

# \*Aqueduc de Forum Julii

## Présentation de Jacques Delom

Bibliographie : -Aqueduc romain de Mons à Fréjus par Vito Valenti © 2002 TRAIANVS

-Conception et fonctionnement des puits de rupture de pente des aqueducs romains par Laetitia Borau, Christophe Ars, Ángel Ventura Villanueva & Clément Coutelier

-Les instruments sur un chantier romain 5èD du Collège Eugénie de Pomey (Amplepuis, Rhône)

- L'Aqueduc Romain de Frejus par Cherine Gebara et Jean Marie Michel

Je ne m'inscris pas dans une démarche d'architecte ou d'hydraulicien, mais dans une démarche de vulgarisation, afin que chacune et chacun ici puisse appréhender et comprendre certains des aspects complexes de la construction de l'aqueduc. Pour cela on doit d'abord se replacer dans l'époque, en un temps où n'existaient pas les outils de terrassement et autres engins, ni les explosifs. Les romains utilisaient le travail humain aidé par des outils basiques, des bêtes de somme et des treuils de levage manuels. **Je vais essayer** de vous expliquer les difficultés auxquelles ils se sont heurtés ainsi que l'ingéniosité avec laquelle ils ont réussi à les contourner. La première difficulté : la pente ! 2ème, la pression ! 3ème le substrat ! Pour les bâtisseurs romains, la construction de l'aqueduc fut une entreprise audacieuse et pleine de difficultés, à travers une nature tourmentée. Cependant, l'ingénierie romaine était très avancée sur beaucoup de domaines.

Pour m'aider à élaborer ce travail, je me suis appuyé sur la bibliographie suivante.

Voici le plan que nous allons suivre, en trois parties, d'abord l'origine de l'aqueduc, ses deux phases de construction, les difficultés et solutions et l'aqueduc contemporain.

Nous allons replacer cette construction dans son époque. **CONTEXTE HISTORIQUE :** Partons de la fondation de Forum Julii vraisemblablement en -49 avant notre ère par Jules César pour en faire un port militaire afin de mieux contrôler Massilia et diminuer leur influence, encore colonie grecque et tolérée par les romains. En -44 l'assassinat de César est suivi par la constitution d'un triumvirat avec Octave (petit neveu et fils adoptif), Marc Antoine et Lépide, qui se partagent l'empire romain. Ce sont des hommes qui étaient proches de César et chacun voulait le pouvoir suprême. Au fil des années, Lépide est écarté. Par ailleurs, Marc Antoine qui est le petit ami de Cléopâtre avec qui il aura trois enfants, est aussi le beau-frère d'Octave. En -31 avant notre ère, les deux hommes en viennent à se combattre à Actium, située en Grèce au niveau du talon de la botte

italienne. Octave est vainqueur et décide de faire amener les galères qui appartenaient à Cléopâtre prises lors de la bataille, à Forum Julii.

Quelque temps plus tard, il décide d'installer les vétérans de la Légion VIII également à Forum Julii en compensation de retraite (déduction). Forum Julii grossit et devient un marché artisanal important. **CONTEXTE ARCHITECTURAL** : Les Romains ont toujours considéré l'eau comme un joyau pour leur civilisation et ils n'ont pas hésité à dépenser des fortunes publiques pour faire arriver l'eau dans les cités romaines. Forum Julii n'échappera pas à la règle. Plus de 200 aqueducs seront construits par les romains, ils ont donc une grande expérience. C'est l'époque où Vitruvius écrit un précis d'architecture en 10 volumes, d'ailleurs dédié à Octave et qui est toujours parait-il une référence. **CONTEXTE REGIONAL** : Forum Julii port militaire, qui va prendre de l'importance, a besoin d'eau. Or les puits ne suffisent plus, surtout en périodes de sécheresse comme en connaît la Provence.

La population qui augmente et la romanisation, provoque l'essor de la cité, les besoins en eau augmentent. Et... Forum Julii manque d'eau. Forum Julii, petit village, n'a pas les moyens de construire un aqueduc, il faudra donc une volonté politique pour que les fonds nécessaires soient débloqués.

