si le matériau métallique est dans un volume (continu) "d'eau" (cas des sols ou des bétons), il peut être protégé par application d'une différence de potentiel à partir d'une pièce placée dans le même milieu environnant. Cette protection est encore peu fréquente pour les monuments historiques. Elle n'est applicable que si le matériau métallique est mis dans un milieu aqueux (sol, béton, etc.) dans lequel il est possible de mettre une autre pièce métallique (dite anode ou déversoir).
- **Modification du milieu autour du matériau métallique** : dans des cas exceptionnels, il est possible d'arrêter la corrosion d'un métal en modifiant le milieu qui l'entoure. C'est le cas, par exemple, d'un traitement (de type chimique) d'un enrobage de béton dégradé, autour d'une armature.

Il convient de préciser que les aciers dits inoxydables sont recouverts d'une couche dite "de passivation" qui est imperméable, dès que son épaisseur dépasse environ le centième de micromètre (10-8 m). Mais cette imperméabilité n'est assurée que si l'acier est dans un milieu conve-

nable. En particulier, les aciers inoxydables les moins onéreux, les poussières et certains sels peuvent être dégradés rapidement. La tenue des principaux aciers inoxydables dans quelques milieux naturels sont donnés par le tableau 3.

Tableau 3 : Aciers inoxydables recommandés pour leur tenue à la corrosion dans divers milieux

| Cr = 12 % | Cr = 17 % | |
|---|---|--|
| Z2 C13 et analogues atmosphère rurale eau pure | Z8 CD17-1 atmosphère urbaine eau industrielle | Z8 C17 et analogues atmosphère rurale eau pure |
| Z6 CT12 atmosphère rurale eau pure | AISI 444 atmosphère urbaine eau industrielle | Z8 C17 atmosphère rurale eau pure |
| | Z2 CND17-13 et analogues atmosphère marine eau de mer acidité forte | Z2 CN18-10 et analogues atmosphère urbaine eau industrielle acidité faible |
| | Z6 CND17-11 atmosphère marine eau de mer acidité forte | Z6 CN18-09 et analogues atmosphère urbaine eau industrielle acidité faible |

Il est à remarquer que l'emploi de ces aciers alliés n'est pas recommandé, dans des sols ou des milieux où ils peuvent être recouverts ou enrobés. En effet, ils risquent de se percer sans que ces désordres soient visibles avant la ruine de la construction.

PRINCIPES DE CHOIX DES MATÉRIAUX FERREUX

Le mode d'élaboration des matériaux ferreux a beaucoup changé, et principalement durant ces dernières décennies. Il n'est donc plus possible de remplacer à l'identique les pièces de cette nature. Il faut se baser sur les propriétés d'usage de ces matériaux, que sont les caractéristiques mécaniques ou l'aspect, si les problèmes d'assemblage sont négligeables.

Choix fondé sur les propriétés mécaniques

Les deux propriétés mécaniques les plus utiles pour un matériau ferreux, sont la limite d'élasticité et la déformabilité. La première correspond à la charge limite, rapportée à l'unité d'aire, que peut subir le matériau sans se déformer de façon irréversible. Compte tenu de la gamme des aciers ou des fontes disponibles, il est facile

de trouver un matériau qui a une limite d'élasticité convenable. Toutefois, si la pièce peut par moment subir des chocs, il faut aussi tenir compte de ce type de sollicitation qui n'est pas prise en compte par la seule limite d'élasticité.

La déformabilité est utile lors de la mise en forme des matériaux. Elle est en partie caractérisée par l'allongement maximal (avant rupture) sous un effort de traction. Mais il convient de consulter les fournisseurs sur les performances réelles de leurs produits sous diverses déformations.

Choix fondé sur l'esthétique

Les matériaux ferreux peuvent garder un aspect métallique dans certaines conditions. Il s'agit essentiellement d'aciers inoxydables. Leur aspect d'origine ne se conserve que s'ils ne se corrodent pas. Le plus généralement, les matériaux ferreux sont peints en diverses couleurs. La mise en peinture est très aisée. La durabilité de l'aspect d'origine dépend du milieu ambiant et de la qualité du revêtement.

André RAHARINAIVO
Ingénieur au Laboratoire central des ponts et chaussées

DÉBAT

Le débat a porté sur les principaux points suivants :

1. Les matériaux et leurs caractéristiques :

Introduisant le débat, M. Cabrillac souligne que tous les problèmes de corrosion sont le résultat d'une hétérogénéité dans la structure ou l'environnement, et la combattre marque le début d'une solution.

A une question qui lui est posée de savoir s'il existe un tableau montrant les caractéristiques de dilatabilité thermique des produits dont il a parlé, M. Raharinaivo répond en indiquant les documents détaillés des sidérurgistes. M. Cabrillac signale le "livre de l'acier", paru récemment aux éditions du Moniteur.

Sur la sécabilité des aciers M. Cabrillac indique qu'il n'y a pas d'exemple où elle ne soit possible. Dans les cas de caractéristiques les plus élevées, aciers inoxydables très stabilisés, même après des traitements thermiques extrêmement performants (cubes de centrales nucléaires en particulier), une découpe au laser est encore possible.

A une question de M. Mortamet sur le rôle du laitier, M. Algrin précise qu'il est compris, en fonction isolante, entre la peau intérieure et la peau extérieure de l'édifice. L'ensemble du bardage extérieur, qu'il est davantage possible de démonter entièrement, sera traité par enlèvement de la rouille puis métallisation, après une mise en place des greffes dans les parties lacunaires. Une protection par peinture sera ensuite appliquée.

A propos des peintures, Mme Texier précise que toutes ont une efficacité évidente à condition d'être appliquées sur des surfaces très bien préparées, sinon les meilleurs produits ne résisteront pas. Le LCPC (Laboratoire central des ponts et chaussées) homologue des peintures. Les systèmes de protection sont sélectionnés en fonction de l'environnement (atmosphère marine, urbaine, rurale...) Il est donc important de préciser dans les cahiers des charges la nature de la préparation de surface ainsi que la clause d'homologation du système de protection anticorrosion choisi.

Le LRMH (Laboratoire de recherche des monuments historiques) a un projet de fiches techniques pour aider l'usager dans ce domaine.

A une question de M. Bergeron sur le choix des aciers adéquats pour remplacer de beaux ouvrages en tôle, et éviter de devoir recommencer 50 ou 100 ans après, Mme Texier remarque qu'il ne faut pas attendre de miracles, qu'une tôle de faible épaisseur, travaillée, donc hétérogène, est sujette à la corrosion, que seul un entretien permanent peut éviter.

Répondant à une autre question de M. Bergeron sur les moyens de conserver des éléments décoratifs en tôle par l'équivalent d'un ragréage, Mme Texier pense envisageables, en effet, des consolidations et des protections qui permettraient de les maintenir en place. Mais il faudrait un cas à étudier, et une volonté de mettre au point ce genre de procédé.

A une troisième question de M. Bergeron concernant les traitements des bronzes (les Mayol du jardin du Carrousel sont passés d'une couleur bronze à la couleur plomb) Mme Texier indique qu'il existe maintenant des techniques de protection efficaces et incolores, mises en œuvre, en particulier, par les restaurateurs des bronzes en extérieur, mais que là aussi un entretien est nécessaire.

2. Point doctrinal :

M. Mortamet reconnaît son intérêt pour le point de doctrine soulevé par M. Algrin à propos de la légitimité d'une restauration, faisant disparaître la rouille qui confère à l'église de Crusnes un charme spécifique. Il y a toujours un dilemme entre la démarche à restaurer et le désir de maintenir les choses telles qu'elles nous sont parvenues. Dans les deux cas le rôle du service des monuments historiques est bien de conserver le patrimoine pour l'avenir.

**Problèmes techniques de conservation
et de restauration : présentation de cas**

Des exemples américains : Les premiers gratte-ciel de Chicago¹

INTRODUCTION

En Europe, l'âge des bâtiments patrimoniaux se compte en siècles, voire en millénaires. Aux États-Unis, ce sont souvent les constructions des XIXe et XXe siècles qui possèdent cette valeur patrimoniale. En conséquence, les matériaux comme la fonte, le fer ou l'acier ou encore les techniques de construction telles que la charpente métallique ou le mur-rideau – dont les premiers exemples étaient entièrement en maçonnerie – se retrouvent dans une partie importante du patrimoine architectural américain.

On peut remonter à l'origine de plusieurs de ces systèmes de construction grâce à certains modèles importés d'Europe. C'est pourtant aux États-Unis que ces modèles ont été poussés à l'extrême, notamment à l'occasion du développement du gratte-ciel, le *skyscraper*. Au plan technique, la construction des gratte-ciel eut été pratiquement impossible sans le recours aux charpentes métalliques et au mur-rideau. D'autre part, c'est l'érection de gratte-ciel qui a permis que ces systèmes de construction atteignent véritablement des sommets de perfectionnement.

CONTEXTE HISTORIQUE

La période qui suivit la Guerre de Sécession fut très fructueuse en innovations et en développement dans le domaine de la construction. L'industrie métallurgique dont la guerre avait accéléré la croissance, pouvait fournir de grandes quantités de fer forgé et de fonte pour la construction². L'invention du procédé Bessemer en Angleterre (1856) permit la production d'acier à bon prix. Par ailleurs, on commença à employer la terra-cotta, ces modules en terre cuite alvéolés, pour rendre les constructions métalliques résistantes aux incendies³. L'acier remplaça progressivement le fer bien que l'usage de ce dernier en construction se poursuivît jusqu'aux années 1890.

CHARPENTES MÉTALLIQUES ET MUR-RIDEAU : PRÉCÉDENTS ET PROTOTYPES

Les façades en fonte (Fig.1) précédèrent les éléments préfabriqués du mur-rideau et démontrèrent les avantages de la construction métallique⁴. Dès le milieu du XIXe siècle, les façades en fonte étaient d'usage courant dans les centres urbains américains. Au lieu de piliers en maçonnerie, de fines colonnes en fonte soutenaient une façade entière et dégageaient de grandes baies pour la fenestration. On venait de découvrir l'esthétique de la façade vitrée dont on réalisait les avantages quant à l'apport d'éclairage naturel. On croyait également que les façades en fonte offraient une meilleure résistance au feu. A la fonderie, on produisait toutes les sections de la façade qu'on numérotait et qu'on ajustait ensuite. Cependant, ce n'était que sur le site de construction que les éléments préfabriqués étaient véritablement installés, assemblés et boulonnés solidement⁵. La préfabrication fut d'un grand secours pour l'industrie de la construction aux États-Unis à cette époque de grande expansion géographique et économique qui exigeait qu'on puisse construire vite, très vite.

Cependant, la piètre performance de ces technologies lors des grands incendies urbains de la fin du XIXe siècle fut en partie responsable de leur déclin. Elles firent place à des systèmes composites de charpentes métalliques protégées par des manchons et des murs-rideaux de maçonnerie, systèmes qui ne tardèrent pas à s'imposer comme normes dans l'industrie du bâtiment.

Un jalon important de l'évolution du mur-rideau en maçonnerie fut posé par la *McCullough Shot Tower* construite en 1855 à New York par l'inventeur James Bogardus. Cette tour de 54 m possédait une structure octogonale en fonte. L'extérieur de la tour laissait voir la charpente métallique et son remplissage de brique⁶.

En France, les édifices de cette époque participaient au même développement technologique du mur-rideau en maçonnerie. L'entrepôt des bassins de Saint-Ouen à Paris, (Fig. 2) érigé entre 1864 et 1865 sur les plans des architectes Fontaine et Préfontaine, était décrit ainsi dans

¹ traduit par M. Dinu Bumbaru, Héritage Montréal, Secrétaire d'ICOMOS Canada.

² Fitch, James Marston. *American Building and the Historical Forces that Shaped It*. Boston, Massachusetts : Houghton Mifflin Company, Boston, 1966, p. 168.

³ Freitag, Joseph Kendall, BS, CE. *Architectural Engineering*. New York, New York : John Wiley & Sons, 1906, p. 150.

⁴ Condit, Carl W. *American Building*. Chicago, Illinois : The University of Chicago Press, Chicago, 1982, p. 86.

⁵ Gayle, Margot. "Cast-Iron Architecture in New York," New York, New York : Dover Publications, Inc., 1974, p. viii.

⁶ Wight, P.B., "Recent Fireproofing Building in Chicago," *The British Architect*, May 6, 1892.

un journal Britannique de l'époque : "Tous les murs intérieurs et toutes les façades Est et Ouest sont entièrement en fonte et en brique. Le cadre de fer forme deux séries de colonnes superposées réunies par des arcs en fonte. Les cloisons sont en tuiles creuses".

LA NAISSANCE DU GRATTE-CIEL

L'histoire du gratte-ciel de Chicago débute après 1871 et le grand incendie qui ravagea alors la ville. Malgré ce sinistre, son économie forte permit à Chicago de se reconstruire vite et offrit la chance d'appliquer plusieurs innovations dans les domaines de l'architecture, du génie civil et du bâtiment.

Avec ses onze étages, le *Home Insurance Building* (1884-85) est généralement reconnu comme le premier gratte-ciel. Il fit la démonstration des éléments essentiels du concept accompli du gratte-ciel avec mur-rideau en maçonnerie (Fig.3)⁸. La charpente métallique transférait les charges des colonnes directement aux piliers de fondation en pierre sans avoir recours à des murs porteurs massifs en maçonnerie. Des poutres de rive recevaient les murs de maçonnerie aux quatrième, sixième, neuvième étages et au-dessus du dixième étage. Les murs de maçonnerie du *Home Insurance Building* étaient avant tout conçus comme des éléments de résistance au feu et de protection contre les intempéries plutôt que comme des éléments structuraux⁹. On n'avait même pas contreventé la charpente métallique, estimant que le mur-rideau de maçonnerie donnerait suffisamment de rigidité à l'ensemble du bâtiment.

William Le Baron Jenney, architecte du *Home Insurance Building*, avait reçu son diplôme de l'École centrale des Arts et Manufactures à Paris un an après Gustave Eiffel. Jenney et d'autres architectes de Chicago de l'époque connaissaient les *Entretiens sur l'Architecture* de Viollet-Le-Duc qui furent traduits en anglais en 1877. On y lit notamment qu'un architecte en exercice n'aurait jamais l'idée pleine d'artifice de construire un vaste édifice dont la charpente serait entièrement en fer et serait habillée de pierre pour la préserver. Il est intéressant de constater que les noms de Jenney et de Eiffel sont synonymes de développement de la charpente métallique¹⁰. Jenney forma plusieurs des architectes dont les noms – Louis Sullivan, William Holabird, Martin Roche ou Daniel Burnham – allaient être ceux des premiers constructeurs de gratte-ciel à Chicago¹¹.

⁸ *The Builder*, April 29, 1865.

⁹ New York, Chicago et Minneapolis ont toutes prétendu avoir donné naissance au gratte-ciel. Ce partage demeure entre New York et Chicago. La réponse dépend des caractéristiques que l'on emploie pour définir ce qu'est (ce qu'était à l'époque) un gratte-ciel. Les facteurs de comparaison ont trait au développement du mur-rideau autant qu'aux premières utilisations d'une charpente en fer, au détail du joint entre les poutres rigides et les colonnes, aux hauteurs atteintes, à la présence de l'ascenseur ou à la théorie des cadres rigides.

¹⁰ Upjohn, E.M., "Buffington and the Skyscraper," *The Art Bulletin*, Volume XVII, Number 1, March, 1935.

¹¹ Viollet-le-Duc, Eugene-Emmanuel. *Lectures on Architecture*, Volume II (reprinted. New York, New York : Dover Publications, Inc., N. Y., 1987, Lecture XIII, p. 128.

¹² Peters, Tom F. "The Rise of the Skyscraper from the Ashes of Chicago," *American Heritage of Invention & Technology*, Volume 3, Number 2, Fall 1987, p. 18.

Les concepteurs américains reçurent une bonne leçon d'habillage non-porteur d'une charpente d'acier lors de la venue de la statue de la Liberté (1883-86) dont Eiffel conçut l'ossature. La charpente métallique se répandit de plus en plus alors que la construction en maçonnerie porteuse atteignait les limites de ses possibilités. Le *Monadnock Building de Burnham et Root* (1891) comptait seize étages et était construit en murs de maçonnerie porteuse traditionnelle dont l'épaisseur, au sol, était de 2 m. Cet édifice employait à l'intérieur, une charpente de métal qui assurait la rigidité latérale de l'ensemble. Les cadres rigides pouvaient être réalisés en fonte.

A la même époque, Burnham et Root concevaient une charpente complètement métallique pour le *Rand McNally Building*. Ils ont également conçu, en 1892, une charpente d'acier contreventée par des systèmes diagonaux pour le *Masonic Temple Building* qui comptait vingt étages. A cette époque, le terme de "squelette" (*skeleton construction*) désigne une construction à ossature métallique dont le contreventement est assuré par les parois extérieures ou par les cloisons. Le terme de "cage" (*cage construction*) désigne une construction en acier qui recevait autant les charges latérales que verticales (Fig. 4). Au tournant du siècle, "squelette" et "cage" définissaient ce que l'on entendait par la construction de *Chicago, the Chicago type*¹².

En 1895, les innovations de l'École de Chicago, *the Chicago School*, furent encore améliorées par D. H. Burnham & Company dans le *Reliance Building*. Les travées extérieures étaient conçues comme des cadres rigides en acier et les colonnes d'une hauteur de deux étages montées avec des joints en quinconce accrurent la rigidité de l'ossature. Le revêtement extérieur en terracotta blanche fut réduit au minimum par l'emploi de grandes fenêtres qui en firent un précurseur du mur-rideau moderne tel que nous le connaissons.

Les ravages de la Grande Guerre donnèrent à la machine un rôle fondamental dans la nouvelle architecture en Europe. Ce ne fut pas le cas aux États-Unis. Vers 1920, les États-Unis entrèrent dans une deuxième ère du gratte-ciel centrée, cette fois-ci, sur New York. Les intellectuels européens furent grandement impressionnés par l'exemple du gratte-ciel américain. Les États-Unis, "l'Amérique", incarnaient le Nouveau Monde dont le gratte-ciel était le symbole le plus puissant¹³.

Les ingénieurs commencèrent à comprendre que les mouvements des gratte-ciel pouvaient affecter et endommager les murs-rideaux de maçonnerie. On constata que les charpentes s'affaissaient lorsqu'elles étaient chargées alors que les murs-rideaux subissaient des contractions et des expansions qui répondaient aux variations de température. L'ampleur de ces mouvements était proportionnelle à la hauteur du bâtiment. Lors de la construction de l'*Empire State Building* en 1931, les architectes Shreve, Lamb et Harmon prirent des mesures pour déterminer le taux de compression du bâtiment sous son propre poids.

¹² Freitag, Joseph Kendall, BS, CE. *Architectural Engineering*. New York, New York: John Wiley & Sons, 1906, p. 10, 77, 149.

¹³ Schulze, Franz. *Mies van der Rohe, A Critical Biography*. Chicago, U.S.A., and London, England : The University of Chicago Press, 1985, p. 96.

Les relevés indiquèrent que le quatre vingt cinquième étage se situait quelques 16 cm sous son niveau théorique lorsque le bâtiment fut terminé. De surcroît, la déflexion latérale du sommet de l'édifice atteignait jusqu'à 25 cm par vents forts¹⁴.

La crise de 1929 et la Grande Dépression qui s'ensuivit mit la construction des gratte-ciel en sommeil pendant près d'une génération. Lorsque le gratte-ciel entra dans sa troisième époque, après la Seconde Guerre mondiale, il laissa le mur-rideau en maçonnerie pour adopter celui en verre et acier, beaucoup plus léger. Les États-Unis venaient d'adopter les idées issues du mouvement moderne qui convenaient à ces temps de pragmatisme.

QUELQUES ÉTUDES DE CAS À CHICAGO

Le Rookery Building

Le *Rookery Building* (Fig. 5), un édifice de onze étages érigé en 1888 par Daniel Burnham et John Wellborn Root, est un bâtiment patrimonial qui possède plusieurs des caractéristiques associées à l'histoire des gratte-ciel, dont son système structural. Les murs porteurs extérieurs présentent une combinaison de granit, de brique et de terra-cotta. La charpente métallique est composée de colonnes en fonte et de poutres en fer forgé. La cour intérieure au centre de l'édifice est construite en fonte et en fer avec un mur-rideau en verre et en brique vernissée. Toutes les membrures en métal sont entourées de terra-cotta pour les protéger en cas d'incendie. Comme dans le cas du *Home Insurance Building*, le contreventement du *Rookery* n'est pas assuré par la charpente métallique. Le *Rookery* est aussi connu pour les modifications que Frank Lloyd Wright apporta en 1905, à la cour intérieure servant de puits de lumière.

Pendant les travaux de conservation qui commencèrent en 1989, la façade fut nettoyée et les éléments en terra-cotta et en brique, restaurés. Les rénovations entraînant un accroissement des charges sur les planchers de l'immeuble, on dut mener une évaluation générale de la structure du *Rookery*. On effectua une analyse des matériaux sur plusieurs composantes structurales dont les colonnes en fonte, les poutres et solives en fer, les hourdis de terre cuite, les maçonneries porteuses et les fondations. Faute d'archives techniques, on dut vérifier sur place la nature de ces éléments. On examina les colonnes de fonte pour en relever les profils, les dimensions générales ainsi que l'épaisseur du métal. Ces données servirent à calculer les propriétés structurales des sections. On préleva de petits échantillons sur les poutres de plancher en fer.

Une étude des codes de construction de l'époque et des données historiques sur les propriétés des colonnes en fonte ont révélé que les concepteurs de telles charpentes au XIXe siècle n'étaient pas particulièrement conservateurs. Les tests réels ont fourni une information nouvelle sur laquelle on a pu calculer la capacité des colonnes. Les analyses nous ont indiqué que plusieurs colonnes devaient être renforcées par des manchons en béton. Des

¹⁴ Balcom, H.G., "New York's Tallest Skyscraper," *Civil Engineering*, March 1931, Volume 1, Number 6, p. 471.

tests de charge ont aussi permis de mesurer la capacité réelle des colonnes et des planchers en hourdis de terre cuite.

Le mur-rideau en maçonnerie et l'ossature métallique des parois du puits de lumière furent réalisés d'une pièce. En conséquence, la compression de la charpente ou l'expansion de la maçonnerie peuvent induire dans la maçonnerie des contraintes supérieures aux efforts acceptables.

Des extensomètres furent installés dans le puits de lumière et les joints de mortier au-dessus et en-dessous furent évidés pour mesurer la libération de contrainte. La restauration du *Rookery* fut achevée en 1992.

Le Reliance Building

Le *Reliance Building* est l'un des plus importants jalons de l'histoire de l'architecture moderne. Son intérêt patrimonial repose notamment sur sa charpente rigide en acier et sur l'expression lisible de cette charpente dans son mur-rideau de verre (fenêtres) et de terra-cotta. Le *Reliance Building* est le produit simple et honnête de l'École de Chicago.

Les fondations et le premier étage furent conçus par Daniel Burnham et John Wellborn Root et réalisés en 1890-91. Après la mort de Root, le gratte-ciel de seize étages fut conçu par Charles Atwood et complété en 1895.

Le *Reliance Building* employa les techniques de pointe de cette époque d'évolution du gratte-ciel. Le mur-rideau qui exprime la charpente et libère un maximum de surface pour le vitrage est tout aussi significatif de l'avant-garde. Les éléments en terra-cotta du mur-rideau étaient accrochés à une grille de cornières en fonte elles-mêmes fixées à la charpente.

La contraction de la charpente imposa une forte compression au terra-cotta et causa des dommages. La corrosion des attaches en fer et de l'ossature en acier ont aussi endommagé le mur-rideau en terra-cotta.

Avant d'engager les travaux de restauration de la façade, on la nettoya avec des produits alcalins et acides à faible concentration. On introduisit des reprises de charge horizontales à chaque étage en commençant par le haut du bâtiment et en descendant. Ces joints de reprises étaient temporaires puisque le mur-rideau original ne les prévoyait pas. Pendant le remplacement de la terra-cotta, on remplaça les ancrages rouillés par des nouveaux en acier inoxydable. On nettoya et on protégea à l'époxy les éléments de charpente mis à jour. Les cornières en fonte recevant les éléments en terra-cotta furent aussi nettoyés et traités à la peinture époxy. Par bonheur, ces éléments qui avaient pourtant été exposés aux intempéries pendant un siècle étaient encore en bonne condition.

