

Les données chiffrées

Objektyp: **Chapter**

Zeitschrift: **Bulletin de l'Association Pro Aventico**

Band (Jahr): **48 (2006)**

PDF erstellt am: **19.09.2024**

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.

Aqueduc du Bois de Châtel 1

L'aqueduc du Bois de Châtel 1 a été localisé près de son captage, où il présenterait les mêmes dimensions que celui décrit ci-dessus. Comme pour l'aqueduc d'Oleyres, on peut y envisager la présence d'une couverture de dalles.

Ses vestiges sont nettement plus concrets au point BC1.3, dans le *frigidarium* des thermes d'En Perruet¹⁶⁷. Les piédroits, de presque 60 cm de largeur, sont parfaitement parementés, à l'intérieur comme à l'extérieur du canal, et les joints sont même tirés au fer. Le matériau utilisé est exclusivement du calcaire jaune, dont certains moellons sont rubéfiés, ce qui indique un remploi. Bien que des claveaux aient été repérés dans le mur sud du *frigidarium*, nous ne pouvons pas affirmer que la couverture de la conduite ait été voûtée ailleurs qu'au passage des murs. Au vu du niveau du sol en cailloutis relevé dans la palestine au nord du bâtiment, il est même très probable que la structure hydraulique ait été couverte de dalles. Le canal, large de 60 à 66 cm, est doté d'un fond particulier ; il est composé d'une couche de mortier de tuileau de 3 cm d'épaisseur sur laquelle reposeraient des dalles carrées observées par Jean Bourquin, dalles que l'on ne peut plus distinguer de nos jours. Elles auraient constitué une assise régulière recevant des plaquettes de terre cuite disposées en *opus spicatum*. Notons qu'il est pour le moins étrange de trouver un fond d'aqueduc aussi soigné. Cette technique de construction, inédite pour ce type de structure, servait-elle à filtrer l'eau avant son entrée dans les citernes ?

Aqueduc du Bois de Châtel 3

BC3.1 est le seul tronçon attesté de la conduite du Bois de Châtel 3. Avec les différents ressauts qui élargissent le rempart, ce sont pratiquement trois mètres qu'il lui fallait traverser. Des dalles de grès d'une épaisseur d'une trentaine de centimètres sont posées de chant sur un lit de béton de chaux. D'autres dalles du même matériau reposent à l'horizontale sur les précédentes, formant ainsi un canal de 33 cm de large pour une hauteur maximale de 65 cm. Deux choses surprennent : d'une part, le manque un revêtement de dalles ou de tuiles au fond du canal, car le béton de chaux n'est absolument pas adapté au passage de l'eau. D'autre part, l'absence d'enduit de tuileau sur les parois est également étrange, même si de l'argile aurait parfaitement pu remplacer le mortier hydraulique. Il n'existe cependant aucune description de ce tronçon et les photos disponibles ne permettent pas de se prononcer à ce sujet. Un arc de décharge constitué de claveaux en calcaire jaune couronne le dispositif.

Les conduites secondaires

Aqueduc de Bonne Fontaine

J.-P. Aubert a découvert une tranchée dans la roche molassique, qui se dirige vers la conduite principale (BF.S.1)¹⁶⁸, mais nous ne connaissons rien d'une éventuelle canalisation qui y aurait pris place.

En revanche, nous disposons d'une description détaillée de la conduite secondaire BF.S.2¹⁶⁹ (fig. 10). Elle a été mise au jour dans un petit sondage, à 1,2 m de profondeur. Une couche d'argile naturelle pure servait de lit de pose aux *tegulae* de la conduite. Les rebords pointant vers le haut ont été volontairement cassés à une des extrémités des tuiles, afin de pouvoir les emboîter sans problème. Les parois de l'adduction étaient constituées de galets ou de boulets tirés de l'Arbogne, tandis que de larges pierres plus ou moins plates ont été choisies pour former la couverture. Nous ne connaissons pas le mode d'étanchéité, mais nous pouvons avancer l'hypothèse de l'utilisation d'argile, disponible dans le secteur.

En ce qui concerne le tronçon BF.S.3, il semblerait qu'il s'agisse d'une conduite maçonnée, semblable à la branche principale, mais le document s'y rapportant et qui nous intéresse¹⁷⁰ n'est pas assez explicite à ce sujet.

