

# Les sciences de l'ingénieur au secours de l'archéologie...

Autor(en): **Paunier, Daniel**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Ingénieurs et architectes suisses**

Band (Jahr): **119 (1993)**

Heft 25

PDF erstellt am: **26.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-78088>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

# Les sciences de l'ingénieur au secours de l'archéologie...

Par Daniel Paunier, professeur, directeur de l'Institut d'archéologie et d'histoire ancienne de l'Université de Lausanne

L'archéologie, science à part entière, a pour objet l'étude des vestiges matériels propres à éclairer l'histoire, les modes de vie et le cadre naturel des hommes d'autrefois. Sa première tâche, au moment des fouilles, consiste à établir les faits en recueillant et en enregistrant soigneusement les données. Cette phase, appelée compilatoire, manière d'autopsie du terrain – où l'erreur est irréversible, puisque la fouille détruit l'objet même de sa recherche, rendant impossible toute expérimentation directe – est un moment décisif. Paradoxalement, on peut dire que l'archéologie, en détruisant des sites, avec beaucoup de soins, il est vrai et dans une noble perspective, participe, à sa manière, à l'érosion de l'histoire. Mais il serait erroné de réduire la tâche de l'archéologie à cette conception restrictive qui voudrait la confondre avec la fouille, une des dernières parts de rêve et d'aventure, si l'on en croit les médias, réservée aux hommes d'aujourd'hui. L'exploration du terrain achevée, intervient la phase explicative, l'interprétation des données qui, théoriquement, peut se modifier à l'infini, à tout le moins rester provisoire jusqu'à sa validation par d'autres fouilles sur d'autres sites. A partir d'indices le plus souvent très ténus, qui ne représentent qu'une infime partie de la culture matérielle, il s'agit, avec le concours éventuel d'autres données (documents écrits s'ils existent, sciences physiques, chimiques ou naturelles, ethnologie, archéologie expérimentale ou sciences de l'ingénieur) de restituer le passé avec la plus grande précision possible, qu'il s'agisse de l'environnement, du cadre architectural, des activités religieuses, artistiques, politiques, économiques ou techniques des sociétés humaines qui nous ont précédés.

Par essence, l'archéologie est donc pluridisciplinaire ou interdisciplinaire. A côté des documents écrits, elle fait appel au concours de nombreuses disciplines, en particulier dans le domaine des méthodes de datation (carbone 14, thermoluminescence, dendrochronologie), de la détermination des matériaux et des études technologiques

## Archéologie et sciences de l'ingénieur

Deux événements ont été l'occasion, cette année, de souligner les convergences entre archéologie et sciences de l'ingénieur: la Journée de l'A<sup>3</sup>E<sup>2</sup>PL du 19 juin et l'excursion conjointe, le 25 juin, du groupe vaudois de la GEP et de l'A<sup>3</sup>. La première de ces manifestations fut le cadre de trois conférences sur les rapports qu'entretiennent ces disciplines, tandis que l'excursion a suivi un itinéraire allant du chantier du tunnel de Courgevaux, sur le tracé de l'autoroute N1, au site archéologique d'Avenches. Ainsi rapprochées dans le temps et rattachées au même pôle d'intérêt, ces deux journées furent passionnantes et riches d'enseignements pluridisciplinaires, recouvrant près de deux mille ans d'activité humaine, de la civilisation romaine à l'époque moderne, en passant par la Renaissance.

C'est pourquoi nous avons souhaité présenter aux lecteurs de *IAS* le contenu des conférences données le 19 juin, par les articles de leurs auteurs. «Les sciences de l'ingénieur au secours de l'archéologie» sont ainsi illustrées par Daniel Paunier, professeur d'archéologie à l'Université de Lausanne, «Remparts, fouilles et terrassements au temps de Divico» ont fait l'objet des recherches de Léopold Pflug, professeur au Département de génie civil de l'EPFL, quant au sujet «Mortiers, bétons et archéologie», il est traité par Vinicio Furlan, professeur au Département des matériaux de l'EPFL. D'autre part, les lecteurs de *IAS* pourront également profiter des enseignements des visites du 23 juin, grâce aux articles de Frédéric Matter, ancien président de la GEP-Vaud, et de Hans Bögli, archéologue conservateur du Musée romain et président de *Pro Aventico*.