Environ trois mille éléments en terra-cotta furent remplacés (Fig. 6). Sous peu, on installera sur le parapet une corniche en fonte d'aluminium composée à partir de photographies anciennes¹⁵. La rénovation de la façade a été complétée en novembre 1995.

¹⁵ La corniche d'origine a été enlevée à l'époque de la Seconde guerre mondiale par crainte de détachement. Malheureusement, on n'a pu retrouver de dessin d'architecture, de détail ou de relevé, la décrivant avec précision.

La Tribune Tower

La Tribune Tower fut érigée à l'issue du concours international de 1922 organisé par le *Chicago Tribune* auquel cent soixante dix architectes américains et cent quinze étrangers avaient participé. L'ensemble des projets soumis illustra la diversité des styles de l'époque et témoigna de la fracture qui s'opérait alors entre les architectes américains et européens qui avaient adopté l'esthétique de la boîte de verre. Le résultat du concours fut ce gratte-ciel néo-gothique, conçu par les architectes Raymond Hood et John Mead Howells, de New York, qui combinèrent matériaux et détails traditionnels pour le composer. S'inspirant de la tour du beurre de la cathédrale de Rouen, la Tribune Tower compte trente quatre étages et est revêtue de calcaire provenant de l'Indiana.

La charpente de la Tribune Tower est particulièrement complexe par rapport aux autres gratte-ciel de l'époque. Elle emploie des colonnes contreventées et des poutrelles jusqu'au vingt-cinquième étage. Au sommet, une tourelle octogonale est entourée d'un mur ajouré de deux étages de hauteur et d'arcs-boutants d'une hauteur de 27 m.

La corrosion des ancrages en acier qui maintiennent le revêtement de calcaire sur le massif en brique pose des problèmes importants. Cette corrosion et celle des cornières en fer sur lesquelles reposent les panneaux ou blocs de pierre à chaque étage ont beaucoup endommagé la pierre.

Le travail de réparation débuta en 1986 et dura dix ans. Il fut effectué de nuit pour réduire les nuisances dues au bruit et à la poussière. Les surfaces de la structure en acier furent mises à jour, nettoyées puis traitées à la peinture au zinc. Les ancrages rouillés furent remplacés par

de nouveaux en acier inoxydable. Pendant les travaux, il fallut déposer puis replacer soigneusement des ornements très élaborés et très lourds (Fig. 7). En certains endroits, on a inséré dans les murs des solins en plomb pour protéger la charpente d'acier et prévenir la pénétration de l'eau à l'avenir. La façade a ensuite été nettoyée avec la méthode de gommage de Thomann-Henry développée à Paris – les techniques à l'eau soulevant certaines inquiétudes –.

CONCLUSION

Les gratte-ciel sont d'immenses structures pour l'entretien desquelles il faut associer et investir toute la science et tout l'art de la conservation. Les nouveaux gratte-ciel posent de plus grands défis car la complexité de leur structure et de leur assemblage ne laisse pas toujours les marges nécessaires pour accommoder les réalités de la construction. Les murs-rideaux plus légers, les bâtiments plus hauts, les portées plus grandes, les nouveaux matériaux d'ancrage et de revêtement sont quelques-uns des aspects de ce défi.

Les techniques d'investigation et de réparation décrites plus haut sont déjà mises en application pour des gratte-ciel construits il y a à peine vingt ans et dont certains feront peut-être partie de la prochaine génération de gratte-ciel patrimoniaux. Les gratte-ciel que nous bâtissons aujourd'hui seront sans conteste le défi des conservateurs de demain.

Stephen J. KELLEY
Wiss, Janney, Elstner & Associates inc.
Chicago, États-Unis

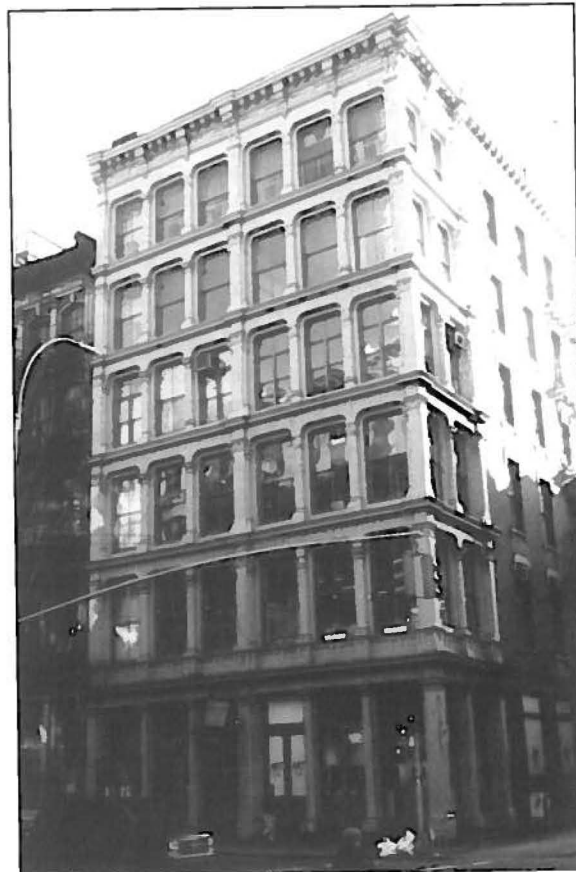


Figure 1 - Bâtiments de la fin du XIXe siècle dans le quartier de Soho à New York : ensemble étendu de façades en fonte. Photo TDR.

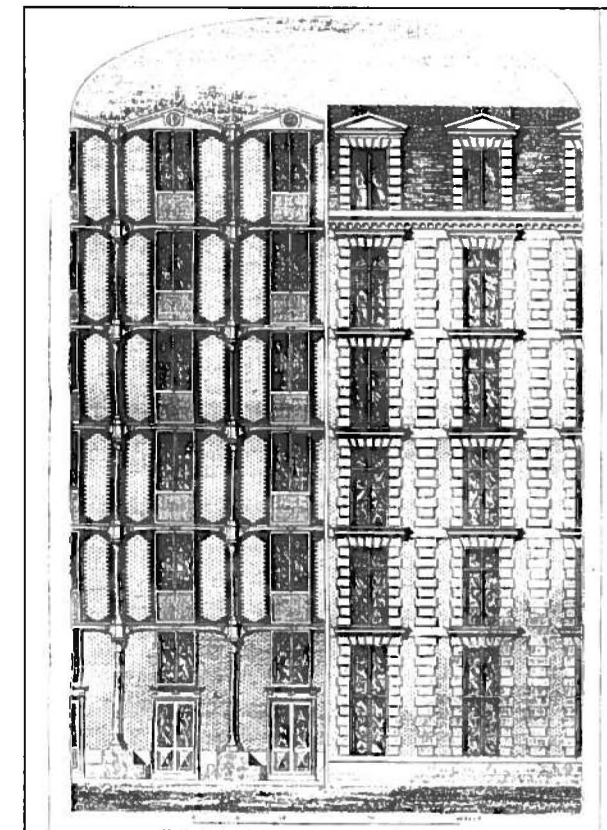


Figure 2 - L'entrepôt des bassins de Saint-Ouen à Paris illustre l'usage précoce d'une charpente métallique avec un mur-rideau en maçonnerie. Photo TDR.

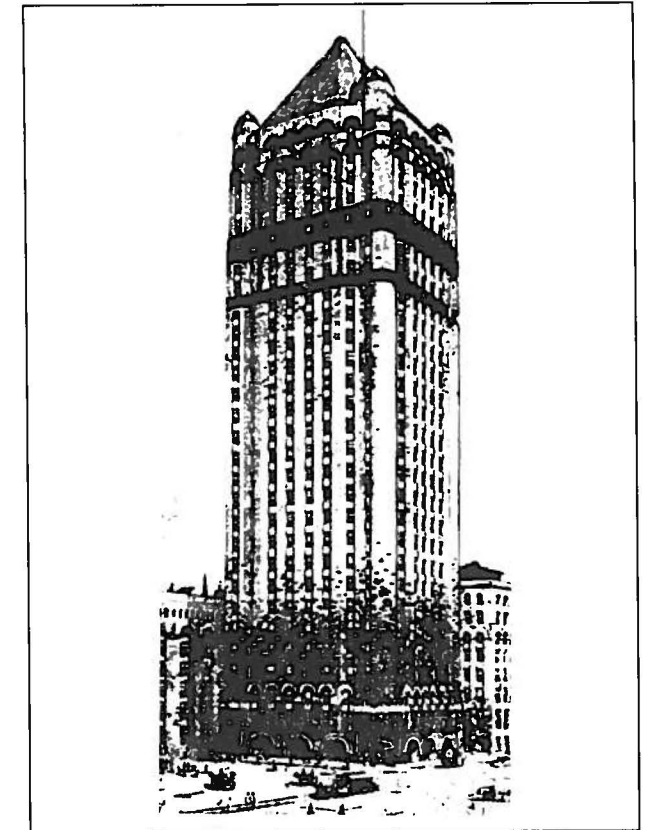


Figure 3 - Les immeubles à la périphérie de New York construits avant le Home Insurance Building n'ont pas employé le mur-rideau. En 1882, Leroy Buffington, un architecte de Minneapolis, avait conçu un "gratte-nuage" (*cloud scraper*) de vingt-huit étages avec un mur-rideau en maçonnerie, les poutres de rive recevant les murs à chaque étage, qui est resté à l'état de projet. Photo TDR.

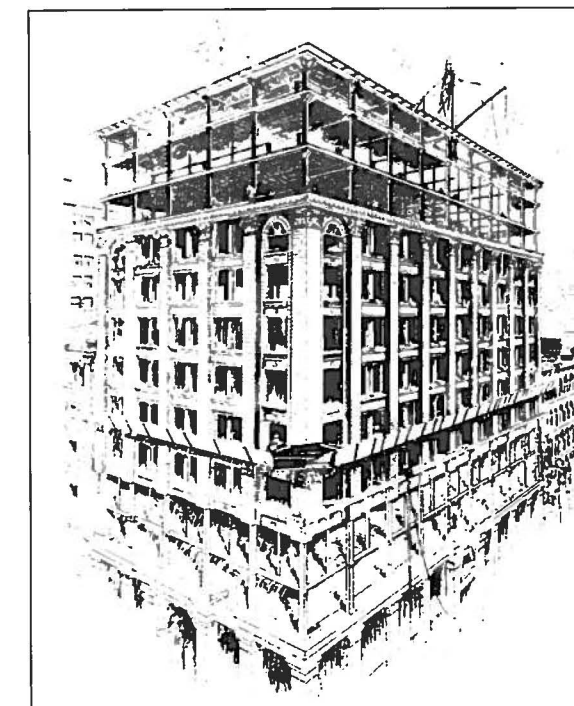


Figure 4 - Le New York Life Building à Chicago (1892) illustre la cage construction qui a été construite en-dehors du mur-rideau en maçonnerie. Photo TDR.



Figure 5 - Chicago. Entrée ouest du *Rookery Building*. Photo TDR.



Figure 6 - Chicago. Le *Reliance Building* pendant la restauration en 1995. Photo TDR.



Figure 7 - Chicago. Le *Chicago Tribune Building* de Michigan Avenue. Photo TDR.

Conservation de la fonte et de l'acier : l'exemple du pont Alexandre III

Le pont Alexandre III fut construit de 1897 à 1900 dans l'axe des Invalides à l'occasion de l'Exposition Universelle de 1900.

CONSTRUCTION

(Ingénieurs : Résal et Alby)

Il est constitué d'une arche unique de 110 m d'ouverture et 6,28 m de flèche, réalisé à l'aide de 15 arcs parallèles à 3 rotules, formant une largeur totale de 40 m.

Chaque arc développe une pression de 950 t sur les culées, pour un poids de 213 t. Son tracé se présente suivant un fuseau cintré d'une hauteur de 1 m à la clé et 1,42 m aux reins, ce qui lui permet de résister à la pression qu'il développe. Chaque arc est constitué de seize voussoirs, réalisés en acier moulé, et recuit, d'une épaisseur moyenne de 5 cm : c'est un matériau qui était réservé jusqu'alors à l'artillerie et à la marine de guerre, et d'un coût élevé.

Expérimenté la première fois au Pont Mirabeau (mêmes auteurs 1893-1896), il présentait deux types d'avantages :
- l'ossature travaillant uniquement à la compression, les voussoirs ont été assemblés par boulons et non pas par rivets ce qui aurait nécessité une plus grande épaisseur de métal. L'économie de surcharge était donc sensible, et se répercutait sur le tracé de l'arc et les pressions aux appuis ;
- l'acier moulé présente une meilleure résistance à l'oxydation.

Au-dessus des arcs, des montants verticaux en acier laminé sont fixés par des boulons, et entretoisés transversalement et longitudinalement. La chaussée et les trottoirs sont supportés par un platelage de tôle fixé sur les entretoises, qui reçoit des pavés de bois recouverts d'asphalte et de ciment.

La structure fut achevée à l'automne 1899.

DÉCOR

(Architectes : Cassien et Cousin)

Les deux arcs de rive, également en acier moulé, et la structure des montants verticaux en acier laminé, reçoivent un décor rapporté en fonte, composé de volutes, pilastres, mascarons, guirlandes, suivant un schéma décoratif qui se rapproche d'un registre architectural connu, mais avec un vocabulaire exclusivement aquatique et marin. Au-dessus, la corniche et la balustrade,

également en fonte, sont rythmés par les groupes sculptés et les candélabres en bronze et laiton, et les cartouches en cuivre repoussé.

L'ensemble fut livré pour le mois d'avril 1900.

DÉSORDRES

On constate aujourd'hui plusieurs désordres et plus particulièrement dans les organes en métal ferreux.

Problèmes dimensionnels

Malgré la très grande précision de l'exécution, on constate que certaines pièces du décor (guirlandes) comportent des erreurs de cote, qui rendent les assemblages difficiles. Les intervalles épais sont remplis à l'aide d'une pâte assez peu résistante (plâtre ou minium).

Désordres mécaniques

Les éléments en fonte présentent des pièces cassées (frise sur des arcs de rive, balustres, mascarons, boutons, etc.) à proximité ou non des assemblages.

Dans la plupart des cas, les pièces cassées sont entières ; dans d'autres, plus rares, des fragments ont disparu.

Désordres chimiques

Oxydation des métaux ferreux, plus spécialement les fontes et les pièces d'acier laminé et à un degré moindre, les aciers moulés.

Ces désordres sont fonction de la nature du métal, de sa sensibilité à l'oxydation, et aussi de la configuration des éléments : les pièces creuses (habillages, coques rapportées) forment des rétentions d'eau qui accélèrent la corrosion intérieure.

La corrosion atteint également les attaches de fixation des décors sur la structure.

Désordres électrolytiques

Les désordres sont importants dans les contacts entre métaux cuivreux et ferreux. Mais ils existent aussi entre les métaux ferreux mêmes.

Traitement

La restauration des décors métalliques ne semble pas pouvoir être envisagée sur place, et nécessite leur dépose complète ; trois raisons le justifient :

- nécessité de traiter les structures porteuses du pont (montants et entretoises en acier laminé) qui sont enfermées dans les ornements de fonte, sans possibilité d'accès, et sont en phase de corrosion active,
- nécessité de restaurer les pièces cassées, de remplacer les pièces disparues, et de remettre en forme les pièces affaissées ou déformées,
- nécessité de mettre en place des nouveaux isolants anti-électrolyse.

Les plans d'exécution et de montage sont connus et permettent en conséquence d'assurer la dépose. Il est possible que la corrosion des écrous et tiges filetées rende le démontage difficile : dans ce cas, on procèdera à une dépose destructive des attaches.

Restauration des éléments en fonte

Pour réassembler les pièces cassées, des solutions de collages avec renforts de goujons en acier inoxydable sont actuellement à l'étude avec le Laboratoire de recherche des monuments historiques.

Pour les pièces disparues, il semble possible d'exécuter des compléments en fonte de même nature, d'opérer des greffes sur les parties anciennes suivant la même technique du collage avec goujons, et de pratiquer un renforcement par plaques à l'arrière. Dans les cas limites où la résistance de l'ensemble sera jugée compromise, il sera procédé à la fonte d'une pièce neuve entière.

Isolants

Lors du remontage des décors, des précautions particulières devront être adoptées avec la mise en place d'isolants électrolytiques.

- Le plomb semble le mieux adapté dans le cas de l'isolation des candélabres sur les dés en fonte.
- Le téflon, plus mince pourra être adopté dans les autres cas. Mais il est de couleur blanche et devra être maquillé.
- Dans le cas de métaux ferreux entre eux, l'isolation par peinture pourra être considérée comme suffisante.

L'action électrolytique est sous-tendue par la présence de l'eau. Les isolants mis en place entre les pièces métalliques devront également assurer l'étanchéité afin que soient supprimées les entrées d'eau dans les parties creuses ; on pourra envisager également des exutoires.

POLYCHROMIE

Documentation

Contrairement à l'importance des informations techniques, abondamment dessinées et décrites dans de nombreux rapports (conservés dans les archives), ou aux décors, qui ont fait l'objet de controverses entre les tenants de la pureté structurelle et les tenants de l'ornementalisme, la polychromie du pont n'a fait l'objet que de très rares descriptions.

- Parties métalliques en acier et fonte

La seule évocation de la couleur apparaît dans l'Histoire Générale des Ponts de Paris (Charles Duplomb, 1911) : "L'ornementation métallique est tirée de la flore et la faune des eaux, elle est revêtue d'une teinte blanc perle, en harmonie avec la blancheur des pierres de taille..."

- La dorure à la feuille de certains éléments décoratifs est, par contre, très précisément connue grâce aux rap-

ports de l'ingénieur ordinaire, en date des 5, 7, et 12 avril 1900 et confirmés par les mémoires de 1901.

- Les parties de décor à base de métaux cuivreux étaient traitées en naturel, très peu patinées, dans les tons miel.

Analyses de Laboratoire

(Laboratoire de recherche des monuments historiques, Annick Texier)

- Partie métallique - acier et fonte

Analyse globale de chaque prélèvement en spectrométrie de fluorescence x et coupe stratigraphique.

"Sur de nombreux prélèvements, nous avons les mêmes couches de préparation :

- couche orange (probablement minium de plomb),
- couche d'un blanc-gris contenant des cristaux transparents (probablement blanc de plomb),
- une à deux couches d'un blanc-gris plus dense (peut-être un blanc de plomb + blanc de zinc...)

Cette coloration est uniformément retrouvée sur les parties métalliques ornementales à l'exclusion des bronzes et cuivres.

Les analyses confirment la description de Ch. Duplomb, 1911".

A la lecture des coupes stratigraphiques, on constate que chaque nouvelle campagne de peintures est séparée de la précédente par une mince couche noire, qui peut correspondre à l'empoussièrement de la surface.

On pourrait distinguer quatre campagnes principales :

- 1900
- 1925 (exposition Arts décoratifs)
- 1936 et suivantes
- 1950

- Dorures

Les prélèvements effectués ont confirmé la localisation des dorures telles qu'elles sont décrites dans les marchés et mémoires des entreprises. Il s'agit de dorure à la feuille.

Traitement de la polychromie

La remise en peinture des métaux nécessitera, pour des questions de compatibilité, le décapage complet et la suppression des couches précédentes.

- Décapage

La technique du grenaillage risque d'altérer la finesse des décors, les décapants chimiques sont proscrits du fait de la micro-porosité des métaux, et de la difficulté de neutralisation des agents décapants.

En conséquence, seront étudiées les techniques suivantes :

- . neige carbonique, efficace sur les supports thermodurcissables
- . micro-abrasion par décapage d'approche, et finition des pièces planes
- . laser pour finition des pièces ornées

- Traitement

La métallisation à chaud n'est possible qu'en cas de métal parfaitement décapé, ce qui semble aléatoire dans le cas d'ornements très refouillés.

Il est envisagé d'employer de la peinture à froid à base de zinc et par-dessus de la peinture glycérophthalique en 2

couches, de la couleur à retenir pour l'ensemble.

La couleur d'origine, blanc perle, semble assez précise pour être proposée pour la restauration.

La dorure sera rapportée après coup, sur teinte dure.

- Cuivre et bronze

La protection des motifs et candélabres sera obtenue par application de cire micro-cristalline neutre, ne risquant pas d'entraîner des altérations secondaires.

La patine devra faire l'objet de prélèvements et d'analyses complémentaires.

ETUDES ET TRAVAUX

Le pont Alexandre III est classé monument historique depuis le 29 avril 1976.

Il a fait l'objet d'une étude préalable de Michel Jantzen, Architecte en chef des Monuments historiques, en décembre 1991, complétée d'une étude technique complémentaire en août 1993, grâce à laquelle le Laboratoire de recherches des monuments historiques (A. Texier) a pu intervenir et effectuer les prélèvements précis et de très nombreuses observations.

L'étude a été approuvée le 5 octobre 1993.

La restauration sera réalisée en quatre tranches. Les deux premières concernent les arcs de rive. Les travaux commencent sur l'arc amont en septembre de cette année.

Benjamin MOUTON

Architecte en chef et inspecteur général
des Monuments historiques

La ferblanterie au Québec

La tôle à la canadienne

Dès les débuts de la colonie, le bois abondant et de bonne qualité, servait d'une façon extensive à la construction des bâtiments, tant pour les couvertures, les murs que l'ossature. Toutefois, devant les nombreuses conflagrations qui affectèrent très tôt le développement de la colonie, on dut recourir à de nouveaux matériaux moins inflammables pour diminuer les risques de propagation du feu.

Les édits successifs, formulés par les intendants de la colonie, forceront alors le recours à d'autres matériaux que le bois et le développement de façons de faire mieux adaptées au climat hivernal.

Ainsi, une première ordonnance de juillet 1721 à l'égard de la construction des maisons à Montréal ordonne :

- qu'il ne sera bâti aucune maison en bois ou colombages ;
- qu'il ne sera point fait de couverture en mansarde ;
- qu'il ne sera fait aucune couverture en bardeaux.

Une autre ordonnance de l'intendant Claude Thomas Dupuy de juin 1727, portant règlement pour la construction des maisons dans les villes de la Colonie, après un rappel des précédentes ordonnances et une mise en situation, précise :

« Nous renouvelons les défenses si souvent réitérées, et défendons expressément de couvrir en bardeaux aucune des maisons qui se construisent actuellement dans les villes et dans les faubourgs des villes, sous peine d'être découvertes aux dépens de ceux à qui elles appartiennent, et de cinquante livres d'amende contre les couvreurs qui les auront couvertes au préjudice de nos défenses, nous réservant de faire découvrir s'il est à propos, toutes celles qui ont été couvertes de bardeaux depuis les défenses précédemment faites,... »

Ces ordonnances répétées pousseront les constructeurs à utiliser davantage l'ardoise et la tuile. Au début, on fait venir l'ardoise de France, puis on découvre une ardoiserie à Grand Étang dans le bas du fleuve Saint-Laurent ; sa pesanteur, sa mauvaise résistance aux rigueurs du climat feront dire à l'ingénieur du Roi Chaussegros de Léry, parlant de l'achat fait par l'intendant Hocquart de l'ardoise nécessaire à la couverture du palais :

«... il en prit tout d'un coup à ce que j'ai pu savoir pour la somme de 20 000 livres qui jointes à l'achat des clous

et façon pour la poser et déchet revint le tout à près de 30 000 livres., il est arrivé Monseigneur que toute cette ardoise est devenue en poussière après il a fait couvrir le palais de feuilles de fer blanc. Mais ne les ayant pas fait recouvrir les unes sur les autres bien attachées avec des clous, il les a fait souder par les côtés, il arrive que la gelée a fait casser toutes ses soudures et on travaille à les resoudre de nouveau avec le réchaud sur la couverture. »

Le métal en feuille, le fer blanc, apparut comme la seule solution aux problèmes d'incendie auxquels faisait régulièrement face la jeune colonie. Ainsi l'ardoise, après des tentatives infructueuses, faute de sources d'approvisionnement accessibles et constantes, s'avérait inadaptée aux hivers rigoureux, aux variations importantes de température jointes aux inévitables accumulations de glace dans les noues et sur les rives du toit, entraînant de l'infiltration d'eau et provoquant la dégradation de la couverture. L'utilisation du métal en feuille comme matériau de recouvrement remonte ainsi au XVIIe siècle bien que son usage ne se popularisera qu'au XVIIIe siècle.

