

Texte de la 551^e conférence de l'Université de tous les savoirs donnée le 21 octobre 2004

Alain-Charles Perrot : « **Construction et rénovation du Grand-Palais** »

1900. Le centre de Paris s'offre un nouvel urbanisme et l'Exposition Universelle, qui se veut être un hymne à l'art, en fournit le prétexte.

Depuis l'incendie des Tuileries, 30 ans auparavant, la Présidence de la République s'est installée à l'Elysée, dans ce palais de la rive droite isolé de la rive gauche et qu'écrase la masse du Palais des Arts et de l'Industrie, immense bâtiment couvert d'une verrière, établi face au Palais de l'Elysée, le long de l'avenue des Champs Elysées.

Depuis 1893, un projet de ponts existe mais il se situe sur les flancs de l'esplanade des Invalides sur laquelle il est prévu de construire une gare.

Afin d'implanter l'Exposition Universelle de 1900, un vaste projet d'urbanisme est arrêté par le Commissaire Général de l'Exposition, Alfred Picard, en 1894, à l'issue d'un concours d'idées.

L'exposition sera organisée sur l'esplanade des Invalides ; un pont, permettant un accès solennel au Palais de l'Elysée, sera établi dans l'axe de l'Hôtel des Invalides, deux édifices seront construits sur la rive droite de la Seine de part et d'autre de cet axe, tout ceci impliquant la disparition du Palais des Arts et de l'Industrie.

Le Commissariat Général de l'Exposition va avoir la haute main sur le projet.

Il est dirigé par Alfred Picard,

- Ingénieur des Ponts et Chaussées,
- Directeur général des Ponts et Chaussées, des Mines et des Chemins de Fer au Ministère des Travaux Publics et
- Président de la Section des Travaux Publics au Conseil d'Etat.

Ce projet est arrêté en 1895 et un concours d'architecte est lancé pour la réalisation du futur Grand Palais des Arts destiné à recevoir les salons artistiques et à montrer, à l'occasion de cette Exposition Universelle, la capacité de l'industrie française.

Ces constructions - Pont Alexandre III, Petit Palais et Grand Palais - ont ainsi toujours été conçues comme des constructions pérennes et non comme les bâtiments éphémères pour l'Exposition.

En avril 1896, un concours d'architecte est lancé mais le jury, dans lequel siégeait Charles Garnier, ne parvint pas à départager quatre des concurrents, tous jugés excellents pour une part de leur conception.

C'est ainsi qu'à l'issue de longues mises au point, ces quatre concurrents furent retenus pour travailler ensemble, ou plutôt les uns à côté des autres, pour la réalisation de l'édifice.

Henri Adolphe Auguste DEGLANE, qui s'occupera plus spécialement de la nef, Louis Albert LOUVET pour le salon d'Honneur et le bâtiment qui le reçoit, là où se trouve actuellement l'entrée des Galeries Nationales, Albert Félix Théophile THOMAS plus particulièrement pour le Palais d'Antin et Charles Louis GIRAULT qui tente de donner une cohérence à cet ensemble.

Les travaux commencent en mars 1897 et, en 1900, le bâtiment était achevé, à l'exception de certains éléments pourtant importants comme les sculptures des chevaux de Georges Récipon, qui ne seront mis en place qu'en 1901.

Dès le programme du concours, le plan général du bâtiment avait été tracé.

Ce plan offrait une vaste verrière le long de l'axe du Pont Alexandre III, un bâtiment perpendiculaire liaisonnant un troisième corps situé le long de l'Avenue aujourd'hui Franklin Roosevelt qui s'appelait alors l'Avenue d'Antin.

A cette époque où la « fée électricité » ne régnait pas encore en maître, il fallait concevoir un édifice adapté pour l'exposition des tableaux et des sculptures.

Une verrière centrale, comme dans le palais précédent (Le palais de l'Industrie construit pour l'Exposition Universelle de 1855), devait recevoir les sculptures ; des galeries latérales au rez-de-chaussée et à l'étage largement éclairées par la verrière de la nef et les fenêtres latérales.

