



LA RESTAURATION DE LA RAMPE DE L'EMPEREUR À L'OPÉRA GARNIER

AUTEURS : FLORENT MERLE, CHEF DE PROJETS, OPPIC - PASCAL PRUNET, ARCHITECTE EN CHEF DES MONUMENTS HISTORIQUES - MICHEL MOUSSARD, CONSULTANT GÉNIE CIVIL, ARCADIS

MODÈLE DE NOMBREUX OPÉRAS DANS LE MONDE, L'OPÉRA GARNIER FAIT L'OBJET D'UNE RESTAURATION COMPLÈTE QUI CONCERNE EN PARTICULIER LA RAMPE DE L'EMPEREUR, OUVRAGE COMPLEXE REPRENANT LE THÈME DES GRANDS DEGRÉS DU PALAIS DE LA CITÉ ET DE FONTAINEBLEAU. L'ASSOCIATION DES CONNAISSANCES ET SAVOIR-FAIRE DES ARCHITECTES, INGÉNIEURS, ARTISANS ET COMPAGNONS A PERMIS LA RESTITUTION DE CET OUVRAGE DANS SON ASPECT ORIGINAL, TOUT EN RENFORÇANT ET PÉRENNISANT SES STRUCTURES, EN FAISANT APPEL AUSSI À DES TECHNIQUES ET DES MATÉRIAUX DE NOTRE ÉPOQUE.

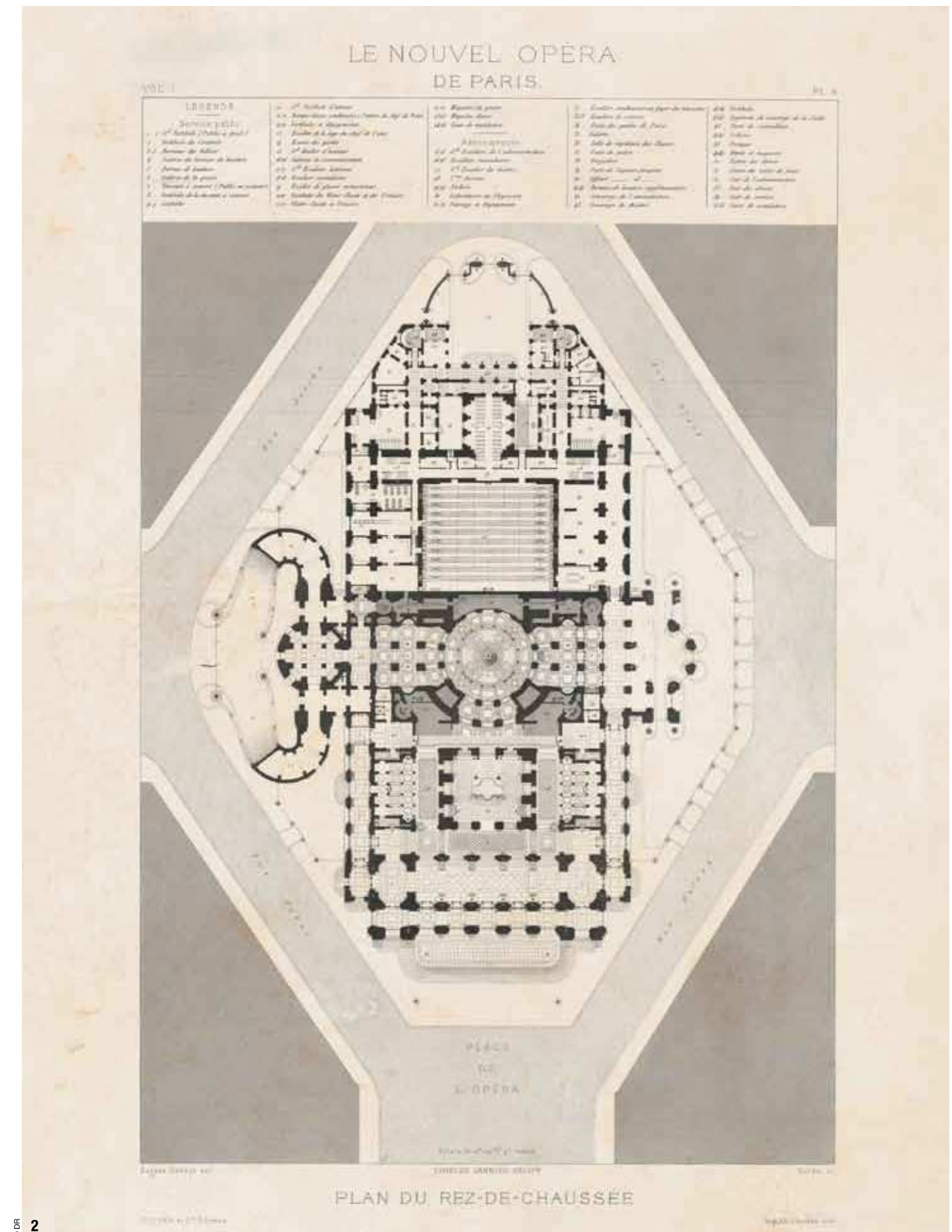
CONTEXTE DES TRAVAUX DE RESTAURATION DE L'OPÉRA GARNIER