Le fer blanc d'abord employé servira donc à la fabrication de plusieurs types de recouvrement de toiture : la tôle à la canadienne, la tôle à baguette, la tôle pincée ou la tôle à motif embossé. Il sera remplacé graduellement par l'acier galvanisé introduit sur le marché vers le milieu du XIXe siècle. Le cuivre fut également présent vers la fin du XIXe siècle, servant surtout à la fabrication de tôle à baguette et de tôle pincée. De façon générale, l'usage du métal se confinera donc au recouvrement de toiture et aux travaux de solinage et d'évacuation des eaux.

LA TÔLE À LA CANADIENNE

Gaspard Chaussegros de Léry, ingénieur du Roi, mentionnait dans une lettre datée de 1742 au Conseil de la Marine que "Monsieur Cugnet a fait couvrir sa maison de feuilles de fer blanc il me demande comme il falloir faire iceluy dit de faire recouvrir les feuilles il l'a fait et sa couverture est bonne..." en conseillant ainsi Cugnet, Chaussegros de Léry contribuait alors à l'émergence d'une technique de pose unique au Québec dite "à la canadienne".

Cette façon de faire typique représente une des plus vieilles façons développées au pays qui consistait, à la manière des bardeaux de bois, de clouer des laizes de tôle pliée en rangs chevauchés. Cette tôle dite "à la canadien-

ne" se posait à l'oblique, de gauche à droite et de bas en haut. La pose à l'oblique facilitait notamment l'écoulement dynamique de l'eau, « pour que l'eau se perde... » comme disent les couvreurs, augmentant ainsi l'étanchéité du recouvrement, tout en corrigeant les déficiences des tôles qui, au début soudées, résistaient mal aux efforts de dilatation et de contraction.

Plusieurs raisons militaient en faveur de ce genre de couverture : la protection accrue contre le feu; l'étanchéité maximale apportée à la toiture considérant le peu de joints et le fait qu'il n'y avait aucun clou ni aucune agrafe apparente; la résistance aux intempéries et aux variations climatiques; la facilité de pose et la durabilité, une couverture semblable pouvant durer au-delà de 75 ans. On utilisait à l'époque le fer blanc charcoal (importé d'Angleterre et appelé "tinplate"), un acier plaqué d'une couche d'étain des deux côtés ; puis, on aura recours à une tôle de plomb étamé vers la fin du XIXe siècle dite "terne plate". Les dimensions des feuilles variaient de 25 cm à 40 cm sur 35 cm à 55 cm, ce qui avait une incidence directe sur les dimensions du bardeau et du pureau.

Ce type de recouvrement se retrouve à la grandeur de la province de Québec et caractérise le paysage architectural des plus vieux ensembles bâtis. Esthétiquement, la tôle ainsi posée à la canadienne, avec ses nombreuses lignes de plis et ses rangées courant à l'oblique par rangs chevauchés sur chaque versant, accroche la lumière, rehausse l'apparence et donne de l'éclat à la couverture.

LE PATRON DE POSE

En atelier, le couvreur prépare son matériel de 2 façons. Il peut d'abord plier les feuilles de tôle à l'aide d'une plieuse. Chaque feuille est pliée à trois endroits, puis les plis sont poinçonnés pour faciliter le clouage une fois sur le toit.

L'autre façon consiste à ne faire qu'un seul pli à chaque feuille et procéder au pliage au fur et à mesure de la pose sur le chantier. Le couvreur se sert de l'échafaud pour amorcer les premiers rangs du débord du toit; ensuite, il s'installe sur des madriers retenus à la couverture par des lanières de métal. Le premier rang de départ est donc posé parallèlement à la rive du toit en assemblant successivement le nombre de feuilles de tôle pliées nécessaires : chacune s'agrafe l'une à l'autre, puis est clouée à chaque pli et repliée sur elle-même pour cacher les clous et présenter, une fois entièrement dépliée, l'aspect de trois bardeaux de tôle de dimensions égales de plan rectangulaire.

Une fois ce premier rang posé, on amorce les autres rangs à l'oblique en leur donnant un angle pouvant varier de 15 à 45 degrés mais plus fréquemment de 30 degrés, chaque rang chevauchant le précédent d'environ 10 cm. On recommande un angle de toiture supérieur à 12 degrés pour assurer l'étanchéité. L'orientation donnée aux rangées tenait compte de l'orientation des vents dominants pour éviter que l'eau ne s'infiltre dans les joints. Le choix des dimensions des feuilles utilisées, tout comme l'orientation donnée pouvait aussi dépendre du ferblantier ou des coutumes propres à une région.

LES CONSIDÉRATIONS TECHNIQUES

Bien que la tôle galvanisée ait remplacé dès le milieu du XIXe siècle le fer blanc, des essais fructueux ont aussi été réalisés en utilisant le cuivre ou l'acier inoxydable (tôle faite d'un alliage de nickel et de chrome recouverte d'une couche de plomb à 80 % et d'étain à 20 %). Au cours des 15 dernières années, l'acier pré-émailé de couleur était offerte sur le marché ; aujourd'hui, son utilisation n'est plus recommandée : cet acier se comporte mal face aux intempéries et demeure difficile à entretenir; les couleurs ne tiennent pas et la rouille s'installe rapidement à l'endroit de chaque pli, l'émail se fissurant après le pliage.

Suivant les chantiers de restauration, on privilégie aujourd'hui deux façons de poser la tôle à la canadienne en fonction des dimensions de la feuille de tôle et des risques d'accumulation de glace sur la rive du toit. La première, appelée par les gens de métier "petite canadienne", utilise des feuilles de tôle de plus petites dimensions soit d'environ 30 cm sur 60 cm et correspond à une façon de faire plus traditionnelle. Cette feuille, une fois pliée et bien installée donnera donc 3 bardeaux apparents de 16 cm sur 20 cm, le pureau étant de 20 cm et le recouvrement d'environ 10 cm. Chaque pli et repli demande environ 14 mm de tôle.

L'arêtier et le faîte sont également faits de feuilles de tôle chevauchées ainsi que le solin en le remontant suffisamment sous le revêtement. De même, les éléments fonctionnels du toit, lucarnes, souches de cheminées, événements, etc., sont recouverts de feuilles de tôle pliées et chevauchées.

Sous le rang de départ posé à l'horizontal, on a soin d'installer une membrane pour assurer l'étanchéité de la couverture pour résister aux remontées d'eau par capillarité et à l'accumulation de glace l'hiver sur les débords de la toiture.

L'autre façon dite "grande canadienne" emploie des feuilles de tôle de plus grandes dimensions, soit d'environ 46 cm sur 61 cm qui, pliée et bien installée donne deux bardeaux apparents de 26 cm sur 35,5 cm alors que le recouvrement demeure de 10 cm et le pureau présente 35,5 cm d'exposition. Dans ce cas, le premier rang de départ horizontal est fait d'une bande de métal continue posée sur un papier de construction; les rangs obliques subséquents partent plus ou moins à 60 cm de la rive du toit. L'arêtier, le faîte, les solins, les souches et les lucarnes sont aussi faits de bandes de tôle continues.

LA RESTAURATION D'UNE COUVERTURE

Ce type de revêtement nécessite une pente de toit égale ou supérieure à 15 degrés. La tôle de calibre 26 (0,53 mm) demeure suffisamment malléable pour être pliée convenablement sans perdre trop de sa résistance. Pour éviter toute réaction galvanique, on a recours à des clous d'un métal de même nature que celui du revêtement. Il n'y a pas de problèmes dus à la contraction et à la dilatation du métal avec cette technique considérant les écarts importants de température qui surviennent au cours de l'hiver où on peut passer en quelques jours de -30° centigrades à 10° centigrades.

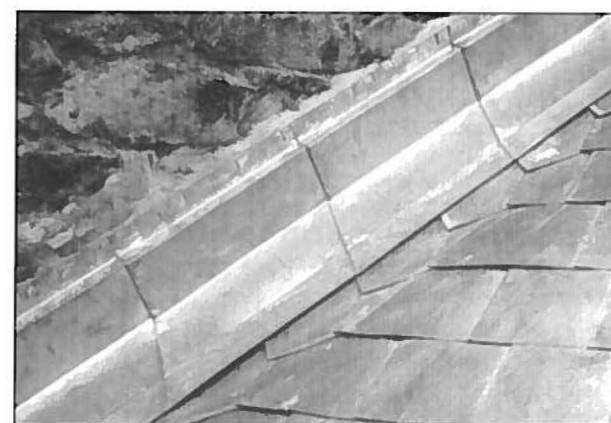
Dans le cadre des travaux de restauration d'une ancienne couverture de tôle à la canadienne, quel que soit le matériau choisi, nous respectons les dimensions des tôles retrouvées et l'angle de pose de la couverture originale. Un examen de la toiture et le prélèvement d'un échantillon de tôle constituent les références de base pour l'exécution de la nouvelle couverture.

À défaut de retrouver ces éléments, l'analyse historique peut permettre de retrouver des mentions du type de revêtement en usage ou des illustrations du bâtiment et de son évolution ce qui nous indiquera la façon la plus adéquate de recouvrir.

Cependant, avant d'envisager de poser une nouvelle couverture, un examen de la toiture existante doit être fait pour vérifier s'il est possible de la récupérer, plutôt que de la changer.



La « grande canadienne » se distingue de la « petite canadienne » par sa large laize de départ en bordure du toit et les laizes successives chevauchées à l'oblique qui débutent à 60 cm de la rive du toit. Photo TDR.



Un brossage et un sablage, pour enlever toute la rouille de surface et mettre le métal à nu, suivi de l'application d'une couche de peinture d'apprêt et de deux couches de peinture de la couleur choisie permettront de sauver une couverture originale.

Beaucoup de couvertures de tôle peuvent ainsi être sauvées et conservées pour plusieurs années (de 20 à 25 ans) dans la mesure où on leur donne un entretien régulier. Cette récupération possède l'avantage de maintenir l'intégrité historique du bâtiment.

François VARIN
Architecte en restauration
Heritage Canada

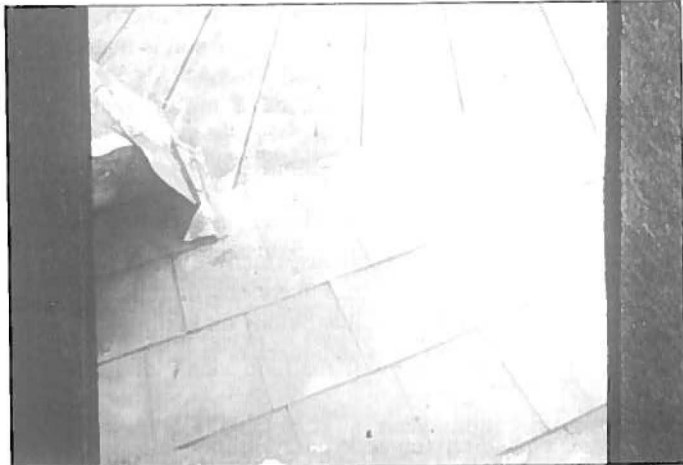
La pose de la « tôle à la canadienne » consiste à clouer, à l'oblique et en rangs chevauchés, des laizes de tôle pliée de gauche à droite en commençant par l'égoût du toit avec un rang de départ installé dans l'axe du bord du toit. La pose à l'oblique facilite l'écoulement dynamique de l'eau. Les bardeaux pliés de cette « petite canadienne » présente des dimensions apparentes de 16 cm sur 20 cm.



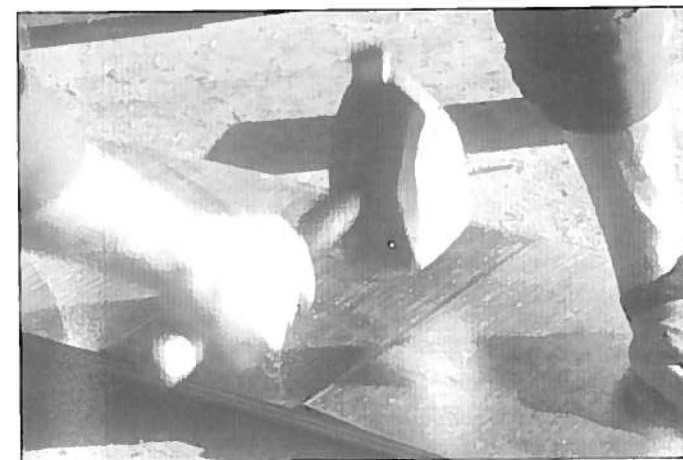
Illustration du détail d'exécution de la « tôle à la canadienne » à la jonction du plan de la toiture et du mur de refend. Photo TDR.



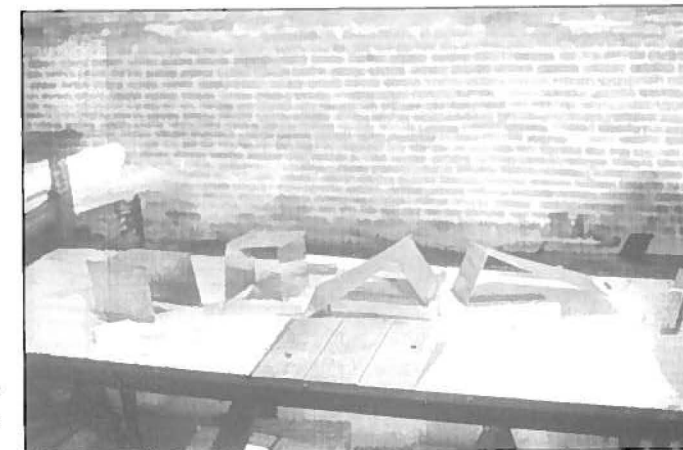
Parfois, selon les éléments morphologiques de la toiture, la tôle à la canadienne peut être installée en chevrons pour donner au recouvrement davantage de symétrie. Photo TDR.



Détail d'un ancien recouvrement de toiture à la canadienne qui illustre le chevauchement d'un rang sur l'autre alors que le recouvrement du tiers du bardeau de tôle laisse un pureau apparent et équivalent environ aux 2/3 de la longueur du bardeau. Photo TDR.



Démonstration du pliage et du rabattement de la feuille de tôle à l'aide du maillet de bois. Photo TDR.



Les feuilles de tôle de la petite canadienne préparées en atelier sont pliées en trois à l'aide d'une plieuse mécanique. Photo TDR.

DÉBAT

Le débat a porté sur les principaux points suivants :

1. La tôle à la canadienne et la ferblanterie au Québec :

M. Taupin se demande s'il y a une raison historique de penser que ces systèmes de couvertures soient en rapport avec des systèmes similaires en Allemagne et Suisse allemande, les couvertures en tôle étant, autant qu'on le sache, d'origine bavaroise.

Il demande aussi à M. Varin si les tôles vraiment étamées ont été complètement abandonnées, et s'il connaît les recherches révélées par une enquête du LRMH, faisant ressortir l'importance d'un composé étain/fer pour la bonne tenue des tôles.

M. Varin répond que la tôle galvanisée utilisée est une feuille de fer ou d'acier recouverte de zinc.

En ce qui concerne la tôle étamée elle a, effectivement, été totalement abandonnée. Le Ministère de la culture avait fait une expérience pour tenter de retrouver le fer blanc, mais les procédés avaient déjà été perdus, on ne parvenait pas à la même qualité de matériaux, et, après dix ans la couverture était totalement rouillée. On est revenu à la tôle galvanisée, à peindre tous les 5 ou 6 ans, et qui peut durer 75 ans. Des couvreurs que M. Varin a rencontrés allaient réparer une couverture d'église, toujours valable après ce temps.

Répondant à une question de M. Fonquernie, M. Varin indique que ces peintures (spéciales pour métal) ne font pas, en général, l'objet de réglementations sur la couleur, qui suivent beaucoup les habitudes régionales. Il arrive qu'il y ait un certain contrôle pour que la couleur soit dans les gammes de l'environnement immédiat, par exemple en respect du code d'arrondissement historique du Québec.

Le prix de la couverture canadienne est d'environ 4.800 FF pour 9,2 m².

2. Les clochers savoyards :

M. Mortamet rapporte son expérience, à partir de recherches sur le fer blanc pour des couvertures de clochers de Haute Savoie et de Franche Comté, menées en particulier par les architectes en chef des MH M. Chauvel, puis MM. Donzet, Boiret et Cotte à partir de 1960. A l'origine ces tôles étaient fabriquées et étamées sur place et la technique s'est complètement perdue en France, le matériau n'existe plus. Des projets ont été soumis à la Commission supérieure des MH, envisageant de traiter les clochers avec du fer armco étamé, mais finalement, à Hauteluce, M. Cotte a utilisé le cuivre. Cependant la tôle de fer blanc qui rouille avec le temps, ne ressemble pas au cuivre. A Bellentre, M. Boiret, cherchant d'autres solutions, a réalisé le clocher en tôle étamée. D'autres recherches ont été poursuivies avec des aciers inoxydables, sur lesquels ont été pratiquées des attaques à la limaille de fer diluée dans de l'acide chlor-

hydrique, pour donner un aspect rouille. Mais cette technique contradictoire semble à M. Mortamet discutable. Les recherches très importantes de M. Taupin, avec des études et prélèvements du CEBTP, ont, elles, permis d'utiliser du fer blanc importé d'Angleterre, pour le clocher d'Argentière. L'an dernier, des contrôles par le CEBTP ont vérifié une évolution comparable à celle du XVIIIe siècle, une perte d'étamage entraînant une rouille progressive. Avec l'abandon du fer blanc par l'Angleterre, la solution vers laquelle on s'oriente serait la fabrication de tôles, étamées spécialement par l'électrochimie d'Ugine pour les monuments historiques, et très proches des tôles d'origine. Cette tôle ne durera peut-être pas au delà de cent ans, mais rouillera petit à petit, avec un très bel aspect.

M. Taupin rappelle la mémoire de M. Rocquet, savoyard d'origine, spécialiste de l'industrie des produits de fer blanc, et qui avait pu remonter à la source anglaise. Il demande si le phénomène de rouille s'entend par une oxydation de la tôle en profondeur, qui chasse l'étain, ou bien par des coulures d'hydroxydes à l'origine de fantastiques panachages de couleurs.

M. Mortamet précise qu'il s'agit en effet d'hydroxydes attaquant en surface le fer étamé. Il regrette le caractère succinct de sa présentation, mais il a un dossier plus complet qu'il espère transmettre à la Compagnie des ACMH.

3. Les serres :

Répondant à une question de M. Fonquernie, M. Fowler confirme que c'est bien du verre que l'on pose sur les serres en restauration toujours en morceaux plats, même sur les serres curvilignes, et qu'il s'agit de verre armé pour les serres de plantes aquatiques.

4. Le pont Alexandre III à Paris :

M. Mouton, en réponse à une question qui lui est posée, précise qu'après la dépose des décors, il y aura une intervention sur les structures, pour l'essentiel en acier laminé, qui ont beaucoup souffert des infiltrations d'eau. L'arc de rive, en acier moulé, est en très bon état. Mais les éléments en acier laminé, servant en quelque sorte à passer de la structure circulaire à la structure horizontale, nécessiteront une intervention, en co-maîtrise d'oeuvre avec la ville de Paris, responsable de ce qui concerne la structure du pont et les questions de sécurité publique en particulier. L'étendue de l'intervention ne pourra être définie qu'à la suite du démontage qui a été commencé.

5. Les gratte ciel de Chicago :

M. Fonquernie demande à M. Kelley comment on traite les éléments pris dans la pierre ou le béton.

La réponse de M. Kelley est que les altérations sont localisées seulement sur les bords et les arêtes. Il cite l'hôtel

Lexington, à Chicago, tout juste démoli pour raisons politiques, et dont on a pu constater le très bon état.

M. Gatier relève que l'architecture de Chicago, ressentie comme essentielle dans les milieux spécialisés aux USA

et ailleurs, est l'enjeu d'un combat quotidien, attaquée qu'elle est par l'idée largement reçue là-bas que la ville est le résultat du développement économique, qui doit en assurer le renouvellement perpétuel. La survie des skyscrapers n'est pas assurée.

Noisiel, moulin Menier Restauration du moulin



Noisiel, Seine-et-Marne. Une structure « Cage » entièrement en fer puddlé. Photo Daniel Lefèvre.

RAPPEL HISTORIQUE

Dès le XII^e siècle, un moulin sur la Marne est attesté sur le site de Noisiel. Décrit sur deux piles à la fin du XVII^e siècle, il est agrandi en 1855. Il s'agit alors d'un bâtiment de trois étages, construit en pan de bois, au volume général pas très différent de celui du moulin actuel, dont les deux piles centrales peuvent dater du XVII^e siècle.

En 1825, Jean-Antoine-Brutus Menier loue le moulin pour y fabriquer des produits pharmaceutiques et du cacao. A partir de 1860, l'usine et la cité ouvrière qui la jouxte se développent sur un vaste plan d'ensemble pour servir un "capitalisme idéal". Les architectes Saulnier, Fauconnier et l'ingénieur Logre sont chargés de la construction des bâtiments.

Non seulement lieu de production, cette usine Menier fut alors lieu de l'invention et du progrès comme en témoigne l'histoire sociale, économique, technologique et architecturale de ce site.

L'inscription à l'Inventaire supplémentaire des monuments historiques intervient en 1986, malgré la forte opposition de la société propriétaire. Elle ne concerne que quatre bâtiments : le moulin de Saulnier, la "cathédrale", vaste bâtiment construit en béton armé en 1906 par Sauvestre et Considère, le pont en béton fretté et le bâtiment des refroidisseurs attribué à Eiffel et Sauvestre. Le moulin est seul classé monument historique en 1992.

En 1993, la production de chocolat est définitivement arrêtée à Noisiel, la Société Nestlé France décide d'y installer son siège social.

LE MOULIN DE SAULNIER : UN BÂTIMENT NOVATEUR

En 1869, Saulnier est chargé de la reconstruction du moulin.

Construire un bâtiment avec une structure entièrement en fer était à cette époque une nouveauté.

Certes dès la fin du XVIII^e siècle, des bâtiments sont couverts avec des éléments en fonte et en fer forgé. Dès 1850, les grands bâtiments provisoires des expositions universelles seront le plus souvent construits selon ce procédé, mais il faut attendre 1855 et l'invention du convertisseur Bessemer pour l'industrialisation.

En 1867, François Léger obtient le brevet d'un système de poutres composées en tôle rivetées qui seront aussitôt choisies par Saulnier pour le moulin de Noisiel.

Le premier grand immeuble à ossature métallique aux Etats-Unis n'est construit par le Baron Jenney qu'en 1884. Cet architecte américain n'aurait-il pas participé à la visite de l'Institute of Mechanical Engineers à Noisiel en 1878 ?

Il ne fait aucun doute que le moulin de Noisiel, largement publié, soit à l'origine du développement de cette architecture. Viollet-le-Duc salua cet édifice dans ses entretiens sur l'architecture : *"Il faut signaler, toutefois, les bâtiments d'usine que Monsieur Saulnier, architecte, vient d'établir en pans de fer et brique émaillée sur la Marne. Cette remarquable construction, que donnera bientôt l'Encyclopédie d'architecture, fait connaître que, si en France nous sommes lents à nous affranchir de la routine, du moins, atteignons-nous bien vite nos émules, lorsque nous nous mettons en chemin."*

Outre l'utilisation généralisée du fer puddlé pour la structure, le programme du moulin de Noisiel conduisit Saulnier à une série d'innovations architecturales. Les trois piles anciennes en maçonnerie sont allongées par des encorbellements, une quatrième est construite. Sur ces piles, Saulnier lance quatre poutres longitudinales tubulaires qui recevront l'ensemble de la charge, le porte-

à-faux au Nord étant repris par des jambes de force biaises. Les murs extérieurs sont constitués d'une ossature apparente, en poutrelles en fer assemblées par rivets, construites par Moisant, s'entrecroisant selon des diagonales, à l'image du projet de maison en pan de fer publié par Viollet-le-Duc dans ses entretiens sur l'architecture. Le remplissage est constitué d'une double épaisseur de briques creuses, une à plat et l'autre de chant, le tout ne dépassant pas 21 cm d'épaisseur.

La brique, apparente à l'extérieur, est le prétexte à une richesse décorative polychrome inhabituelle dans un bâtiment industriel. Les motifs géométriques donnés par le calepin des briques de couleur sont complétés par des médaillons et des éléments de céramiques figurant gousses et fleurs de cacao et monogrammes de Menier. Le décor se poursuit sur le toit : les tuiles mécaniques polychromes qui couvrent la charpente métallique sont surmontées d'une crête de faîtage et de deux grands épis en céramique vernissée enchassés dans des mats en fer.

Les planchers hauts des premier et deuxième étages étaient soutenus par des colonnes intermédiaires en fonte alors que le plancher du dernier étage est suspendu à la charpente par des aiguilles pendantes, ce qui permettait au troisième étage d'être libre de tout support.