Afin que la décision de construire un aqueduc soit validée, il fallait trouver une source, plus élevée que la ville avec une eau de qualité, pure, fraîche et abondante. La source de La Foux, qui répond aux critères, proche de l'actuelle ville de Montauroux, a été choisie et la première partie de l'aqueduc a pu commencer. Le terme La Foux (FUX) signifie en latin source abondante, c'est pourquoi nous allons trouver plusieurs sources avec ce nom, notamment à Grasse. Voici la carte de la première partie de l'aqueduc ; les romains vont suivre le relief du bassin carbonifère du Reyran.

Les romains vont alors mettre en œuvre un chantier gigantesque pour obtenir cette eau précieuse, dont ils ont tant besoin. Cet ouvrage qui s'étendra **sur 41 kms**, lorsque la totalité de l'aqueduc sera terminée, traverse 6 communes varoises actuelles et 3 types de terrain : calcaire/marno-calcaire, roches sédimentaires (moyennement dures) et roches volcaniques (dures). Il y a divers matériaux : calcaire, argile, gypse, gneiss, schistes, grès permien, pouzzolane. Ces sols vont avoir une importance sur la construction de l'aqueduc car certains poseront des problèmes de stabilité compte tenu du poids énorme des piliers d'arches.

#### CONSTRUCTION

La première partie de l'aqueduc est vraisemblablement terminée entre 50 et 60 de notre ère, et le système d'égout est mis en service à Forum Julii en 70.

Pour acheminer l'eau, les romains vont construire un aqueduc composé de galeries et d'ouvrages d'art, dont + de 92 % seront couverts, s'assurant ainsi d'obtenir de l'eau toujours propre. Ils vont suivre le Biançon, créer un canal qui suit l'actuel réservoir de St Cassien, puis face à un lieu de partage des eaux, sera percé une galerie sur 852 m de long au col de Vaux (inaccessible aujourd'hui). Ils vont ensuite construire au fil de la descente, et selon la pente, 28 ouvrages de différentes dimensions (sur 36), des tranchées couvertes aériennes ou souterraines, des murs aqueduc pour traverser des espaces avec peu de hauteur et des arches élevées lorsque la hauteur dépassait 2 m. Les galeries étaient toujours droites

Sur la descente du Malpasset, il y a de courts tunnels à forte pente ce qui permettait une maintenance automatique du conduit grâce au flux important. Cependant il fallait ensuite calmer ce flux par des ouvrages d'art à faible pente. La première partie de l'aqueduc est la plus belle, la deuxième est moins visuelle mais plus technique.

Comment travaillaient les équipes de construction ? Pas de camion de transport de matériaux, pas de ciment en sac, pas de toupie de béton. Tout était fabriqué au fur et à mesure de l'avancement du chantier. Les romains se servaient des matériaux présents dans les environs. Avec le calcaire, ils faisaient de la chaux, avec les rochers ils taillaient les moellons selon les besoins, etc. Comme l'eau avançait avec le canal, il y avait tout le nécessaire pour la construction. L'eau était dérivée par un batardeau en attendant la construction de la phase suivante disponible. Ils utilisaient la roche volcanique, la pouzzolane qui ajoutée à la chaux sert de ciment étanche pour les structures sous-marines et à la propriété de durcir en présence d'eau, en fixant l'oxyde de calcium de la chaux. Il est probable que le chantier constituait un vrai village qui se déplaçait tous les 2 à 3 ans pour suivre le développement de l'aqueduc. Débroussailleurs, tailleurs de pierre, maçons, chauxfourniers, géomètres, ingénieurs, architecte + la logistique (nourriture, logement, nettoyage...).

Les arches présentées sont des vestiges rappelant la beauté des constructions romaines, certaines ont été détruites ou sont devenues inaccessibles car l'anthropisation a souvent bouleversé l'environnement au cours des siècles. Commençons par les arches de Sénéquier ou Escoffier qui se composent d'un ouvrage double réalisé par suite de ruptures d'un premier pont aqueduc. Sur cette photo apparaissent des trous de boulin qui servaient à maintenir l'échafaudage. 5 arches de hauteur maximum 12 m, avec un étréssillon.