Les abords ouest du Palais Garnier (figures 1, 2 et 3), situés entre la façade ouest et la chaussée (rues Scribe et Auber), présentaient un état de dégradation avancé depuis de nombreuses années (figure 4). La rampe de l'Empereur, déconstruite puis reconstruite lors des travaux d'installation du RER A,

était devenue instable et nécessitait une reprise complète de sa structure. Les éléments décoratifs périphériques (les cariatides, les colonnes rostrales, les colonnes impériales et les balustrades) constitués par différents types de marbre, de pierre de taille et de bronze étaient quant à eux très altérés. Ces besoins de restauration s'éten- daient également à l'ensemble des supports et appareils d'éclairage au

1- Façade latérale ouest. *Le Nouvel Opéra de Paris* Charles Garnier (1878).

pourtour des abords ouest et sur les rampes, dit « ceinture de lumière ». La restauration a consisté en une restitution à l'identique de l'original, dans la mesure du possible et des connaissances historiques, notamment pour la polychromie des marbres, des pierres et des métaux. Par ailleurs, les appareils d'éclairage, conçus pour être alimentés au gaz et aujourd'hui soumis aux règles de sécurité sur les appa-



2

reils électriques et l'éclairage public, ont nécessité d'importants travaux de mise en conformité. L'Opérateur du patrimoine et des projets immobiliers de la Culture (Oppic), établissement public administratif spécialisé dans la maîtrise d'ouvrage des équipements culturels et mandaté par le ministère de la Culture et de la Communication (MCC) pour mener la conduite des opérations de restauration du Palais Garnier,

2- Plan à rez-de-chaussée. *Le Nouvel Opéra de Paris* Charles Garnier (1878).

s'est chargé du pilotage des travaux. Ceux-ci ont démarré en septembre 2012 et ont été réceptionnés le 28 février 2014. Les abords ouest et la ceinture de lumière restaurés ont été inaugurés par la ministre de la Culture, Aurélie Filippetti, le 28 avril 2014. Le montant toutes dépenses confon- dues de l'opération s'est élevé à 6 240 000 euros, financés par le MCC/ Direction générale des patrimoines.

LES DÉSORDRES ET LA RESTAURATION DE LA RAMPE DE L'EMPEREUR

La « rampe de l'Empereur » est un ouvrage majestueux dont l'usage devait être réservé à Napoléon III et à son escorte, qui pouvaient ainsi accéder en voiture par la descente à couvert du Chef de l'État, située dans la rotonde ouest, puis par un escalier, aux salons du 1^{er} étage et à sa loge. ➤



3

© PASCAL PRUNET ARCHITECTE

Le plan des rampes est en forme de « S », leur géométrie répondant à plusieurs impératifs : une certaine ampleur pour permettre à la voiture et à son attelage de s'engager depuis la rue, ce qui explique en partie l'évasement des départs, la nécessité d'un développement permettant une pente praticable associée à celle d'entrer, puis de sortir de la rotonde parallèlement à la façade. L'ouvrage est constitué de deux murs d'échiffre en pierre de taille de grandes dimensions, comme partout à l'Opéra, dont l'élévation est rythmée par des pilastres. Ces murs portent des balustrades formant parapet, posées sur de fortes corniches rampantes, les balustrades étant scandées par des dés situés à l'aplomb des pilastres, destinés à recevoir les candélabres qui éclairent la rampe la nuit (figures 5 et 6). Entre les deux murs, l'espace interstitiel est constitué d'une suite d'alvéoles couvertes par des voûtes en berceau implantées selon le rayonnement du plan, ce qui leur donne une ouverture progressive de l'intrados à l'extrados des rampes. Ces voûtes, construites en trois épaisseurs de briques, s'appuient sur des arcs segmentaires également en brique, qui correspondent aux

pilastres de l'élévation et retombent à leur tour sur des piliers-contreforts en pierre de taille, fortement saillants à l'intérieur. Chaque arc est implanté plus bas que le précédent, suivant le profil de la rampe, ce qui donne des altitudes différentes aux appuis amont et aval des berceaux. L'extrados des voûtes est constitué par un remblai qui supporte

3- Façade Ouest.
4- État de dégradation avant travaux.



