

L'AQUEDUC ROMAIN DE SÉGOVIE

FRANCISCO JURADO JIMÉNEZ, architecte <http://www.franciscojurado.es/>

RÉSUMÉ

Dans cet article sont recueillis les réflexions et travaux de l'auteur pendant les études préalables et direction des travaux de restauration réalisés depuis 1992 jusqu'à l'an 2000.

Cet article peut être consulté avec une grande profusion d'images à l'adresse web:
<http://traianus.rediris.es/textos/segovia.htm>

INTRODUCTION

L'Aqueduc de Ségovie est le travail de génie civil romain le plus important de l'Espagne. À son importance **historique** il faut y ajouter sa valeur **esthétique** et **monumentale**, due, essentiellement, à l'inoubliable impact visuel que sa contemplation depuis presque n'importe quel angle provoque... Néanmoins la partie visible n'est plus qu'une petite travée de tout un complexe hydraulique dont on peut suivre la trace presque à sa totalité. La valeur **archéologique** est évidente, pas seulement de la conduction enterrée mais de celle aérienne. D'un autre côté, cette construction, jusqu'à il y a pas trop longtemps, fut en usage et sa caractéristique **fonctionnelle** a duré pendant ses presque deux millénaires d'existence, question qui a eu un poids important pour sa survivance intégrale.

D'autre part, l'Aqueduc, à différence d'autres constructions similaires, a donné la vie au cours des siècles à un centre urbain qui, en grande partie, s'est formé sous sa référence (importante caractéristique **urbaine**). C'est à dire, il ne s'agit pas d'un reste du passé mieux ou moins bien conservé qui est resté au marge du développement de la ville, il ne s'agit pas d'un monument mort qui ne peut qu'être contemplé comme un objet de musée et vénéré par son importance historique. L'aqueduc romain est l'élément distinctif de Ségovie, pas seulement parce qu'il la traverse totalement mais aussi parce que la ville ne serait pas la ville, ni dans sa physionomie ni dans son activité, sans cet attribut permanent. En plus de toutes les caractéristiques énoncées, peut-être les plus importantes sont, surtout pour les habitants de Ségovie, les **culturelles** et les **patrimoniales**.

À la lumière de l'importance de cette construction c'est complètement explicable que, face à la moindre voix d'alarme (été 1992), surtout en tenant compte du prestige académique et scientifique de ceux qui réalisent des plaintes et des rapports, des réponses immédiates se produisent, d'autant de la part des médias que de la part du citoyen ordinaire ou des responsables de la tutelle de l'ensemble¹.

¹ Il serait intéressant se souvenir ici de nouvelles à la presse dans ces dates, ou se mélangeaient des plaintes et des interpellations politiques même.

Quel est le **plan de travail** que l'on doit suivre? Comme pour n'importe quelle construction historique, il faut faire les démarches suivantes:

- 1°) **Rassembler et étudier** toute l'information préalable disponible
- 2°) Réaliser les **études préalables** nécessaires pour connaître l'état actuel
- 3°) **Diagnostiquer** les problèmes existants et leurs causes
- 4°) Proposer une **intervention** si nécessaire
- 5°) Réaliser un **suiti** vérifiant le caractère effectif de l'intervention

Le parallélisme médical est évident: rassembler le dossier clinique, réaliser auscultations et analyses, diagnostiquer la maladie, prescrire un traitement y vérifier l'amélioration du malade².

Les deux premiers points sont évidents et immédiats et, en fait, la Direction Générale de Patrimoine et Promotion Culturelle du Conseil Régional de Castille-et-Leon commence à les développer "d'office", avant même de notre arrivée à la fin de 1992³. Nous, en accord avec les travaux commencés, élargîmes encore le spectre d'essais et études, en tenant en compte les moyens économiques disponibles, jamais tout à fait proportionnels à l'importance de la construction.

En obtenant toute l'information existante sur l'Aqueduc, nous pouvons élaborer l'historiel de la construction. Photographies, gravures, planimétries anciennes et modernes ; textes de caractère historique ou documentaire; information archéologique, révision d'interventions modernes, etc., tout cela nous permet d'observer et analyser, d'une façon critique logiquement, l'évolution de la détérioration et les modifications que la construction ait pu subir. En réalisant le plus d'études possibles nous pouvons établir une diagnose fiable, scientifique et précise de l'état réel de l'ensemble⁴.

² Le sous-titre du livre *Instituzioni di Restauro dei beni architettonici e ambientali*, du professeur GIUSEPPE ROCCHI (Hoepli, Milano 1990) pratiquement énumère ces points : "Cause - Accertamenti - Diagnosi - Prevenzione - Interventi - Collaudi".

³ La réalisation des premiers étaielements et échafaudages, la commande d'un contrôle oculaire avec grue des piles 50 à 118 et le début de la compilation du matériel existant, en relation avec l'Aqueduc, furent les premières opérations mises en marche par les Services Techniques du Conseil Régional.

⁴ En plus des mémoires du Plan Directeur et successifs Projets de Restauration rédigés, toutes les études préalables ont fait l'objet de différentes publications, entre autres:

- FRANCISCO JURADO et alt. "Acueducto de Segovia: Estado de la cuestión". *Revista de Obras Públicas*. Madrid, juin 1993. pp. 19 a 33.
- FRANCISCO JURADO *El acueducto de Segovia*. IV Simposi sobre Restauració Monumental Restaurar o Conservar ?. Diputació de Barcelona 1993, pp. 267 a 275
- Ibid. "El Acueducto de Segovia". *Foro del Patrimonio Histórico*. Fundación Cultural Banesto. Madrid, 1994 pp. 141 a 169
- Ibid. "Acueducto de Segovia: Documentos para una restauración". *Restauración & Rehabilitación*. Madrid, 1994, pp. 17 a 31
- Ibid. "El acueducto de Segovia". *Informes de la Construcción n.437*. Madrid, mai-juin 1995 pp 5 a 31
- Ibid. "Roman aqueduct of Segovia". Structural analysis of historical constructions. Possibilities of numerical and experimental techniques. Barcelona, 1997, pp 307 a 340.