Les architectes conçurent une coupole au centre de la nef articulant une verrière perpendiculaire à celle-ci. Au fond de cette partie, que l'on appelle le *paddock*, il proposera un escalier d'honneur, donnant accès à une vaste salle, le salon d'honneur, lieu destiné à décerner les prix des salons, qui se prolongeait par un vaste hall elliptique couronné lui aussi d'une coupole et ouvrant sur l'avenue.

Un axe était ainsi créé entre les deux avenues. Le bâtiment s'ouvrant sur l'avenue Franklin Roosevelt, alors « Avenue d'Antin », fut appelé et se nomme toujours « le Palais d'Antin ». Il constituait l'une des entrées nobles du Grand Palais, moins lisible aujourd'hui du fait de l'implantation en 1937 du « Palais de la Découverte », au sein de cet édifice, qui bouleversa son architecture et sa lecture.

La grande verrière perpendiculaire à la Seine fait 200 mètres de longueur sur 40 de largeur et de 35 mètres de hauteur. Elle est réalisée avec une structure en acier.

Rappelons que la Tour Eiffel, dix ans auparavant était en fer.

Les charpentes étaient composées de lames d'acier rivetées entre elles afin de constituer les épaisseurs nécessaires pour supporter les efforts.

Ces charpentes, formant une voûte, s'appuient de chaque côté sur un dispositif de deux poteaux alignés : la pile extérieure travaille en compression, le poteau le plus intérieur pouvant subir des efforts de soulèvement, notamment selon l'effet du vent.

Ces poteaux reposent sur des fondations constituées d'un sommier métallique enrobé d'un massif central constitué de moellons de pierre et de béton de chaux de dimensions gigantesques (plus de 2 mètres de hauteur, 6 mètres de profondeur et 3 mètres de largeur).

Le sol étant de mauvaise qualité sur la partie la plus proche de la Seine, des poteaux en bois étaient mis en place sous ces fondations pour reprendre les efforts.

152 pieux de sapin étaient initialement prévus.

Il fallut 3 400 pieux de chêne de largeur variant de 6 à 11 m pour un diamètre de 25 cm.

Autour de la grande verrière, se déroulent des immeubles traditionnels, construits en pierre, qui se développent en périphérie pour former des galeries.

A l'intérieur du Palais d'Antin, de part et d'autre de la coupole elliptique, se développent deux escaliers d'honneur de grande portée, construits en béton par François Hennebique, mais habillés de pierre.

L'ensemble reçoit des décors allégoriques de céramique, de mosaïque et des allégories sculptées relatives à l'industrie et au commerce ainsi que les quadriges sculptés par Georges Récipon qui représentent « L'Harmonie triomphant de la Discorde » et « L'Immortalité devant le Temps ».

La date limite de fin de travaux devant être impérativement respectée, le chantier sera un lieu d'expérimentation pour les techniques de construction.

Sonnettes à vapeur pour enfoncer les pieux, chemin de fer pour acheminer les matériaux des berges de la Seine jusqu'au bâtiment, machine à vapeur actionnant les dynamos nécessaires pour les scies et pour le pont roulant mis en place pour transporter les pierres, grue pivotante sur rails à l'intérieur de la nef, échafaudage roulant sur des rails, le chantier du Grand Palais et du pont Alexandre III occupera 1 500 ouvriers.

Cependant, lors de l'inauguration, des nombreuses parties des installations intérieures n'étaient pas terminées et des économies dans le choix des matériaux ayant dû être faites, le Grand Palais apportera quelques déceptions aux visiteurs de l'Exposition.

Je vous indique le livre de Gilles Plum sur le Grand Palais*, historien qui fut associé à nos études, spécialiste du monument et dont j'ai « pillé » l'ouvrage pour cette présentation.

Destinés initialement aux expositions artistiques dès 1901, le Grand Palais recevra le premier « Salon de l'Automobile » puis en 1909 le « Salon de l'Aéronautique » dans le décor d'André Granet et, tout au long de son histoire, de multiples manifestations.

En 1937, lors de l'Exposition Universelle, est mis en place le « Palais de la Découverte » sous une idée de Jean Perrin, physicien prix Nobel. Prévu comme éphémère, ce palais eut un tel succès qu'il sera maintenu, comme vous le savez.