© PASCAL PRUNET ARCHITECTE

4

le pavage de la rampe et les deux trottoirs en granite qui le bordent. Les départs des rampes ne comportaient pas de voûtes, le pavage et les trottoirs étant posés sur remblai. Cet ouvrage, qui était très dégradé dès les années 30, les murs affectés de dévers et de fissures, a fait à cette époque l'objet de travaux de consolidation par injections de ciment dans les fondations, et construction de murs-refends sous les arcs, associés à des tirants reliant les murs d'échiffre de pilastre à pilastre (1934-36)⁽¹⁾. Les parements et les balustrades firent de nouveau l'objet de travaux en 1941 (rue Scribe), puis en 1949 et 1960, mais il s'agissait de reprises ponctuelles. Lors de la création du RER (1967-70), la rampe sud (rue Auber) a été reconstruite, la majeure partie des voûtes étant remplacée par des dalles, et les arcs par des poutres en béton, l'ensemble étant relié aux substructures du métro. Malgré toutes ces campagnes, l'état en 1990 était toujours mauvais, l'instabilité des balustrades provoquant une intervention de maintien par des câbles tendus. La quasi-totalité des balustres n'était plus d'origine.

DIAGNOSTIC

Les dégradations décrites concernent la rampe nord, celles de la rampe sud reconstruites en 1970 se limitant aux parties supérieures des murs, corniche rampante, balustrades, et aux sols, avec les mêmes symptômes mais plus réduits.

- Dévers du mur extérieur ;
- Fracturation des pierres de parement avec épaufures importantes et présence de croûtes noires (gypse) surtout dans les parties basses ; nombreuses reprises anciennes, bouchons et ragréages et rejointoiements au ciment ;
- Altération et décollement des joints, peut-être liés à des réactions gonflantes ciment-plâtre⁽²⁾ ;
- Désorganisation des balustrades malgré la pose d'agrafes en bronze, fractures au niveau de la lisse haute, résultant du glissement des celles-ci et de la corniche rampante sur leurs plans d'assise inclinés, mouvement de poussée au vide accentué et/ou provoqué par le dévers des murs et ouverture

importante des joints, avec entrées d'eau dans les maçonneries ;

- Dégradation des sols pavés et trottoirs, tassements et ouvertures des joints, infiltrations d'eaux pluviales ;
- Dégradation des voûtes et arcs, mais sans déformation, désagrégation des mortiers de joint notamment au niveau des reins, au contact des murs et contreforts intérieurs sous l'effet de l'humidité et des eaux de percolation, corrosion des tirants.

5- Balustrade et candélabre.
6- Rampe et candélabre.

Le diagnostic géotechnique sous la rampe Nord a conclu à l'absence de désordres au niveau des fondations⁽³⁾. Par contre, l'analyse des mortiers prélevés à l'intérieur des maçonneries a confirmé une présence d'eau importante, des taux élevés de sulfate, sous forme de gypse et de la thaumasite⁽⁴⁾, résultant probablement de l'association de ciment avec les mortiers d'origine. La composition et/ou l'évolution du mortier et les conditions environnementales avaient entraîné des réactions gonflantes qui sont une des causes de la dégradation des maçonneries.

PROGRAMME DE TRAVAUX

L'objectif de l'intervention a été, d'une part, de modifier le principe structurel de l'ouvrage, afin de réduire les poussées des voûtes et arcs sur les murs d'échiffre et de stabiliser ces derniers, d'autre part d'assurer l'étanchéité pour le mettre à l'abri des pénétrations d'eau, enfin de résoudre le problème du glissement des balustrades et de leurs supports.

Le reste de l'intervention concernait la restauration des parements en pierre de taille, les maçonneries et les ouvrages rapportés qui constituent le décor architectural et les support de l'éclairage, colonnes impériales en granite, candélabres rostres et lanternes en bronze⁽⁵⁾. Une dalle rampante portée par quatre poutres rayonnantes de mur à mur et par un chaînage entre appui pris en réserve sur l'emprise des corniches rampantes a permis de réaliser le premier objectif et d'envisager le démontage du cloisonnement et des tirants créés en 1936 (figure 7 et 8). L'ensemble a été coulé en place, des coffrages perdus biodégradables Biocofra étant utilisés pour les dalles. Des longrines ont été réalisées dans les parties en remblai pour recevoir la dalle (figure 9). La transition structurale avec la partie entre les rampes, pavée sur remblai, a été traitée par un géotextile armé. La corniche rampante a été accrochée au chaînage périphérique par des agrafes en fibre de verre, et les balustres par des goujons inox sur leur support et à la lisse haute. ➤