Cependant, il ne s'agit pas de rassembler des études de toute manière, mais de rechercher sur tous les aspects qui nous conduisent, de façon plus rapide et fiable, vers la diagnose et les propositions d'intervention⁵. Dans ce sens sont essentielles le travail et la responsabilité du directeur des travaux qui doit réaliser une **analyse critique**, en utilisant ce qu'en terminologie médicale se dénommerait "**oeil clinique**" (le compas dans l'œil), dérivé normalement d'une bonne dose de connaissances et expérience. La somme de beaucoup de spécialistes travaillant en parallèle n'est pas garantie de succès et ce doit être la tâche de la direction des travaux de déterminer vers où se dirige la recherche, le calibrage réel et objectif des maux qui affectent le monument et la proposition des actions mesurées et posées.

Les premiers plans utilisés dans les travaux furent réalisés par notre bureau, en base à photogrammétries partielles préalables, plans de la ville de Ségovie et mesures propres. On a même réalisé des hypothèses de dépeçage intérieur des piles (disposition de pierres de taille non visibles) qui furent corroborées plus tard grâce à l'utilisation d'endoscopies et l'extraction de quelques témoins. Cependant, la nécessité d'avoir une photogrammétrie détaillée de la totalité de l'Aqueduc était évidente⁶. La photogrammétrie peut s'utiliser pour faire des plans plus ou moins attractifs du monument à restaurer, en douant le travail d'un caractère scientifique, par contre notre avis fut l'utiliser pour ordonner l'information : chaque pierre de taille devint un bloc d'information auquel sont associées les entités qui les définissent ainsi qu'un fiche d'information. De même, nous établîmes les critères pour avoir une nomenclature définitive, avec seulement huit chiffres, de chacune des pierres de taille. On inclut aussi une représentation schématique de chaque pierre de taille pour permettre des visualisations rapides de zones grandes.

La connaissance du "nom" de chaque pierre de taille permet l'emmagasiner ordonné de toute l'information. La photogrammétrie tridimensionnelle ne sert par uniquement pour faire des plans dans les projets, mais elle devient aussi l'"input" et l'"output" graphique de toutes les bases de données qui se réalisent, autant numériques (dommages, données mesurées, pathologies, analyses...) que graphiques (photographies anciennes, gravures d'intérêt, photographies actuelles avant et après intervenir...).

Nous pouvons affirmer, sans intention de nous tromper, que dans peu de documents on a utilisé la photogrammétrie tridimensionnelle avec les possibilités de profit qu'on a ici, même pas dans les cas où on démonte une construction pour ensuite la monter à nouveau.

⁵ Par exemple, depuis 1986 on réalise des mesures périodiques, à la charge d'autres techniciens, en essayant de détecter des mouvements saisonniers, cependant, jusqu'à la réalisation en décembre 1993 la campagne de mesures conçue par nous, mettant sous monitoring pendant vingt-quatre heures avec des fortes différences de température, on n'a pas pu détecter certains mouvements de réarrangement entre pierres de taille face aux changements de température.

⁶ Le Conseil Régional de Castille-et-Leon commanda, à la fin de 1993, à l'entreprise Latorre&Cámara, la réalisation des travaux de champ et l'ultérieure restitution d'une photogrammétrie tridimensionnelle de la totalité de l'Aqueduc.

CAUSES DE LA DÉTÉRIORATION

On arrive ainsi à l'important point d'établir la **diagnose** de l'Aqueduc, conclusion de tous les travaux antérieurs et d'un an d'essais et études ad hoc. Ici, la responsabilité du directeur des travaux est totale, puisque, à la vue des problèmes détectés, une appréciation démesurée peut dériver en une excessive intervention postérieure ou, au contraire, enlever de l'importance aux résultats des études peut condamner le monument à la ruine face à l'absence de traitements à temps

Les dommages actuels de l'Aqueduc se résument à deux mots: **dégradations environnmentales**, avec toutes les nuances que ceci entraîne.

En effet, pendant toute l'existence de l'Aqueduc on a distingué des **détériorations naturelles**, certaines dues à l'action d'oiseaux et plantes enracinées entre ses pierres de taille⁷, d'autres dues à l'action de l'humidité, gelées et forts changements thermiques, et toujours, inévitablement, les dommages produits par l'homme, depuis la proximité et même l'adossement de ses logements, par les séquelles qu'ils produisent, jusqu'à les altérations dues à des périodes de guerre ou à des tentatives de réparations.

Toutes ces circonstances nous laissent un aqueduc à la fin du XIX^e siècle avec l'aspect d'ancien, mais aussi de solide et presque éternel⁸. Cependant les derniers cent ans de **milieu plus pollué** ont provoqué une importante accélération de la détérioration des pierres de taille⁹, comme se dégage de toutes les études réalisées.

Pour tout le monde il semble évident aujourd'hui quel est l'état actuel de l'Aqueduc et quelles sont les causes de ses dommages (surtout après l'avoir entendu à plusieurs reprises dans les médias), mais beaucoup d'affirmations banales sont éronnées¹⁰ et avoir rejeté cette cause-ci ou cette cause-là additionnelle est fruit des recherches réalisées, et non pas d'intuitions plus ou moins heureuses.

Essentiellement on dégage des études lithologiques réalisés qu'il existe une **vieillesse** du granit qui compose l'Aqueduc (comparé avec un autre similaire encore sans extraire il y aurait une relation de qualité de 1 à 3) et une spéciale sensibilité à l'**attaque acide**.