En 1993, lors de l'inauguration d'une exposition dédiée au design, un rivet se détacha de la nef et endommagea une des pièces présentées.

Le Ministre de la Culture et de la communication de l'époque, Jacques Toubon, après consultation de l'Architecte en Chef des Bâtiments Civils et Palais Nationaux en charge du Grand Palais, Jean-Loup Roubert, prend la décision de fermer le Grand Palais. Après une campagne d'un mois de travaux destinés à assurer la sécurité de leurs visiteurs, le Palais de la Découverte et les Galeries Nationales du Grand Palais ont en revanche ouvert leurs portes.

A l'époque, personne n'imaginait une longue fermeture.

Après une première étude conduite par l'Architecte et la Serete, l'équipe de maîtrise d'œuvre est constituée pour réaliser le projet. C'est la Setec qui déterminera avec Jean-Loup Roubert le projet définitif pour mettre fin aux désordres en traitant les fondations de l'édifice, la structure de la nef ainsi que la grande verrière. En 1997, j'ai pris la succession de Jean-Loup Roubert, qui arrivait à l'âge fatidique de la retraite administrative, et c'est ainsi qu'avec lui, j'ai conduit le chantier qui se termine aujourd'hui.

La rupture des rivets était en fait le résultat de plusieurs phénomènes qui se cumulaient. Tout d'abord, les mouvements des bâtiments ainsi que les poteaux de la structure de la nef côté Seine qui s'enfonçaient et qui tiraient sur les membrures de la verrière.

En second lieu, les déformations de la charpente au cours du XX^e siècle, liées à des charges suspendues ou accrochées à celle-ci lors des expositions.

Enfin, en relation avec le point précédent, la très faible élasticité de l'acier de l'époque qui a la même résistance qu'aujourd'hui, mais qui se déformait très facilement sans reprendre ensuite sa forme initiale

En réalité, dès sa construction, le Grand Palais a posé des problèmes de structure dus à l'hétérogénéité du sol sur lequel il est construit. Côté Nord, un sol très résistant avec des points durs constitue les fondations de l'ancien Palais des Arts et de l'Industrie qui ont été conservées et qui coupent la nef.

Côté Sud, au contraire, un sol de mauvaise qualité constitué par des alluvions de la Seine. C'est dans cette zone que furent mis en œuvre les pieux lors de la construction et, tout au long du XX^{ème} siècle, cette partie du bâtiment fut l'objet de travaux par injection de béton la plupart du temps.

Les travaux des berges et des voiries ont participé à abaisser la nappe phréatique, les têtes de pieux, sorties de l'eau, ont pourri et disparu. Lors des études qui ont été menées, de véritables vides étaient décelés sous les fondations de la nef.

Il s'agissait, pour traiter ces désordres, de descendre les fondations jusqu'au bon sol, c'est-à-dire à quinze mètres de profondeur. Plutôt que de réaliser des fondations sous celles qui existaient et de se retrouver dans l'embarras des pieux, il fut retenu le principe d'une paroi moulée (pour la partie sud de la nef et pour les piliers du dôme), qui suit les massifs de fondation de la nef et les entourent.

Cette paroi est coulée en béton jusqu'au bon sol (calcaire grossier). Au-dessus d'elle, à la hauteur des massifs de fondations, deux poutres en béton viennent serrer le massif de fondation ancien et s'appuient sur les parois moulées. Les efforts sont ainsi reportés du massif ancien aux poutres et des poutres à la paroi jusqu'au bon sol.

Les bâtiments périphériques en pierre, ainsi que la nef Nord, furent eux aussi repris au niveau de leurs fondations avec le système de *jet grouting* qui consiste à descendre une sorte d'épingle dans le sol, envoyer de la vapeur dans le sol pour écarter les particules qui le constituent puis d'envoyer sous pression un coulis de ciment spécial qui ainsi se mélange avec la terre et transforme le sol médiocre en une colonne très résistante.