Toutes les fenêtres à châssis métalliques sont équipées de double vitrage, l'isolation étant indispensable pour maintenir une température constante dans les ateliers.

Le moulin de Saulnier est un archétype, par la construction métallique et la maçonnerie de brique qui n'est plus porteuse et ne sert que de remplissage et de décoration. Toutes les technologies de pointe sont rassemblées pour soutenir cette idée : emploi du fer enfin en grande longueur et de qualité constante, supports intermédiaires en fonte pour résister à la compression, emploi des doubles vitrages, des terres cuites de couleur variée avec un nouveau procédé de fabrication mis au point par Muller, et innovations technologiques multiples pour décupler la puissance des turbines quel que soit le niveau d'eau.

On peut noter cependant que ces innovations sont utilisées dans le respect des principes architecturaux et décoratifs ; soubassement fort, entablement marqué et couronnement accentué, scansion de la façade par travées, symétrie et axialités des saillies. Les références à l'architecture gothique sont affirmées telles, la structure apparente reprenant le calepin des pans de bois médiévaux, la tourelle d'escalier à vis en demi-œuvre. L'entablement à niches accolées se réfère à l'architecture de la Renaissance.

L'ADAPTATION À L'ÉVOLUTION DES TECHNIQUES

La volumétrie, les façades extérieures, les décors et les principaux éléments des structures subsistent encore aujourd'hui, mais l'intégrité du bâtiment de 1871 n'est pas entièrement conservée : dès 1903, on procède à la suppression d'une grande partie du plancher du premier étage pour recevoir au rez-de-chaussée des broyeuses de grande hauteur et on perce la toiture de grands châssis fixes. En 1920, les nouvelles turbines, qui subsistent aujourd'hui,

sont installées et nécessitent la création de chambres en béton armé saillantes sur la façade aval.

La dernière modification est en cours dans le cadre du projet de réutilisation pour le siège de la société Nestlé France. Le moulin sera le cœur d'un vaste complexe d'activité tertiaire, il sera occupé par la direction et le conseil d'administration du groupe.

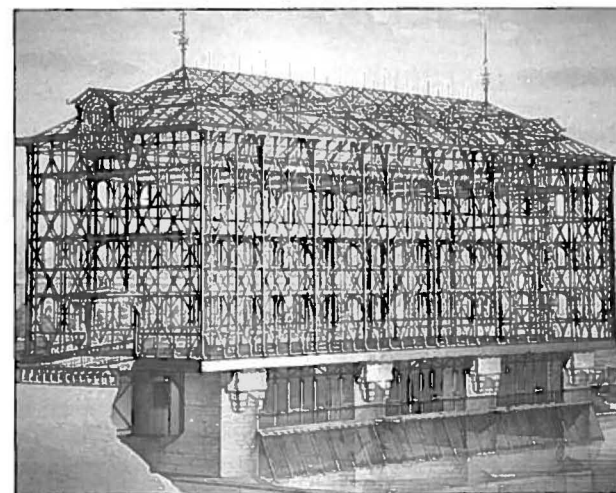
LE PARTI ET LES TECHNIQUES DE RESTAURATION

Les différentes adaptations du plan original à l'évolution des techniques industrielles sont le reflet de l'histoire de ce bâtiment, elles n'ont donc pas été remises en cause. Seuls les grands châssis, créés en toiture au début du siècle, ont été supprimés pour retrouver la composition polychrome voulue par Saulnier.

Bien qu'empâtant sensiblement le bâtiment au niveau de la Marne, les chambres des turbines construites en béton en 1920 ont été conservées, celles-ci renfermant encore les belles turbines mises en place à cette époque.

La réutilisation

Le bâtiment de Saulnier était initialement conçu comme une superposition de "plans libres" avec les circulations verticales rejetées aux extrémités. Pour l'adapter au programme de réutilisation, les architectes ont choisi une inversion du parti original, avec les circulations verticales regroupées au centre du moulin et le cloisonnement des étages.



Noisiel, Seine-et-Marne. Vue générale amont après restauration. Photo Daniel Lefèvre.

La structure métallique

Le fer puddlé se révèle être un très bon matériau. La structure de 1871 est en effet apparue en bon état de conservation avec une action relativement faible de la corrosion.

Les assemblages avaient subi de nombreuses modifications pour recevoir des fixations de machines, de ponts roulants et pour adapter des trémies. Tous les rivets d'origine manquants ont été recréés par un rivetage à chaud, les modifications significatives pour l'histoire du bâtiment ont été marquées par l'utilisation de boulons.

Les rares pièces à remplacer l'ont été par des profils de récupération, les profils anciens en fer puddlé ayant totalement disparu du marché. Il en a été de même pour les tôles striées du plancher en rez-de-Marne qui ont un aspect spécifique qu'il a été impossible de reproduire sur des tôles neuves sans la création d'un outil de fabrication industriel, ce qui aurait été inimaginable pour une si petite quantité. En revanche, le recours à des poutres neuves avec des profils proposés actuellement par les aciéries a été nécessaire pour les passerelles d'accès.

La protection contre la corrosion

Elle a été obtenue par des peintures de type "polyuréthane acrylique aliphatique" proposées par le Laboratoire de recherche des monuments historiques.

L'analyse spectroscopique d'écailles de peintures anciennes a permis de définir une couleur bleue très proche de celle d'origine, plus soutenue que le bleu pâle proposé par Saulnier dans ses dessins aquarellés. Cette couleur met en évidence les lignes fines du pan de fer sur le remplissage de brique.

La tenue au feu d'une telle structure étant très réduite, la surface de la structure apparente à l'intérieur du bâtiment a été traitée avec une peinture intumescente de type "intumex" destinée à isoler le matériau en cas d'incendie.

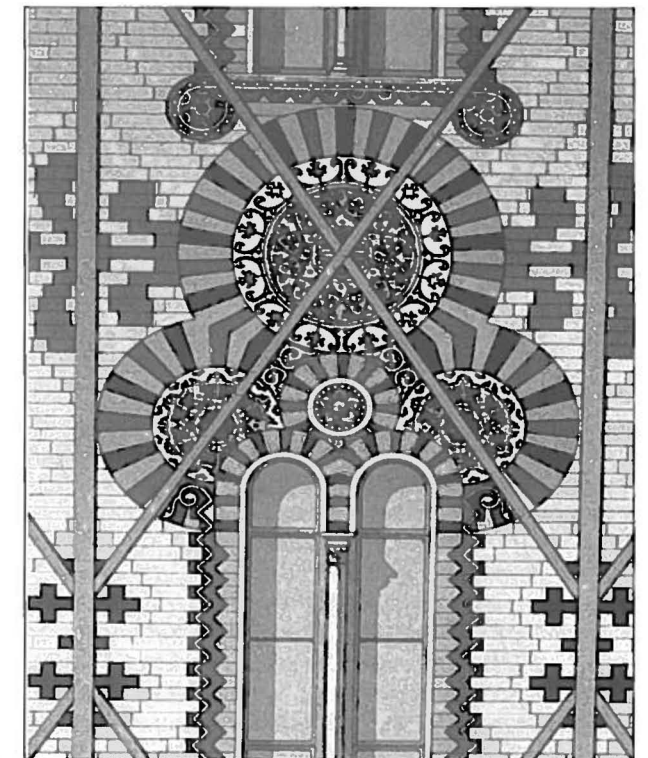
Les céramiques polychromes et les briques

Les céramiques et briques trop altérées ou manquantes ont été reconstituées en briqueterie pour les motifs géométriques répétitifs. Les éléments anciens du faîtage et des épis ont été consolidés au silicate d'éthyle, alors que les pièces à reconstituer ont été réalisées par un potier. La plupart des céramiques émaillées étaient imprégnées d'une couche de sels cristallisés sous la surface. Ces sels minéraux ayant profondément pénétré la terre cuite, un procédé d'électro-lessivage a été mis en œuvre sous le contrôle du Laboratoire de recherche des monuments historiques. Cela a consisté à dissocier les écarts des ions constitutifs des sels par transmission d'un courant électrique grâce à l'humidité permanente de la brique, les sels migrant par les joints étant récupérés sur des linges humides. Cette technique a permis de traiter les surfaces polychromes avec une grande rapidité imposée par les délais très courts du chantier. Aucun apport de produit chimique n'a été nécessaire, la migration des sels se faisant par la vapeur d'eau captive dans le matériau. Les surfaces de parements des autres briques étaient recouvertes d'une couche de crasse grasse chargée de sels et de cacao : un nettoyage au bicarbonate d'ammonium très peu dosé (3‰) a été effectué, l'élimination du surplus de sels étant accélérée par la généralisation du procédé d'électro-lessivage à l'ensemble de la façade.

La consolidation des parements a été obtenue par application de silicate d'éthyle sur l'ensemble de la façade, les contrôles de pénétration du produit et du mortier de la porosité étant régulièrement effectués.

Le calepin polychrome du parement de brique était obtenu par mélange de briques réalisées avec des terres de teintes différentes ; cependant, les diagonales grises qui accompagnent le motif de la structure métallique sont composées de briques engobées en surface. Cette engobe,

mal cuite, s'était altérée et avait quasiment disparu, affadissant ainsi la décoration des façades en inversant les contrastes. Des analyses spectroscopiques des témoins subsistant ont permis de retrouver la couleur initiale, et des tests de vieillissement accéléré de choisir une peinture de type polysiloxane.



Noisiel, Seine-et-Marne. Détail publié dans l'Encyclopédie d'architecture. Etat après restauration. Photo Daniel Lefèvre.

Les effets du nettoyage par électro-lessivage sur la conservation des éléments en fer

Lors de la mise en œuvre du système de nettoyage des briques de parement par électro-lessivage, la structure métallique a servi de cathode. Lorsqu'une partie du bâtiment a été traitée, des sondages ont été pratiqués pour visualiser l'état de la structure. Sur les parties non traitées, l'action de la rouille se caractérisait par un feuilletage du métal, le PH du mortier étant inférieur à 9, ce qui explique l'absence de passivation du métal. Sur les parties traitées, une forte augmentation du PH du mortier par migration d'ions NA, K et CA indique une passivation du métal.

Les châssis métalliques à double vitrage

Ils ont été intégralement restaurés et vitrés avec des verres de récupération provenant du moulin lui-même et des autres bâtiments sur lesquels les fenêtres étaient remplacées. Ce principe a permis de conserver la légère "vibration" de la façade provoquée par l'utilisation de verres qui ne sont pas parfaitement plans.

L'isolation à l'air est améliorée par interposition d'un joint en silicone appliqué au pinceau.

Les carrelages

Utilisés en 1871 et lors de modifications au début du siècle, ils étaient en grès cérame à motifs décoratifs. Ces carrelages, ayant eu à subir le roulement de chariots métalliques et toutes sortes de chocs, ont dû être restaurés.

rés. A l'origine, ces carreaux étaient fabriqués selon la méthode du cloisonnage. La fabrication de moules pour quelques unités propres à chaque type de carreaux aurait nécessité un investissement considérable pour la réalisation de ces moules aujourd'hui disparus ; il a donc été décidé de recourir à l'application de sels solubles pour l'impression du motif coloré sur chaque carreau. Des pochoirs sérigraphiés créés d'après les modèles existants et des recherches de coloration ont permis d'obtenir des carreaux parfaitement identiques en surface aux anciens carreaux.

Les mortiers spéciaux

Le bandeau bas, composé de trois briques à chanfrein superposées, était brisé en de nombreux endroits. Pour remédier à ce désordre provoqué par la différence de dilatation des poutres en fer et de la maçonnerie de brique, le scellement du dernier rang de brique a été réalisé avec un mortier spécial chargé en asphalte afin de lui conférer souplesse et compressibilité.

Les mortiers de chaux utilisés pour reprendre les joints entre les parements de brique et la structure métallique des façades – matériaux à dilatation différentielle – ont été complétés par un adjuvant spécial lui assurant une certaine élasticité.

Les contraintes techniques de la réutilisation

Cette grande "cage métallique" a des variations dimensionnelles très importantes lors des changements de température. L'allongement des grandes poutres longitudinales peut être estimé à plus ou moins 5 cm. Il en résulte des déformations localisées qui perturbent le bon fonctionnement des châssis vitrés.

D'autre part, la structure fonctionne comme un tout. Si, en théorie, les modifications semblent aisées grâce aux éléments modulaires qui la composent, chaque perturbation risque d'entraîner des déformations qu'il est très difficile de contrôler. Il n'est pas exclu que l'ouverture des

trémies pour la modification de l'emplacement des circulations verticales soit une des causes de la difficulté de réglage des châssis.

La faible épaisseur des murs était compensée par l'utilisation du double parement de briques creuses. L'isolation nécessaire pour l'utilisation en bureau nécessitera cependant un doublage intérieur faisant ainsi disparaître la structure métallique des murs actuellement apparente à l'intérieur.

La toiture composée de chevrons métalliques et voûtains en briques enduites est un élément spécifique de cette architecture qu'il convenait de laisser apparent. Son isolation thermique a pu être renforcée par interposition d'un complexe de quatre films réflecteurs entre lesquels s'interposent des couches de mousse à cellules fermées. L'épaisseur de cet isolant a pu être limitée à 1 cm.

Le chauffage radiant sera composé de nappes de tuyaux fins noyés dans l'épaisseur de l'enduit, permettant la circulation du fluide chauffant ou refroidissant.

CONCLUSION

La réalisation des éléments de substitution a fait appel, soit à la récupération, soit à la fabrication artisanale, l'évolution constante des composants industriels ne permettant pas de refaire les éléments tels qu'ils pouvaient être fabriqués au siècle dernier, faute d'un appareil industriel disparu à jamais.

La restauration d'un bâtiment industriel d'un tel intérêt a nécessité la mise en œuvre de techniques spécifiques qui devaient s'adapter au caractère propre de cette structure originale et de son décor.

Daniel LEFÈVRE

Architecte en chef des monuments historiques

Le fer dans la restauration au XIXe siècle

Poser la question de l'emploi du fer dans la restauration au XIXe 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 XIXe 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 XIXe 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 XIXe siècle.

LA PREMIÈRE MOITIÉ DU XIXE 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 XVIIIe siècle et qui en assurent la transmission aux maîtres d'œuvre du XIXe 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 XIXe 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 fretage 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 XIIIe.

Les charpentes métalliques - Chartres 1837

La plus spectaculaire expérience d'emploi du fer, pour un chantier de restauration de la première moitié du XIXe 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 préfabrication 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 XVIIIe (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 poussées, 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 couvrement voûté qui s'équilibre par un jeu de poussées 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 couvrement voûté 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 XIXe 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 XIIe siècle. Les arases ont été surélevées au XIVe siècle d'un mur bahut qui constitue l'appui de la charpente permettant d'échapper les voûtes. La restitution des superstructures XIIe 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 XIXe 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 XIXe 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*, XIIe 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

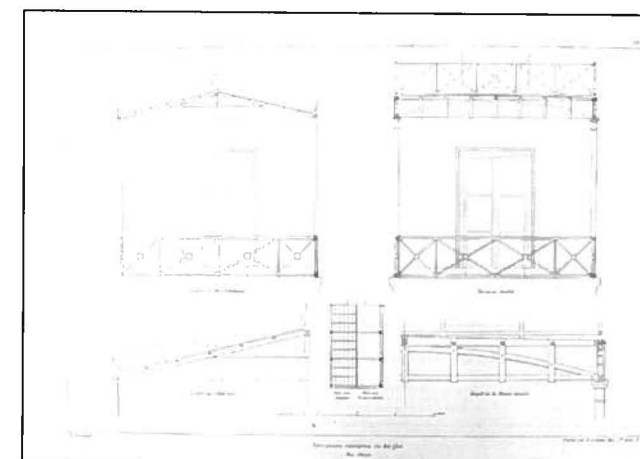


Illustration 1
Comparaison entre demi-ferme en bois et "poutre double" en fer, à profilé en arc segment, travaillant en compression. Émile Lecomte, 1836. Photo TDR

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

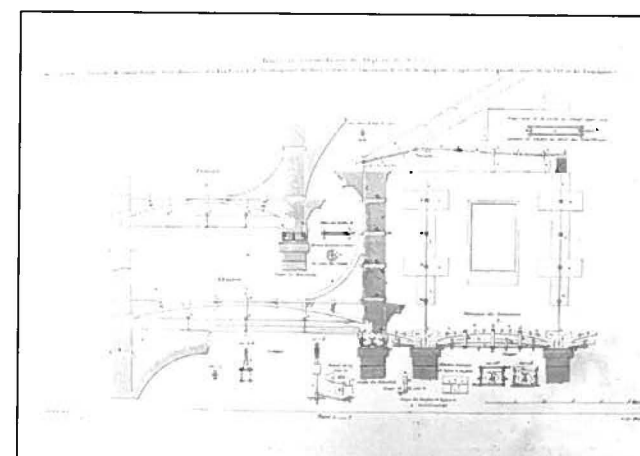
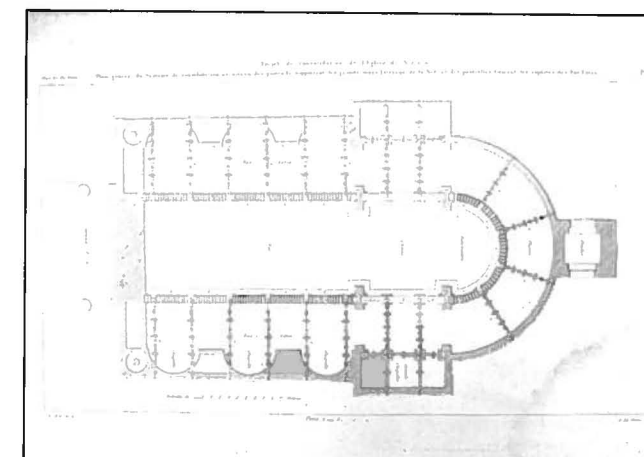
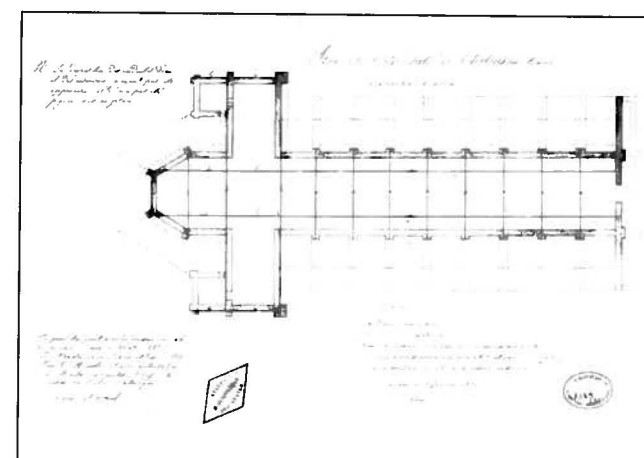


Illustration 3
Chartres. Cathédrale. Projet lauréat du concours par Martin, 1837.
Ferme à arbalétrier en cintre ogival. Ch. Eck., 1841. Photo TDR.

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.



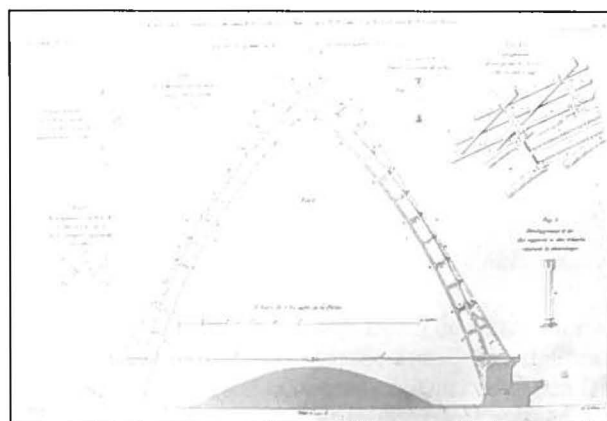


Illustration 5
Châlons sur Marne. Cathédrale. Projet de consolidation par Granrut, 1839. Direction du Patrimoine, Tirants anciens : tirants transversaux. Tirants à poser: frettage du transept.

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

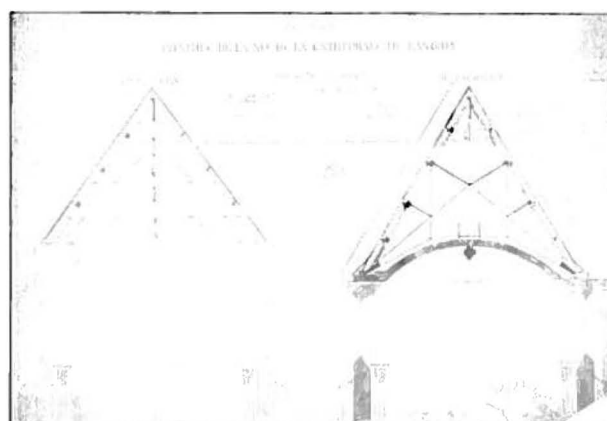
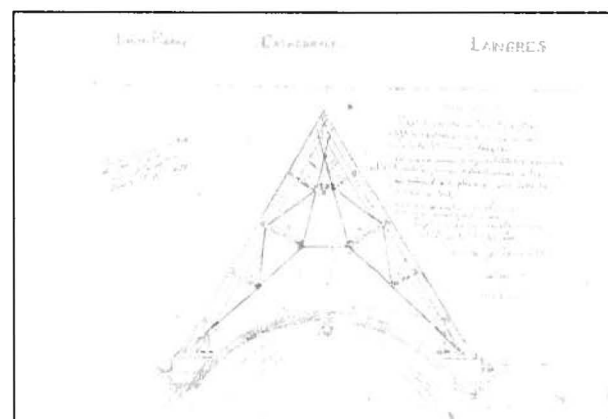


Illustration 7
Langres, Haute-Marne. Cathédrale. Projet de "comble en bois, fer et fonte", par A. Macquet, Architecte diocésain, 17 décembre 1851 ; le plan est annoté "projet proposé sur des observations de Monsieur Viollet-Le-Duc". Photo Bibliothèque du Patrimoine, Hôtel de Croisilles.

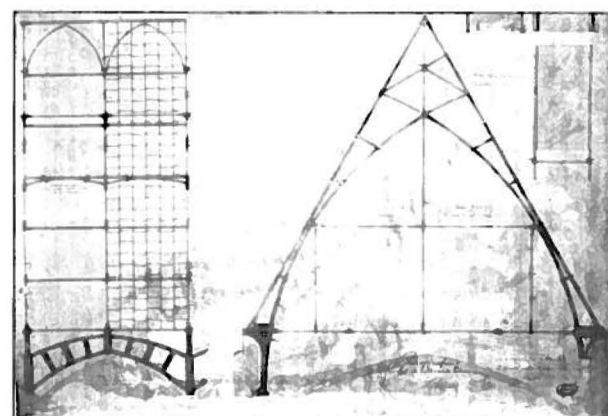


Illustration 8
Basilique Saint Denis. Charpente en fer par Debret (1842-1845). Photo Bibliothèque du Patrimoine, Hôtel de Croisilles.



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.

La conservation d'éléments en fer dans la ville : inventaire, conservation et usages

Les halles et marchés couverts métalliques en France



Paris 3^e. Marché du Temple construit en 1865, représentatif de la « Première génération ». Photo Ph. Laurent.

UNE TYPOLOGIE

Les halles et marchés ont toujours représenté une catégorie d'architecture organisée par grandes séries. Les vieilles halles de bois, malgré les originalités de détail qui font leur charme, étaient affiliées à des grands groupes régionaux unitaires d'architecture utilitaire. Les halles à ossature métallique du XIX^e siècle et du début du XX^e siècle ont pour unité intrinsèque leur généalogie commune qui descend du modèle-type aujourd'hui disparu des Halles Centrales de Paris réalisées par Victor Baltard. Elles appartiennent aux grands types sériels d'équipements publics, mairies, marchés, abattoirs, palais de justice etc., qui ont fleuri en grand nombre au XIX^e siècle. Ces halles de fer, fonte et brique, modernité d'une époque, font aujourd'hui tellement partie du paysage quotidien, qu'on finit par les négliger à force de les voir. Mais n'est-ce pas significatif de toute la production du XIX^e siècle dont l'abondance suffit à entraîner quelque lassitude?

L'apparente uniformité de cette production cache en fait une grande diversité, et la qualité des espaces intérieurs, la variété de leur système ornemental, prouvent que le

modèle technique de base du pavillon de marché de type "Baltard" a été ensuite approprié, décliné dans les régions par les architectes et les ingénieurs pour répondre aux contraintes et aux besoins locaux. Les mises en scène urbaines dont elles ont fait l'objet prouvent que ce produit de l'industrie métallurgique naissante, loin d'être dissimulé, a été élevé au rang de monument public.