⁷ N'importe quelle gravure du XVIII^e siècle nous présente un Aqueduc plein de végétations.

⁸ C'est très difficile de discerner dans les photographies de la fin du XIX^e siècle, que nous avons rassemblées pendant les études initiales, s'il y a des saletés éternelles ou noircissements par allumage de feu sous les arcs, pourtant on peut bien apprécier, avec plus de netteté que l'on peut faire aujourd'hui, le traitement des arêtes d'arcs et piles.

⁹ On pouvait observer des pierres de taille apparemment sains dans leur texture superficielle (ils conservent encore le traitement originel de leur faces grâce à « escafilado » et les fentes pour qu'elles puissent être hissées avec le crochet ou tenailles métalliques) mais avec d'importantes fissures superficielles et éboulements à ses faces.

¹⁰ L'affirmation de que les vibrations de la circulation ont pu contribuer à la détérioration de l'Aqueduc n'est pas correcte, comme on a pu vérifier après les auscultations dynamiques réalisées.

La même chose se passe avec le comportement structurel et l'état de sécurité de cette construction, où les comparaisons avec un "château de cartes"¹¹ ou avec une construction éternelle¹² sont extrêmes et incorrectes. Toutes les études sur la structure de l'Aqueduc que nous avons dirigés¹³ nous permettent maintenant d'assumer des décisions avec totale connaissance de cause: **nous savons de la solidité dans l'ensemble, mais nous connaissons la fragilité en termes locaux**. Nous savons que son poids propre et l'action éolique ne lui produisent pas des détériorations directement, mais que l'eau entre les joints et l'altération des contacts entre pierres de taille provoquent par contre des ruptures de pierres de taille. Nous avons appris à attendre, avant d'intervenir, à voir l'évolution des forts écroulements existants à certaines piles. Nous avons constaté que certaines pierres de taille peuvent "disparaître" sans que la structure globale soit en danger, alors que la détérioration d'autres (voussoirs en arcs supérieurs, par exemple) provoque des déformations et glissements dangereux qui peuvent provoquer la ruine en partie des arcades...

Même si on peut être accusés de simplistes, nous pouvons affirmer que **le patient n'est pas mort mais il est malade**, et notre devoir est de le guérir ou, du moins, de l'apaiser. Mais sommes nous arrivés à temps?... Peut-être qu'il faudra beaucoup nuancer cette question dans le cas des constructions historiques. Nous sommes à temps si elle n'a pas disparu, mais la maladie est attrapée¹⁴.

¹¹ En fait, dans l'été de 1992, avant de notre incorporation aux travaux, on n'avait pas la certitude absolue de combien de piles étayer et échafauder, en cas où la rupture d'une d'elles puisse provoquer chute de celle d'à côté.

¹² Le renommé ingénieur spécialiste en structures GIORGIO CROCCI, une fois convaincu que la ville de Ségovie n'ait pas en zone sismique et que le sous-sol est suffisamment stable et résistant, ne voit plus alors que "l'erosione eolica e l'attacco chimico-biologico" (*L'acquedotto di Segovia : cause del degrado e ipotesi d'intervento*. IV Simposi sobre Restauració Monumental Restaurar o Conservar ?. Diputació de Barcelona 1993, pp. 261 a 266.

¹³ Nous avons développé un programme informatique en base à l'équilibre ("Stress Trajectory Approach" ou approche des trajectoires des résultantes succesives) qui nous a permis d'extraire des importantes conclusions sur le comportement statique de la structure de l'Aqueduc. Cette approche a suscité un grand intérêt à des congrès internationaux où nous l'avons exposé, entre ceux-là:

- Séminaire International "Historical and Monumental Structures in Seismic Regions". Santorini (Grèce), 1993. (Communication présentée par FRANCISCO JURADO en tant que représentant de l'Espagne par invitation du Ministère de la Culture sous le titre *Computer Vectorial Analysis for Historical Buildings Structures*).

- Séminaire International sur "Análisis Estructural de Construcciones Históricas". Escuela T.S. de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Barcelona, novembre 1995. (Communication présentée par FRANCISCO JURADO par invitation des organisateurs avec le titre *El Acueducto de Segovia*).

Aussi publié sous le titre "Análisis Vectorial Automático en la Restauración de Monumentos", Ibid. Dans les procès-verbaux du 1er. Congreso Nacional de Tecnología en la Arquitectura. E.T.S.A. Madrid 1994, livre 2 pp. 347 a 357, ainsi que dans le livre Ibid. "*La ciudad y sus murallas*" de l'Université de Grenade 1996, n.2 pp 355 à 374.

¹⁴ "...L'une des questions que l'on m'a le plus souvent posé est si je suis arrivé à temps ou tard pour intervenir à l'Aqueduc. Je dirais que toutes deux : on est toujours en retard puisqu'il y a des éléments déjà irrécupérables et on est toujours à temps en tant qu'il y a des éléments qui peuvent se être sauvés. Évidemment, la détérioration d'un bâtiment est la curve d'une pente progressive et je ne voudrais pas être si pessimiste comme l'a été le docteur Caballero en disant que c'est irréversible. En fait nous restaurateurs n'exiterions pas si nous ne pensions pas que l'on peut arrêter de quelque façon cette curve ou, du moins, la ralentir..."

CRITÈRES POUR SA RESTAURATION

C'est donc le moment de déterminer si des interventions sont nécessaires et de les proposer à l'administration responsable. C'est ici que notre posture face à l'ensemble est de vitale importance. La philosophie de l'intervention va marquer la portée de celle-ci et même la méthode opérative. Le mot clé dans ce cas est **conservation**, en tant que fin de base à obtenir dans les possibles interventions¹⁵.