Aqueduc de Coppet

H. Vorlet nous a transmis trois descriptions de conduites secondaires dans le hameau de Granges-Rothey¹⁷¹. La conduite C.S.1 est maçonnée et voûtée, identique en tous points à la branche principale dans laquelle elle se jette.

Une petite voûte maçonnée au pied d'un talus, probablement moderne, marque l'emplacement de la source qui a été captée à l'époque romaine pour alimenter la canalisation C.S.2 (fig. 17). Celle-ci est composée de blocs de tuf équarris qui reposent sur la roche molassique, formant un canal de 15 cm de large et de 10 cm de haut. Des petits galets sont également disposés le long des moellons de tuf. Le tout est recouvert par des dalles de grès.

La troisième conduite secondaire (C.S.3) doit s'apparenter à celle de l'aqueduc de Bonne Fontaine, que nous avons déjà décrite (BF.S.2), mais à la différence près que les piédroits étaient formés de calcaire jaune et non de boulets ou de galets tirés du lit d'une rivière.

Aqueduc d'Oleyres

Les conduites secondaires de l'aqueduc d'Oleyres sont les moins bien connues de toutes. En ce qui concerne O.S.1, nous savons uniquement qu'elle était composée de tuiles de type indéterminé¹⁷². La canalisation O.S.2¹⁷³, en revanche, est mieux décrite : il s'agit d'*imbrices* recouvertes par des *tegulae* qui formaient un canal de l'ordre de 30 cm de large.

5. Les données chiffrées

5.1. Dimensions du canal des différents tronçons observés

Grâce aux données transmises par les précédentes publications ou récoltées lors de fouilles, nous disposons

¹⁶⁹ SAEF 1899.

¹⁷⁰ MEIER.

¹⁷¹ VORLET 1910, p. 1-4.

¹⁷² OLIVIER 1942, p. 38-39.

¹⁷³ OLIVIER 1942, p. 38-39.

¹⁶⁷ BOURQUIN 1954, p. 98-99.

¹⁶⁸ AUBERT 1968, p. 44 ; AUBERT 1969, p. 32.

Aqueduc	Largeur canal [cm]	Hauteur canal [cm]	Largeur canal av. concr. [cm]	Hauteur canal av. concr. [cm]	Hauteur flèche [cm]	Section utile maximale [cm ²]
BF.3	40	50	37-40	43	16	2000
BF.7	40	54	31-40	48	env. 27	2160
BF.10	41	52	28-41	45	28	2132
BF.13	41	60				2460
C.7	40	50	28	45	24	2000
C.10	37					
C.12	39	66				2574
C.13 amont	32 (min)-41	42		40-42		1722
C.13 aval	29 (?)-35	51		50-51		1785
C.15	45					
C.16	38-40	48			21	1920
C.17	38					
C.18 regard	40		38-40	50	29	2000
C.19	38					
BC3.1 rempart	31	63				1953

Fig. 35. Tableau représentant les dimensions des canaux des aqueducs d'Avenches.

d'une quantité d'informations concernant les dimensions du canal de plusieurs tronçons. Nous avons choisi de les rassembler sous forme d'un tableau synoptique (fig. 35). Il est ainsi plus facile de comparer les sections des différents aqueducs, mais aussi leurs variations le long du tracé d'une même conduite. Ces données sont cependant mal réparties, puisque nous ne disposons d'infor-

mations que pour le début du tracé de l'aqueduc de Bonne Fontaine, contrairement à celui de Coppet que nous connaissons essentiellement en fin de parcours. Mis à part le tronçon de la conduite du Bois de Châtel 3 qui franchit le rempart, il est impossible de fournir des chiffres précis pour la section utile des autres aqueducs.