L'A<sup>3</sup> exprime ici sa vive reconnaissance à ces auteurs, dont les contributions éclairent notre compréhension des liens entre l'histoire, la science des matériaux et l'art de l'ingénieur.

Enfin, nos remerciements vont aussi à la rédaction de *IAS*, qui fera paraître cette série d'articles dans quelques numéros successifs de la revue.

Bernard Vittoz  
Commission de communication A<sup>3</sup>

(pétrographie, analyse physico-chimique des métaux, des scories ou des terres cuites, pour connaître leur nature, leur origine, les transformations subies, les températures de fusion ou de cuisson), des analyses des sédiments, des bois, des restes végétaux macroscopiques, des pollens de la faune (ostéologie, malacologie), qui permettent de restituer le cadre de vie, l'impact de l'homme sur l'environnement, l'évolution des espèces ou les modes d'alimentation, ou encore des techniques relatives à la protection, à la conservation et à la restauration des matériaux, comme la pierre, le bois, le cuir ou les textiles, qui nécessitent la connaissance préalable des phénomènes d'altération; on peut ajouter encore les restitutions, graphiques ou matérielles (maquettes, reconstructions grandeur nature) d'objets ou de monuments, aux fins d'archéologie expérimentale ou de présentation au public, qui posent les problèmes, incontournables, de sta-

tique ou de résistance et exigent la collaboration d'ingénieurs ou d'architectes. Les restitutions ou les élévations proposées au public à partir de l'observation, sur le terrain, de quelques fondations ou de quelques pilotis sont-elles crédibles, techniquement parlant? Quels sont les types de toiture ou de charpente possibles sur tel édifice, public ou privé, compte tenu de la résistance des murs, des portées, du poids de la couverture, soumis à de grandes variations selon la nature du matériau, (tuiles, pierres, chaume, bardeaux) ou les conditions climatiques? Où étaient disposées les chèvres à palans ou les grues, dont nous possédons quelques descriptions et représentations antiques, pour la construction des grands monuments? Quelle devait être la puissance de ces moyens de levage? Quelle était la charge utile d'un chaland romain, tel celui mis au jour à Bevaix/NE (10 à 18 tonnes) ou son tirant d'eau (0,5 m)? Quelle était la force de frappe des en-

gins de guerre (catapultes, onagres)? Telle flèche ou tel javelot étaient-ils capables de percer tel type d'armure et de provoquer la mort? L'informa- tique, elle aussi, est devenue pour l'archéologie un auxiliaire indispen- sable (banque de données, classifica- tion, dessin, cartographie, digitalisa- tion des volumes, balayage laser, res- titutions stéréo-lithographiques, etc.). Pour illustrer concrètement l'apport des sciences de l'ingénieur à l'arché- ologie, nous avons sélectionné quatre exemples choisis dans des domaines différents que nous présenterons briè- vement, sans entrer dans les détails techniques.

Le premier concerne l'enceinte de Nîmes, dont un ingénieur au CNRS, J.-L. Bessac, a étudié quelques aspects insolites. La construction de l'ouvrage, long de 6 km, édifié en 16/15 av. J.-C., a exigé environ 60 000 m<sup>3</sup> de matériaux d'un poids estimé à 130 000 tonnes. Aussi, pour réduire les coûts, la pierre a-t-elle été exploi- tée aussi près que possible de la ville, parfois même sur place, directement à l'aplomb des murs (fig. 1). La structure géologique (strates horizontales re- coupées verticalement par des fis- sures), tout en facilitant l'extraction, a déterminé le module du petit appareil, la hauteur d'assise correspondant à celle de la strate. Quant aux déchets de taille, qu'il n'était point nécessaire