C'est évident que face à l'Aqueduc un point de vue conservateur doit prévaloir, non pas seulement par l'obligation morale ou historique de léguer à des générations futures un monument d'aussi singulier, mais aussi par la nature même du bâtiment : il s'agit d'une construction très large et uniforme qui ne permet pas des actions de transformation bien légères qu'elles soient. N'importe quel autre bâtiment, soit civile (un palais), religieux (une église) ou militaire (un château) peut tolérer des interventions qui entraînent des changements qui n'affectent pas à son essence mais qui améliorent ses conditions de maintenance. Ce sont des constructions qui ont même été objet de rénovations, agrandissements, destructions ou modifications qui nous permettent maintenant de "jouer" avec plusieurs options de traitement, structurel ou pas. L'Aqueduc est, dans ce sens, un monument statique, non transformé, qui n'a pas évolué, à l'exception de petites retouches, de manière significative. Maintenant il est comme il était et doit continuer à être comme il est.

D'un autre côté, l'intervention devrait tendre à **revitaliser** la construction. Lui rendre son utilité, sa fonction¹⁶. L'usage garantit sa maintenance presque quotidienne, un bâtiment sans usage est un bâtiment condamné à se ruiner. L'Aqueduc ne peut pas se réhabiliter pour exercer des fonctions pour lesquelles il ne fut pas créé. Lui rendre son rôle de conducteur d'eaux peut être un début de revitalisation, indépendamment de que l'Aqueduc puisse se transformer en un centre de documentation, étude et recherche¹⁷.

Texte extrait du débat présidé par l'historien JAVIER TUSELL lors du *Foro del Patrimonio Histórico* de la Fundación Cultural Banesto (Madrid, 1994 pp. 166).

¹⁵ C'est inévitable à ce point de se souvenir des principes de CAESARE BRANDI (*Teoría del restauro*, Roma 1963), peut-être plus facilement applicables à la restauration d'un tableau, un fresque ou une sculpture: "Il fondamento di ogni restauro si deve porre nel riconoscimento del valore artistico all'oggetto... il restauro può solo riguardare opere di cui sia riconosciuta l'artisticità... si restaura solo la materia dell'opera d'arte... il restauro costituisce il momento metodologico del riconoscimento dell'opera d'arte, nella sua consistenza fisica e nella sua duplice polarità estetica e storica, in vista della sua trasmissione al futuro... il restauro deve mirare al ristabilimento dell'unità potenziale dell'opera d'arte".

¹⁶ Suivant le fil de ces affirmations, citons le suivant texte du professeur FRANCESCO GURRIERI (*Restauro e Conservazione*, Florencia 1992) par rapport à la différence entre reste archéologique embaumé et construction en usage, qui fonctionne: "Il problema è ancora quello - estremamente chiaro - del distinguo fra restauro architettonico e restauro archeologico: che non consiste in una diversa metodica di lifting, quanto nella diversa sostanziale risposta funzionale. I testi monumentali architettonici sono in attività, *in servizio*, sono usati dalla collettività; gli altri, quelli archeologici, sono da riguardare e ammirare, quasi animali esotici allo zoo".

¹⁷ Comme dans le cas de l'aqueduc romain de Nîmes.

Enfin, le critère essentiel dominant c'est de réaliser la **moindre intervention** possible qui garantisse des résultats opératifs, fuyant de l'**irréversibilité** négative¹⁸. Avec ceci nous ne sommes pas en train de préjuger le caractère que l'intervention finale doit avoir. Un bâtiment qui a besoin d'être restauré est similaire à un malade: il faudra réaliser une intervention drastique si c'est nécessaire, un traitement prolongé dans le temps mais continu ou un suivi systématique sans faire plus rien.

Sous-jacente ici est une question importante sur laquelle il faut réfléchir. N'importe quelle action utilise des procédés d'accord avec les techniques et connaissances générales que nous possédons à présent. Nous sommes tributaires de notre temps et disposons seulement des moyens, sophistiqués ou pas, qui sont à notre portée actuellement. Si notre responsabilité est de soigner un malade, ça ne devrait pas nous être permis d'augmenter une attente à outrance pour des solutions futures qui ne soient pas encore arrivées. Maintes fois ce critère cache méconnaissance ou manque de décision. Même en respectant des attitudes "ruskiniennes", dans beaucoup de cas le restaurateur est en train de passer "le dossier urgent" à d'autres qui viendront après. L'absence d'intervention est plutôt par crainte à se tromper que par fidélité à une seule idéologie ou méthodologie¹⁹.

Le concept même de restauration (et donc la justification de l'existence du restaurateur, dans le plus ample sens du métier) porte avec lui la confiance de que c'est possible maintenir en vie la construction historique, pourvu qu'on est conscient de la temporalité de notre intervention dans la vie du monument²⁰.

Même dans ce cas, avant de proposer une intervention définitive, pour vérifier les connaissances que l'on avait déjà sur la diagnose de l'Aqueduc et pour avoir des expériences contrètes sur les procédés possibles à réaliser pendant la restauration des pierres de taille elles-mêmes, on réalise une **intervention pilote** complétée avec divers essais au laboratoire en addition à tous ceux qu'on avait déjà réalisés à l'avance, de façon qu'on vérifia l'effectivité de l'intervention et des possibles procédés à utiliser.

