



Le chantier de restauration de l'amphithéâtre d'Arles, déjà évoqué dans nos colonnes, a redémarré au mois de janvier 2008, pour la poursuite des travaux concernant la couronne extérieure. C'est la quatrième étape de ce chantier placé sous la responsabilité d'Alain Charles Perrot, Architecte en Chef des Monuments Historiques. Ce chantier a été scindé, jusqu'à aujourd'hui, en une étude préalable (phase 0 : années 2001-2002) puis en trois tranches distinctes :

- Phase 1 : restauration des travées 52 à 46, entre septembre 2002 et novembre 2003,
- Phase 2 : travées 34 à 45, entre octobre 2004 et avril 2006,
- Phase 3 : travées 22 à 33, depuis janvier 2008.

La phase 4 de ce programme est prévue à partir de début 2009 et concernera les travées 10 à 21.

techniques de laboratoire et mesures non destructives appliquées au suivi d'un chantier exceptionnel

par François Martin,
Gilles Martinet (L.E.R.M.)
et Claude Gargi

Au-delà des problématiques techniques diverses qui sont exposées dans cet article, cet exceptionnel chantier est d'autant plus complexe et intéressant qu'il doit se dérouler sans interruption tout au long de l'année en tenant compte du fonctionnement touristique quotidien

du site (monument ouvert au public) mais également de l'important programme évènementiel de ce dernier (corridas, spectacles taurins ou manifestations diverses). Pour situer les difficultés de cette restauration Alain-Charles Perrot, l'A.C.M.H. du chantier rappelle que *"l'amphithéâtre est une ruine et que l'on doit la conserver du mieux possible en l'état, en freinant parallèlement les nouvelles altérations..."*

Refaire à neuf serait sans doute beaucoup plus simple, au moins sur le plan technique, mais comme le souligne Bouzid Sabeg, directeur du patrimoine de la ville d'Arles, *"les Arlésiens n'apprécient pas lorsque les restaurations donnent trop l'impression de neuf..."*



Monument majeur de la ville, l'amphithéâtre a été édifié à partir du 1er siècle après JC. De forme elliptique, il est caractérisé par une façade composée de deux niveaux de soixante arcades en plein cintre, construites en grand appareil. L'amphithéâtre classé dès 1840, bénéficia alors de plusieurs campagnes de restauration : de 1845 à 1853, de 1853 à 1900 puis au XXe siècle. Aujourd'hui, le site est en activité tout au long de l'année : visite, spectacles taurins, concerts, défilés traditionnels...

Les acteurs

Pour l'actuelle phase dudit chantier, et la prochaine, les travaux ont été confiés à Europe Echafaudage, Puigrodon et enfin aux entreprises Sele et Tollis concernant le lot principal, à savoir : maçonnerie, pierre de taille, ragréages, nettoyage de la pierre et confortement de la structure.

Il est à noter que certains acteurs (Sele) étaient déjà présents lors des précédentes tranches. La maîtrise d'ouvrage a été confiée à AREA PACA, au nom de la Ville d'Arles, propriétaire du monument.

L'atout majeur de ce chantier exceptionnel est de suivre un fil conducteur cohérent depuis l'étude préalable d'une part, menée sur une pile, et d'autre part sur le premier chantier test («7 travées prototypes» : phase 1). Les différentes orientations prises et les principes de restauration retenus au cours de ces phasages distincts, ainsi que sur les suivants, permettent aujourd'hui d'avoir un chantier «qui roule» et qui s'appuie sur les résultats et le retour d'expérience acquis au fil des travaux réalisés. *“Face au bâti, nous sommes en recherche perpétuelle reprend Alain-Charles Perrot. Nous devons garder une certaine humilité et bien comprendre que nous faisons de notre mieux, afin de maintenir un niveau d'exigence élevé.”*

A ce niveau, Bouzid Sabeg, contribue indiscutablement, de par son expérience et ses compétences techniques, au bon respect des exigences. Il constitue, de plus, une présence et un relais très apprécié par Alain-Charles Perrot. L'une des autres manières de conserver cette cohérence est de travailler avec des partenaires expérimentés et familiers du chantier. L'un des garants de cette continuité est le LERM (Laboratoire d'Etudes et de Recherches sur les Matériaux



Réunion de chantier avec Alain Charles-Perrot A.C.M.H. (à gauche) et Bouzid Sabeg, directeur du patrimoine de la ville d'Arles (au premier plan).

basés en Arles), qui a été missionné, à la suite des précédentes études effectuées, afin d'assister la maîtrise d'œuvre d'un point de vue technique et de contrôler les travaux effectués. L'opportunité d'associer étroitement et en temps réel, études in situ et travaux, soit un laboratoire et des entreprises, garantit le suivi et la justesse des options retenues dans le cadre de cette restauration majeure.