UN INVENTAIRE

L'affaire de la démolition des halles de Baltard et la disparition d'un important pan de ce patrimoine au cours des années 1970 ont fixé l'attention sur ces séries d'édifices. Aujourd'hui, la cause de leur conservation a progressé grâce, notamment, à des restaurations exemplaires.

On notera que ces "années noires" pour le patrimoine des halles métalliques correspondent à une existence de cent ans ; ce qui semble un délai critique pour ce mode de construction, réclamant un entretien exigeant et continu. Le vieillissement qui porte d'ailleurs autant sur la structure que sur l'image de ce genre d'architecture, était bien plus sensible à la suite des années bâtisseuses de l'après-guerre.

Conscients de la nécessité de préserver ces éléments spécifiques du patrimoine national, il nous a paru impératif d'en évaluer l'importance quantitative, d'en connaître la répartition géographique et d'en apprécier l'intérêt architectural. Nous avons donc entrepris bénévolement depuis une dizaine d'années un repérage systématique sur l'ensemble du territoire national; inventaire qui a permis d'établir un fichier de plus de trois mille édifices.

L'investigation dépasse le recensement des halles métalliques proprement dites (qui représentent à elles seules sur nos listes un sous-groupe d'environ deux cent vingt édifices) pour concerner l'ensemble des halles et marchés couverts de France. Elle révèle une variété étonnante de formes architecturales, de situations urbaines et de fonctions : Halles aux Grains, Halles aux Draps, Halles au Beurre, Mairies-Halles, etc.

LE SUCCÈS DU MODÈLE DE MARCHÉ MÉTALLIQUE

L'irruption du métal dans la construction au XIXe siècle a offert un véritable renouvellement typologique dans la longue histoire de l'architecture des halles et marchés à un moment tout à fait favorable puisque la France entreprend à cette époque un formidable programme d'équipement des départements et communes constitués depuis peu. L'usage de la fonte associée au verre, a connu une vogue considérable entre les années 1850 et 1910. Les qualités multiples d'un principe constructif industrialisé au caractère moderniste très marqué (économie, rapidité de montage, dégagement de l'espace, lumière, souplesse d'adaptation) ont su vaincre d'importantes réticences, dues à la nouveauté et à des problèmes esthétiques spécifiques.

L'exemple de Baltard, le modèle parisien

La construction des halles centrales de Paris par Baltard est une date importante de l'histoire de l'architecture, notamment du fait de la généralisation du métal à toute l'ossature d'un édifice et son application systématique à un complexe bâti de 7 ha.

Ce type architectural nouveau s'inscrit néanmoins dans la continuité, comme le terme d'un processus logique de perfectionnement du modèle du pavillon de marché. Au début du XIXe siècle, les architectes se sont penchés sur la mise au point de typologies d'équipements publics, proposant des modèles diffusables dans les régions pour servir l'équipement des villes et bourgs. Dans le même temps, la croissance urbaine change la fréquentation et les horaires de tenue des marchés, accélère la mutation du commerce non sédentaire et de ses installations. Les architectes perfectionnent, en particulier, le pavillon de halle urbaine hérité de la halle ancienne en charpente de bois : un toit à quatre pans, avec surélévation centrale en lanterneau servant à l'éclairage et à la ventilation, un espace intérieur protégé des intempéries par une façade de pourtour pour le confort des commerçants qui animent désormais leur stand plusieurs jours par semaine.

Le projet parisien ajoute quantité de dispositifs techniques nouveaux favorisant l'hygiène, la desserte, le confort, et l'ordre du marché, ainsi qu'un sous-sol abritant

des resserres et une gare ferroviaire souterraine (jamais achevée). L'assemblage de différents pavillons (de la marée, de la boucherie, des maraîchers...) en les réunissant par des rues intérieures couvertes fait aussi l'originalité de la grande composition parisienne que l'on retrouve en province (à Dijon, Moulins, Béziers, etc.) où certains exemples ont survécu.



Dijon. Halles centrales, de 1869-1876. Couverture de la nef centrale desservant quatre pavillons. Photo Ph. Laurent.

Le simple pavillon carré ou rectangulaire doté d'un toit à quatre pans est le parti le plus fréquent, mais d'autres, non moins intéressants, associent plusieurs nefs filantes à double pente de toit.

Beaucoup de petits marchés métalliques abritant de véritables marchés forains traditionnels restent de simples abris sans murs périphériques et s'apparentent par leur faible impact au sol aux "places couvertes" anciennes ; le métal et le verre assument avec légèreté la poursuite d'une tradition (Figeac, Chartres).

Mais la diffusion du modèle "Baltard", pendant toute la seconde moitié du XIXe siècle s'explique par l'effort des municipalités pour assurer un contrôle des marchés, lieux économiques essentiels, mais aussi lieux traditionnels d'insécurité, d'immondices etc., tout en offrant aux commerçants sous la halle le confort nouveau d'un bâtiment fermé, ventilé, accompagné progressivement d'une possibilité d'équipement en stand fixe. Le renouvellement des marchés et des quartiers commerçants alentour devait faciliter le travail de la police, la circulation, la réglementation de l'approvisionnement, le contrôle des poids et mesures, comme celui des populations.

Propagation du modèle métallique

L'exemple parisien fait aussitôt figure de modèle et se répand aux grandes villes puis aux bourgs. Pour édifier

leurs marchés, les municipalités prennent en général exemple sur la préfecture qui aura tenté avant elle l'expérience du nouveau procédé. Les halles de maçonnerie qui ont précédé se référaient déjà souvent au modèle dû à l'architecte départemental, de la même façon que les églises de villages suivaient le modèle diocésain. Souvent, dépassant le cadre départemental, l'exemple est pris d'une grande ville plus lointaine : Angoulême s'enquit des halles de Tours pour construire son marché. Quand on sait que le modèle est aujourd'hui détruit, on considère avec plus de prix la réplique. Les halles, diffusées sur catalogues par les sociétés de fonderie, peuvent être livrées aux quatre coins du monde. Les pays étrangers copient certains marchés français ou anglais ou en importent les pièces détachées. L'inventaire permet justement de déceler ces édifices jumeaux qu'il est intéressant de comparer lorsqu'on entreprend leur restauration.

Avantages du modèle métallique

L'usage du métal dans la construction n'est pas totalement nouveau, et avant de réaliser le premier marché tout métal on a déjà pu apprécier ses qualités techniques et architecturales. Des pièces métalliques commencent à s'imposer discrètement en se mêlant au bois, en position de renfort ou de traction, dans les charpentes mixtes, moisées notamment.

Depuis l'expérience du Marché de la Madeleine à Paris (Gabriel Veugny 1824-1838), du Marché de Hungerford en Angleterre (Charles Fowler, 1835) et les prouesses des halles de gare, il devient logique de confier toute l'ossature au nouveau matériau. L'association fructueuse du verre et de la fonte crée des conditions d'éclairage qu'aucune architecture n'avait jusqu'alors permise. L'échange commercial retrouve ainsi les conditions de la place publique de plein air.

Compétition avec les techniques traditionnelles, attachement au bois

Cependant, même en pleine période de diffusion de la construction métallique, on continue ici ou là à donner la préférence au bois et à la maçonnerie traditionnelle, soit qu'il y ait réticence des municipalités à l'égard de la nouveauté, soit que l'on considère le problème du coût, notamment celui du transport. Il serait utile d'étudier comment l'extension du réseau ferroviaire a pu accompagner la diffusion des pièces de fonte. Localement, la présence d'artisans plus habitués à manipuler le bois a emporté la décision (à Damville, à Villefranche-de-Rouergue). Même de grandes villes comme Dijon sont revenues à la solution bois : à côté des grandes halles, qui sont un des derniers purs modèles de la première génération Baltard encore en place, la poissonnerie, construite en bois, pastiche bizarrement le métal, dans un souci d'harmonisation.

Le modèle rectangulaire et les autres types de plans

Le pavillon ou l'ensemble pavillons et rues couvertes, de plan rectangulaire, était reproductible en toute simplicité par les villes. Mais il a fallu le plus souvent adapter le modèle parisien à des programmes moins volumineux et à des configurations urbaines diverses. Le jeu de construction a su s'adapter. Des modifications du plan, comme les pans coupés, compliquant le simple rectangle

du pavillon de Baltard, facilitent la circulation, ou permettent de mieux tirer parti d'une place ancienne. D'autres formes de marchés sont alors envisagées, de types triangulaire, trapézoïdal, ou de forme plus complexe. Parmi les édifices qui illustrent ces formes, il faut compter les marchés d'Albi, de Sens, magnifiquement restaurés, et celui d'Auxerre aujourd'hui malheureusement disparu.

Un grand nombre de halles très originales de plan centré, circulaire, polygonal ou ovale, ont été construites au XIXe siècle. Parmi celles-ci, nous avons recensé une quinzaine d'exemplaires adaptant le système du pan-de-fer, ce qui prouve la souplesse du procédé et la virtuosité qu'ont atteint les techniciens. Peut-être plus vite démodées à cause de leur forme, beaucoup de ces halles ont disparu.

La querelle esthétique

"Ce sont de vastes parapluies qu'il me faut, rien de plus" avait demandé Napoléon III pour Paris. Aussi les problèmes de décor des premiers marchés métalliques sont traités au plus simple, faisant usage malgré tout de colonnes cannelées, à chapiteau feuillagé, écoinçons ornés de rosaces, cabochons de fonte vissés sur les charpentes soulignant les boulonnages, tôles découpées. Les appareils de briques polychromes à motif "Jacquart" resteront le complément indissociable des structures métalliques ; ils montrent la nature rationaliste de cette architecture. Le passage à une technologie résolument moderne n'a pas été sans poser des problèmes esthétiques : question des proportions, minceur des supports, conduisant à une dématérialisation de l'architecture. Mais, dans ce type d'équipement "trivial", les a priori esthétiques étaient moins ancrés qu'ailleurs : les halles de gare représentaient un type totalement vierge à inventer et dans le domaine des marchés, la simplicité et une certaine rusticité étaient de rigueur.

Finalement cette œuvre d'ingénieur, produit industriel, a su accueillir un décor architectural réclamé par les architectes, par les municipalités, pour une clientèle qui, assez vite, avec l'évolution du goût, ne se contentait plus d'un produit standard. Une enveloppe de maçonnerie vient habiller vers la fin du XIXe siècle d'authentiques ossatures métalliques, maçonneries de pierre de taille et de brique portant la marque du langage architectural éclectique : pilastres, frontons, sculpture monumentale allégorique, matériaux polychromes, vernissés, etc. Le contact de ces deux types de construction, mêlant, dans un langage rationaliste, la fonte, le verre, la brique, la pierre de taille, la céramique, la terre cuite, pose aujourd'hui des problèmes délicats de stabilité et de restauration. Vers 1900, on se soucie pourtant, au fronton des halles de Belfort, de traiter ce décor dans le seul langage métallique, un décor opulent proche de celui des expositions universelles.

Le déclin des halles métalliques

Divers facteurs ont hâté le déclin des halles de ce type tout nouveau. Rendus vite obsolètes du fait des modifications urbaines rapides et d'une nouvelle organisation de la distribution commerciale, beaucoup d'édifices construits dans la perspective d'un circuit de gros important n'assu-



Belfort. Marché des Vosges, construit en 1909 par les ateliers Schwarz-Hautmont, et annonçant le style art-déco. Photo Ph. Laurent.

reront bientôt plus que des fonctions de distribution alimentaire de détail pour les quartiers centraux. Les halles aux grains notamment, construites en quantité pour subvenir aux besoins des populations urbaines consommant plus de pain, tomberont complètement en désuétude à la fin du siècle du fait des évolutions socio-économiques (abandon de la fabrication individuelle et développement des boulangeries), obligeant à reconvertir les édifices qu'elles avaient précédemment générés. Les halles métalliques ne sont pas seules en cause et toute une production architecturale de halles plus traditionnelles du début du XIXe siècle est également frappée.

Les marchés parisiens de gros et de détail généreusement distribués dans tous les quartiers à partir du Second Empire (vingt-neuf ont été bâtis dans les années 1850-1890) connaissent une désaffection progressive, très concurrencés par les marchés de plein air, Paris ayant toujours gardé une préférence pour le "carreau" où la vente se fait en plein air. Aussi, peu de temps après leur construction, ces halles métalliques dont les fonctions originelles avaient périclité ont connu des changements d'usage. A Paris elles sont devenues gymnase, bains-douches, dépôt de voirie (Marché Japy, Halle Saint-Pierre...) ; ce qui a assuré leur conservation moyennant certains cloisonnements disgracieux.

Ceci n'empêche pas les villes de province de poursuivre jusque dans les années dix leur équipement en halles métalliques, closes de parois au pourtour ou ouvertes latéralement. L'ossature métallique associée aux verrières offre des qualités tellement supérieures que tout un patrimoine de halles anciennes sombres et vétustes se trouve alors sacrifié.

LES HALLES AUJOURD'HUI

Un patrimoine qui demande un entretien

Ce type d'architecture demande un entretien régulier et rigoureux. Le cycle habituel d'intervention en travaux de restauration sur ces structures, constaté dans de nombreuses villes, est d'environ tous les trente ans.

Aussi a-t-il beaucoup souffert de la période d'abandon due à la guerre de 1914-1918. Beaucoup de décors en sculpture métallique, ornements de faîtage, clochetons, horloges, marquises extérieures, toute cette surcharge décorative envisagée dans l'euphorie créative de la fin du siècle dernier, a été vite éliminée de ces édifices à présent passés de mode. La sédentarisation du commerçant a continué ; il devient un véritable commerçant permanent dont l'activité requiert des installations aux normes d'hygiène, un équipement encombrant (chambres froides). Architecturalement, la halle perd sa transparence et commercialement la formule du marché se banalise, perd sa spécificité, finissant par ressembler à celle du "super-marché".

Les halles en pan-de-fer présentent des problèmes spécifiques d'entretien et de restauration. L'astucieux chéneau vidant les eaux pluviales à l'intérieur du fût des colonnes, par exemple, pose beaucoup de problèmes d'étanchéité comme de conservation même de ces fontes. On constate souvent aujourd'hui un besoin de remplacement des éléments de structure : des fontes éclatées ou fendues, des fers rouillés et feuilletés, la reprise des parements de brique, la réfection des verrières, la nécessaire reconstitution des ornements, frises de zinc, céramique, faïence...

Pour nombre de halles anciennes, l'abandon de la fonction marchande et quelques transformations malheureuses leur ont souvent fait perdre leur signification. Le cloisonnement de l'espace lui porte évidemment atteinte : sous la halle, la perspective dégagée de l'ensemble est de rigueur. Un bâtiment délaissé et enlaidi n'est plus respecté et court le risque de la démolition. L'affaire des Halles reste dans les mémoires, d'autant qu'à l'instar de la capitale, pendant les années soixante-dix, une épidémie de rénovation s'est emparée des villes de province suivant un scénario classique : la création d'un marché de gros à la périphérie autorise à faire main basse sur un édifice vieilli, laissé sans entretien, grand consommateur d'espace, pour une durée de fréquentation à éclipse, d'un espace convoité pour les réaménagements du centre ville. Les rébarbatifs parkings-silos, en particulier, ont fleuri partout sur les décombres des halles en fonte (Paris, Lyon, Avignon, Nîmes, Montpellier, Toulouse, Agen, Bayonne, etc.)

Malgré les efforts de restauration, il se détruisait il y a peu encore une halle par semaine. Aujourd'hui, vingt-cinq halles métalliques seulement ont reçu le label "Monument historique", gage d'une protection nationale les garantissant contre des transformations trop excentriques. Ces protections incluent des verrières et charpentes métalliques rapportées sur des halles plus anciennes comme la Bourse de commerce de Paris ou la Halle au blé d'Alençon et pour le XXe siècle, la Maison du peuple de Clichy de 1937.

Les restaurations

A la fin des années soixante-dix, peu d'exemplaires de ce type d'architecture avaient encore intéressé les services chargés de la protection des monuments historiques.

Les premiers projets de restauration, avec maintien de l'activité marchande ou réutilisation à un autre usage, ont été souvent menés avec une certaine liberté vis-à-vis de l'authenticité de l'édifice, parce qu'au fond on œuvrait pour la bonne cause. A Lille, aux halles Solférino, on a joué l'imbrication de deux structures. Un édifice de qualité plus banale, à Sèvres, a repris un certain lustre grâce à sa transformation en centre culturel et c'est en sous-sol qu'a été reportée une partie importante du programme. La finesse ponctuelle des points porteurs de fonte favorise au cours du chantier les reprises en sous-œuvre de la structure, permettant l'exploitation de volumes en sous-sols (Troyes). Le village de Lansargue a fait de son marché son Hôtel de Ville. Il vaut certes mieux affecter une halle que la détruire. Mais à vouloir s'éloigner de la fonction marché originelle on finit toujours par altérer la signification de l'édifice : une architecture de la transparence.



Troyes. Le marché couvert, de 1874 restauré en 1987. Photo Ph. Laurent.

La polychromie de fantaisie du marché Saint-Quentin à Paris a laissé la place à des mises en teinte plus tranquilles à Dijon, à Sens, aux Sables d'Olonne.

La Grande Halle de la Villette fait figure de modèle par sa restauration de qualité et par la réussite de sa conversion. Si certaines activités la cloisonnent temporairement, le libre usage de son grand volume n'a pas été trahi.

En tous cas, ces exemples de remise en état sont spectaculaires. Ils font oublier les structures vieillies, rouillées, couvertes d'affiches, qu'on a longtemps connues, arcades bouchées, volume intérieur et transparence naturelle obturés. Le petit marché qui flanquait la façade sud de l'abbatiale romane de Saint-Gilles-du-Gard a su, malgré cette cohabitation patrimoniale concurrentielle, se faire admettre grâce à une coquette restauration.

Aujourd'hui, une majorité de ces halles anciennes âgées d'un siècle, quand elles ont été conservées, demeurent affectées à la fonction de marché. Nombreuses sont les villes qui entreprennent ou souhai-

tent entreprendre des opérations pour redynamiser leur marché couvert et cherchent à se documenter sur des restaurations réussies, esthétiquement et commercialement, d'édifices similaires, situés dans des configurations urbaines de nature équivalente. L'intérêt de l'inventaire réalisé est d'avoir recensé les réalisations récentes significatives (les bons exemples de restauration et les mauvais, ces derniers pouvant avoir également leurs aspects instructifs) ; il a également relevé les différentes techniques mises en œuvre pour leur réaménagement, leur "mise aux normes" et la mise en valeur de leur architecture. Il permet ainsi les comparaisons et confrontations d'expériences.

Les reconversions

On s'accorde aujourd'hui sur la nécessité de préserver ce type d'édifices. La rusticité et la disponibilité remarquable qu'offre la simplicité de leur plan, leur ouverture sur l'espace de la place publique, leur situation urbaine privilégiée, généralement en plein centre ville, et leur caractère public et monumental évident, justifient aujourd'hui leur conservation et leur restauration, même pour un autre usage public s'ils ont perdu leur fonction marchande. Bien plus, un attachement populaire croissant à leur égard l'impose.

Ce type d'édifice, grand volume de structure légère, qu'il soit en bois ou en métal, est le plus transformable et réaffectable qui soit. La légèreté du parapluie de ces halles, qui fait leur élégance, leur confère une qualité essentielle d'espace banalisé, une indiscutable polyvalence, une immense facilité d'adaptation à de nombreuses fonctions contemporaines (salles de sports, d'expositions, de spectacles...)

Bien sûr, le principe constructif de ces halles fait aussi qu'un démontage du "mécano" pour déplacer en pièces détachées et rétablir ailleurs certaines de ces structures (pavillon Baltard de Nogent, halle de Monte-Carlo, halle aux moutons de la Villette) demeure toujours faisable ; mais l'opération est délicate à réaliser sans dommages et il y a toujours quelque scrupule à fausser l'histoire en disposant du patrimoine architectural comme d'un meuble.

Les décideurs sont devenus plus sensibles aujourd'hui à la simple atmosphère chaleureuse d'un marché coloré et bruisant sous la voûte d'un grand hall. Comme l'espace des halles de gares, les halles de marchés métalliques sont des espaces et des lieux magiques. Dans ces espaces intérieurs, rendus fluides par les fines colonnes et les verrières, l'architecture semble se dématérialiser et laisser place à la scène animée de la place publique marchande. Les verrières diaphanes du XIXe siècle ont institué des espaces dynamiques, elles se trouvent associées à tous ces lieux du transitoire, à la partance des trains, à la déambulation des passages couverts, aux échanges animés du marché, au monde moderne qui est le nôtre.

Gilles-Henri BAILLY et Philippe LAURENT
Urbanistes-architectes

Les auteurs feront paraître en 1998 un ouvrage de synthèse sur les halles et marchés couverts (éditions Privat).

Action des Services départementaux de l'architecture

Le strict entretien des monuments historiques classés relève des Architectes des bâtiments de France et des Services départementaux de l'architecture. Grâce à cette structure, la tonnelle des XVIII^e et XIX^e siècles, située dans le jardin de l'Hôtel-Dieu de Beaune, près le bâtiment Saint-Côme, lourdement corrodée comme la grille toute proche, avec des manques importants, a pu être restaurée avec elle sur six années de strict entretien, en reconstituant des barreaux avec le fer d'origine avec aboutage à la forge, par restitution d'éléments (pointes, etc.) et par des compléments en fer moderne, le tout avec dépose et repose de l'ensemble. Une opération d'entretien de la charpente métallique du dôme du Val-de-Grâce est actuellement en cours. Il s'agit à la fois d'assurer l'entretien général (peintures, etc.) de cet ouvrage du Second Empire et d'en vérifier la tenue (assemblages, etc.). Le Service national des travaux a permis à l'Architecte des bâtiments de France maître d'œuvre, de se faire seconder par un bureau d'études. C'est bien dans cet esprit que doit se faire l'entretien, c'est-à-dire avec un suivi régulier qui doit sinon exclure tout au moins repousser le plus possible les échéances de travaux lourds.

Idéalement, la conservation des monuments historiques devrait respecter aussi bien l'aspect que la réalité matérielle des monuments. C'est pourtant une banalité que de dire qu'il faut souvent, à petite ou grande échelle, conforter, compléter, substituer. Il est parfois très difficile de conserver des ouvrages métalliques classés monuments historiques qui n'ont guère plus d'un siècle à cause, par exemple, d'une conception originelle déficiente et ce malgré les moyens et les compétences mis en œuvre par les services concernés. Ce type de problèmes se trouve a fortiori démultiplié dans le champ d'action privilégié des Architectes des bâtiments de France et des Services départementaux de l'architecture, les secteurs sauvegardés, zones de protection du patrimoine architectural et urbain, abords et sites. Il faut trouver des solutions, sinon les meilleures au moins les moins mauvaises, pour garder sa *vérité* au patrimoine bâti et urbain dans un contexte difficile où par exemple les matériaux nécessaires et les savoir-faire ne sont pas ou ne sont plus forcément présents.

L'Architecte des bâtiments de France ayant en charge le Service départemental de l'architecture des Ardennes arrive peu à peu à reconstituer un catalogue d'éléments en fonte (garde-corps, lanterne...) pour le secteur sauvegardé de Sedan notamment sur des modèles pris dans

cette ville et venant à l'origine de fonderies locales, grâce à la coopération d'une fonderie encore en exercice. Une collaboration avec un artisan pour un travail de fer forgé montre ce que pourrait être ce type d'intervention s'il se généralisait grâce à des formations telles que celles qui ont pu être menées sur les enduits, décors pauvres, etc., mais qu'il serait difficile à envisager à l'échelle d'un département pour des corps d'état réduits en nombre comme ceux des ferronniers et des serruriers d'art. A noter l'opération de ce type qui a pu être menée à Nantes par ARTEFAB et l'Ecole d'Avignon sur la restauration sans dépose de ferronneries en fer forgé : c'est cela qu'il faudrait pouvoir faire de façon systématique. Dans son travail quotidien, l'Architecte des bâtiments de France a une mission d'intermédiaire qui consiste à dire ce qu'il est nécessaire de faire pour la conservation d'un certain patrimoine ; il doit par ailleurs connaître autant que faire se peut les outils à employer pour cela.