Arches du Gargalon rénové en 1970 et 1992. À l'origine, il y avait un alignement de 164 m, avec une hauteur de 13 m. Le chemin de l'eau est constitué d'un radier en mortier et moellons. Si le radier doit être en hauteur, il faut, pour des raisons de poids, construire

des arches. Au-delà d'une hauteur d'arche, il fallait construire un deuxième niveau, voire un troisième niveau d'arches plus petits que les premiers, (absent a Forum Julii). On voit le specus qui à l'époque était couvert.

Arches de Bérengier rénovées en 2022, exemple de mur aqueduc si hauteur < 2m.

Arches de Bonnet ou de la Combe de Rome rénovée en 1989. Lors de la construction de la Pinède romane, le promoteur a cassé une arche et un procès s'en est suivi : le fautif a été condamné. Cela a fait prendre conscience de la nécessité de protéger ces vestiges.

Arches de la Villa Aurélienne. Voyez le parement qui a disparu, laisse voir l'intérieur du pilier.

Les parements en moellons sont en grès permien de couleurs différentes, roches sédimentaires détritiques.

Comment était construit une arche ou un pilier ? Après les fondations, le parement était élevé

sur deux coudées environ, puis une fois sec, était rempli de petits appareils, morceaux de roches

et de chaux. La chaux pour effectuer sa carbonatation nécessite du temps de séchage assez long : car récupère du CO2 dans l'air pour retrouver sa forme initiale de calcaire.

Arches de Ste Croix toutes avec renfort. Il y avait un alignement coudé de 700 m sur 15 m maxi

Vue **du specus** ou canal avec sa construction. Sur un hérisson de fondation, nous trouvons

des couches nivelées et la construction en brique. Le conduit fait en général **75 cm** de large pour

**1.60 m** de hauteur. L'intérieur inférieur reçoit une étanchéité avec deux épaisseurs d'enduit à base

de mortier de tuileau. Si le specus est taillé dans le rocher, il n'y a pas de joint d'étanchéité. 92 %

de l'aqueduc est en tranchée couverte (souterrain).

Vue d'une partie construite : le canal maçonné et couvert d'une voute (ou voutain) mesure

1,60 m de hauteur sur 0,80 m de large en moyenne Régulièrement il y a des **regards** (maxi 80 m) et

La partie supérieure du conduit permet à l'air de circuler et de se renouveler, évitant la

contamination et les mauvaises odeurs. La hauteur permettait à un ouvrier de se déplacer pour effectuer un **nettoyage ou une réparation**. Pour conserver l'eau pure et favoriser la précipitation des minéraux, les conduits ont tous de l'air libre au-dessus de l'eau, qui se renouvelle par des puits d'aération.

Sur ce cliché, apparaissent les deux couches d'enduit de tuileau qui assurent l'étanchéité

Deuxième partie de l'aqueduc. Les romains devant l'augmentation de la population et le besoin grandissant en eau, ont recherché une autre source plus abondante que celle de la Foux de Montauroux. Ils ont repéré la source de la Siagnole, appelée Nessum. Pour eux, l'eau de cette source est très pure, filtrée par le sous-sol du plateau de Canjuers qui récupère toute l'eau de la région (bassin versant). C'est une source dite vaclusienne qui reçoit également le Fil au cours capricieux en cas de pluies abondantes. Il va falloir donc faire des aménagements car la source débite plus que nécessaire et beaucoup plus que supportable par les canalisations. La pente pose un problème complexe dont nous allons parler. Lorsqu'ils étaient confrontés à une colline, les romains contournaient l'obstacle, ou creusaient un tunnel si la roche était peu dure, car ils ne connaissaient pas l'explosif. Une des principales difficultés étaient la pente : il fallait un minimum de pente pour l'écoulement de l'eau mais si la pente était trop forte, les problèmes de pression devaient être gérés. L'aqueduc suivait au mieux les courbes de niveau lorsque c'était possible mais cela augmentait la longueur de l'ouvrage. Les ingénieurs et architectes romains ont conçu des aménagements spécifiques pour pallier les problèmes de forte déclivité lors de l'édification des aqueducs.

Tout d'abord les romains détournent une partie du flux pour leur besoin grâce à une sorte de

chicane. Le reste continue dans le lit de la Siagnole. Le flux doit être constant, il n'y a pas de robinet.