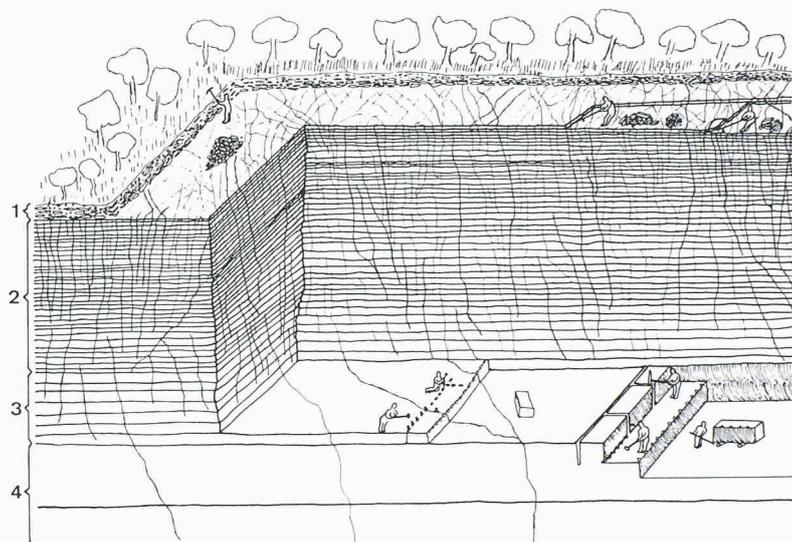


Fig. 1.- Enceinte de Nîmes: schéma de l'organisation des chantiers d'extractions (J.-C. Bessac dans «Les enceintes augustéennes dans l'Occident romain», Ecole Antique de Nîmes, 1987, p. 33, fig. 69)

1. Tout-venant superficiel
2. Bancs fournissant le petit appareil
3. Strates produisant le moyen appareil
4. Roche massive destinée au grand appareil

d'évacuer au loin, ils constituaient, avec le mortier de chaux, le blocage interne coulé entre les deux parements. On a pu ainsi estimer à environ une année la durée de la construction pour une dizaine d'équipes d'une trentaine d'hommes, y compris les carri- ers, les chauffourniers et les trans- porteurs. Pour les portes, les construc- teurs ont utilisé un calcaire plus tendre, propre à faciliter la taille d'un décor sculpté et provenant de Barutel, à 9 km environ, ou encore, pour la por-

te principale, un matériau blanc, plus résistant et plus fin, extrait de carrières situées à une vingtaine de kilo- mètres de la ville.

Le chauffage par hypocauste, inventé par les Romains, à la fin de l'époque républicaine, qu'il soit destiné aux bains publics ou aux maisons privées, consistait, à partir d'un foyer, à faire circuler de l'air chaud entre des pi- lettes soutenant le sol de circulation de la pièce à chauffer (fig. 2). Des tubu- lures de terre cuite, disposées sur les parois, tout en assurant le tirage, répartissaient la chaleur dans les murs et contribuaient ainsi à empê- cher la condensation. La reconstitu- tion de tels dispositifs de chauffage, à partir des observations archéolo- giques, a permis à des ingénieurs en chauffage de procéder à des expé- riences riches d'enseignement, nota- ment sur le tirage, extrêmement faible, la hauteur des cheminées, la conduite du feu, très économique, les échanges et les pertes de chaleur, ainsi que les températures obtenues dans les différentes pièces en fonc- tion de leur éloignement du foyer. La chaleur, transmise essentiellement par rayonnement, régulièrement ré- partie, ne provoquait pas, à l'instar de nos chauffages modernes, de ces cour- ants d'air qui soulèvent les pous- sières et irritent les voies respira-