Une fois les fondations stabilisées, il était possible de reprendre la structure de la verrière. Certains éléments présentaient des déformations inacceptables du fait des mouvements du sol mais aussi des charges qui ont été suspendues lors des manifestations organisées dans la nef durant tout le XX^e siècle sur cette charpente. L'acier utilisé étant très peu élastique, les déformations se sont accumulées au fil des années.

Pour pouvoir changer ces éléments de structure en acier formant les voûtes de la verrière et la coupole, il était nécessaire de supprimer les efforts qui s'appliquaient sur cette structure. La Setec a conçu un gigantesque tabouret qui fut construit sous la coupole de la nef et qui montait à plus de 35 mètres de hauteur ; cet étai étant fondé sur des pieux forés jusqu'à 15 mètres de profondeur pour ne pas s'enfoncer. Au sommet, 55 vérins étaient disposés sous les moulures de la charpente afin de soulever celle-ci de quelques millimètres et ainsi supprimer les efforts de compression sur les éléments à changer. Ce qui fut fait.

La coupole fut soulevée, la structure décompressée, les poutrelles déformées furent déposées et remplacées par des fers à l'identique.

Je dis bien à l'identique car il s'agissait non pas de remettre en état l'édifice mais d'une restauration. Nous avons pour cela tous les éléments de connaissance puisque les plans d'exécution et les attachements des entreprises sont conservés mais il fallait avoir la volonté dans le respect du détail. Ainsi, les profils (des plaques d'acier) aujourd'hui ont des angles vifs que ne possédaient pas les profils anciens et nous avons demandé aux entreprises de respecter ces anciens profils. Ce qui fut fait en retrouvant l'utilisation d'ancienne filière.

La structure du Grand Palais est composée d'éléments de métal rivetés entre eux. Certains rivets devaient être refaits, certaines plaques d'acier, altérées, devaient être changées et recevoir, conformément à l'origine, leurs rivets. Il a été changé aux environs de 20 000 rivets, suivant les techniques traditionnelles. Seul l'arc électrique a transformé la forge pour chauffer les rivets.

Je vous rappelle comment se fait la pose d'un rivet : le rivet au départ se présente comme un gros clou. On chauffe ce clou au fer rouge puis on l'enfile rapidement le rivet dans le trou destiné à le recevoir pratiqué dans les plaques d'acier juxtaposées qui doivent être assemblées. Dès que le rivet, toujours rouge et donc malléable est mis en place, on bloque d'un côté la tête du rivet avec une forme en bois que l'on maintient et de l'autre on martèle la pointe avec une forme en demie sphère pour arrondir l'extrémité tant qu'elle est molle.

Puis, le rivet en refroidissant se contracte et vient serrer les plaques d'acier si fort qu'il n'y a aucun espace entre elles, que l'air ne pénètre pas et que la rouille ne vient pas s'instaurer. Autrefois, les rivets étaient forgés à la main, aujourd'hui ils sont chauffés à l'électricité et martelés au marteau pneumatique.

La structure, repeinte plusieurs fois, présentait diverses nuances, plutôt grises, et était le plus souvent réalisé avec des peintures au plomb.

Elle fut totalement décapée par sablage avec des contraintes de confinement draconiennes (récupération des poudres, filtres de celle-ci) pour extraire les poudres de la peinture au plomb et les évacuer, tous les compagnons travaillant en scaphandre pour ce travail.

Un travail de recherche fut mené pour retrouver la couleur originelle de cette structure. Les textes indiquant « vert réséda pâle », quelle était exactement cette couleur ?

L'entreprise de peinture retrouva un nuancier daté de 1900 de la marque Ripolin où figuraient les pastilles de vert réséda pâle, moyen et foncé.

De plus, sous les plaques sur lesquelles les fabricants avaient noté leur nom, l'on retrouva cette même couleur.

Des analyses de pigments furent menées et tout cet ensemble de données nous permit de faire fabriquer cette couleur très précisément identique à celle d'origine.

Alors qu'initialement le changement des verres n'avait pas été envisagé, afin d'assurer aux personnes chargées de l'entretien de la verrière la sécurité réglementaire, il fallait mettre en œuvre du verre feuilleté.