Aqueduc/branche secondaire	Alt. Sommet [m]	Alt. Base [m]	Longueur [km]	Longueur à vol d'oiseau [km]
BF	550	463	16,230	9,800
BF, branche des Marais Galley	569	520	env. 0,535	env. 0,510
BF, branche de Romanex	595	497	2,730	2,5
BF total			env. 19,495	12,810
C	597	468	5,025	4,200
C.S.1	587	587	env. 0,020	env. 0,020
C.S.2	588	587	env. 0,040	env. 0,030
C.S.3	582	577	env. 0,265	env. 0,255
C total			env. 5,350	env. 4,505
O	560	470	3,760	3,100
O.S.1	545	539	min 0,045	min. 0,045
O.S.2	518	504	min 0,215	min. 0,215
O.S.P.4	518	504	min. 0,210	min. 0,210
O total			min. 5,020	min. 4,360
BC1	514	444	2,550	2,230
BC1.P.S.1	518	505	min. 0,095	min. 0,080
BC1 total			min. 2,645	min. 2,310
BC2	538	460	2,005	1,200
BC3	538	471	2,845	1,650
BC3.P.S.1	487	475	0,125	0,110
BC3.P.S.2	482	475	0,130	0,115
BC3 total			3,100	1,910
CV	485	471	0,205	0,180

Fig. 36. Tableau mettant en lumière les longueurs ainsi que les altitudes initiales et finales des aqueducs et des conduites secondaires alimentant Aventicum.

5.2. Calculs

La longueur des tracés

Le tableau (fig. 36) présente les longueurs des différents tracés des aqueducs aventiciens, en se basant sur les résultats recueillis en collaboration avec le sourcier. Nous y avons également intégré les distances à vol d'oiseau, afin de démontrer que les différences de longueurs sont principalement dues aux nombreuses boucles effectuées dans les vallons et au fait que les ingénieurs romains devaient maintenir une pente plus ou moins constante.

Bien que les longueurs des conduites aient été plutôt modestes, on notera que celle de Bonne Fontaine, qui est l'aqueduc le plus long, mesure tout de même plus de 16 km, voire près de 20 km si on y ajoute les adductions secondaires. La distance totale parcourue par tous les aqueducs s'élève à 32,820 km, ce qui représente un réseau d'adduction étendu pour une cité provinciale qui, de surcroît, n'était pas une capitale de province¹⁷⁴.

Le tableau contient aussi les altitudes de départ et d'arrivée des aqueducs, qui seront reprises plus bas. Il faut toutefois préciser qu'il s'agit d'estimations, à quelques exceptions près, car nous ne connaissons pas la profondeur des vestiges, sauf en deux emplacements. Nous avons ainsi opté arbitrairement pour un niveau d'enfouissement d'environ deux mètres. Quant aux altitudes considérées comme éta-

blies, elles se situent au niveau du captage dans la région de la *Cabutse* (O.2) et à la fin du parcours de la conduite du Bois de Châtel 1 (BC1.3). Ce dernier point a récemment été relevé à l'altitude de 443,98 m au fond du *specus* qui traverse le *frigidarium* des thermes restaurés d'*En Perruet*.

Les pentes

Peu d'auteurs ont tenté de calculer les pentes des différents aqueducs alimentant *Aventicum*, voire de certains tronçons seulement. Cette démarche est cependant indispensable si on veut estimer leurs débits. E. Olivier, qui cite un travail d'un certain M. Boiceau, nous indique que la pente de la conduite de Bonne Fontaine est de 0,73 m/km entre la Baume et les *Grands Sex*¹⁷⁵. Quant à J.-P. Aubert, il avance les chiffres de plus de 20 m/km dans la vallée de l'Arbogne en ce qui concerne l'aqueduc de Bonne Fontaine et de 1,5 m/km pour celui de Coppet le long de la Longeigue¹⁷⁶. Nous avons donc réexaminé ces chiffres et les avons complétés avec les données issues des tronçons mis au jour récemment (fig. 37).