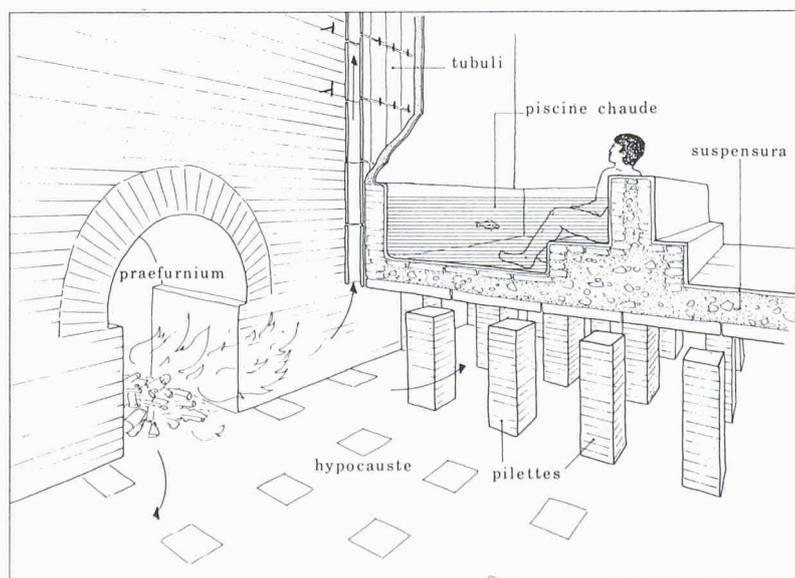


Fig. 2.- Fonctionnement du chauffage romain (J.-P. Adam: «La construction romaine», Paris, 1984, fig. 634)

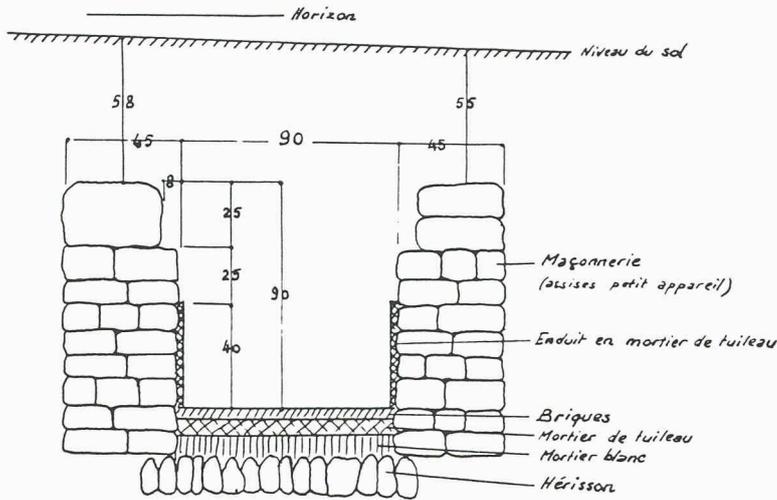


Fig. 3.- Aqueduc de Nyon: coupe dans le secteur de Borex (F. Magnetti, F. Ledgard: «Etude du point de vue de l'ingénieur de l'aqueduc Divonne-Nyon», EPFL, 1989, A. 19)

toires. Dans d'autres cas, notamment celui de l'Aula Palatina de Trèves, bâtiment officiel de 1816 m<sup>2</sup>, haut de 30 m, remarquablement conservé, on a pu calculer l'énergie nécessaire pour le maintien d'une température intérieure de 15° pour une température extérieure de 4°, à savoir 480 000 Kcal/h, et de comparer les données avec celles d'aujourd'hui: c'est ainsi que 1500 litres de mazout par jour seraient nécessaires actuellement pour chauffer le bâtiment...

Nous emprunterons notre troisième exemple au domaine de l'hydraulique. Les aqueducs, monuments de prestige, témoignent des progrès incontestables accomplis par la technologie romaine, (utilisation du mortier de chaux, précision dans le calcul des pentes, construction de siphons, de ponts audacieux ou de tunnels). Deux recherches entreprises par des étudiants du Département de génie civil de l'EPFL (prof. S. Muller) ont permis d'enrichir nos connaissances rela-