Les travaux

Concernant le lot principal, les différentes étapes se succédant sur le chantier sont les suivantes :

1. traitement des parements au biocide afin d'éliminer toute végétation qui aujourd'hui dénature l'édifice ;
2. nettoyage des parements par hydrogommage à l'aide d'une poudre à base de silicates. Les différents paramètres de traitement des surfaces (distance de travail, pression de projection...) font l'objet d'une série d'essais et

d'échanges entre l'entreprise et le laboratoire ;
3. relevé archéologique. Avant toute intervention sur le monument (changement de pierre, ragréage, orientation technique...), un relevé archéologique est effectué afin d'éclairer l'architecte sur les dispositions d'origine, l'aider à arrêter les choix définitifs sur le monument et ne pas dénaturer les traces d'origine ;
4. réalisation d'un dessalement préalable au ragréage par l'entreprise Tollis, des zones sur lesquelles le mortier de comblement sera mis en œuvre afin d'éviter la remontée de sels et/ou l'apparition de cristallisations superficielles suite à la mise en œuvre du ragréage ;
5. application d'un mortier de ragréage formulé sur une base minérale et dont les propriétés générales physiques et chimiques sont proches de celles matériaux en œuvre. Il est à noter que

ce mortier est également caractérisé par une composante esthétique importante, dans la mesure où il est se présente sous la forme d'une palette de couleurs : gris, blanc, lie de vin, ocre, jaune... afin de s'adapter aux différentes teintes des pierres en œuvre ;
6. dépose puis remplacement des éléments en pierre présentant un état d'altération trop avancé ;
7. restitution des éléments antiques à savoir : dalles du promenoir et garde-corps de la galerie du 1er niveau. Les dalles du promenoir ont, comme le mortier de ragréage, été spécifiquement conçues pour le chantier ; elles ont également fait l'objet de moulage dont l'empreinte de la peau a été prise sur le carreau de la carrière de Fontvieille, afin de présenter un rendu aussi proche que possible que celui des pierres anciennes. Pour les besoins de l'entreprise



Refoulement des pierres avant leur changement.



Dessalement par application de compresses par l'entreprise Tollis.



Promenade sur l'un des plus grands chantiers de restauration actuellement en cours en France.



Photo Henri-Luc Cazes

Pose d'une corniche neuve.

Sele, des matériaux à très hautes résistances mécaniques ont été formulés par la société Arkheia, spécialiste de la création de produits minéraux à performances adaptées.

L'intervention du laboratoire

Comme lors des précédentes tranches de travaux, le rôle du LERM se décompose essentiellement en trois axes majeurs :

- *contrôle des pierres de remplacement, choix du faciès à retenir, traçabilité, définition des paramètres physiques :*

Le laboratoire a pour mission de sélectionner, avec le carrier, le faciès retenu puis de contrôler l'ensemble des blocs extraits du front de taille. Suite à la mise en place d'une traçabilité, permettant de suivre un élément débité jusque sur le chantier lors de la pose, les pierres extraites sont soumises à un ensemble d'essais dans le but d'une part de vérifier leurs caractéristiques physiques, mais également de repérer d'éventuelles hétérogénéités au cœur du bloc. Ceci fait appel à des appareillages spécifiquement développés et mis au point par le LERM, consistant d'une part à utiliser la réflectométrie radar dont les ondes sont réfléchies par les discontinuités des éléments auscultés, et d'autre part la mesure de la vitesse de propagation des ondes soniques.

La présence de discontinuités, de fissures, de



Le mortier de ragréage prêt à l'emploi, a été spécifiquement formulé pour ce chantier.



Eléments de corniche en attente sur le chantier.



Alain-Charles Perrot vérifie la qualité du moulage des dalles du promenoir réalisées en béton fibré.

défauts ou d'hétérogénéités éventuelles entraîne alors la mise à l'écart du bloc référencé. Parallèlement les principales caractéristiques physiques (porosité, masse volumique, capillarité, résistance mécanique en compression) du faciès calcaire retenu, ont été définies et comparées d'une part aux valeurs cibles attendues et demandées dans le CCTP, et d'autre part aux précédents résultats obtenus lors des phases 1 et 2 du chantier de restauration.

Cette méthodologie de contrôle et de suivi, validée et approuvée par le carrier et les entreprises, fonctionne depuis le démarrage du chantier et garantit ainsi une homogénéité en terme de qualité de pierre et une rigueur indispensable au bon suivi du chantier.

- *assistance aux entreprises en ce qui concerne le traitement par hydrogommage :*

Comme lors des phasages précédents, la principale mission du laboratoire consiste d'une part à déterminer la nature et le degré de pollution des pierres en œuvre (encroûtement superficiel noir), et d'autre part de valider l'état de surface des parements après traitement. Il est important de noter que l'aspect esthétique n'est pas le seul critère de validation retenu, mais bien entendu l'abaissement du taux de pollution (principalement de nature sulfatique) et l'état de conservation du parement calcaire. Comme lors de toute étape de diagnostic dans une problématique de pollution sur un support de type pierre calcaire, les essais réalisés per-

mettant de connaître la nature chimique et minéralogique de manière qualitative et quantitative des éléments en présence : dosages de sels solubles, analyse minéralogique par diffraction des rayons X, examens macroscopiques (loupe binoculaire) et microscopiques (Microscope Electronique à Balayage).