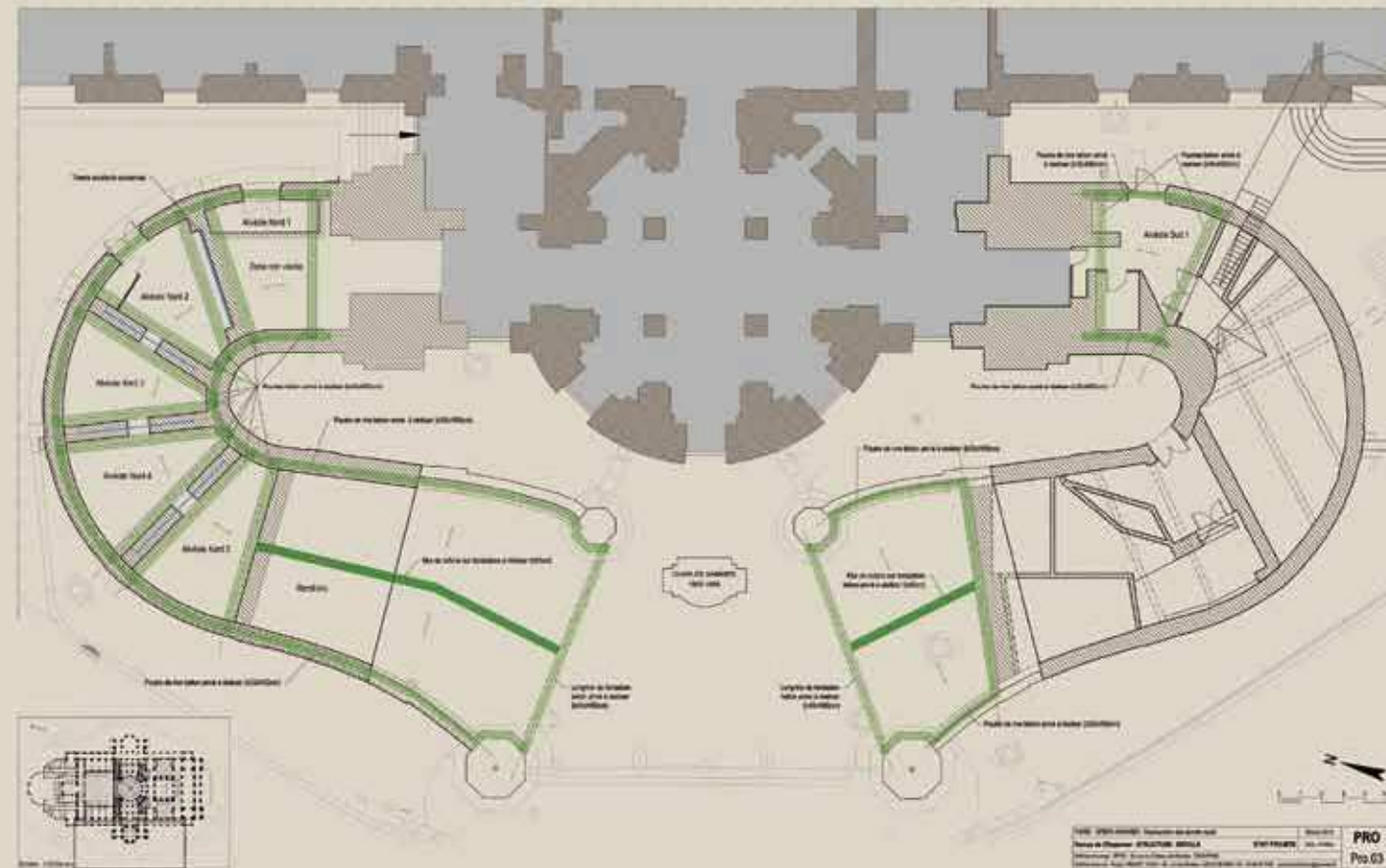
© PASCAL PRUNET ARCHITECTE

5



6

IMPLANTATION DES NOUVELLES STRUCTURES



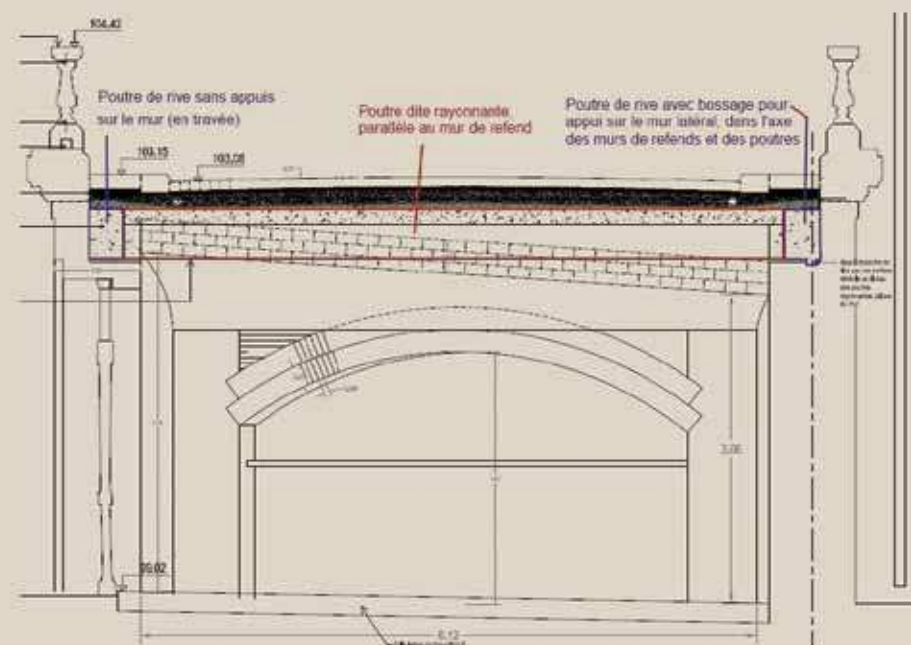
7

© ARCADIS

7- Implantation des nouvelles structures.
8- Coupe sur poutre rayonnante.

Sur cette dalle ont été successivement installés un complexe d'étanchéité adhérente compris relevé engravé dans la face arrière de la corniche rampante, un géotextile drainant pour collecter les eaux de percolation, puis posés le dallage du trottoir et le pavage de la chaussée selon leurs dispositions d'origine et sans modification de l'épaisseur globale. Les eaux du géotextile ont été reprises par un drain en pied de rampe.

COUPE SUR POUTRE RAYONNANTE



8

© ARCADIS

Les parements de pierre des murs d'échiffre ont fait l'objet d'importants remplacements, en reprenant autant que possible les natures de pierre d'origine, calcaires marbrier de Château-Landon (Souppes) pour l'assise de soubassement, calcaire de Ravières (Bourgogne) pour les dés, Les balustres en pierre de Comblanchien® et la lisse haute en pierre de Larrys (Bourgogne). Les parties saines des parements ont été conservées, en parement et en profondeur, et les mortiers dégradés purgés de façon à assainir les maçonneries.

Des coulis gravitaires de mortier de chaux ont redonné cohésion aux maçonneries de pierre et de brique, qui ont été rejointoyées au mortier de chaux hydraulique naturelle. L'ensemble des alvéoles voûtées sont de nouveau visibles et l'espace sous la rampe rétabli dans ses dispositions d'origine est de nouveau utilisable. Les travaux commencés par la rampe Nord, se sont poursuivis par la rampe Sud. Le démontage des sols a permis