Les interventions que finalement ont été proposées essayent d'**éliminer tout possible danger de détachement ou chute** de morceaux de granite, ainsi que de **ralentir**

¹⁸ Une définition assez complète de ce que doit être une restauration se trouve en bouche de GIUSEPPE ROCCHI (Roma, 1983) : Il restauro ha come fine la conservazione, intesa nel senso di conservare il più possibile inalterata la situazione di fatto - rimuovendo le cause di alterazione e rendendo minimi i cambiamenti e soprattutto le demolizioni - con l'impiego di mezzi non invasivi, e ove necessariamente invasivi, il più possibile reversibili sia nella fase di accertamento sia in quella di intervento; senza alcun privilegio accordato a parti visibili piuttosto che invisibili o ritenute di pregio maggiore di altre; con operazioni che, nel caso di tessuti urbani e residenziali, consentano il mantenimento delle popolazioni insediate durante i lavori.

¹⁹ L'archéologue LUIS CABALLERO ZOREDA exposait dans le susmentionné *Foro del Patrimonio Histórico sobre el Acueducto de Segovia* (Fundación Cultural Banesto. Madrid, 1994) son opinion par rapport au vieillissement irréversible de l'Aqueduc, soutenant uniquement des études et interventions indirectes (réduire la pollution atmosphérique, par exemple).

²⁰ En voix de l'architecte ANTÓN CAPITEL (*Metamorfosis de monumentos y teoría de la restauración*, Alianza Editorial, Madrid 1988), la possibilité de restaurer se soutient dans le fait que "l'architecte soit capable de devenir un *medium* de l'impulsion même que le bâtiment a, mais aussi dans la certitude que l'action du restaurateur n'est pas unique, et ne peut pas se comprendre ainsi comme quelque chose d'isolée, mais como un chaînon de plus de la longue chaîne d'interventions possibles sans final connu".

le procès de dégradation des pierres de taille, évitant en tant que possible les actions non nécessaires qui impliquent **irréversibilité**.

Il faut éclaircir, bien que l'irréversibilité soit le pire ennemi dans une intervention de ce type, qu'il ne faut pas seulement référer ce mot aux procédés utilisés, mais aussi est irréversible la progression des fissures superficielles, ruptures et météorisations des pierres de taille, ce qui fait que ne pas interrompre ou, au moins, ralentir ce procès de dégradation continue implique des irréversibilités plus importantes même.

TRAVAUX DE RESTAURATION RÉALISÉS

Après l'intervention pilote évoquée on a réalisé jusqu'à quatre autres phases d'intervention, toujours répétant les mêmes opérations et procédés. La dernière phase fut la plus importante en volume, puisqu'elle affecta le 80% de l'Aqueduc visible. Puisque'il est important dans cette restauration la quantification des unités réalisées, nous réflétons les données correspondantes aux derniers travaux réalisés.

- 1°) **Mesure de la vitesse de transmission ultrasonique en 19.460 pierres de taille visibles.** Essai non lésionnaire qui a servi pour mesurer d'une façon objective le degré de compacité et détérioration du granite dans chaque pierre de taille, ce qui permettra de vérifier son évolution dans le futur et décider si c'est nécessaire sa consolidation ou non. Avec cela on aura des barèmes de comparaison objectifs de la vitesse réelle et de dégradation²¹.
- 2°) **Auscultation résistive de la surface des 445 pierres de taille de la pile 111,** avant et après l'intervention. Essai non lésionnaire avec lequel on peut vérifier la durée du nettoyage extérieur face à la saleté et pollution du milieu. Avec cela on aura des barèmes objectifs pour mesurer le degré de dépôts de produits agressifs²².
- 3°) **Traînement manuel avec règles en bois et extraction du matériel détaché entre les joints des pierres de taille sur environ 3.929 m² de front en maçonnerie.** On élimine seulement ce que l'on peut extraire, et donc les effets profitables "bossage de support" en joints horizontales ne disparaît pas, réduisant en bonne partie le moyen acide agressif impliquée par le mélange avec le matériel organique existant, aidé par la dissolution avec eau pendant les pluies²³.

²¹ Cet essai a été calibré dans grand nombre de mesures précédentes aux interventions et pendant l'intervention pilote, et c'est l'une des valeurs notée sur la base de données élaborée. On mesure avant de réaliser n'importe quel autre travail et aussi à la fin si sur la pierre de taille en question on a fait des opérations significatives.

²² Cet essai mesure la conductivité superficielle de la pierre de taille, très sensible aux sels qui se trouvent dans les couches de saleté.

²³ C'est clair qu'une des plus grandes difficultés pour proposer une restauration de la maçonnerie de l'Aqueduc de Ségovie est la non existence de mortier entre les pierres de taille. S'il y avait un agglomérat stable entre les pierres, le problème serait réduit à intervenir sur la surface extérieure, comme dans n'importe quelle autre façade. Une des propositions possibles fut d'injecter un matériel inerte structurellement entre les

- 4°) **Nétoyage à sec de la surface extérieure des pierres de taille, sur environ 7.857 m² de front en maçonnerie.** Ça ne se fait pas par des raisons esthétiques, mais pour éliminer les dépôts agressifs de saleté et sels solubles (comme les sulfates), les carbonates totalement endurcis ne s'éliminent pas pourtant²⁴. Le procédé utilisé est le "micro-pulling" (brossage de microprojection de silice et aspiration simultanée) choisi entre les dix systèmes qui furent testés pendant l'intervention pilote²⁵. L'élimination du dépôt acide agressif sur la surface extérieure du granite ralenti évidemment la météorisation superficielle.
- 5°) **Irrigation superficielle avec de l'eau alcoolisée, sur environ 7.857 m² de front en maçonnerie,** d'évaporation rapide et avec des propriétés biocides, ce qui complète le nettoyage à sec et réduit le niveau de microorganismes qui aident à la dégradation superficielle²⁶. Ainsi on a des garanties absolues d'agir dans toutes les surfaces contre les microorganismes, puisque le nettoyage à sec incide plus sur les zones avec plus de dépôts et moins sur les pierres de taille propres à simple vue.
- 6°) **Scellage de fissures superficielles par injection de résine époxyde pure, sans charges²⁷, sur environ 3.855 pierres de taille (5.446 faces en total),** de façon qu'on évite la progression (vérifiée en observant la multitude de fissures superficielles existantes à différents étages d'évolution) vers une rupture postérieure, puisque l'eau pénétrerait dans la fissure superficielle agissant comme

joints, mais imperméable aux agents dégradants, pas tenu en compte puisque cela altérerait non seulement l'aspect des joints, mais le principe constructif même qui caractérise ce travail dès qu'il existe.