Ce travail avec des entreprises comme celui de prescripteur est indispensable mais ne peut trouver toute sa légitimité que s'il est fondé sur une connaissance approfondie des matériaux, des techniques, des mises en œuvre, a fortiori dans le secteur géographique concerné, pour respecter les particularismes. Chacun sait que l'histoire des techniques est le parent pauvre de l'histoire de l'architecture. Ceci donne plus de valeur au patient travail documentaire que mènent nombre d'Architectes des bâtiments de France pour relever, dessiner tels ou tels éléments d'architecture, accumulant peu à peu une documentation d'autant plus intéressante qu'elle ne s'attache pas seulement à l'exceptionnel, au monumental, mais à l'ordinaire, au banal. Ce travail de reconnaissance et de connaissance, établi dans le temps et la durée, ni publié ni classé pour l'heure car il n'existe pas de services documentaires dans les Services départementaux de l'architecture, pourrait sans doute être exploité en coopération avec d'autres services et être complété par d'autres modes de recherche.

Les quelques cas exposés plus loin et les questions qu'ils induisent expriment assez clairement la problématique de la restauration du patrimoine hors monuments historiques, notamment en secteur sauvegardé et en zones de protection du patrimoine architectural et urbain. La métropole a exporté outre-mer ses structures et couvertures métalliques, ses garde-corps de fonte, toute une production de l'industrie naissante que la colonisation a apportée avec elle pour se substituer aux matériaux

locaux, au bois notamment (sans pour autant négliger les tentatives d'adaptation à ce matériau telles qu'elles sont illustrées dans le recueil d'Albaret de 1776). La fonte, le fer, l'acier existent encore, mais les matériaux manufacturés d'origine ont largement disparu et se pose le problème du remplacement. Que mettre sur ces couvertures de tôle ondulée dont les modèles initiaux n'existent plus ? Ce patrimoine, très fragile, pose des problèmes de conservation et de restauration particuliers ainsi que les solutions qui sont proposées. Pour les Architectes des bâtiments de France, dans leurs missions d'urbanisme, c'est-à-dire sans autres outils que leurs prescriptions au niveau légal et leur capacité à susciter et à utiliser les ressources locales, les difficultés sont accrues par la quasi absence d'aides financières au patrimoine ordinaire. Même problème, technique encore, avec les couvertures en fer blanc des églises de Savoie, originaires, dit-on, d'Europe centrale. Ces couvertures très typées, dont l'étaimage était assuré sur le chantier, ne peuvent quasiment pas être refaites à l'identique, sauf pour quelques rares monuments historiques classés. On les remplace par du cuivre, de l'acier inoxydable plus ou moins apprêté. Même problème encore pour les bardages de pignons en bardeaux de tôle des Vosges. Comme pour nombre de matériaux et techniques anciennement usuels devenus marginaux, on est là au cœur du problème de l'entretien et de la restauration du patrimoine : il ne s'agit pas seulement de maintenir approximativement une image mais aussi de protéger la *vérité* matérielle des artefacts concernés, c'est-à-dire au mieux de conserver et sinon de remplacer avec justesse et à l'évidence ; c'est là un objectif parfois inaccessible.

La société industrielle porte en elle cette contradiction qui consiste à exclure souvent la valeur des productions industrielles. L'architecture de métal, comme symbole de l'industrie triomphante, en a pâti et c'est ainsi qu'il y a quelques années encore des bâtiments remarquables disparaissaient dans l'indifférence. La question ne se pose plus aujourd'hui en ces termes : à Toulouse, par exemple, la municipalité et une partie du public se sont émus de la disparition possible du marché Saint-Cyprien, pourtant d'un intérêt discutable, surtout si l'on considère l'opportunité de rétablir les grandes dispositions monumentales du XVIII^e siècle de cette porte de la ville ouverte sur la Gascogne ; au moins cela témoigne-t-il de l'intérêt porté aujourd'hui au patrimoine industriel. Il s'agit maintenant d'arriver à croiser les nécessités de la protection du patrimoine et l'actualisation technique, fonctionnelle de bâtiments en service, halles, marchés, gares... La gare du Nord de Hittorf (la polychromie des structures métalliques a malheureusement disparu) en est une illustration. Appelée à recevoir le terminal du TGV Paris-Londres, elle s'est vue simultanément introduite dans le champ du patrimoine par une inscription à l'inventaire supplémentaire des monuments historiques. Le projet de nouveau quai surélevé a été une recherche de compromis, dans le sens honorable du terme, entre les besoins mis en forme par les maîtres d'œuvre de la SNCF et les demandes de l'Inspecteur général des monuments historiques pour la Direction régionale des affaires culturelles, et de l'Architecte des bâtiments de France. La halle de Limoges, œuvre des ingénieurs Levesque et Pesce a pu être rénovée en gardant sa vocation primitive malgré des difficultés techniques liées à l'éventuelle application de

normes modernes à ce bâtiment. C'est encore le cas de l'ancienne manufacture des tabacs de Toulouse, héritière d'une fondation de Colbert, menacée de démolition puis finalement récupérée par l'université. Un travail spécifique a été mené pour conserver l'esprit brique et métal dans l'existant (piles en fonte apparentes...) et dans les modifications (surélévation en mirande des façades en métal et verre, aluminium laqué gris pour des aménagements...), sans tomber dans la copie servile.

Enfin l'architecture de métal est aussi l'occasion de créations contemporaines. Même le bac acier, si décrié parce qu'employé souvent dans des architectures indigentes – et parce que l'idée qu'il est des matériaux *nobles* et d'autres qui ne le seraient pas est un des poncifs de l'histoire de l'architecture ! – a retrouvé quelque avantage grâce à des architectes de talent. Il est indispensable d'accepter l'architecture moderne dans les quartiers et morceaux de villes protégés pour leur qualité patrimoniale, ne serait-ce que par respect pour l'histoire ; et l'architecture contemporaine c'est aussi des matériaux et produits nouveaux. Il est facile de trouver quelques réalisations contemporaines prestigieuses usant de métal. On peut aussi s'intéresser au plus ordinaire – le mot n'est ici pas péjoratif – tel ce pan-de-fer d'une construction neuve dans le secteur sauvegardé de Bayonne. A titre d'exemple, le pont qui franchit le Loir et le bief d'une fonderie sous l'ancien donjon de Frèteval, protégé au titre des monuments historiques, a nécessité l'intervention d'un cabinet d'architectes sollicité par l'Architecte des bâtiments de France pour le compte de la Direction départementale de l'équipement : l'ancien tablier, très vétuste, doit être détruit afin qu'un nouveau tablier prenne appui sur les piles conservées. Les architectes ont proposé de garder, avec un projet analogue, l'effet de paroi des anciennes poutres en treillis du pont dirigeant ainsi le regard sur la butte et les ruines, et de jouer sur les matériaux avec d'une part la masse rouge des panneaux de briques masquant des palplanches et d'autre part une structure métallique très squelettique peinte en une couleur froide.

En conclusion, si les Architectes des bâtiments de France ont une part de leur activité tournée vers l'entretien des monuments historiques classés – et dans ce domaine on n'insistera jamais assez sur l'importance de l'entretien, pour respecter ces monuments et leur éviter la chirurgie lourde qu'impliquent de très grands chantiers –, la part la plus spécifique de leur travail est avant tout l'intervention sur le patrimoine ordinaire, sur celui des secteurs sauvegardés, des zones de protection du patrimoine architectural et urbain et des sites ou encore des abords. Il ne s'agit pas là de mener des opérations particulières sur des monuments particuliers en ayant la maîtrise d'œuvre de l'opération et même la maîtrise d'une partie du financement, mais bien de jouer le rôle de coordinateur des partenaires de multiples chantiers, propriétaires, architectes, entrepreneurs, etc., afin que soient garantis la prise en compte d'une certaine qualité patrimoniale et le respect de la *vérité* de ce patrimoine.

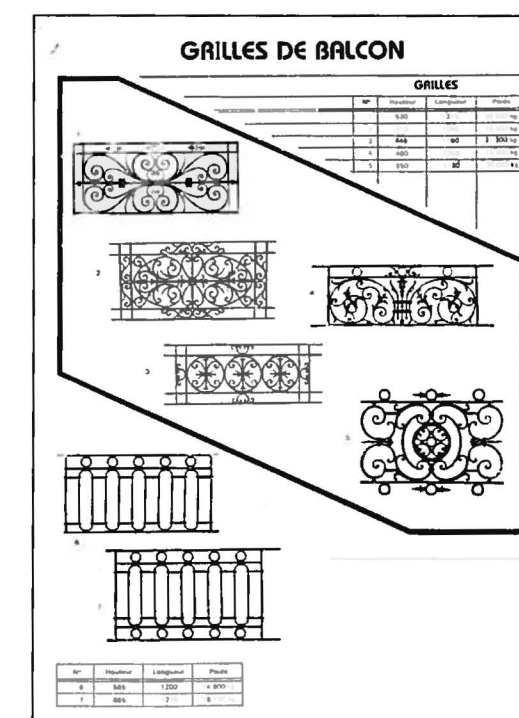
L'action des Services départementaux de l'architecture peut se résumer en trois points ; il s'agit de :
- développer une politique de l'entretien des monuments historiques (avec les moyens correspondants) dans l'idée

que mieux vaut toujours conforter que remplacer et que la réalité matérielle du patrimoine est fondamentale ; une réflexion sur les matériaux au sens large est nécessaire quand certains d'entre eux sortent sans cesse du champ ordinaire de la construction ;

- développer de façon exponentielle les actions de formation aux métiers du patrimoine de l'ensemble du réseau d'entreprises qui intervient au quotidien sur le patrimoine. Il existe déjà de très rares, certes, ateliers permanents pour certains corps d'état dont le financement est en partie assuré par les collectivités locales. Cette piste est à étendre à nombre de sites intéressés et à nombre de corps d'état concernés.

- travailler à établir un corpus de connaissances toujours plus pointues des techniques, matériaux et savoir-faire anciens qui ont constitué le patrimoine bâti, au moyen de la recherche historique.

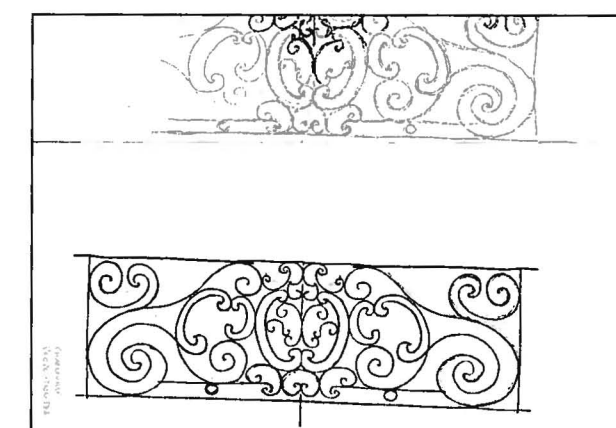
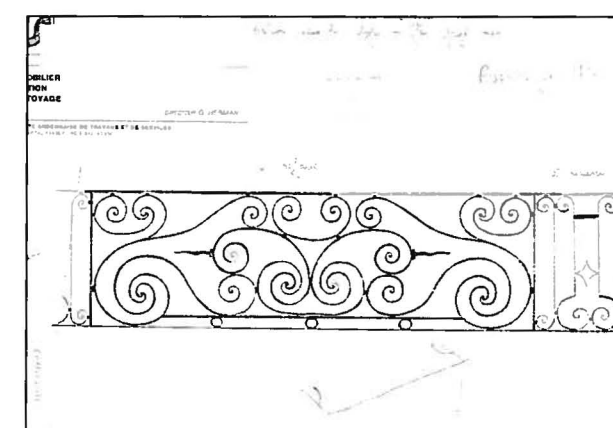
Michel POLGE
Architecte des bâtiments de France
Directeur technique adjoint de l'ANAH



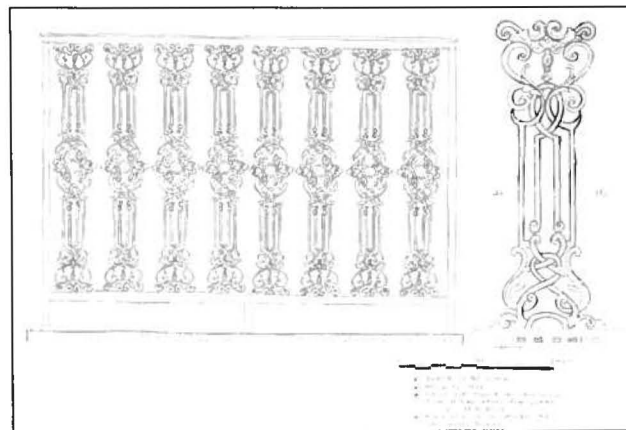
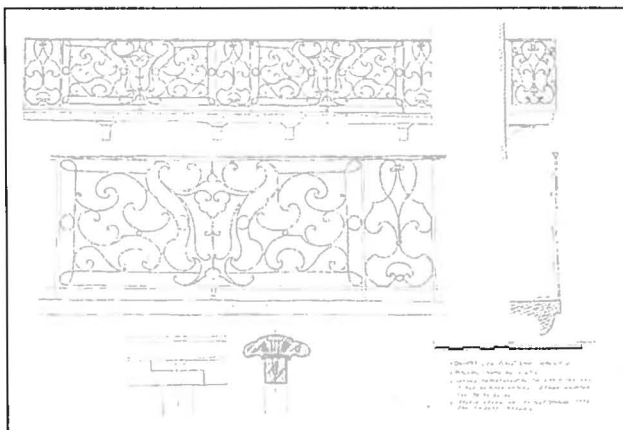
Communication établie avec l'aide des services suivants que nous remercions :

SDA 08 (Jean-Lucien GUENOUN)
SDA 21 (Jean-Michel MAROUZE)
SDA 29 (Alain MARINOS)
SDA 31 (Mireille GRUBERT)
SDA 32 (Francis AYREM)
SDA 61 (Nicolas GAUTHIER)
SDA 71 (Yves BELMONT)
SDA 73 (Paul BARNOUD)
SDA 74 (Dominique BOILLEY)
SDA 75 (René GALLIENI)
SDA 87 (Philippe PONCET)
SDA Guyane (Jean-Michel MOREAU)

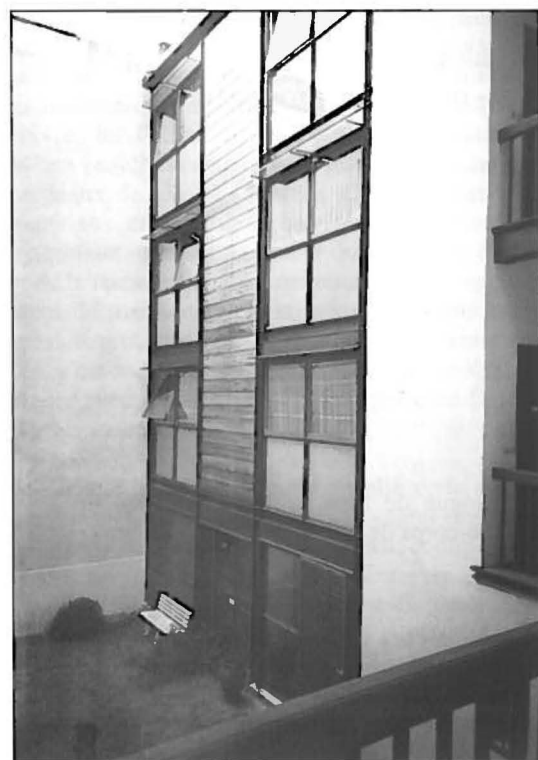
Page d'un catalogue de fondeur de fonte dans les Ardennes : garde-corps de modèles locaux. Photo TDR.



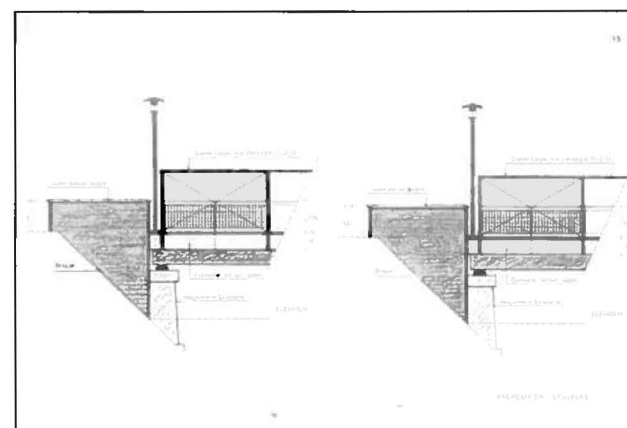
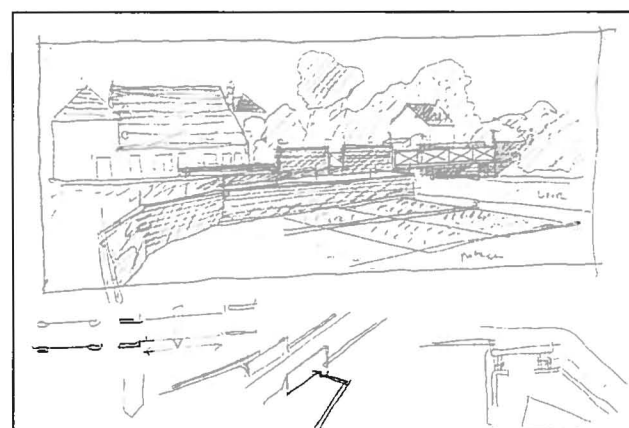
Charleville-Mézières : dessin pour rétablir le garde-corps d'un balcon du XVIII^e siècle. Proposition d'entreprise et croquis modificatifs proposés par l'Architecte des bâtiments de France. Photos TDR.



Relevés d'éléments d'architecture, Service départemental de l'architecture du Finistère. Photos TDR.



Pans de fer d'une construction neuve dans le secteur sauvegardé de Bayonne. Antoine Bruguierolle, architecte à Nîmes. Photos TDR.



Dessins d'étude pour la construction d'un pont sur le Loir à Fréteval (41) sous les ruines du donjon, protégées au titre des monuments historiques. Catherine Berger et Arturo Villaamil, architectes à Blois. Photos TDR.

DÉBAT

Le débat a porté sur les principaux points suivants :

1. Les sources documentaires :

M. Lemoine demande à M. Bailly s'il a pu s'appuyer pour son inventaire sur des sources d'archives ou bien, plutôt, sur un repérage de terrain. Il rapporte sa propre expérience d'inventaire des 13 marchés subsistant en Poitou Charentes, avec une difficulté à retrouver des documents d'archives – plans d'architectes, plans d'entreprises, à fortiori correspondances permettant de retracer des filiations entre différentes typologies de marchés couverts, ou de transferts entre différentes régions ou différents marchés.

M. Bailly dit avoir très souvent repéré des listes d'édifices dans les séries O des archives départementales, permettant d'aller sur le terrain, ce qui peut aussi amener à constater qu'ils n'existaient plus. Pour les dossiers de Dijon et d'Angoulême on a découvert les plans, différents projets, les plans signés du préfet, autorisant donc la construction, mais aussi les devis, intéressants pour les indications de provenance des matériaux, et, pour Angoulême, la filiation avec les halles de Tours. Et il est vrai que par les documents des fondeurs, leurs catalogues, on peut retrouver des filiations ou l'utilisation d'éléments de certaines parties d'édifices dans d'autres, aux architectures adaptées aux lieux.

Un intervenant souligne le rôle des fabricants de modèles, avec catalogues correspondants. Ainsi, en Amérique latine, d'où arrivaient en Europe les bois d'Amazonie, des halles, fontaines, maisons en fer étaient fournies, évitant que les navires ne reviennent à cale sèche. M. Loyer indique la présence de fontes anglaises sur toutes les côtes ouest de la France pour des raisons semblables (par exemple à Rennes d'où partaient vers l'Angleterre certains granits).

2. La disparition de marchés couverts :

M. Lemoine déplore avec M. Bailly la disparition de marchés couverts, dans les années 1970/1980 par dizaines, voire centaines. Il en existait environ 400, dont 220 subsistent. Une prise de conscience s'est faite en ce qui concerne de nombreuses villes, mais beaucoup de travail reste à mener.

En liaison avec les remarques précédentes, M. Poncelet, qui a cité le déplacement de l'exposition universelle de Paris à Fort de France, et les déplacements, à trois reprises, d'une même église, à Saint Laurent, au fur et à mesure du développement de la ville, se demande si plutôt que d'architecture, il ne s'agit pas d'objets architecturaux, que l'on peut éventuellement constituer en musées, rassembler en collections.

M. Bailly cite, dans ce sens, l'exemple d'un des pavillons de Baltard des anciennes halles centrales de Paris, remonté, comme chacun le sait, à Nogent sur Marne. Il observe que plus généralement la tentation est grande

pour certains maires, en présence de l'évolution du commerce non sédentaire vers le camion équipé, de démolir une halle et créer ainsi un grand espace. A Lodève le maire voulait transférer la halle napoléonienne sur l'aire autoroutière, pour éviter aux touristes d'entrer en ville.

3. La formation et la transmission des savoir-faire :

S'adressant aux prescripteurs, ABF, CAUE, entreprises, M. David leur demande une aide, de façon pressante. Sur les bases de l'expérience sur la ferronnerie à Nantes, il observe que des architectes, découvrant des artisans capables de restaurer in situ, ont pu modifier leurs prescriptions. Cela veut dire que sachant que l'on aura des gens capables on devient plus audacieux.

Il demande aussi d'œuvrer à permettre que les anciens parmi les artisans, ayant un savoir-faire, une longue expérience, reçoivent les moyens de transmettre.

M. Pierrot témoigne de la crise de la vocation sur le fer dans les Pyrénées Orientales, qui a une tradition de ferronnerie. Des ferronniers très connus ne trouvent pas de successeurs. Il ajoute qu'il y a un projet de "route du fer", un itinéraire touristique des vestiges, dans le massif du Canigou, où il y avait des mines de fer, et des fours qui subsistent, avec leurs dômes, dans la nature.

M. Polge rappelle l'action de formation de la CAPEB et de la FNB, dans beaucoup de départements, à la demande des SDA. Mais les montages, notamment financiers, sont encore beaucoup trop compliqués. Sur certains postes, maçons notamment on peut recruter beaucoup, sans doute parce que la réfection de façades est porteuse politiquement, tandis que pour les ferronniers les choses sont nettement plus difficiles. De toutes les façons, même une fois assurées des formations, avec parfois des résultats spectaculaires, il faut continuer à porter l'initiative à bout de bras.

M. Loyer exprime son accord sur le fait qu'il y a certainement une prise de conscience insuffisante des structures artisanales et de leurs besoins dans le pays, et qu'on ne peut pas résoudre ces problèmes en songeant à des recours subsidiaires tels que des formations de chômeurs.

Mme Pallot Frossard exprime un même avis, indiquant que le problème est en grande partie financier. Dans des périodes où la demande est forte l'offre suit (périodes de reconstruction ou de prospérité). En 1880 il y avait 300 maîtres verriers en activité et on ne se posait pas la question du maintien de leur savoir-faire.

Il y a, en effet, ajoute M. Loyer, une question de priorité des valeurs, qui met actuellement au second rang les savoir-faire dans le domaine qui nous concerne.

4. Les matériaux :

M. Taupin, après avoir dit son intérêt pour l'hybridation des techniques anciennes et nouvelles (association des

techniques de la fonte et utilisation des commandes numériques), pose une question concernant la valeur des peintures intumescents, notamment dans le contexte normatif actuel. Sans pouvoir détailler la peinture "Internex" qui est en cause (mise en œuvre, en intérieur, sous la direction des architectes Reichen et Robert), M. Lefèvre précise que, sous l'action de la chaleur, elle prolifère, constituant une sorte de matelas isolant. A Noisiel une série de mesures complémentaires de détection de l'incendie et d'évacuation des personnels a été prise.

A propos d'une remarque de M. David, M. Polge note que l'architecture préindustrielle utilisait des matériaux, à un moment donné faciles à trouver et peu chers, mais qui par la suite sont souvent devenus chers et très difficiles à trouver. Pour restaurer un monument historique on récupère alors les toitures de dix maisons, par exemple. Il y a vraiment une question de connaissance et

de politique des matériaux, à propos de laquelle un autre intervenant rappelle qu'il a existé, il y a 7 ou 8 ans, un poste d'ABF chargé des matériaux, système malheureusement abandonné.

M. Pierrot met en relief le facteur concurrentiel qui mène à importer de l'étranger, des pierres d'Espagne par exemple, ou des granits du Portugal, moitié moins chers que ceux du Limousin.