de constater que la structure en béton recouvrait même la partie haute qui avait conservé son voûtement. Les travaux ont été les mêmes que pour la rampe Nord, à l'exception des structures qui n'ont pas nécessité d'intervention. Les espaces sous la rampe Sud sont soit des locaux techniques, soit un ensemble de galeries et de gaines en béton construites dans l'objectif inabouti de réaliser une liaison directe entre le métro et l'Opéra. Ils sont restés inchangés dans le cadre de cette opération.

9- Fabrication des poutres rayonnantes.

CONCEPTION DES NOUVELLES STRUCTURES PORTEUSES

Avant les travaux, la rampe Nord et la rampe Sud présentaient le même aspect extérieur. Toutefois, seule la rampe Nord avait conservé sa structure d'origine, la rampe Sud ayant été totalement déconstruite et reconstruite dans les années 1960, lors de la construction de la station Auber du RER A. Les deux rampes sont hélicoïdales. Dans la conception d'origine, la partie inférieure, qui part du niveau des rues Scribe et Auber, était constituée d'un remblai contenu latéralement par des murs en pierre de taille, alors que la partie supérieure reposait sur des refends rayonnants, constitués d'arcs à deux rangs de briques sur lesquels reposaient des voûtes en berceau, composées de trois rouleaux de briques. Ces voûtes recevaient un remblai d'épaisseur variable sur lequel reposait le pavage. L'ensemble de la structure porteuse était donc en briques, la pierre de taille étant utilisée