tives, respectivement, aux aqueducs des colonies romaines de Nyon et d'Avenches. C'est ainsi qu'il a été possible, dans le premier cas, de proposer un profil en long de la conduite entre sa source, à Divonne, et la ville romaine des bords du Léman, une des conditions préalables au calcul du débit. Ce dernier, compte tenu de la pente d'écoulement (en moyenne 8<sup>0</sup>/<sub>100</sub>), de la surface mouillée, du revêtement interne de mortier de tuileau, de la nature du radier (briques) et de la rugosité, devait avoisiner les 34 500 m<sup>3</sup> par jour, valeur proche de celle de l'aqueduc de Nîmes, célèbre par le pont du Gard, mais bien éloignée des 75 000 m<sup>3</sup> de l'un des aqueducs de Lyon (fig. 3). L'analyse des dallettes en terre cuite du radier, celle du mortier de chaux employé dans les maçonneries et du mortier de tuileau servant à assurer l'étanchéité, ont permis de mettre en évidence la qualité des matériaux, notamment leur composition et leur résistance moyenne (1 kg/mm<sup>2</sup>

pour le mortier de tuileau) et de comparer ces valeurs avec d'autres échantillons antiques.

Notre dernier exemple concerne l'architecture de terre et de bois en Suisse romaine, sujet d'un mémoire rédigé récemment par l'un de nos étudiants, Alban Schmid. Les vestiges archéologiques étant très pauvres et très fugaces en raison de la fragilité des matériaux, la restitution de l'élévation des édifices relève souvent de la tentative désespérée. Aussi notre étudiant a-t-il fait appel à un assistant de l'Institut de construction en bois de l'EPFL, Michael Hoefft, pour tenter de résoudre ce problème à partir de l'exemple d'une maison romaine d'Oberwinterthur, datée entre 20 et 45/55 ap. J.-C., large de 12 m, constituée de poteaux plantés, de parois de planches verticales et d'un toit couvert de bardeaux, avec charpente en chêne. Les calculs de l'ingénieur ont montré que l'ancrage des poteaux dans le sol était insuffisant pour contenir les forces de déversement latéral et qu'une manière de contreventement était nécessaire: quant à la couverture, compte tenu des contraintes, seule une charpente à arbalétriers, espacés régulièrement sur les sablières hautes, était possible: les entrails pouvaient être monoxyles (long. 12 m) ou résulter d'un assemblage en «trait de Jupiter», soulagé nécessairement par l'existence d'un poinçon (fig. 4). Ainsi, l'usage de fermes triangulées est-il attesté dans nos régions dès la première moitié du 1<sup>er</sup> s. de notre ère, nouvel exemple de transfert technologique de l'Italie vers les provinces et témoignage de valeur pour une meilleure évaluation du phénomène de romanisation.

Les quelques exemples que nous venons brièvement de passer en revue suffisent à illustrer la nécessité d'un travail interdisciplinaire. Pour être crédible, l'archéologie, sans noyer son discours sous des montagnes de chiffres, de courbes et de statistiques, doit fonder ses raisonnements sur des prémisses aussi sûres que possible et valider ses hypothèses avec rigueur. C'est ainsi que les sciences de l'ingénieur, avec d'autres, doivent nécessairement voler à son secours...

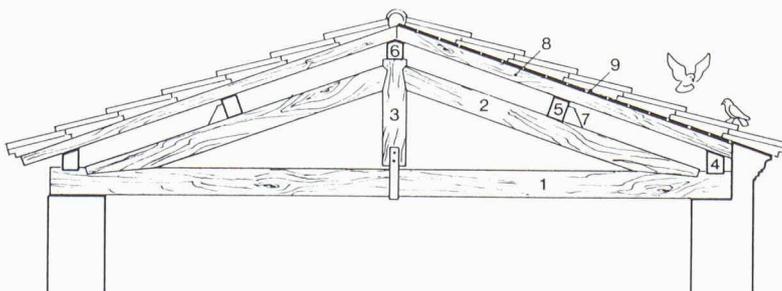


Fig. 4.- La ferme triangulée, apparue dans nos régions dans les premières décennies de notre ère (J.-P. Adam, op. cit., fig. 491)

- 1. Entrait
- 2. Arbalétrier
- 3. Poinçon