Il faut impérativement différencier les pentes estimées des tracés complets des aqueducs, de celles, effectives, des tronçons, car ces derniers ont été mesurés au centimètre près. Globalement, on peut affirmer que les conduites aventiciennes présentent des pentes moyennes plutôt fortes

Point d'aqueduc	Altitude supérieure [m]	Altitude inférieure [m]	Distance [km]	Pente moyenne [m/km]
BF	550	463	16,230	5,36
C	597	468	5,025	25,67
O	560	470	3,760	23,93
BC1	514	444	2,550	27,45
BC2	538	460	2,005	38,90
BC3	538	471	2,845	23,55
CV	480	471	0,205	43,9
Tronçons				
BF.3-BF.5	545,81	538	0,460	16,97
BF.5-BF.7	538	520	0,870	20,69
BF.7-BF.10	520	513,98	0,240	25,08
BF.10-BF.13	513,98	504,33	1,710	5,64
BF.13	504,33	504,30	0,00382	7,85
BF.3-BF.13	545,81	504,30	3,280	12,66
Tronçons C				
C.6-C.7	473,73	473,62	0,080	13,75
C.7-C.10	473,62	472,6	0,320	3,19
C.10	472,60	472,59	0,003	3,33
C.10-C.12	472,59	471,05	0,985	1,56
C.12-C.13 aval	471,13	471,02	0,040	2,75
(C.13)	(471,12)	471,02	0,010	10
C.13-C.18	471,02	470,74	0,175	1,6
C.18-C.19	470,74	470,72	0,020	1
C.6-C.10	473,73	472,6	0,400	2,83
C.6-C.19	473,73	470,72	1,620	1,86
C.10-C.19	472,59	470,72	1,220	1,53
C.12-C.19	471,13	470,72	0,235	1,74

Fig. 37. Tableau représentant les estimations des pentes moyennes des aqueducs d'Avenches et les pentes effectives de différents tronçons.

¹⁷⁴ Cf. ci-dessous, chapitre 4. « Comparaisons et parallèles », fig. 39.

¹⁷⁵ OLIVIER 1942, p. 68. Cette estimation doit être nuancée car nous ne possédons pas assez d'éléments pour effectuer ce calcul.

¹⁷⁶ AUBERT 1968, p. 54.

comparées à d'autres aqueducs du monde romain¹⁷⁷. Seule la conduite de Bonne Fontaine s'approche un peu plus des pentes habituellement observées sur d'autres aqueducs, bien que ceux-ci ne respectent que rarement les 2,5 à 5 m/km préconisés par Vitruve ou Pline l'Ancien¹⁷⁸. Les fortes pentes, à Avenches, s'expliquent par le fait que les tracés sont assez courts et que les sources se situent bien plus haut que les châteaux d'eau. Comme une pente trop abrupte aurait pu provoquer des dégradations à l'intérieur du canal, il faut supposer la présence de nombreux escaliers hydrauliques sur les parcours des aqueducs d'Aventicum.

Intéressons-nous de plus près aux tronçons de la conduite de Bonne Fontaine: dans la première partie du tracé, dans la vallée de l'Arbogne, la pente est assez forte, variant entre 16,97 m/km et 25,67 m/km. Ce n'est que dès le point BF.10 qu'elle s'approche sensiblement de la moyenne calculée pour tout le parcours. Bien qu'on n'ait aucun élément chiffré pour l'affirmer, la pente entre la Baume (BF.24) et les *Grands Sex* (BF.30) est très faible, puisque l'aqueduc se trouve constamment enfoui sous la courbe de niveau de 480 m; la seule inconnue reste la profondeur des vestiges.

On retrouve les mêmes caractéristiques en ce qui concerne l'aqueduc de Coppet; la pente y est assez forte avec une moyenne de 25,67 m/km au début du tracé, entre les hameaux de Granges-Rothey et de Coppet. Plus on se rapproche de la ville antique d'Avenches, plus la pente diminue. Ainsi, elle est de l'ordre de 13,75 m/km le long de la Longeaigne (C.6-C.7), puis elle descend à 3,19 m/km dès qu'on s'éloigne du cours d'eau (C.7-C.10). Elle oscille entre 1 m/km et 2,75 m/km dans le parcours final, ce qui est assez faible. Les quelques mètres de dénivellation perdus dans le passage obligé que constituait le vallon de la Longeaigne devaient impérativement être compensés par une pente douce en fin de tracé afin d'arriver assez haut en ville.