pour la maçonnerie des murs latéraux. Le diagnostic réalisé à la suite des investigations géotechniques de septembre 2011 a montré que les structures porteuses en briques et les fondations des rampes ne présentaient aucun désordre structurel, malgré quelques dégradations locales des briques dues à l'humidité et au vieillissement. Il en a été déduit que les dégradations et désorganisations constatées sur les maçonneries ne résultaient pas de tassements éventuels des fondations et que leur cause devait être recherchée avant tout dans la dégradation des matériaux, dans les réactions chimiques entre les joints et la pierre et dans les effets du milieu ambiant : effets des variations de température et de l'humidité en particulier. La géométrie originelle de la rampe avec courbes et contre-courbes, ainsi que les poussées au vide des arcs de refend ont pu induire des poussées au vide sur les murs extérieurs et entraîner des désordres, mais ceci n'a pas pu être démontré clairement et systématiquement.



9

© PASCAL PRUNET ARCHITECTE

Les désordres concernaient donc essentiellement les murs latéraux en pierre de taille de la rampe Nord ainsi que des balustrades des deux rampes.

RECONSTRUCTION DE LA RAMPE NORD

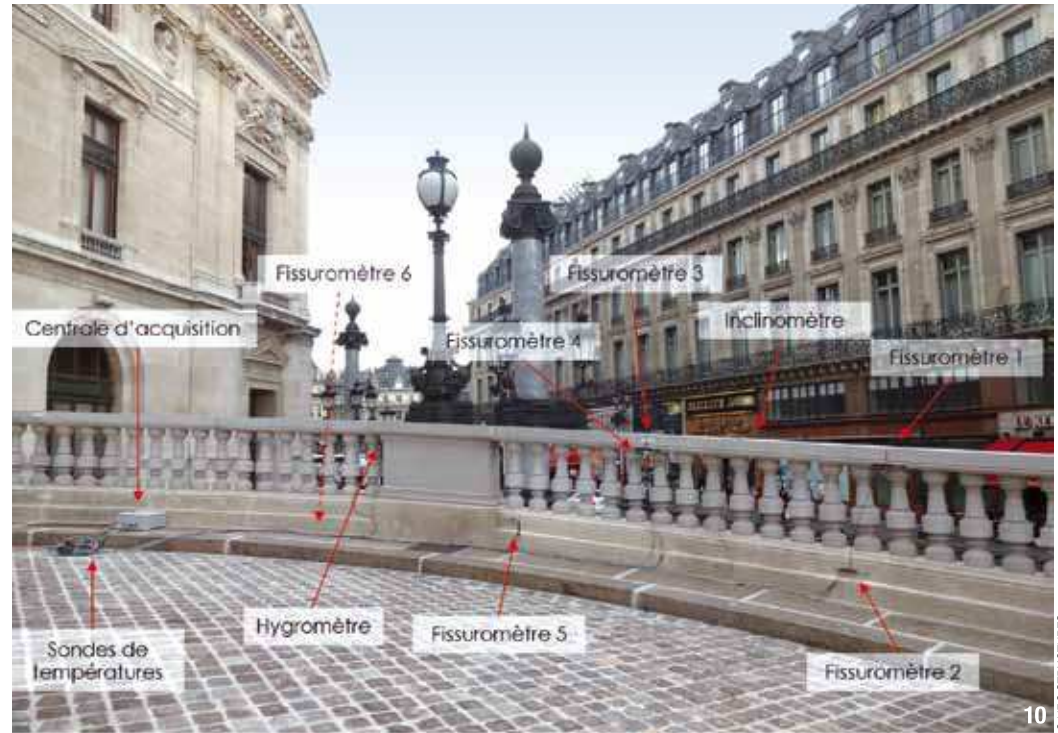
Afin d'assurer au mieux la pérennité de l'ouvrage, les structures porteuses en briques ont été remplacées par une dalle, reposant sur des poutres de rive et des poutres rayonnantes au droit des murs de refends, l'ensemble étant réalisé en béton armé.

10- Implantation des capteurs. 11- Corrélation entre variations de température et déformations.