Et ils vont commencer leur canalisation en suivant la courbe de niveau jusqu'à un repaire,

où ils comptent aménager la pente. Et ils vont atterrir à la Roche taillée.

Les constructeurs se trouvent devant un précipice trop profond, sans solution.

A droite, il y a un mur de roche, dans lequel ils vont creuser un canal sur une hauteur de 12 mètres,

travail impressionnant.

Ils vont même penser à tailler un étrésillon pour consolider l'ouvrage.

Voici les traces des outils utilisés par les ouvriers romains, une escoude ou un taillant

Les outils, encore utilisés aujourd'hui. L'escoude du latin *exutere*, briser avec des coups

Un remarquable travail qui a été exécuté.

Un grand problème donc, pour les romains : La Pente ! Pas de tuyau assez gros et seulement en plomb qui coûte très cher et ne supporte pas une forte pression. Des dénivelés importants se présentent après la Roche Taillée.

Cette partie de l'aqueduc a disparue et personne n'est aujourd'hui en mesure d'énoncer avec certitude le modèle de construction. Le relief est très accidenté, a bougé au fil des siècles ; les parcelles de terrain ont changé de propriétaires et ces derniers ont mis en place des clôtures qui interdisent toute exploration. Cependant, en étudiant d'autres aqueducs romains, il y a matière à proposer des solutions qui étaient mises en place en pareil cas et que l'on peut supposer avoir été utilisées ici : le puits de rupture de pente.

Le puits de rupture de pente est un ouvrage original qui permet de ralentir l'eau qui circule dans une canalisation, lorsque le suivi de la courbe de niveau n'est pas possible. Il s'agit d'un puits ayant des caractéristiques particulières. La structure est surdimensionnée pour éviter que l'eau en chutant, n'endommage les parois et évite l'érosion, et de forme quadrangulaire ou circulaire. Les puits de rupture de pente sont le plus souvent souterrains : le canal maçonné et couvert d'une voûte (ou voutain) mesure 1,40 m à 1,60 m de hauteur sur 0,80 m de large en moyenne se connecte à un puits de moellons liés au

mortier et imperméabilisé intérieurement par un enduit hydraulique. La hauteur de 3 à 7 m, est déterminée pour que l'eau en tombant ne touche pas les bords.

Quadrangulaire, il a 3 m de cote intérieur, et jusqu'à 7 m de haut. Circulaire, il a 0.90 m de diamètre et environ 4 m de profondeur. Le choix dépend de l'époque, de la pluviométrie du lieu, et finalement de la décision de l'ingénieur hydraulique.

Lorsque la pente est trop forte, on peut avoir une succession de puits, avec des distances intermédiaires différentes. Entre deux puits de rupture, le canal intermédiaire devient plus large pour augmenter le coefficient de frottement de l'eau. Le travail de décaissement préparatoire permettait d'extraire des matériaux pour la construction et la préparation de la chaux, ce qui amoindrissait les couts. Donc l'augmentation du flux permet à travers le puits de rupture de pente, d'absorber la pente sur quelques mètres et ensuite par un canal horizontal et légèrement élargi pour augmenter les frottements du liquide, de ralentir le flux.

Voilà un exemple de puits quadrangulaire en fonctionnement, qui résulte d'une étude virtuelle pour en vérifier le fonctionnement. (Autun) On retrouve les mêmes caractéristiques à Lyon notamment.

Voici un exemple de puits circulaire, pour la même étude (Tolède). Pour récapituler, le canal était toujours couvert (92%), soit en tunnel, soit en aérien, avec des regards pour permettre l'entretien. Le conduit est rempli au 1/3, avec de l'air aux 2/3 qui permet l'aération évitant les mauvaises odeurs et la précipitation des minéraux.

**OUTILLAGE** Nous allons voir maintenant comment les Romains calculaient la pente : ils utilisaient un appareil rudimentaire appelé le chorobate.

Différents instruments d'orientation

Le Chorobate

L'alignement permet de mesurer la pente

Ils utilisaient également la Groma qui permet de tracer des angles droits et des lignes perpendiculaires, grâce à un support vertical planté dans le sol, deux barres fixes à 90° et cinq fils à plomb pour vérifier la verticalité.