Les débits

Plusieurs études antérieures ont traité de la question des débits et du volume d'eau disponible pour les habitants d'Aventicum. H.-R. Rohrer avance le chiffre de 2'880 m³/jour pour le tronçon BF.12 de l'aqueduc de Bonne Fontaine, tandis que J.-P. Aubert évalue le volume d'eau minimum pour toutes les conduites à 4'300 m³/jour¹⁷⁹. Les deux auteurs ne signalent pas comment ils ont obtenu ces valeurs. E. Olivier tente une double approche pour quantifier le volume d'eau disponible, l'une en partant des débits

des sources et l'autre, se basant sur une étude de M. Boiceau, en calculant précisément les débits des différents tronçons¹⁸⁰. Grâce aux écoulements mesurés des sources, il peut avancer le chiffre minimal de 1'950 l/min, soit 2'880 m³/jour, pour tous les aqueducs qui lui sont connus (BF, C, O et BC1), tout en sachant pertinemment qu'il n'a pas inclus toutes les résurgences et que les débits de celles-ci peuvent fortement varier. Sa seconde approche consiste à calculer le volume d'eau aux endroits présentant la pente la plus douce. Ainsi, il obtient 23'904 m³/jour pour l'aqueduc de Coppet et 5'472 m³/jour pour celui de Bonne Fontaine. En intégrant le paramètre de 3 cm de concrétions calcaires, les débits diminuent pour atteindre 8'064 m³/jour pour la conduite de Coppet et 1'728 m³/jour pour celle de Bonne Fontaine. Les deux résultats additionnés nous donnent tout de même un débit minimum de presque 10'000 m³/jour.

Avant de se pencher sur les calculs, il est nécessaire de distinguer les notions de débit potentiel et de débit effectif. Le volume d'eau effectif est étroitement lié aux sources qui varient au cours des saisons, voire des années. On ne pourra donc que chiffrer le débit potentiel, en fonction de la section du canal, de la rugosité des parois, de la pente et de la hauteur d'eau transportée. Tous ces facteurs interviennent dans la vitesse du courant. On utilise ainsi la formule de Bazin¹⁸¹:

$$V = C \times \sqrt[3]{R} \times \sqrt{i}$$

V: vitesse d'écoulement en m/s.

R: rayon hydraulique, c'est-à-dire le rapport entre la section mouillée (= S) et le périmètre mouillé (= P), ce dernier étant composé de deux fois la hauteur de la section mouillée (= h) et de la largeur de cette même section (= l). Cela nous donne donc: $R = S / (2 \times h \times l)$.

C: facteur qui dépend du rayon hydraulique (= R) et de l'état du mortier de tuileau ou des parois, traduit par un coefficient de rugosité (γ). On emploie $\gamma = 0,16$ pour une paroi neuve en mortier de tuileau bien lissé et $\gamma = 0,46$ pour une paroi légèrement dégradée ou finement grenue. La formule se décompose de la façon suivante: $C = 87 \times \sqrt{R} / (\gamma + \sqrt{R})$

i: pente

Il ne reste plus qu'à calculer le débit (= Q), moyennant la formule:

$$Q = V \times S \text{ [m}^3/\text{s]} = 86'400 \times V \times S \text{ [m}^3/\text{jour]}$$

Nous ne bénéficions malheureusement que de quelques tronçons permettant d'effectuer ces calculs. Il faut en effet écarter tous les aqueducs dont nous ne possédons aucune

Tronçon	Débit avec $Y = 0,16 \text{ [m}^3/\text{jour]}$	Débit avec $Y = 0,46 \text{ [m}^3/\text{jour]}$	Débit avec tuf, $Y = 0,46 \text{ [m}^3/\text{jour]}$
BF.7	12282	7350	2352
BF.10	18342	10582	4579
C.7	46812	30053	14679

Fig. 38. Tableau présentant les débits potentiels de trois tronçons avec des revêtements de mortier de tuileau de différente qualité ainsi que des dépôts calcaires.

¹⁷⁷ Cf. ci-dessous, chapitre 6. «Comparaisons et parallèles», fig. 39.

¹⁷⁸ VITRUVÉ, *De arch.*, VIII, 7.1; Pline l'Ancien, *Hist. Nat.*, XXXI.

¹⁷⁹ ROHRER 1962, p. 2; AUBERT 1968, p. 55.

¹⁸⁰ OLIVIER 1942, p. 65-69.