Pour conserver la mémoire de l'ouvrage, les voûtes et arcs en briques ont toutefois été conservés, l'extrados des voûtes étant arasé en partie supérieure pour dégager l'espace nécessaire à la dalle. Cette dalle est prolongée vers la partie inférieure de la rampe où le

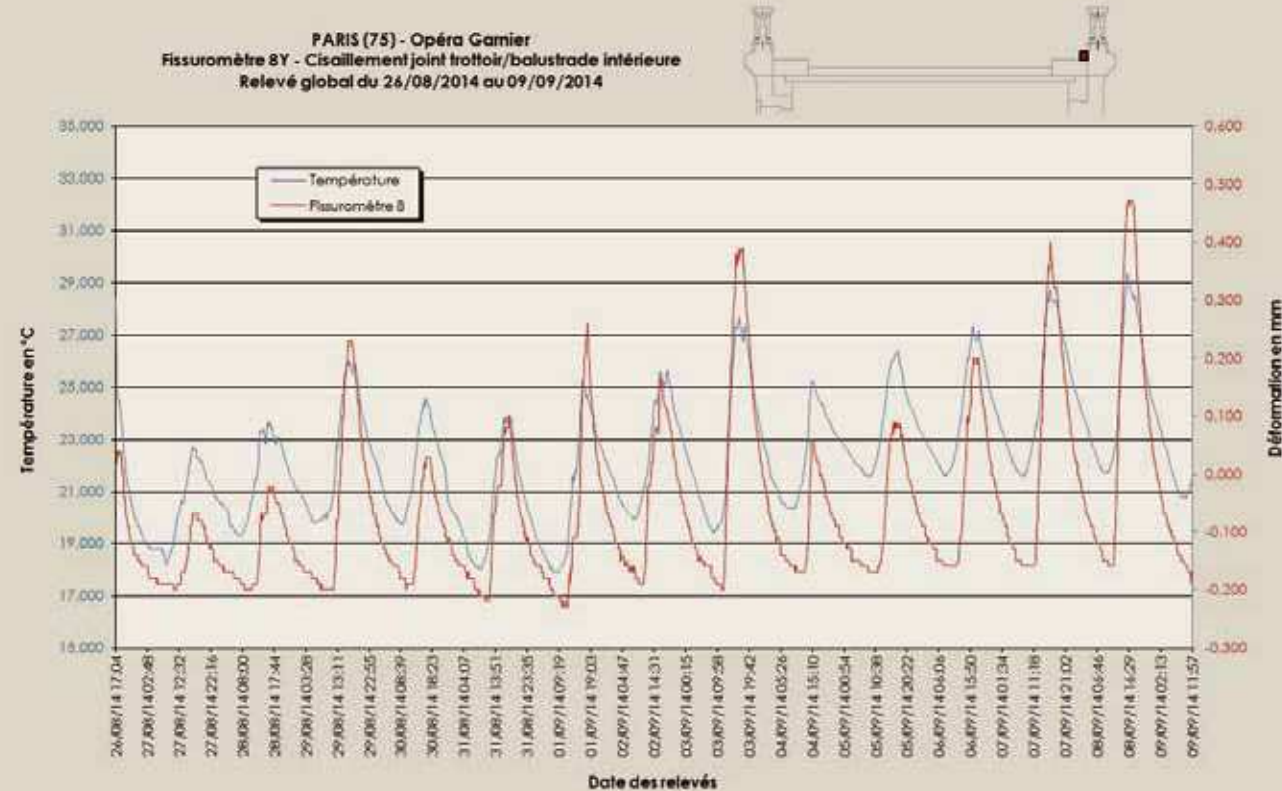
pavement reposait initialement sur un remblai. Dans cette partie elle repose sur les murs latéraux et sur un mur de refend central. Une étanchéité a été réalisée sur l'ensemble de la dalle, protégée par une chape armée sur laquelle est installé le pavage.

Cette dalle permet de répartir les charges et de les reporter directement au droit des murs latéraux, déchargeant ainsi les voûtes. Elle sert également de chaînage pour les murs latéraux et apporte de la rigidité à l'ensemble de la structure.



10 © UBC STRUCTURES

CORRÉLATION ENTRE VARIATIONS DE TEMPÉRATURE ET DÉFORMATIONS



11 © UBC STRUCTURES

Enfin elle sert de support à une étanchéité qui protège l'ouvrage des percolations d'eau provenant du pavage. L'ensemble de ces dispositions doit donc assurer la pérennité de l'ouvrage en stabilisant les maçonneries latérales et en protégeant les structures anciennes et nouvelles des infiltrations d'eau.

RECONSTRUCTION DE LA RAMPE SUD

Dans la partie centrale de la rampe Sud les structures en béton armé construites dans le cadre de la réalisation de la station Auber ont été conservées. Dans les parties hautes et basses, où subsistaient les structures d'origine, des dispositions identiques à celles de la rampe Nord ont été adoptées. De même que pour la rampe Nord, l'ensemble de l'ouvrage est revêtu d'un complexe d'étanchéité et d'un pavage, identiques à ceux de la rampe Nord.