²⁴ L'absence presque totale de lichens à la surface des pierres de taille est un autre symptôme, en addition à l'haute niveau de microorganismes mesuré, du moyen agressif sur la surface du granite, n'existant donc pas un parallélisme avec les nettoyages habituels par des raisons esthétiques, comme celui qui, sans aller plus loin, s'est faite sur les parements calcaires de la cathédrale de Ségovie, éliminant lichens et, possiblement, des patines d'oxalate originales.

²⁵ Avant de choisir définitivement cette méthode comme la plus appropriée, on a encore réalisé des essais pour vérifier si on pouvait augmenter la surface spécifique du granite, question qui fut rejetée après avoir vérifié l'insignifiante variation dans les irrégularités superficielles de la pierre, mesurées avec micromètre de résolution 0,001 mm, après avoir effacé un quadrillage marqué avec un feutre sur le même granite par le procédé essayé.

²⁶ "... Entre les bactéries, on a trouvé des bactéries hétérotrophes et chimilitotrophes, soulignant la présence de bactéries du cycle du soufre et du cycle du nitrogène. Celles-ci, comme conséquence de leur métabolisme, peuvent donner lieu à la formation d'acide sulfurique et nitrique respectivement. La présence de microorganismes producteurs d'acide sulfurique peut, par elle-même, être raison d'altération du granite. Les sulfures qui servent de base pour la croissance de ces microorganismes peuvent, ou bien se trouver dans la pierre ou être le résultat de la pollution atmosphérique...". Texte extrait de *Estudio de la Influencia del Biodeterioro en el Acueducto de Segovia*, du professeur FERNANDO LABORDA, Professeur de Microbiologie de l'Université d'Alcalá.

²⁷ La résine époxyde s'utilise parce qu'il n'était pas garanti, pour d'autres possibles produits, aucun chimique ni pétrologue, avec essais de vieillissement accéléré, le comportement qu'a eu la résine que l'on a utilisé dans l'intervention de FERNÁNDEZ CASADO, soumise pendant plus de vingt ans aux effets de l'intempérie. Même la surface de contact granite-résine se trouve en parfait état et sans décollages ni microfissures, dû aux hautes résistances des deux matériaux. On utilise, donc, formulation chimique identique à celle de 1973.

une cale lorsqu'elle gèle. C'est clairement préférable dans ce cas l'irréversibilité d'une "colle" définitive que la perte, même plus irréversible, de parties de granite des pierres de taille, qui se détachent et tombent.

- 7°) **Microcousu de pièces partagées sur environ 1.187 pierres de taille (2.108 faces en total)**, pour développer l'unité à la pierre de taille avec danger d'écroulement immédiat d'une partie et donc arrondissement lent de la pierre de taille. En effet, lorsque seulement la colle citée n'est pas garantie de maintenir unies les deux parties séparées, on réalise des perforations de 10 mm de diamètre, de longueurs entre 10 et 30 cm, de moyenne, traversant la fissure superficielle, et on introduit des ronds filetés en acier inoxydable de 5 mm de diamètre avec injection de résine époxyde, ce qui fournit résistance à traction transversale à la fissure superficielle.
- 8°) **Boulonnage de 150 pierres de taille (environ 450 boulons en total)**, dans celles qui ont été trouvées cassées, dans beaucoup de cas ce sera passé après l'intervention de 1973. Cela consiste à réaliser des perforations de 60 à 120 cm de longueur et 30 mm de diamètre, en introduisant des boulons de fibre de verre agglomérée avec résine époxyde et injection du même type de résine. Si on ne le faisait pas dans les arcades supérieures par exemple, celles-ci tendent à s'effeuiller en deux parties lors de la perte d'entrave, par effets thermiques et de l'eau gélée calée dans les joints²⁸.
- 9°) **Régularisation de 12 joints entre voussoirs**, qui présentaient la situation la plus critique, de moindre contact, grâce à fabrication in situ d'une dalle de résine non adhérente à aucune pierre de taille (utilisant des paraffines comme film décoffrant). Si on n'avait pas fait cette opération, les voussoirs pourraient glisser dangereusement, comme ça c'est en fait passé dans certains cas, ou bien, une partie pourrait se casser lors de l'augmentation de la pression sur les points de contact rares²⁹.
- 10°) **Remblai et cousu de dalle extérieure en 582 pierres de taille creuses**. Si on ne fait pas, la pierre de taille perd une partie de son volume extérieur tout en laissant nouvellement exposées des zones auparavant intérieures. Ces pierres de tailles sonnent "creuses" lors d'un coup manuel, d'apparence extérieure solide, présentant une importante cavité intérieure qui prédispose un grand dédallement.
- 11°) **Consolidation de 621 pierres de taille totalement en sable**, par des injections de résine époxyde en masse jusqu'à sa sortie superficielle. Le critère a été d'intervenir sur des pierres de taille à vitesse de transmission ultrasonique inférieure à 600 m/sec, en obtenant des améliorations entre 140% et 380%, en moyenne 250%.
- 12°) **Gainage ou complétude de volume sur 26 pierres de taille**, par pierre artificielle fabriquée in situ et connectée à la pierre de taille originale, pour les

²⁸ En 1973 on introduit les boulons de laiton filetés, qui adhèrent mécaniquement seulement à la résine. D'autre côté, pas seulement les deux parties d'une pierre de taille s'unissent à nouveau, mais aussi diverses pierres de taille s'unissent entre elles transversalement aux arcs supérieurs.