¹⁸¹ HODGE 2002, p. 351 et BURDY 2002, p. 166.

coupe. Pour les autres conduites, la hauteur de l'eau et la section mouillée peuvent être déduites s'il y a présence de dépôts calcaires. C'est un indice d'une grande importance qui n'a toutefois pas toujours été décrit dans les coupes. On doit donc également écarter tous les tronçons qui présentent cette lacune. Par conséquent, on ne retiendra que trois points, deux appartenant à l'aqueduc de Bonne Fontaine et un à celui de Coppet (fig. 38).

Les très grands débits potentiels des tronçons, particulièrement de celui de Coppet, sont remarquables. C.7 présente des concrétions allant jusqu'au sommet des piédroits, ce qui témoigne d'un dysfonctionnement local. Des études ont par ailleurs démontré que le meilleur rendement est obtenu quand l'eau s'élève jusqu'à mi-hauteur du canal; il s'agit d'un cas de figure que présentent de nombreux ouvrages¹⁸².

Les débits calculés ci-dessus sont trop importants comparés aux grands aqueducs du monde romain¹⁸³. La cause principale réside dans le fait que nous ne connaissons pas la pente exacte aux points examinés, ce qui fausse naturellement une partie des données. Souvent nous disposons de la pente exacte mais pas des données techniques du canal, ou alors c'est l'inverse. Le fait que les tronçons se situent dans des parcours où la pente est importante, voire très importante, influence également le débit. Pour se faire une idée plus concrète, il faudrait connaître toutes les informations d'un tronçon dont la pente est la moins forte, par exemple entre la Baume et les *Grands Sex* pour la conduite de Bonne Fontaine.

Il n'est donc pas possible de quantifier l'apport en eau des aqueducs d'Avenches et encore moins d'évaluer la quantité de liquide disponible par habitant. Par contre, nous pouvons démontrer qu'un canal en excellent état peut transporter potentiellement davantage d'eau qu'un canal présentant un enduit de tuileau dégradé. Lorsque des concrétions calcaires se déposent dans la conduite, le débit diminue très rapidement, d'où l'importance de l'entretien.

5.3. Réflexions chronologiques

Rares sont les aqueducs qui on pu être datés avec précision. Parfois, on a la chance de posséder des sources littéraires ou des documents épigraphiques, mais ils sont très rares. En l'absence de ces éléments de datation, on est donc contraint d'émettre des hypothèses basées sur des considérations historiques et de faire appel au bon sens, car il est peu courant de trouver du mobilier archéologique associé aux conduites romaines. Il paraît cependant logique, pour des raisons économiques, que les ingénieurs romains aient d'abord cherché l'eau le plus près possible de la ville, s'en éloignant ensuite peu à peu pour les conduites plus récentes¹⁸⁴. Les exceptions devaient relever principalement de la recherche d'une eau de meilleure qualité. Les aqueducs pouvaient couvrir de grandes distances quand l'eau présente aux environs de la ville était jugée de qualité

médiocre. Ainsi, à Cologne, la première conduite a été partiellement désaffectée et remplacée par une autre, la longueur passant de 35 km à plus de 95 km¹⁸⁵.

Si l'on écarte les pollutions modernes dues notamment à l'agriculture, l'eau de source de la région broyarde est de bonne qualité. Il faut donc admettre que les premiers aqueducs avenchois proviennent du Bois de Châtel. Fait remarquable, la conduite du Bois de Châtel 1 peut même être datée assez précisément du fait qu'elle aboutit aux thermes d'*En Perruet*. Les pieux de chêne des fondations de leurs murs permettent d'avancer le *terminus post quem* de 77 ap. J.-C. pour la construction du premier état. Ce tronçon a été désaffecté et peut-être reconverti en égout lors du second état de l'édifice thermal, dont le *terminus post quem* est de 120 ap. J.-C.¹⁸⁶