Un troisième instrument était la dioptré (en fait un alidade) qui permet d'obtenir des orientations angulaires précises. La dioptré était assez sophistiquée pour permettre de construire un tunnel à travers une montagne entre deux points prévus à l'avance de part et d'autre de celle-ci. Selon Héron d'Alexandrie (ingénieur, mathématicien et mécanicien grec du 1<sup>er</sup> S. de notre ère) elle aurait été utilisée pour le tunnel de 1036 mètres (4000 pieds) de long, creusé à travers le Mont Kastro sur l'île grecque de Samos, pour construire

l'aqueduc d'Eupalinos, au VI S Avant JC. Utilisée longtemps et remplacée par le théodolite.

Voyons maintenant la méthode de distribution de l'eau dans la cité

L'aqueduc termine sa course a Forum Julii, à la porte de Rome.

Il tourne à droite sur le rempart (le Rempart n'est pas défensif), tourne à gauche juste avant le Lagon Bleu (pour éviter une réserve d'eau de pluie déjà implantée) et descend vers le lieu-dit aujourd'hui Le Moulin à Vent, point le plus haut de la ville, ou se trouvait le Castellum Divisorium.

Dernière tour avant le bassin répartiteur

La distribution s'effectuait selon des règles strictes. L'eau finissait sa course initiale dans un réservoir de distribution (Castellum Divisorium ou répartiteur et pas un château d'eau) qui répondait à certains critères précis : il alimentait en règle générale, sous l'empire romain : les riches particuliers qui devaient faire une demande spéciale pour être raccordé, avec un cout à payer.

Les monuments publics et thermes. L'eau était vendue aux établissements publics et aux riches particuliers.

Les fontaines publiques.

En période de sécheresse, (la période critique est l'automne ; si les pluies sont insuffisantes, le système coupait l'alimentation des riches particuliers d'abord et les monuments publics ensuite, mais jamais les fontaines publiques, pour le bien du peuple et la stabilité sociale.

Rome disposera au temps de sa splendeur de 1 million de m<sup>3</sup> d'eau par jour, soit environ 1 m<sup>3</sup> 1000 l / jour par habitant, alors que l'on se contente aujourd'hui de 0.150 m<sup>3</sup>, 150 l / jour en moyenne. Cependant il faut préciser que le flux gravitationnel circulant en continu, l'eau coulait en permanence, il y avait de la perte et cette eau abondante qui s'écoulait des fontaines et des réservoirs servaient à nettoyer les rues et les égouts. Il était donc interdit de prendre de l'eau débordante. Il y avait aussi dans chaque quartier, des citoyens chargés de surveiller les fontaines. Le poste de préposé à l'eau (curator aquarum) était un poste très important à Rome.

Au bas de la rue Bel Air, à l'intersection avec la rue Aubenas, se trouve un vestige d'un canal de distribution. Compte tenu de la forte déclivité entre le point haut et le port, il devait y avoir un ou plusieurs réservoirs intermédiaires (non retrouvés) pour limiter la pression.

## Récapitulatif de l'aqueduc et Difficultés

Merveille sans erreur, donc ? Non, il y eut quelques loups, mais les ingénieurs surent se récupérer. Au lieu-dit La pierre Taillée, le premier ouvrage n'aurait tenu que 30 ans avant que l'autre entre en service quelques années plus tard. Au niveau des arches de Jaumin, de l'Esquine, il y a eu un doublement du canal pour pallier à des faiblesses dues au substrat. À Senequier, le premier pont a été endommagé par des mouvements de terrain et un 2<sup>e</sup> pont a dû être construit. Il y a eu aussi des rehaussements du specus qui laissent à penser qu'il y a eu des enfoncements. Au niveau du Gargalon, on note un décrochement en baïonnette qui ne peut s'expliquer que par une erreur de coordination des équipes entre l'aérien et le souterrain.

La construction du 1<sup>er</sup> tronçon aurait duré 20 ans environ et celle du 2<sup>e</sup>me 24 ans, espacées de plusieurs années. Ce temps est très important par rapport à d'autres aqueducs aussi longs, voire plus, qui dureraient 15 à 20 ans. C'était un aqueduc au specus surdimensionné, l'eau n'arrivait jamais à plus d'un tiers du conduit.