PHÉNOMÈNES DE DILATATION DIFFÉRENTIELLE ENTRE DALLES ET PAVAGES

Fin avril 2014 des désordres ont été constatés à la périphérie des rampes Nord et Sud. Il s'agissait de glissements millimétriques vers l'extérieur des limons de couronnement des murs latéraux, se traduisant par des écaillages en tête des murs et d'ouvertures de joints dans les limons et dans les mains courantes des balustrades. Ces désordres concernaient l'ensemble des limons intérieurs et extérieurs, mais étaient particulièrement accentués dans la partie supérieure des limons extérieurs de la rampe Sud. Les ouvertures

de joints étaient de l'ordre du millimètre dans les limons et plus proches du centimètre dans les joints des mains courantes. L'observation de ces désordres a conduit à un diagnostic les attribuant à des dilatations différentielles entre la dalle et le pavage : d'une part sous l'effet de l'ensoleillement le pavage s'échauffe plus vite que la dalle qui est protégée par le pavage et de plus refroidie par le volume intérieur ; en se dilatant le pavage vient pousser sur les dalles en granite des trottoirs qui transmettent cette poussée aux limons. Les murs latéraux étant retenus par la dalle ne peuvent suivre le mouvement des limons : il y a donc glissement des limons vers l'extérieur. D'autre part il y a une différence de dilatation entre les trottoirs, en granite, et les limons, en calcaire, du fait de la différence entre le coefficient de dilatation du granite (de $6 \text{ à } 9 \times 10^{-6}$) et celui du calcaire (de $2 \text{ à } 6 \times 10^{-6}$), qui accentue légèrement la poussée des trottoirs sur les limons.

Enfin la plus grande ouverture des joints de la main courante par rapport aux joints des limons s'explique par un pivotement des limons autour de leur ancrage inférieur au mur qui les supporte, sous l'effet de la poussée des trottoirs qui s'exerce à trente centimètres environ au-dessus de ces ancrages, réalisés par des broches en fibre de verre. Les dalles de trottoirs se trouvant environ 30 cm au-dessus du point d'ancrage et les mains courantes environ 1,40 m au-dessus de ce point, le coefficient d'amplification est de l'ordre de

$1,4/0,3 = 4,6$, ce qui est cohérent avec la différence constatée entre les ouvertures de joints au niveau des limons, millimétriques, et les ouvertures de joints au niveau des mains courantes, de l'ordre du centimètre. Afin de confirmer ce diagnostic une campagne de mesures a été mise en œuvre à partir du mois de juin 2014, avec la pose dans la partie supérieure de la rampe Sud, le long du limon extérieur, de six fissuromètres, d'un inclinomètre, d'un hygromètre et de deux sondes de température de surface, l'ensemble étant relié à une centrale d'acquisition (figure 10). Ce dispositif a été complété fin août 2014 par la pose de deux fissuromètres et de cinq sondes de température, le long du limon intérieur situé en face de la zone déjà instrumentée. De juin à novembre 2014 les mesures ont été regroupées dans 24 relevés hebdomadaires.

D'une manière générale ces mesures ont permis de constater une corrélation systématique et précise entre les déformations et les variations quotidiennes de température. Un exemple en est donné par la figure 11. Les mesures ayant confirmé le diagnostic, il a été décidé de créer un joint de dilatation entre les limons et les trottoirs, pour empêcher la transmission des poussées. Les mesures faites après l'ouverture d'un premier joint dans la partie instrumentée ont permis de valider l'efficacité de cette disposition. □

- 1- Debat-Ponsant Architecte / procédé Roudio.
- 2- Les maçonneries de l'Opéra étaient majoritairement hourdées au mortier de plâtre (et chaux).
- 3- Investigations réalisées sous le contrôle d'ARCADIS.
- 4- Laboratoire ERM de Poitiers.
- 5- Cette partie spécifique du projet n'est pas développée dans le présent article.
- 6- En remplacement de la pierre de Saint-Ylle (Damparis-Jura).

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRE D'OUVRAGE : Oppic (Opérateur du Patrimoine et des Projets Immobiliers de la Culture)
MAÎTRE D'ŒUVRE : Pascal Prunet, Architecte en Chef des Monuments Historiques
ASSISTANT AU MAÎTRE D'ŒUVRE POUR LES STRUCTURES : Arcadis
ENTREPRISES :
 • Lots Maçonneries-Béton : Entreprise Lefebvre
 • Lot Pavage : Entreprise Chapelle
BUREAU D'ÉTUDES D'EXÉCUTION - STRUCTURES EN BÉTON : Ubc Structures
CAMPAGNES DE MESURES : Ubc Structures