²⁹ Dans certains cas la lumière se voit à travers les joints, en nous indiquant une surface de contact très précaire, qu'en autres constructions se résoudrait en joignant.

pierres de taille qui avaient perdu un grand pourcentage de leurs dimensions originales et étaient vitaux pour la stabilité de l'arc ou de la pile. Cette intervention est préférable à n'importe quel remplacement, beaucoup plus lésionnaire pour la structure dans le procès d'étalement, décharge et difficile nouvelle mise en charge³⁰.

- 13°) **Restauration superficielle de la maçonnerie qui entoure la canal (environ 2.490 m²)**, en éliminant gravats détachés (petit morceaux de granite ou de céramique) avec danger de détachement, joignant avec mortier de chaux (avec addition de résine acrylique) et nettoyant l'intérieur du canal, en découvrant possibles sorties ou dérivations en pièces de pierre, couvertes avec l'imperméabilisation faites dans les années soixante-dix³¹.
- 14°) **Disposition d'une canal de plomb sur le canal (839 mètres en total)**, de façon que l'eau circule à nouveau par-dessus l'Aqueduc, lui rendant ainsi, d'une façon plus réelle que symbolique, sa fonction originale. La canal superposée, totalement réversible, évitera des fuites d'eau préjudiciables sur les pierres de taille inférieures, tout en permettant d'affirmer que la construction es "enconre en service", comme jusqu'à maintenant était décrit, par exemple, à l'Encyclopédie Britannique.
- 15°) **Restauration des deux cabines de décantage**, réparant toitures, façades et milieu, ainsi que nettoyant les dépôts de granite intérieurs et, dans le cas de la seconde cabine, la laissant totalement préparée pour observer son fonctionnement pendant les visites guidées.
- 16°) **Excavations archéologiques**, réalisées entre février et juillet 1998 par l'archéologue Germán Prieto Vázquez. On a recherché le canal sur la pile 94 et les fosses de fondation entre les piles 115 et 117, en complétant ainsi les excavations réalisées en 1973. Les résultats permettent de dater avec plus de précision la date de construction de l'Aqueduc, ainsi que de mieux comprendre son procès constructif.
- 17°) **Inspection et maintenance des zones déjà restaurées**, s'étant déjà passés plus de trois ans depuis les premières restaurations, on révisa les zones et pierres de tailles plus critiques des piles 96 à la 110. On observa comment étaient diminuées les vitesses de transmission ultrasonique de certaines pierre de tailles et on réalisa des cousus additionnels. On considéra aussi oportun patiner les

³⁰ L'étude du comportement structurel nous permet minimiser cette intervention, puisque les cas sont rares, pratiquement toujours un voussoir, où se complète le volume.

Pour ne pas penser à remplacer, par rapport à la structure actuelle, il faut observer que dans l'Aqueduc il y a encore des pierres de taille qui n'ont pas pu être éliminés sans danger pour la stabilité générale. Par cela les couronnements de corniches et impostes appuyés sur l'arcade inférieure n'existent plus, ayant été utilisés comme chantier pour d'autres constructions.

³¹ Pendant la restauration de 1973 on imperméabilisa la canal ou le canal supérieur en la revêtant avec un mortier spécial qui cacha n'importe quelle pièce de pierre d'anciennes sorties d'eau.

restes de résines époxydes visibles qui avaient jauni avec la lumière ultraviolette, établissant un nouveau critère de finition superficielle avec résines acryliques, de façon que les scellages et gainage sont maintenant presque plus percevables.

- 18°) **Contrôle d'effondrements par fils à plomb optiques.** On contrôle les effondrements existants dans les arcs entre piles 67 et 68 et entre 74 et 75, dont les mesures initiales se firent en 1993 et 1996, respectivement. De même, on a placé des nouvelles bases de mesure à l'arcade supérieure entre les piles 99 et 100, dont il faudra évaluer l'évolution dans son effondrement en futures observations.
- 19°) **Élimination de la barrette en béton (faite en 1973), visible à la base de la pile 111.** Cette barrette avait la fonction de cercler, avec les micropieux inférieurs, la zone de contact de la pile avec le sol. Elle a été éliminée tout en contrôlant les possibles déformations, qui n'existent pas, avec l'application de mortiers expansifs. Une fois éliminée, on nettoya le béton de la file inférieure de pierres de taille imbibée par la barrette, et on consolida le terrain en contact avec les pierres de taille, à une profondeur d'environ 20 à 30 cm.
- 20°) **Élaboration d'une Base de Données** qui rassemble toute l'information disponible jusqu'à la date de l'Aqueduc et toute celle qui a été générée pendant les suivantes interventions. Il s'agit de stocker tout le matériel graphique, numérique et qualitatif en format digital maniable de façon automatique (jusqu'à maintenant on a stocké toutes les données dans environ 60 CD-ROM). On a réalisé pendant cette dernière phase de travaux autour de 66.000 photographies, presque toutes avec des caméras digitales, avant et après la restauration. Pour son stockage on utilise le nom de la pierre de taille qui lui a été assignée depuis la photogrammétrie tridimensionnelle qui se réalise au début des travaux. De la même façon, les données numériques sont stockées en tableaux.