Pour M. Bailly il est clair que le cadre juridique français des monuments historiques met l'accent sur la protection de l'édifice lui-même, sans intégrer les facteurs que sont le maintien des savoir faire et la gestion des matériaux. Nous rencontrons de plus en plus souvent des matériaux dont nous avons l'impression qu'ils nous sont proches, mais dont les modes de fabrication ont disparu, ainsi que les modes de mise en œuvre.

Séance finale

Rapports

Aspects de l'histoire technique et architecturale

Cette première séance de notre colloque avait pour objectif de retracer les grandes étapes de fabrication des divers matériaux ferreux du Moyen Age à nos jours et d'en étudier les conséquences sur la construction. Cependant, il n'est pas toujours évident d'établir ce lien précis entre évolution des techniques et utilisation des produits ferreux. Car, comme l'a dit Jean-François Belhoste, les fers ne sont pas "bavards" (impossible de les dater, difficile de trouver leurs origines) : en effet, depuis longtemps le fer a été déconsidéré et son rôle dans l'architecture a été minimisé et est peu connu (c'est le fer "caché" de Bertrand Lemoine), de plus les intermédiaires (marchands, serruriers) font écran.

Cependant, plusieurs étapes ont pu être mises en évidence :

- La révolution de l'utilisation hydraulique de la fin du Moyen Age pour le martelage et les soufflets (fin du XIIIe siècle), a permis l'obtention de loupes de fer plus lourdes (50 kg au lieu de 10), ce qui a entraîné une diminution du prix du fer. Cela pourrait être confirmé par des études plus approfondies à entreprendre sur les cathédrales, par exemple sur les chaînes et ancres qui armaient la maçonnerie. Ainsi, l'on pourrait établir la liaison entre cette révolution technologique et cette production plus importante.

- L'introduction du procédé indirect, c'est-à-dire le haut fourneau à la fin XIVe siècle, va entraîner une production en plus grande quantité ; mais, en revanche, le produit directement obtenu par le haut fourneau, c'est-à-dire la fonte, est méconnu et le fer sera toujours "caché" au niveau de son utilisation en architecture.

- A la fin du XVIe et au début du XVIIe, apparaît la fenderie pour fendre en long les barres, tiges ou verges pour la clouterie. Le prix des clous baissa et leur usage s'étendit dans les couvertures et les lattis.

- La fonderie de deuxième fusion permit le coulage en série des poutres, des pièces de charpente et surtout de colonnes de fonte. Ce sont ces techniques venues d'Angleterre à la fin du XVIIIe siècle qui se répandirent durant le XIXe siècle. La halle au blé fut construite avec des fontes du Creusot, première usine de deuxième fusion à cette époque, qui produisit 170 tonnes de fonte et 35 tonnes de fer forgé.

- Le puddlage, grâce au four à réverbère alimenté à la houille, augmenta considérablement la capacité de pro-

duction. Ceci est lié à l'introduction du laminage. Cependant, les architectes restent méfiants vis-à-vis de ce nouveau produit et vers 1820/1830, on préfère encore les fers doux du Berry, martelés et non laminés.

Ce n'est qu'à partir de 1840, avec l'apparition, de nouveaux produits : les profilés en U, en T, en double T, que progressa la grande construction métallique de la deuxième moitié du XIXe siècle.

- A partir de 1870 en France, la production de l'acier par les procédés Bessemer et Martin permet l'obtention en grande quantité, à des prix plus bas, de ce nouveau produit. Il faudra, cependant, attendre la fin du XIXe siècle, voire les années 1900, pour une utilisation, certes faible, dans les grandes portées.

Lors de sa communication, Bertrand Lemoine nous a expliqué comment cela s'est traduit dans l'architecture métallique "avouée" et non cachée ; les premiers usages du métal se développent dans les ouvrages d'art, d'abord en Angleterre, puis en France. Le pont des Arts en 1802, le pont d'Austerlitz en 1806, puis la halle au blé, les combles de la basilique de Saint-Denis en 1836, les passages couverts avec la galerie d'Orléans en 1830, et les serres en sont les principaux exemples.

Outre le puddlage et le laminage qui permettent l'obtention de matériaux bon marché et simples à utiliser, une meilleure connaissance des propriétés des métaux permet de mieux les employer.

Dans les années 1850, il semble qu'il y ait une meilleure compréhension de l'industrie : offrir des pièces de série en plus grande quantité. La date charnière semble être 1853 avec les halles de Paris où, pour la première fois, la structure métallique est visible de l'extérieur. En quelque sorte, ces halles font rentrer les structures métalliques dans la vie quotidienne, elles y sont associées au bois et à la brique. A partir de là, grâce à des produits nouveaux, les architectes vont faire un usage structurel du métal et innover quant aux formes.

Une nouvelle évolution, de nouvelles performances se font jour vers 1870-1880. On augmente la portée des charpentes, les montages peuvent être faits en usine.

Mais ce n'est que progressivement que l'acier remplacera le fer, le coût de l'acier va baisser considérablement pour

aboutir à la suppression du fer puddlé. Dans les années 1889, c'est le triomphe du métal dans l'architecture en France, à la fois au niveau structurel et décoratif. Cependant, il faut savoir que l'exemple de la tour Eiffel, construite en fer puddlé, est révélateur. Après 1892, c'est enfin le triomphe de l'acier.

Frédéric Seitz, quant à lui, nous a montré le renouveau de l'utilisation des métaux ferreux, réduits essentiellement à l'acier après la deuxième Guerre mondiale dont la reconstruction est l'âge d'or du béton.

Après avoir présenté les nouveaux procédés d'élaboration de l'acier en trois étapes : fontes, produits demi-finis, produits finis, Frédéric Seitz nous a démontré qu'aujourd'hui construire un édifice en métal consiste à assembler des produits finis. Les assemblages peuvent être réalisés au moyen de liaisons mécaniques (les axes, les rivets, les boulons), ou par reconstitution de la continuité de la matière (technique de la soudure) ; tout ceci ayant des conséquences sur la nature et les formes architecturales des édifices dont il nous a présenté de nombreux exemples, y compris de l'architecture métallique de ces vingt dernières années.

Enfin, deux exposés de nos collègues étrangers nous ont permis d'appréhender la diversité des approches de conservation des sites historiques de production.

Le cas de la Suède est exemplaire dans le sens où ce pays s'est préoccupé de la conservation des sites dès la fin du siècle dernier, alors que la sidérurgie suédoise est vivement touchée par la transformation industrielle. C'est d'abord chez les industriels sidérurgiques, et chez eux seuls, que s'est développée une conscience historique qui a permis la conservation de quelques hauts fourneaux,

forges, maisons de maîtres et logements ouvriers.

Il en va, évidemment, tout autrement des sites contemporains dont on nous a présenté plusieurs exemples, Pologne, Allemagne, Oural, et dont nous avons pu voir une réalisation en cours à Völklingen.

Au cours de la discussion, le président de séance, Louis Bergeron, a fait état des expériences très intéressantes sur Nowkissen, Völklingen et Duisbourg en Allemagne. Il pense qu'il s'agit d'une solution hardie et intéressante : entretenir et expliquer un système technique cohérent ayant eu un retentissement considérable à partir d'une pédagogie qui renvoie les Sarrois à un patrimoine fondamental pour leur culture.

En conclusion, l'on peut dire que si l'on connaît aujourd'hui à peu près l'histoire technique, économique et sociale de la fabrication des métaux ferreux, l'on connaît beaucoup moins bien leur utilisation et, en particulier pour tout ce qui concerne le fer non "avoué", c'est-à-dire le fer "caché", depuis les cathédrales, les monuments classiques des XVII^e et XVIII^e siècles jusqu'à nos jours. Il est certain que des études complémentaires, pluridisciplinaires sont nécessaires. Ce n'est pas le moindre intérêt de ces rencontres que de démontrer, dans ces domaines nouveaux du patrimoine, la nécessaire collaboration des praticiens venus d'horizons divers : historiens, architectes, techniciens, ingénieurs...

Claudine CARTIER
Conservateur du patrimoine

Aspects historiques et techniques à partir d'études de cas

Ce colloque a pour objet l'utilisation du fer dans l'architecture, fer matériau de consolidation des maçonneries ou bien matériau fondamental pour la structure de l'édifice. On réalise que le recensement de ces fers, l'analyse des procédés de leur mise en œuvre et l'histoire de leur évolution chronologique restent encore parfois méconnus.

Du fer dissimulé dans la pierre au fer ouvrage décoratif ou à l'architecture de fer d'Outre Mer, les exposés tentent de restituer les rôles variés qu'autorise ce matériau de par sa nature dans l'architecture.

Dans le domaine de l'architecture médiévale les travaux antérieurs n'ont pas pris en compte l'importance de ce matériau. L'approche passionnante que présente Jean-Louis Taupin, initiée par les chantiers de restauration des cathédrales, nous livre des découvertes qui renouvellent notre connaissance des problèmes statiques de ces édifices, et des techniques de stabilisation des supports et des murs. Ces recherches récentes dont il nous expose les premiers résultats, montrent l'exigence d'une auscultation très poussée des édifices. En dressant le catalogue du recours au fer dans la cathédrale de Beauvais, on a pu relever trente cas de son utilisation avec pour certains une très forte présomption sur le caractère originel de ces apports.

La réflexion sur l'histoire des étapes de la construction peut à elle seule justifier, selon Jean-Louis Taupin, la présence de barres métalliques coupant transversalement les baies, les triforiums et grandes arcades. Ainsi dans la cathédrale de Bourges on observe deux systèmes de liaisonnement longitudinal avec notamment 130m de chaînes déroulées sous les colonnettes du triforium.

Jean-Louis Taupin signale que les siècles d'existence de ces édifices ayant opéré des stabilisations, l'appréhension de ces systèmes d'armatures métalliques nécessaires à ces constructions audacieuses ne nous est plus permise. Il nous rappelle combien se démarque l'élancement unique du chevet de la cathédrale de Beauvais, parti exigeant des précautions, c'est-à-dire un système de tirants des grandes arcades et de chaînage dans les gouttereaux de l'abside. Par ailleurs, on a eu recours au fer à Beauvais pour réparer les dégâts consécutifs à l'accident de 1284.

Après cette démonstration déterminante sur le rôle du fer dans les cathédrales Jean-Louis Taupin pose la question suivante, qui ne peut laisser indifférent : "Ne conviendrait-il pas de s'étonner davantage de l'apparente absence de fer dans certaines de ces architectures plutôt que de la

présence de fer ?" On en déduit facilement qu'il faut approfondir notre connaissance des procédés constructifs mis en œuvre dans les cathédrales, et se consacrer activement à l'analyse structurelle de ces édifices.

Tenant d'expliquer cette incompréhension de l'utilisation du fer, Jean-Louis Taupin parle de "déperdition de l'intelligibilité du savoir-faire des époques lointaines".

Ainsi doit-on beaucoup attendre des recherches sur la nature, la mise en œuvre et la fonction des fers dans les cathédrales. L'intervention des services des Monuments Historiques ne peut sous-estimer l'utilisation du fer dans ces grandes structures médiévales, le fer étant au XIII^e siècle "la condition sine qua non de la construction" selon la formule de Jean-Louis Taupin.

Au XVIII^e siècle, des études et traités, outils très précieux pour nous, portent sur le rôle du fer dans l'architecture. La construction classique avait recours à des matériaux de confortation dissimulés dans la pierre. L'utilisation du fer jouissait cependant d'une connotation négative, ce matériau étant qualifié d'impur par rapport à la pierre.

Bernard Fonquernie détaille plusieurs exemples de la diversité de cette utilisation allant des tirants de planchers de l'hôtel de Beauvais à Paris au milieu du XVII^e siècle à la nouvelle lanterne intégralement métallique installée en 1727 par l'ingénieur Bitry sur le phare de Cordouan. A la fin du XVIII^e siècle de nombreuses expériences seront conduites autour de l'utilisation du fer tant au niveau des planchers que des combles.

Dans une étude publiée en 1769, l'architecte Pierre Patte théoricien de l'armature métallique, considérant celle-ci comme un dispositif moderne de construction des édifices, décrit les armatures utilisées sur la colonnade du Louvre de Perrault et les grands chantiers parisiens du milieu du XVIII^e siècle : la façade de l'église Saint-Sulpice par Servandoni, la basilique Sainte-Geneviève par Soufflot, les bâtiments de Gabriel place de la Concorde.

Bernard Fonquernie souligne cette référence à l'architecture antique recherchée par les architectes du XVIII^e siècle, architecture qui repose sur l'utilisation de la colonne et de son linteau. Contrairement à l'Antiquité, ces colonnes ne supportent pas des linteaux monolithes sur le mode du tas de charge. Les linteaux sont construits par claveaux, mode de construction générant des poussées horizontales et obliques. Le contrebutement s'impose et

par conséquent tous ces bâtiments à colonnes et linteaux disposent d'une armature métallique.

Bernard Fonquernie nous livre les différentes formules techniques retenues pour armer les plates-bandes.

A la colonnade du Louvre, les claveaux sont reliés entre eux par des agrafes. Chaque colonne est traversée par une barre métallique verticale tandis que des barres horizontales complètent le chaînage et que des tirants horizontaux sont ancrés dans le mur du fond du péristyle. Pour pallier la poussée des rampants du fronton, est disposé un système de chaînage métallique.

Place de la Concorde, Gabriel pour ses constructions adopte le parti d'une grille enserrant les claveaux. A l'église Saint-Sulpice, le système est renforcé par l'arc de la barre supérieure et ce dans un but d'allègement. Enfin Victor Louis au Grand Théâtre de Bordeaux, inauguré en 1780 emploie une autre formule pour armer les plates-bandes. Pour s'opposer aux poussées de celles-ci, il conçoit une stéréotomie particulière les reportant dans l'angle du mur, exploitant alors au maximum la stéréotomie. Bernard Fonquernie démontre que Victor Louis vise la stéréotomie et en quelque sorte l'homogénéité de la construction, limitant le recours au fer.

Ainsi la construction classique réserve au fer auxiliaire de la maçonnerie différentes fonctions, comme expédient, comme moyen de consolidation en restauration ou bien comme dispositif fondamental pour rationaliser l'architecture.

Avec les grilles monumentales nous abordons le fer révélé au spectateur, fer architecture et ouvrage d'art. Eric Pallot a exposé pour nous le langage du fer forgé, résultant du dessin de l'artiste et des possibilités techniques offertes au ferronnier. Serge Pascal montre la préoccupation des entreprises spécialisées à maintenir le savoir-faire de cet art. La restauration des grilles de Nancy tout en affichant les prouesses techniques dans le travail des tôles minces atteintes par l'atelier de Jean Lamour témoigne de la capacité de notre époque à intervenir avec le métier des serruriers d'antan.

De Jean Lamour à Jean Prouvé, tel est l'itinéraire que nous propose Vincent Bradel pour apprécier l'utilisation du fer dans l'architecture nancéienne. Vincent Bradel nous rappelle ce que symbolisent les grilles monumentales de Nancy, avant tout architecture forgée. La virtuosité de l'utilisation de la tôle, avec cette étonnante plasticité rocaille allait marquer les générations d'artistes lorrains.

L'édifice rue Bénit construit en 1900 par les Gutton ingénieur et architecte est non seulement exemplaire mais aussi sans descendance, réalisant la fusion entre la structure métallique et le décor à éléments floraux en tôle découpée. Effectivement, structure et décor métalliques seront dissociés dans les autres constructions et l'on optera en faveur de l'architecture de pierre dans laquelle viendront se glisser des ouvrages de ferronnerie : portails, balcons, rampes d'escaliers. Le fer ossature apparente sera réservé à des programmes commerciaux ou d'architecture industrielle, seuls secteurs dans lesquels on exploitera les possibilités architecturales du matériau. Vincent Bradel rappelle que la grande réussite de l'Ecole de Nancy repose sur la collaboration étroite entre artistes. Rue de la Commanderie, Biet, travaillant avec Vallin, construit en 1901 un immeuble où le fer apparent se cantonne à un rôle

décoratif avec la porte d'une modernité totale. A l'hôtel Bergeret en 1903, Weissenburger donne à Majorelle l'occasion de réaliser un chef-d'œuvre de la ferronnerie Art Nouveau avec la rampe d'escalier. A la Villa Majorelle, association Sauvage Majorelle, le fer trouve une utilisation ornementale ponctuelle avec les ferronneries.

Perpétuant le grand art de la ferronnerie qu'incarne Jean Lamour et dans le sillage de l'Ecole de Nancy, Jean Prouvé excelle dans le travail du fer et de ses dérivés. La porte de la cité universitaire de Nancy conçue en 1928 s'impose comme une réalisation de référence. Sur une trame géométrique d'une extrême simplicité Jean Prouvé rapporte des pièces de tôle encadrant des motifs d'inox gravé. En 1954 Jean Prouvé construit sa propre maison à partir d'éléments fabriqués en usine : mise en œuvre simple, ossature métallique pour une construction à dominante métal et réalisation selon l'esthétique du matériau.

Les préoccupations de Jean Prouvé rejoignent d'une certaine manière la problématique de l'architecture d'outre-mer à moins d'un siècle de distance avec le besoin d'une architecture de fer adaptable et simple. Dans ces territoires il faudra attendre la fin du XIXe siècle pour que le fer se substitue au bois et cette diffusion du fer suivra la colonisation. Le fer répondait aux conditions climatiques et à la nécessité d'une mise en œuvre aisée, la métropole exportant ces matériaux préfabriqués pour la construction.

Etienne Poncelet a mis en évidence la manière dont le fer gagne tous les programmes architecturaux, dès les années mille huit cent quarante avec les casernes et hôpitaux aux colonnes de fonte, poutrelles et voûtains de brique comme à l'hôpital militaire de Fort-de-France. Au terme de l'évolution qui assure la suprématie de l'architecture en fer, se situe la construction de la cathédrale de Fort-de-France en 1895 par l'architecte Picq.

Le fer pouvant seul défier le temps, la tôle ondulée remplace les matériaux de couverture traditionnels. Le mode de vie des habitants détermine le développement de balcons, ouvrages de serrurerie qui métamorphosent l'architecture. Etienne Poncelet souligne que le XIXe siècle fut pour les îles le siècle du fer. Il pose à la suite de son exposé différentes questions tant sur le plan technique que sur celui de la doctrine de restauration. Les maîtres d'œuvre attendent en effet des réponses sur les problèmes de conservation des fers, les perspectives de maîtrise de la corrosion, et sur les matériaux de substitution. Simultanément se pose la question de l'authenticité; Etienne Poncelet se demande quel seuil d'authenticité permet de reconnaître la vérité de tel monument et, faute d'avoir les moyens de la conservation, s'il ne faut pas garder la nature de ces fers ?

Enfin, peut-on admettre que l'on intervienne sur ces édifices métalliques avec une déontologie différente de celle qui guide l'action du service des monuments historiques sur les autres édifices. Les monuments métalliques ne seraient-ils pas des monuments historiques à part entière ? On ne peut qu'espérer un développement des recherches et des techniques de restauration.

Pierre-Xavier HANS
Inspecteur des monuments historiques

Méthodes de diagnostic, altérations et remèdes

Dans le cycle de conférences consacré aux *méthodes de diagnostic, aux altérations et aux remèdes*, le constat d'état établi par M. Algrin sur l'église de Crusnes résume bien les principaux problèmes liés à la conservation et à la restauration d'un édifice en fer.

Une altération des matériaux – c'est-à-dire ici la corrosion du fer – aboutit à une perte de matière, à des déformations et à des modifications d'aspect.

Le remplacement de ces matériaux de construction – parties basses des bardages en fer doux – mais aussi laitier de haut fourneau servant d'isolation, porte atteinte à l'authenticité de l'édifice, authenticité que l'on doit replacer ici dans un contexte historique et économique (l'histoire de la famille de Wendel) et dans le contexte d'innovation technologique de l'époque (il s'agit d'un prototype).

Dans le cas présent il n'y a pas atteinte à la solidité de l'ensemble de la structure.

A ces questions M. Algrin apporte une réponse de principe : conserver au maximum les matériaux originaux ; seules les parties basses des bardages seront changées, ainsi que le laitier trop chargé en sulfures, qui sera remplacé par de la laine de roche.

Une question de M. Mortamet permet de bien préciser que l'application d'un nouveau système de peinture nécessite une parfaite préparation des surfaces.

M. Algrin soulève alors une très intéressante question sur le "mystère de la rouille" : effacer les traces de corrosion, n'est-ce pas aussi effacer la trace du temps ? (Une interrogation de cet ordre a aussi été posée par M. Mortamet sur les toitures en fer étamé de Savoie).

Une approche raisonnée de la restauration est proposée par Mme A. Texier selon une méthodologie définie en cinq étapes :

- Une **étude préalable**, qui comporte une recherche documentaire, et un examen de l'œuvre et de ses désordres.

L'examen in situ explore les possibilités techniques de détection des éléments métalliques cachés; elles ont été largement développées dans l'exposé de Mme E. Marie-

Victoire consacré aux investigations non destructives dans les structures par des techniques utilisées en géophysique (mesures électromagnétiques, électriques, magnétiques), et par l'utilisation du radar et de la gammagraphie.

Les objectifs de ces méthodes sont de détecter les armatures dans les maçonneries et d'en définir la géométrie.

Certaines méthodes ne sont applicables que pour les métaux ferreux (méthode magnétique), d'autres exigent un contact électrique avec la structure métallique (méthode électrique), d'autres ne détectent que des interfaces pierre-métal (radar).

Aucune méthode ne semble donc universellement applicable et aucune technique n'est adaptée à une recherche systématique.

Les techniques ne sont utiles que si l'on a une idée préalable de ce que l'on cherche, ce qui confirme l'importance des examens visuels.

L'examen en laboratoire permet de procéder à des analyses chimiques et structurales du métal et de ses couches d'oxydes, à une analyse chimique des anciennes protections, et à des traitements expérimentaux.

Dans le domaine analytique, les possibilités techniques sont considérables, mais beaucoup de ces moyens sont assez lourds et avant de les mettre en œuvre, il est impératif de savoir ce que l'on cherche. Une concertation entre tous les partenaires est donc indispensable.

- L'établissement d'un **diagnostic** – synthèse des résultats de l'étude préalable réalisée par tous ses acteurs – débouche sur une "ordonnance" que Mme A. Texier appelle la "préconisation".

- La **préconisation** qui n'est autre que la définition du protocole d'intervention et du cahier des charges.

- La nécessité de suivre et de contrôler les **travaux de restauration** (respect du cahier des charges).

- La nécessité aussi d'assurer l'entretien constant du **système de protection du métal**.

Les préconisations proposées figurent dans un cahier des charges destiné aux acteurs de la restauration : il s'agit de la définition exacte de ce que l'on doit faire et comment on doit le faire.

La mise en œuvre sera grandement facilitée si les restaurateurs et le maître d'œuvre se réfèrent à des normes, en particulier celles utilisées par les industriels.

Dans ce domaine, M. Raharinaivo a bien cerné le problème en insistant sur l'importance de la connaissance des matériaux utilisés, et en particulier ceux que l'on va utiliser pour la restauration.

Aussi deux notions fondamentales ont été explicitées :

- les propriétés mécaniques des ferreux (résistance, déformabilité),

- la durabilité, c'est-à-dire la résistance à la corrosion.

Et, bien que ce ne soit pas une donnée technique, le coût des matériaux est naturellement à prendre en considération.

Il existe par exemple environ deux cents nuances d'aciers inoxydables dont les propriétés physico-chimiques varient beaucoup de même que le prix. Il s'agit pour le maître d'œuvre de savoir ce qu'il attend du matériau.

Enfin il n'est pas inutile de savoir qu'un acier courant (au

carbone, c'est-à-dire non allié) peut être protégé par ses couches d'oxydes quand celles-ci sont suffisamment épaisses (10 cm !).

CONCLUSION

Tous les états de dégradation sont possibles et de nombreuses solutions peuvent être proposées.

L'étude préalable doit aider le maître d'œuvre à faire les bons choix (choix techniques, choix esthétiques) qui se traduisent par le choix des matériaux de substitution (s'il est décidé de remplacer les matériaux altérés), le choix des systèmes de protection s'il est décidé de conserver et de protéger le métal existant, et enfin, en écho à la réflexion de M. Algrin, les choix esthétiques et l'intérêt de solutions archéologiques ; il est très important de ne pas altérer l'aspect de l'œuvre, et de préserver son authenticité. Mais ce dernier choix risque d'être le plus coûteux.

Claude FORRIÈRES
Directeur d'Arc' Antique

Problèmes techniques de conservation et de restauration

Divers problèmes de conservation et de restauration se dégagent :

SUR LES GRATTE-CIEL ET EN PARTICULIER LES GRATTE-CIEL DE CHICAGO

Au milieu du XIXe siècle, la première génération de gratte-ciel se manifeste par des constructions à ossature en fonte avec des remplissages en briques inspirées des théories rationalistes de Viollet-le-Duc dont les entretiens ont été traduits en américain, nous explique M. Steve Kelley.