La décision ayant été prise de changer les verres, je me suis beaucoup investi afin d'obtenir les crédits nécessaires pour revenir au rythme des verres d'origine qui avait été modifié dans les années 1960. Ce rythme reprenait la trame de la structure de l'édifice, venait la diviser en cohérence avec tous les éléments de construction et rendait ainsi lisible la force de l'architecture du monument. Les travaux ont permis de rétablir ce rythme oublié et contribuent énormément à la lisibilité de la verrière.

Lors du débat sur les dimensions des verres, il me fut opposé qu'il était vain de rechercher les proportions d'origine puisque les profilés que l'on utilisait pour tenir les verres étaient différents et que de toute façon l'aspect de la verrière ne serait pas celui d'origine. En effet, les profilés qui soutiennent les verres aujourd'hui sont des profilés en aluminium auto-drainants.

Les profils d'origine étaient des fers en T et les verres étaient fixés au mastic. Toutefois, la largeur des profilés actuels reprend la largeur des T d'origine. Sa couleur, lorsque la brillance aura terni, sera identique. Seule, l'épaisseur est plus importante aujourd'hui mais elle ne se voit pas. Notons au passage, que la légèreté de l'aluminium a permis de mettre en œuvre un verre plus épais, donc plus lourd sans rajouter de poids par rapport à celui de la verrière d'origine.

Le second élément déterminant fut le choix du verre. A la construction, il avait été utilisé du verre armé de petits fils de métal intégrés dans le verre. Ce matériau n'étant plus acceptable au regard de la sécurité, il fallait choisir un verre feuilleté qui pouvait offrir le même aspect. Après de multiples essais, c'est le verre transparent qui se rapprochait le plus du verre d'origine. Mais il apparaît qu'en masse la transparence obtenue est supérieure à celle qui a dû exister. Et nous nous félicitons de ce petit plus.

La verrière de la nef et du *paddock* du Grand Palais est scandée par des membrures qui correspondent aux fermes de la charpente métallique. La coupole est surmontée par un lanterion qui supporte la hampe du gigantesque drapeau qui doit se développer à son sommet. Tous ces éléments sont en zinc. Avant notre restauration de simple feuille de zinc les habillaient mais le dessin et les photos d'origine nous indiquaient que ces éléments étaient ornés de motifs décoratifs. Effet de tresse et de corde, billettes et fleurs donnaient à ces décors d'architecture une vibration que nous nous sommes attachés à rétablir.

Il a donc été fabriqué à nouveau les moules nécessaires qui, placés dans de grosses pierres à emboutir, viennent estamper le zinc et lui confère les volumes et les formes désirées.

En parallèle à ces travaux, les sculptures des quadriges de Georges Récipon ornant les angles Sud Est et Nord Est du Grand Palais ont été déposés, restaurés puis remis en place.

Ces extraordinaires sculptures qui ornent les extrémités des verrières par ces chevaux pleins de mouvement, suspendues en encorbellement au dessus du vide devaient être restaurées.

Ces statues sont réalisées en cuivre. Il s'agit de plaques de cuivre martelé sur les moules réalisés par le sculpteur. Ces plaques sont assemblées par des rivets sur une structure en fer qui épouse la forme de la structure, à l'intérieur de celle-ci. L'ensemble est soutenu par des poutrelles en fer, scellées dans le massif des maçonneries de l'édifice. Les poutrelles primaires ont été déposées afin d'extraire le squelette de fer (ou crinoline) qui soutient les plaques de cuivre car c'est ce fer qui rouille et fragilise les œuvres. Puis les plaques de cuivre ont été remontées. Celles-ci étaient parfois altérées, par des trous de balles qui sont la trace de la Libération de Paris mais aussi du temps. L'une des difficultés était de nettoyer ces sculptures en conservant la patine verte qui les caractérisait. Des amas de crasse, des coulures noires devaient être supprimées mais la magnifique patine naturelle devait être conservées et complètes. Notons au passage qu'initialement ces sculptures devaient être patinées en couleur brune mais l'aspect « chocolat » qu'elles avaient alors à l'époque, était jugé si maladroit qu'elles avaient été décapées. La patine naturelle s'est alors formée et elle était si belle qu'elle avait été conservée (**fig. 1**).