Après tellement de travaux cités il faudrait se demander qu'est ce que l'on ne fait délibérément (et peut-être ce serait habituel de l'inclure dans des interventions de ce type). La réponse est très simple: **ce qui n'est pas nécessaire de façon immédiate.**

En effet, on n'a pas pu réaliser de remplacements d'aucun type³², malgré l'existence de beaucoup de pierres de taille qui ont perdu un grand pourcentage de leur dimensions originales (voir le petit nombre de pierres de taille où l'on a réalisé des gainages, comparé à la totalité de l'Aqueduc), on ne réalise pas non plus des traitements chimiques sur les pierres de taille³³ (quelque chose de totalement discutable, surtout si on

³² En dépit d'être un procédé habituel, bien sûr qu'utilisant des matériaux et finitions totalement similaires à ceux existants, la construction originale finit par être transformée peu à peu et, de plus dans ce cas, le procès de charge et re-charge et bien plus préjudiciable que le problème que l'on essaye de couper court.

³³ Recommandation habituelle de chimistes et pétrologues : hydrofuger et consolider avec des produits plus ou moins essayés de reconnues firmes commerciales.

ne peut pas accéder à toutes les faces de chaque pierre de taille)³⁴, on ne fait pas des jointoiements entre pierres de taille en aucun cas, on n'intervient même pas aux jointoiements et injections de ciment qui se réalisèrent dans les travaux de 1973³⁵, par la difficulté de leur élimination, ce qui impliquerait sûrement des détériorations dans le granite immédiat à celui qui lui ait adhéré, et on n'intervient pas non plus sur les boulonnages de laiton de l'intervention de 1973.

On n'a pas manqué de propositions "radicales" que l'on nous fit au début des travaux, telles que protéger avec du plomb le niveau de l'arcade inférieure (quelque chose de réversible, mais qui altère la nudité originale de la construction et peut empêcher les transpirations de humidité retenue) ou lever tout le pavement environnant, le faisant moins monolithique et plus transpirable (lorsqu'il fallait vérifier l'état de l'assainissement proche, dont les fuites pouvaient être lésionnantes), etc.

Sans se fermer à des nouvelles interventions, nous croyons que ce qui a été proposé jusqu'à maintenant est le plus **prudent**, le plus **viable** et **suffisant** dans quelques années.

PLAN D'ENTRETIEN ET CONSERVATION

N'oublions pas de toutes façon que si nous voulons **conserver** d'un mode continu et ne pas faire des interventions extensives et intensives chaque quart de siècle, c'est nécessaire de disposer un budget annuel pour l'entretien et le suivi de l'édification (déjà indiqué maintes fois et ramassé dans le Plan Directeur).

Pour cela nous avons proposé de réaliser les suivants travaux dans les fréquences indiquées:

- 1°) **Nétoyage de canal et révision du canal de plomb, chaque semestre.** Indépendamment de si l'on détecte des fuites ou vandalismes. On peut profiter pour éliminer aussi les plantes qui se soient enracinées dans la maçonnerie.
- 2°) **Contrôle d'effondrements dans les trois bases de mesure déjà placées, annuellement.** Il serait convenient de le faire à la même époque climatique.

³⁴ Malgré l'impossibilité de traiter tout le volume de la pierre de taille (à moins que ce soit par immersion), dans l'intervention pilote on essaya différents procédés de consolidation superficielle et par injections, ainsi que des procédés d'hydrofugation, avec le but de voir son comportement futur, sans qu'au moment les changements d'aspect extérieur et la confiance dans la maintien de leur propriétés avec le temps fasse recommandable leur application.

³⁵ Celle-ci est une question que nous devons critiquer de l'intervention de 1973: vouloir colmater d'une façon globale les joints entre les pierres pour produire un certain monolithisme. Même si nous sommes, en certaine façon, d'accord avec les boulonnages transversaux qui se firent en 1973, puisque la seule chose qu'on essayait avec ça c'était d'entraver les deux feuilles qui forment la partie supérieure de l'Aqueduc, nous ne pouvons pas l'être avec ces injections de coulis de ciment pour produire une agglomération entre les pierres de taille, question celle-ci étrangère à la conception de l'Aqueduc pierre sur pierre, en plus des dépôts de sels que le ciment provoque lorsqu'il se mouille sur la pierre, avec la résultante détérioration. Apparemment, l'ingénieur FERNÁNDEZ CASADO était inquiet par la contemplation d'une construction aussi "articulée".

- 3°) **Révision annuelle de la base découverte de la pile 111.** On essaye de vérifier qu'il n'y ait pas des pertes de contact avec le terrain.
- 4°) **Vérification de l'évolution de la vitesse de transmission ultrasonique d'environ 700 pierres de taille, toutes les deux années.** Elles ont été choisies au long de l'Aqueduc en fonction de que leur vitesse actuelle soit inférieure à 700 m/seg.
- 5°) **Consolidation de pierres de taille avec vitesse inférieure à 500 m/seg et scellage de fissures superficielles de nouvelle apparition, toutes les deux années.** C'est prévisible qu'elles soient de l'ordre de 150 pierres de taille.
- 6°) **Auscultation résistive de la surface des 445 pierres de taille de la pile 111, toutes les cinq années.** Avec cela on vérifiera le degré de salissures par dépôts superficiels.
- 7°) **Annotation sur la Base de Données des nouvelles mesures et réparations.**

Quelles que soient les questions signalées, c'est évident que tout ce qui concerne graffitis, actes vandaliques, ruptures, etc. impliquerait la réparation la plus immédiate, avec les mêmes critères avec lesquels on a procédé dans les travaux de restauration.

CONCLUSION

Indépendamment de ce que les interventions récentes sur cet emblématique travail de génie aient apporté dans tous les sens, surtout de donner leur juste importance aux études préalables avant une restauration, nous croyons avoir établi clairement **les bases et la méthode de travail** à suivre pour un monument de cette taille et caractéristiques.

En fin de compte, celui-ci a été notre principal apport à ce légat historique.