Au début du XXe siècle, la deuxième génération correspond aux gratte-ciel de New York et à l'école de Chicago qui sont les précurseurs des immeubles à mur rideau.

La troisième génération est celle des structures légères en verre et acier mises en œuvre après la deuxième guerre mondiale.

Les techniques de consolidation et restauration comprennent :

- la mise à jour des ossatures et leur nettoyage par gommage,
- le remplacement des ancrages accessibles par des éléments inoxydables,
- la mise en place de protection en plomb pour éviter les pénétrations d'eau.

Actuellement les nouveaux gratte-ciel font appel à de nouveaux matériaux et à de nouvelles techniques et sont à l'origine de nouveaux défis.

LA RESTAURATION DU PONT ALEXANDRE III À PARIS

A partir d'une importante recherche documentaire et technique, M. Benjamin Mouton propose, après analyse des désordres (assemblages ouverts, pièces cassées, oxydation), de procéder à la dépose du décor pour traiter les structures porteuses, au remplacement des pierres cassées ou disparues, et de mettre en place des isolants électrolytiques. Il a étudié aussi le problème de la polychromie et des difficultés pour revenir à la disposition d'origine teinte blanc perle et or qui devait se montrer très nouvelle au-dessus de la Seine.

LA TECHNIQUE DES COUVERTURES EN TÔLE À LA CANADIENNE

M. Varin a présenté, avec beaucoup d'humour, la mise en œuvre de couvertures métalliques remplaçant à partir du XVIIIe siècle, les couvertures en bardeaux de bois. Elles sont réalisées maintenant en acier inoxydable plombé après avoir été exécutées en fer blanc. Elles sont fabriquées au moyen d'éléments de tôle posés sur feutre et membrane de caoutchouc par rangs chevauchés posés en oblique. Elles peuvent être réalisées en "petite canadienne" avec un pureau de 20 cm ou en "grande canadienne" avec un pureau de 35 cm. Dans les deux cas, le résultat est satisfaisant aussi bien sur le plan esthétique que technique.

LA RESTAURATION D'OSSATURES RÉALISÉES EN FER DOUX EN GRANDE BRETAGNE

M. Fowler en a présenté des exemples remarquables tels qu'une serre pour plantes aquatiques de 1892, un bâtiment réalisé pour accueillir la Reine Victoria à Portsmouth, mais aussi la reconstruction d'un pont sur un lac et la remise en état d'une serre de composition arachnéide. Les techniques de reprises sont étonnantes et conduisent à des résultats spectaculaires.

Au cours des débats, des précisions ont été apportées sur la technique des couvertures à la canadienne et plus particulièrement sur les raisons de l'abandon du fer blanc. Des comparaisons sur ce point particulier ont été faites avec les recherches françaises.

Des questions ont été posées sur les techniques de restauration des gratte-ciel de Chicago qui représentent pour les architectes une étape importante de l'architecture contemporaine mais qui sont menacés par le renouvellement perpétuel souhaité par la ville et les habitants de Chicago.

A la lumière de ces éléments, il est clair que le débat reste ouvert.

Jean Gabriel MORTAMET
Architecte en chef et inspecteur général
des monuments historiques

Problèmes techniques de conservation et de restauration (suite)

L'exposé de Daniel Lefèvre sur le pan de fer de Noisiel nous a montré la confrontation de plusieurs analyses, celle de l'architecte, celles des différents laboratoires, afin de permettre la restauration et la réutilisation d'un monument d'avant garde. Cela s'est traduit à la fois par l'utilisation de techniques traditionnelles mais aussi par la mise en œuvre d'une technique plus innovante, l'électrolessivage qui, on l'a vu, devrait avoir de l'avenir dans la restauration du fer.

Pierre Antoine Gatier a témoigné des hésitations du service des monuments historiques au XIXe siècle en ce qui concerne l'emploi du fer. Face à la généralisation du recours à celui-ci pour la consolidation des structures, la position de Viollet-le-Duc était d'en limiter l'emploi à des ouvrages provisoires. Le fer triomphera néanmoins à la fin du XIXe siècle avant de céder le pas au béton armé.

La conservation d'éléments en fer dans la ville : inventaire, conservation et usages

L'important travail de recensement des halles métalliques réalisé par Gilles Bailly aura permis de constater que malheureusement peu d'entre elles sont protégées. Il nous aura éclairés sur les différents modèles existants sur leur diffusion internationale et sur le fait qu'elles furent à la fois des lieux privilégiés d'innovations techniques, mais aussi de conservation des traditions pour les matériaux de remplissage.

Le plaidoyer de Michel Polge sur le rôle des Architectes des bâtiments de France face au patrimoine métallique nous aura confirmé le rôle quotidien important de ceux-ci dans le recensement, la connaissance et l'entretien de ce type d'ouvrage, même si les moyens mis en œuvre apparaissent insuffisants.

En conclusion il apparaît, à l'écoute des exposés de cette matinée, que la connaissance du patrimoine métallique a progressé.

Elle l'a fait grâce à un partenariat ouvert (historiens, architectes, ingénieurs, laboratoires...) et à des méthodes

efficaces (inventaire, études préalables...). Cette multiplicité de partenaires est le garant à mon sens de restaurations réussies.

Eric PALLOT
Architecte en chef des monuments historiques

Conclusion

Il me semble que les conclusions générales de ces rencontres peuvent s'articuler autour de deux idées majeures :

CES RENCONTRES CONSTITUENT UN INTÉRESSANT ÉTAT DES LIEUX DE NOS SAVOIRS ET SAVOIR-FAIRE

En effet, conformément à ce que nous attendions, elles ont permis :

- d'entendre des exposés scientifiques et techniques de haut niveau qui nous ont permis de faire le point sur l'état de nos connaissances de l'histoire des matériaux ferreux dans l'architecture, sur les techniques de détection d'analyse et de traitement des pathologies,
- de croiser nos différentes approches d'historiens, de chercheurs, d'architectes, d'ingénieurs, de praticiens : ce type de rencontres nous prouve s'il en était encore besoin, combien la conservation de notre patrimoine dépend de notre capacité à mettre en place et à entretenir en permanence une démarche interdisciplinaire, croisant savoirs et savoir-faire. Le sujet de ces journées techniques internationales, par sa spécificité, l'a mis en évidence d'une manière constante et particulièrement forte,
- d'enrichir nos expériences de celles de quelques-uns de nos collègues étrangers ; l'intérêt de ces apports dans le cadre de ce colloque nous renforce dans notre conviction que, sur le plan scientifique et technique comme dans le domaine des formations et des échanges d'expériences concrètes, cette collaboration internationale, dans laquelle la direction du patrimoine est déjà largement engagée, est absolument indispensable et doit être développée ; le réseau d'ICOMOS doit continuer à être largement sollicité comme il l'a été pour ce colloque,
- d'alimenter notre réflexion déontologique sur la compatibilité de certains modes d'intervention, de partis de restauration mettant en œuvre des procédés innovants ou des matériaux nouveaux, avec les exigences de maintien de l'authenticité du patrimoine ; les matériaux ferreux, en constante évolution technique au fil de l'histoire, nous posent ce problème avec une acuité particulièrement vive.

DANS LE MÊME TEMPS, CE COLLOQUE EST UN POINT DE DÉPART

- Il nous a certes permis de faire le point sur ce que nous savons, mais il nous a aussi fait prendre conscience de l'impérieuse nécessité de développer nos recherches dans

tous les domaines, et surtout de le faire dans cette interdisciplinarité qui se révèle si féconde.

- Il nous a également montré la nécessité de diffuser ces connaissances, tant à destination des architectes et praticiens en exercice qu'au profit de ceux qui sont encore en formation. Il faut absolument organiser le passage de l'innovation à l'enseignement de celle-ci. C'est pourquoi il est particulièrement intéressant qu'une école d'architecture, celle de Nancy en l'occurrence, ait été partie prenante de l'organisation de ce colloque, même si les circonstances n'ont pas permis à ses étudiants d'y participer de la manière dont son directeur l'avait initialement souhaité. La fonction recherche doit en effet être développée dans l'enseignement de l'architecture, notamment au niveau du troisième cycle. Et il est nécessaire qu'au sein des thèmes de recherche des écoles, une place grandissante soit faite à la conservation du bâti existant.

- Mais si l'association des étudiants à cette démarche me paraît essentielle, c'est surtout parce que le continuum entre l'architecture d'hier et celle de demain est une évidence que les travaux de ces journées techniques internationales ont rendu encore plus éclatante. L'exposé sur les gratte-ciel de Chicago en a été une illustration particulièrement frappante.

Ces rencontres sur le thème *Fontes, fers & aciers dans l'architecture* viennent donc particulièrement à point pour nous inciter à aller au bout de nos démarches actuelles, dans les trois axes majeurs qui sont les nôtres :

- développer nos démarches de recherche scientifique et technique, dans un dialogue constant avec les expérimentations de nos chantiers de restauration,
- étendre notre champ de réflexion et d'intervention de la conservation des monuments au traitement des ensembles patrimoniaux dont les Architectes des bâtiments de France ont le rôle si important et si délicat de maîtriser l'évolution,
- assurer l'épanouissement de la création architecturale contemporaine.

Je renouvelle mes remerciements à tous ceux grâce à qui ces journées techniques internationales ont pu se dérouler dans d'aussi bonnes conditions, notamment à nos collègues étrangers qui, par leur présence stimulante, nous incitent à renouveler régulièrement ce type d'échanges avec le support des réseaux d'ICOMOS.

Maryvonne de SAINT PULGENT
Directeur du patrimoine

Liste des participants

ABDULAC Samir, Directeur du CAUE d'Eure et Loir, Chartres
ABRAM Jo, Professeur, Ecole d'architecture de Nancy
ACHILLE Alice, Professeur, URA 1020 CNRS, Lille
ADAM-MOUTON Françoise, Architecte des bâtiments et jardins de l'Assemblée nationale
ALGRIN Thierry, Architecte en chef des monuments historiques
ARMINJON Catherine, Conservateur général du patrimoine, Caisse nationale des monuments historiques et des sites
BAILLY Gilles, Architecte-urbaniste
BAPTISTE Hervé, Architecte en chef des monuments historiques
BARITAUD Thierry, Conservation régionale des monuments historiques, Lorraine
BAROY Jean-Marie, Conservation régionale des monuments historiques, Lorraine
BARRÉ Christian, Gérant, SN SOCRA Sarl, Périgueux
BAUDA Pierre, Ingénieur, Direction des ouvrages d'art, Mairie de Paris
BELHOSTE Jean-François, Ingénieur de recherche, Sous-direction de l'inventaire
BERGERON Louis, Président du TICCIH (The international committee for the conservation of the industrial heritage)
BISCOP Jean-Luc, Conservateur régional des monuments historiques, Auvergne
BLONDEL Christine, Chef du service programmation, Conservation régionale des monuments historiques, Ile de France
BOITEL Robert, Membre de l'Académie d'Architecture
BOSSOUTROT Anne, Architecte, Paris
BOTTON François, Architecte en chef des monuments historiques
BOUCHÉ Nancy, Secrétaire générale de la section française de l'ICOMOS, Sous-directeur, Ministère de l'Équipement
BOULANGER Gabrielle, Etudiante, Ecole d'architecture de Nancy
BOURGER Isabelle, Chargée de mission patrimoine historique, Ville de Nancy
BOUTIN Edith, Chargée de communication, Ecole d'architecture de Nancy
BOUTOU Bernard, Conservation régionale des monuments historiques, Lorraine
BOUVET Mireille, Service régional de l'inventaire, Lorraine
BRADEL Vincent, Professeur, Ecole d'architecture de Nancy
BROU-POIRIER Isabelle, Architecte des bâtiments de France, Alpes-Maritimes
CABRILLAC Claude, Président du comité scientifique et technique au CEFRACOR (Centre français de l'anticorrosion)
CAILLIAU Agnès, Architecte des bâtiments de France
CARTIER Claudine, Conservateur du patrimoine
CHAMOURIN Martine, Documentaliste, Ecole d'architecture de Nancy
CHANTRE Philippe, Chef de la Mission technique et économique, Direction du patrimoine, Ministère de la Culture
CHATAURET Pierre, Architecte des bâtiments de France, Direction de l'architecture et de l'urbanisme
CLERMONT-JOLY Magdeleine, Conservateur, Musée de l'histoire du fer, Nancy-Jarville
COLEY Catherine, Archives modernes de l'architecture lorraine
COMMENGE Françoise, Architecte des bâtiments de France, Loiret
CONTY Louise, Architecte, L.C.A.P. Sarl, Sartrouville
DALSHEIMER Jean, Délégué régional Ile de France, Usinor Sacilor, Développement BTP
DAVID Gabriel, Directeur régional des formations, CAPEB Pays de la Loire, ARTEFAB Formation
DECAZES Louis, Chargé de mission, Section française de l'ICOMOS
DECOMPS Claire, Service régional de l'inventaire, Lorraine
DELAPORTE Jean, Directeur commercial Thomann-Hanry, Paris

DELUZE Jean-Marc, Directeur du Centre de culture scientifique, technique et industriel, Musée du bassin houiller lorrain
 DHÔTEL François, Architecte, Paris
 DINKEL René, Conservateur régional des monuments historiques, chargé de mission, Mission technique et économique, Direction du patrimoine
 DUCLERT Ariane, Journaliste (spécialisée patrimoine)
 DUFOIX Jean-Pierre, Architecte en chef des monuments historiques
 ESCHLIMANN Christophe, Directeur général Eschlimann SA, Fegersheim
 FALGA Bernard, Directeur régional des affaires culturelles, Lorraine
 FALK Lydie, Responsable du bulletin de liaison, Section française de l'ICOMOS
 FERAUGE Marc, Architecte, Choisy-Le-Roi
 FLUZIN Philippe, Directeur UPR AO423 CNRS, Belfort
 FONQUERNIE Bernard, Architecte en chef, Inspecteur général des monuments historiques
 FORRIERES Claude, Directeur d'Arc'Antique, Nantes
 FOWLER Eden, Ferronnier, Gérant Douarn-Inox Sarl, Douarnenez
 FRANCE-LANORD Thierry, Président directeur général, Entreprise Francé-Lanord et Bichaton, Heillecourt
 FRANKUM Jean-Paul, Architecte, Arles
 FRÉJAT Marie, Confédération de l'artisanat et des petites entreprises du bâtiment (CAPEB), Paris
 FREZOULS Jean-Marc, Responsable du laboratoire et des expertises, MECASEM, Ostwald
 FUCHS Jacques, Responsable de l'unité construction métallique, protection, anti-corrosion, Laboratoire régional des ponts et chaussées de Nancy
 GAILLARD Claude, 1er adjoint au Maire de Nancy, Député
 GATIER Pierre-Antoine, Président de la compagnie des architectes en chef des monuments historiques
 GAUTIER Nicolas, Architecte des bâtiments de France, Orne
 GIANIGHIAN Giorgio, Architecte, chercheur en restauration, Institut universitaire d'architecture de Venise, Italie
 GOUTAL Michel, Architecte en chef des monuments historiques
 GRADIS Bernadette, Secrétaire générale, Jeunesse & patrimoine international
 GRANDJEAN Denis, Adjoint au Maire de Nancy, Directeur de l'Ecole d'architecture de Nancy
 GRIGOLI Barbara, Ecole polytechnique de Turin, Italie
 GRUBERT Mireille, Architecte des bâtiments de France, Haute-Garonne
 GUENOUN Jean-Lucien, Architecte des bâtiments de France, Ardennes
 GUIBERT Jean-Michel, Architecte des bâtiments de France, Guadeloupe
 GUILLAUME Jacques, Service régional de l'inventaire, Lorraine
 HALLEUX Pierre, Directeur de l'Institut des constructions civiles, Université de Bruxelles, Belgique
 HANS Pierre-Xavier, Conservateur du patrimoine
 HENRY Nicolas, Directeur administratif, Atelier d'œuvres de forge, Hautefort
 HÖHMANN Rolf, Ingénieur au bureau d'archéologie industrielle de Darmstadt, Allemagne
 HONSEL Régis, Réviseur principal, Bureau Travaux et marchés, DRAC Poitou-Charentes
 HOYET Jean-Michel, Rédacteur en chef Techniques & architecture
 JACQUOT Evelyne, Documentaliste, Ecole d'architecture de Nancy
 JANTZEN Hélène, Chercheur chargée du repérage du patrimoine industriel, Conservation régionale de l'inventaire général, Ile de France
 JANTZEN Michel, Architecte en Chef et Inspecteur général des Monuments Historiques, Président de la Section française de l'ICOMOS
 JOUVE Ondine, Architecte, Conseil régional de Haute-Normandie
 KÜHL Beatriz, Architecte, Chercheur, Université catholique de Louvain, Belgique
 LAGNEAU Jean-François, Architecte en chef des monuments historiques
 LAMBERT Robert, Architecte, Division du patrimoine, Ministère de la Région Wallonne, Belgique
 LAURENT BRANCIER Françoise, Section française de l'ICOMOS
 LECHEN Marc, Paysagiste-Urbaniste, Responsable de l'Inventaire des parcs et jardins de Lorraine, Directeur CAUE Haute-Marne
 LEFÈVRE Daniel, Architecte en chef des monuments historiques
 LEJARRE Pascal, Architecte, Paris
 LEMOINE Bertrand, Architecte, Directeur de recherche CNRS
 LOUTREL Philippe, Ingénieur, Société LEFÈVRE, Chevilly Larue
 LOYER François, Directeur de recherche CNRS
 LUIGI Gilbert, Journaliste, correspondant Neuf, Bruxelles
 MANCHIN Daniel, Président de la CAPEB (Confédération de l'artisanat et des petites entreprises du bâtiment) de Haute-Marne
 MARIE-VICTOIRE Elisabeth, Ingénieur, Laboratoire de recherche des monuments historiques, Cercle des partenaires du patrimoine

MARTIN Régis, Architecte en chef des monuments historiques
 MAUPEOU Catherine de, Conservateur général du patrimoine, Inspecteur général des monuments historiques (pour la Lorraine)
 MAYER Jannie, Conservateur du patrimoine, Centre de recherche sur les monuments historiques, Paris
 MÉNARD Amélie, Assistante commerciale, Société LEFÈVRE-TELLIS, Chevilly Larue
 MENGEL Luc, Gérant Atelier 54 Vitraux, Saint Nicolas de Port
 MÉTRO Alexandre, Directeur du Centre d'études supérieures d'histoire et de conservation des monuments anciens
 MEZUREUX Nathalie, Architecte des bâtiments de France, Savoie
 MICAUX Marie-Hélène, Architecte du patrimoine
 MIGNERREY Pascal, Architecte des bâtiments de France, Haute Saône
 MINIER Marie, Architecte des bâtiments de France, Manche
 MOREAU Stéphane, Conservation régionale des monuments historiques, Lorraine
 MORTAMET Jean-Gabriel, Architecte en chef, Inspecteur général des monuments historiques
 MOUTON Benjamin, Architecte en chef, Inspecteur général des monuments historiques
 MULLER Pierre, Ingénieur, Laboratoire d'études des matériaux, Illkirch
 NISSER Marie, Professeur, Institut royal de technologie, Suède
 OGNOV Jacob, Atelier Perrault Frères, 49290 Saint Laurent de la Plaine
 PAILLARD Gérard, Professeur, Musée de l'Histoire du fer, Nancy-Jarville
 PALEM Patrick, Directeur technique, SN SOCRA Sarl, Périgueux
 PALLOT Eric, Architecte en chef des monuments historiques
 PALLOT-FROSSARD Isabelle, Directeur du Laboratoire de recherche des monuments historiques
 PASCAL Serge, Directeur général, Les Métalliers Champenois
 PATRÍCIO Teresa, Architecte-assistante, Centre R. Lemaire pour la conservation
 PAVY Michel, P.D.G. Entreprise Pavy SA, La Chapelle Saint Aubin
 PELLETIER Luc, SN SOCRA Sarl, Périgueux
 PENNEC Stéphane, Conservateur-restaurateur, LP3 Conservation, Semur en Auxois
 PENTCHEVA Rada, Responsable du département d'urbanisme, Ministère de l'Aménagement du Territoire et de la Construction, Bulgarie
 PERRAULT Jean, Atelier Perrault Frères, 49290 Saint Laurent de la Plaine
 PERROT Alain-Charles, Architecte en chef des monuments historiques
 PERSON Catherine, Journaliste, revue Monumental
 PETIT Yvon, Conservation régionale des monuments historiques, Lorraine
 PEYRE François, Architecte, Paris
 PIERROT Christian, Architecte des bâtiments de France, Chef du Service départemental de l'architecture de Perpignan
 PITRAS Françoise, Chargée de mission, Section française de l'ICOMOS
 POIRIER Jean-Pierre, Architecte, consultant pour le CAUE Haute Garonne
 POLGE Michel, Architecte des bâtiments de France, chargé de mission à la direction technique de l'ANAH
 PONCELET Etienne, Architecte en chef, Inspecteur général des monuments historiques
 PONSOT Patrick, Architecte en chef des monuments historiques
 PONTAUD Marie-Suzanne de, Architecte, Boulogne
 PORTIGLIA Hélène, Conseiller pour les musées, DRAC Lorraine
 RAHARINAIVO André, Ingénieur, Laboratoire central des ponts et chaussées
 REBIERE Jean-Louis, Architecte, Paris
 REBUT-SARDA Michel, Directeur adjoint du patrimoine, Sous-directeur des monuments historiques
 RÉMY Jean-Luc, Adjoint au conservateur, Musée de l'histoire du fer, Nancy-Jarville
 ROLLAND-VILLEMOT Bénédicte, Conservateur du patrimoine, Service de restauration des Musées de France
 SAINT PULGENT Maryvonne de, Directeur du patrimoine
 SALIN Hervé, Cadre commercial, Sté Générale d'Hydraulique et de Mécanique
 SALLÉ Alix, Journaliste, Monuments historiques
 SARTORIO Jean, Chargé de mission à la Direction de l'architecture et de l'urbanisme, en retraite
 SAUTAI Anne-Véronique, Documentaliste, Ecole d'architecture de Nancy
 SAUTAI Daniel, Conservateur régional des monuments historiques, Lorraine
 SCHMÜCKLE-MOLLARD Christiane, Architecte en chef des monuments historiques
 SEITZ Frédéric, Ingénieur de recherche EHESS
 SKALECKI Georg, Conservateur adjoint des monuments historiques de la Sarre, Allemagne
 SMARS Pierre, Assistant, Centre R. Lemaire pour la conservation
 STRÖM Marianne, Historienne d'art, Ecrivain, Paris
 TAILLANDIER Jean-Claude, Chargé de communication, Direction de l'architecture et de l'urbanisme, Ministère de l'Equipeement
 TAUPIN Jean-Louis, Architecte en chef des monuments historiques

TEXIER Annick, Ingénieur, Laboratoire de recherche des monuments historiques
THIÉBAUT Pascal, Service régional de l'inventaire, Lorraine
THORETTON Jean-Pierre, Architecte, Chelles
THOUIN Stéphane, Architecte en chef des monuments historiques
TOMASIN Aline, Conservateur régional des monuments historiques, Midi-Pyrénées
TORNATORE Jean-Louis, Conseiller pour l'ethnologie, DRAC Lorraine
TOURNOU Marthe, Section française de l'ICOMOS
VALLIÈRE Stéphane, Directeur CREFOP, Centre régional de formation aux techniques du patrimoine, Châlons-sur-Marne
VAN DER WEE Barbara, Architecte-maître de conférence, Centre R. Lemaire pour la conservation
VARIN François, Architecte, Heritage Canada
VINCENT Georges, PDG Fonderie Vincent, Brignais
VINCENT Jean-Marie, Inspecteur général du patrimoine
WAGNER Christophe, Architecte, Paris
WATTEL Marc, Architecte des bâtiments de France, Doubs
WEETS Françoise, Architecte des bâtiments de France, Paris
WEETS Olivier, Architecte des Bâtiments de France, SDA de la Haute-Marne
WERMUTH Jacques, Directeur général, Entreprise France-Lanord et Bichaton, Heillecourt
WIECZOREK Jean-Pierre, Architecte, Nancy
WILLAUME Martine, Service régional de l'archéologie, Lorraine

Achévé d'imprimer par Le Clavier
Novembre 1997
Dépôt légal n° 682