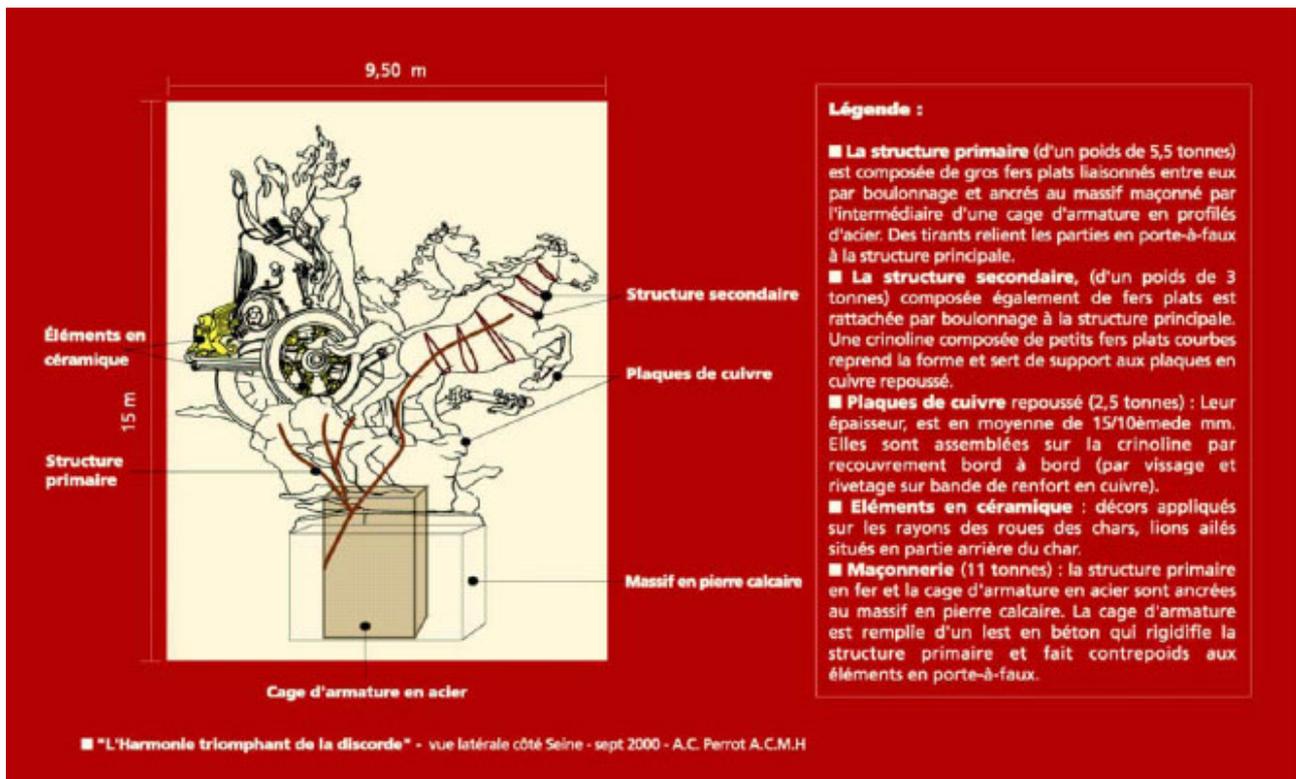


fig. 1

L'Harmonie triomphant de la discorde

Pour terminer, je vais vous donner quelques chiffres qui montrent l'ampleur de ces travaux.

Il a été réalisé 9200 mètres carrés de parois moulées dans le sol, 2500 mètres cubes d'assise en béton, 30 000 mètres, 30 kilomètres de forage.

La charpente en acier qui a été restaurée représente 700 tonnes sur une masse d'acier mise en œuvre au Grand Palais de 7 000 tonnes, le même poids à peu de choses près que la Tour Eiffel et le Grand Stade de France.