- assistance aux entreprises en ce qui concerne le traitement des parements lors du ragréage :

L'étape de ragréage des pierres en œuvre constitue une des étapes clés de la restauration globale de la couronne extérieure de l'Amphithéâtre d'Arles.

A la demande de l'Architecte en Chef, le laboratoire a pour mission de contrôler les produits mis en œuvre : comme le suivi des pierres de remplacement, l'objectif principal des tests réalisés est de vérifier, afin de ne pas créer de

points durs et/ou d'incompatibilité chimique, que le produit rapporté présente des caractéristiques physiques, minéralogiques et chimiques en adéquation avec celles du support. Suite à la proposition d'un nouveau produit de ragréage par le restaurateur, les différents essais et contrôles ont ainsi permis d'écarter successivement deux formulations de mortier, lesquelles présentaient en particulier un taux de sulfates relativement élevé, associé à l'existence d'espèces minérales pouvant présenter un caractère instable dans le temps. Le produit susceptible d'être retenu a donc été spécifiquement reformulé et les essais de validation chimique et minéralogique sont actuellement en cours.

Encore une fois, la présence d'un laboratoire sur un tel chantier et la collaboration entre les



Les partenaires du chantier en réunion autour d'Alain-Charles Perrot, A.C.M.H. du chantier, dont Gilles Martinet (L.E.R.M.), et Yves Masseboeuf (Sele).



Auscultation radar en cours de réalisation sur un bloc de pierre de Fontvieille, par un technicien du L.E.R.M.



Les blocs de pierre de Fontvieille préparés sur le carreau de la carrière exploitée par les Carrières de Provence.

différents acteurs prennent ici toute leur importance, dans la mesure où l'objectif final est de « cristalliser » le monument dans sa configuration actuelle et, à l'aide du mortier de ragréage, de redessiner et de sculpter les pierres d'origine ainsi que de stopper ou ralentir les processus d'altération des supports calcaires.

Comme l'a souligné Alain-Charles Perrot, "nous travaillons pour le long terme et les contraintes d'un tel chantier ne sont pas toujours facilement compatibles avec l'obligation de pérennité et de qualité qui doit accompagner cette restauration, même si tout le monde, propriétaire, maître d'ouvrage, et entreprises, reconnaissent cette exigence." C'est là que le rôle de l'Architecte en Chef est primordial, puisque c'est lui qui doit piloter le chantier en prenant en compte tous les paramètres, non seulement techniques et esthétiques, mais

aussi liés à l'environnement et à l'usage du monument.

Et vous pouvez compter sur Alain-Charles Perrot pour le rappeler à tout le monde si le besoin s'en fait sentir...



Nettoyage par hydrogommage à l'intérieur de la galerie.



L'échafaudage est aussi un élément important dans la conduite du chantier de restauration.

Le LERM : 20 ans de diagnostics

Créé en 1988, le Laboratoire d'Etudes et de Recherches sur les Matériaux, centre d'études et de recherche indépendant, travaille depuis plus de 20 ans dans les domaines du patrimoine et du bâti ancien ou contemporain. Il est dirigé aujourd'hui par Gilles Martinet et Bernard Quénéée.

Fort de ses connaissances en chimie des liants, en minéralogie, en géologie ainsi qu'en caractérisations physiques et en investigations non destructives, le LERM s'est très vite attaché à jouer un rôle majeur dans le diagnostic et le conseil auprès des maîtres d'œuvre et d'ouvrage du secteur des monuments historiques. Les méthodologies d'approche, le couplage des méthodes, les compétences développées et l'expérience accumulée font du LERM, un professionnel reconnu du diagnostic, du conseil et de l'innovation au service des matériaux minéraux et des ouvrages et constructions anciennes, actuelles et futures.

Quelques unes de ses références :

Cité Radieuse Le Corbusier (Marseille) ; Unité d'Habitation et église St-Pierre Le Corbusier (Firminy) ;

Cloître Saint Trophime (Arles) ; Maison Carrée (Nîmes) ; Cathédrale paléochrétienne (Arles) ; Glanum Les Antiques (Saint Rémy de Provence) ; Cathédrale de la Major (Marseille) ; Dôme du Val de Grâce (Paris) ; Musée du Louvre (Paris) ; Eglise Saint Sulpice (Paris) ; Eglise Saint Pierre (Caen) ; Site romain (Dougga - Tunisie) ; Palais de Justice et Escalier Monumental (Auch) ; Ambassade de France (Téhéran) ; Théâtre antique (Orange) ; Temple de Basgo (Ladakh - Inde).