Ennemis de l'aqueduc. Lire le slide. L'aqueduc craint l'homme pour ses actions de destruction, l'eau apporte des concrétions, la chaleur et la sécheresse tout comme aujourd'hui, sur certaines maisons, ont des actions néfastes, provoquent des mouvements du sol, ainsi que les racines des arbres voisins. Les pluies torrentielles détruisent sur leur passage et enfin, les animaux cherchent à profiter de l'abri et de l'eau.

Un aqueduc coûtait très cher, mais participait à la grandeur de l'empire romain. L'aqueduc de Frejus est considéré comme un aqueduc de moyenne section. Les aqueducs de grande section en France sont ceux de Vienne et de Nîmes qui ont des sections de 2.5 et 4 fois celle de Frejus (0.78 m<sup>2</sup>). Ceux de petite section sont les plus nombreux (avec une section égale ou inférieure à 0.50 m<sup>2</sup>). Au début de son exploitation, l'aqueduc complet pouvait fournir en théorie 52 500 m<sup>3</sup>/jour. (1.5x l'utilisation actuelle de Frejus avec 60 000 hab)

Après 150 ans d'exploitation, il pouvait théoriquement fournir 35 800 m<sup>3</sup>/jour soit -32 % (68%) = consommation moyenne pour la population de Frejus

Après 300 ans d'exploitation, il arrivait à fournir seulement 13 300 m<sup>3</sup>/jour, soit -75 % (25%)

Les pertes sont dues aux incrustations de calcaire au fil des ans et au manque d'entretien. Parallèlement, avec la chute de l'empire romain, la ville a perdu jusqu'à 70% de sa population : moins de besoin, moins de personnel d'entretien, moins de moyens de financement pour l'entretien, plus de personnel spécialisé, donc moins d'eau aussi, mais finalement personne pour s'en plaindre puisque ce qui coule suffit.

On ne connaît pas avec précision quand cet aqueduc à cesser d'apporter l'eau à Frejus. L'aqueduc fonctionna pendant environ 3 siècles. En fin de service, fortement concrétionné et colmaté par manque d'entretien, il ne délivrait que 25% de son débit initial. De l'avis de spécialistes, la source de La Foux aurait permis d'alimenter Forum Julii sans trop de problème, sans le besoin du Neisson dont le captage date de la fin du 1er siècle de notre ère.

Une information sur la population de Frejus au cours des siècles :

Durant la période faste de Forum Julii : 10 000 à 15 000 habitants

Pas de donnée connue jusqu'à 1470 (saccages des sarrazins) : environ 1 500 habitants

1580 6 000 habitants

1793 2 400 habitants

1896 3 510 habitants

1936 9 400 habitants

1968 23 000 habitants

1999 46 800 habitants

2024 000 habitants

Quelques dates : 450 fonctionnement restreint, 1590 siège de Frejus, 1870 partage des eaux avec St Raphael, 1886 classement monument historique, 1892 remise en service avec une conduite amiante-ciment, 1894 inauguration de la fontaine des 4 parties du monde, à partir de 1941 jusqu'à nos jours, diverses rénovations ont eues lieu.

On pourrait encore dire beaucoup de choses. Il a donc fallu trancher, et j'ai essayé de garder les informations qui m'ont semblé les plus intéressantes. L'aqueduc de Forum Julii est le cinquième plus long de la Gaule, dans la moyenne des constructions romaines. L'ouvrage le plus long connu est l'aqueduc de Carthage avec 132 km. Les concrétions normalement permettent de dater avec précision l'âge des ouvrages mais le mélange des eaux, de pluie, de puits et de source, contrarie le calcul, les eaux de puits ne sont pas carbonatées si le substrat n'est pas de nature calcaire. Les études ont permis de déterminer la durée de fonctionnement de 250/300 ans (début en 25 de notre ère pour la Foux et 75 pour le Neisson). Dans l'empire romain, c'est la moyenne. Une merveille du genre. (coté touristique indéniable) Les Romains avaient une grande connaissance de l'art de la construction (Vitruve) : ils nous ont laissé des édifices qui 2000 ans après, sont toujours là.

**FIN**