Les verrières qui ont été refaites représentent quant à elles 14 900 mètres carrés complétés par 3 500 mètres carrés de couverture en zinc, 1 300 mètres linéaires de chéneaux en plomb et 2 300 mètres carrés en zinc estampé.

Le coût de cette première phase représente 72,3 millions d'euros.

Ces travaux payés à 100 % par le Ministère de la Culture ont été exécutés sous la maîtrise d'ouvrage de l'Emoc (établissement de maîtrise ouvrage des travaux culturels).

Quel est le rôle d'un Architecte en Chef des Monuments Historiques dans une opération de ce type ? Libéral, choisi par concours, éthique. Interprète d'œuvre par rapport au compositeur.

Les travaux vont se poursuivre l'année prochaine sur les façades.

Le programme d'aménagement de l'intérieur du Grand Palais n'est pas encore arrêté mais il est probable que, sans attendre ces travaux, le Grand Palais rouvrira ses portes pour des événements et manifestations qui viendront se loger dans l'état actuel du monument dans quelques mois, c'est-à-dire, nous l'espérons, au printemps prochain.

REFERENCE

Gilles PLUM *Le Grand Palais. L'aventure du Palais des Beaux-arts*. Edition : RMN. Paris 1993.

FICHE**Restauration du Grand Palais**

Maîtrise d'ouvrage Ministère de la Culture et de la Communication,
Direction de l'architecture et du patrimoine

*Ces travaux de restauration sont entièrement financés par l'Etat,
le Ministère de la culture et de la communication*

Mandat de maîtrise d'ouvrage

ÉMOC, Etablissement public de maîtrise d'ouvrage des travaux culturels

Assistance à la maîtrise d'ouvrage - Bureau de contrôle : SOCOTEC

- Coordination sécurité et protection de la santé : Jacobs Serete
- Ordonnancement pilotage coordination : Planitec BTP.

Maîtrise d'œuvre - Architecte mandataire : Alain-Charles Perrot, architecte en Chef
des Monuments Historiques.

- Architecte : Jean Loup Roubert, architecte en Chef des Bâtiments Civils
et Palais nationaux.
- Concepteur technique : SETEC
- Economiste : Fernand Tomasina, vérificateur des Monuments historiques

**Les entreprises Confortation des fondations / restauration de la verrière, des charpentes
métalliques et des éléments de toiture :**

Lot 1 : gros oeuvre fondations

- Mandataire : Soletanche Bachy.
- Spie SCGPM
- Spie Fondations
- SMET TS

Lot 2 : charpente métallique verrières

- Eiffel

Lot 3 : couverture métallerie

- mandataire : SA Toitures Petit & Fils
- Galozzi entreprises
- Miede et Piollet Entreprise SA
- Van Mullem

Lot 4 : pierre de taille

- Quelin

Restauration des Quadriges de Récipon :

- Ateliers d'œuvre de Forge et Socra SNC : ferronnerie d'art, serrurerie, métallerie
et restauration statuaire cuivre.
- Entreprise Degaine : maçonnerie, pierre de taille
- Entreprise Mills : échafaudage

Nature des travaux

Les travaux ont été décomposés, dans un premier temps, en deux phases :

La première phase traite des points les plus urgents :

- **Confortation des fondations** de la partie sud (essentiellement sur pieux bois) et **des fondations de la nef**. Des travaux de réalisation de parois moulées (9 200 m²), et d'assises en béton (2 500 m³), jet grouting : colonnes de béton de sol (30 000 m linéaires de forage).
- **Réparation complète des charpentes métalliques de la nef** (700 tonnes d'acier et 110 000 m² de surface peinte), réparations des verrières (14 900 m²).
- **Réparations concomitantes des éléments de toitures et de verrières** touchées par le chantier (3 500 m² de couverture zinc, 1 300 m linéaires de chéneaux en plomb, 2 300 m linéaires d'ornementation en zinc estampé)
- **Restauration des quadriges de Georges Récipon.**

La deuxième phase traitera des restaurations des façades, des autres éléments de toiture, des éléments sculptés, des mosaïques, ainsi que des compléments de confortation de fondations.

Budget prévisionnel 124,9 M € (dont 72,3 M€ pour la première phase)