Les aqueducs du Bois de Châtel 2 et 3 sont implantés côte à côte sur plus d'un kilomètre, ce qui pourrait indiquer une datation identique. Si ce n'est pas le cas, le premier d'entre eux devait impérativement présenter un marquage au sol, par des cippes, sans quoi on ne pourrait pas expliquer le fait que son voisin plus récent le côtoie si exactement sur une telle distance. Un élément de datation pour la conduite du Bois de Châtel 3 est fourni par le franchissement du rempart qui a été érigé, selon des datations dendrochronologiques, entre 72 et 77 ap. J.-C. Malgré la présence de croquis et de photos, on ne peut malheureusement pas savoir si l'aqueduc est contemporain ou postérieur à l'érection de l'ouvrage défensif. Un pan du mur aurait tout à fait pu être démonté pour y faire passer la conduite, avant de reconstituer le rempart en y intégrant un arc de décharge. Des indices historiques permettent éventuellement de remédier à cette ignorance: avec la construction de l'enceinte, le *decumanus maximus* a été concurrencé par une nouvelle voie aboutissant à la porte de l'Est, un des deux accès majeurs de la ville antique. Ce déplacement d'axe routier a favorisé la construction d'un nouveau quartier résidentiel au sud-est du centre de l'agglomération et ce, dès la période flavienne¹⁸⁷. Nous avons vu plus haut que le château d'eau de la conduite du Bois de Châtel 3 et de l'éventuel aqueduc du Creux de la Vigne se situait précisément dans ce quartier et qu'il pouvait aisément l'alimenter en eau. A notre avis, l'enceinte et la structure hydraulique sont donc bien contemporaines.

Les aqueducs de Coppet et d'Oleyres ne permettent pas d'émettre des hypothèses quant à leur datation, contrairement à celui de Bonne Fontaine, dont la branche secondaire provenant des *Marais Galley* (BF.S.2) était dotée d'une tuile comportant une estampille de légion. La présence de légions romaines sur le Plateau suisse, et donc la production de tuiles par celles-ci, remonte au I^{er} et au tout début du II^e siècle ap. J.-C. La valeur de cette information serait toutefois à vérifier, car le Service archéologique de l'Etat de Fribourg n'a jamais enregistré ni déposé cette tuile dans ses collections. Le plus long des aqueducs, et donc

¹⁸² HODGE 2002, p. 225-226.

¹⁸³ Cf. ci-dessous, chapitre 6. « Comparaisons et parallèles ».

¹⁸⁴ BURDY 2002, p. 183.

¹⁸⁵ GREWE 1986.

¹⁸⁶ Cf. note 157.

¹⁸⁷ BLANC 2001, p. 26-28.

probablement le plus tardif, aurait ainsi été construit vers la fin du I^{er} siècle de notre ère.

Bien qu'on ne dispose que de peu d'éléments datables et que l'on fasse appel à des considérations historiques et archéologiques, il est vraisemblable que la construction des aqueducs alimentant *Aventicum* remonte à l'époque flavienne, en relation étroite avec le nouveau statut de colonie de la ville, comme le suggérait déjà J.-P. Aubert¹⁸⁸. On ne peut toutefois pas exclure que l'une ou l'autre de ces conduites soit postérieure à cette période, ni même qu'elles aient toutes été en fonction en même temps. Quand à la durée d'utilisation de ces aqueducs, il faut admettre que l'on n'en connaît rien.

6. Comparaisons et parallèles

L'étude comparative et la recherche de parallèles concernent divers aspects des aqueducs d'*Aventicum*. Nous ne nous étendrons cependant pas trop sur ce sujet qui pourrait faire l'objet d'un article à lui seul. Après un survol général, nous essayerons toutefois d'étayer certaines hypothèses émises dans le présent travail, nous intéressant aux aspects techniques de certains tronçons, tout en limitant le champ des comparaisons à la partie occidentale de l'Empire romain et plus particulièrement à la Gaule.

6.1. Comparaisons générales

Nombre d'aqueducs

Aventicum avec ses six, voire sept conduites figure parmi les cités qui disposaient d'un réseau d'alimentation dense. Les villes et certaines agglomérations secondaires en comptaient en général une ou deux, plus rarement davantage. Parmi celles qui en sont le mieux dotées, on compte naturellement la Ville éternelle avec ses onze aqueducs, mais aussi Vienne/F, où l'on en dénombre autant. Aix-en-Provence et Lyon avec leurs quatre structures hydrauliques sont déjà moins bien loties qu'*Aventicum*, tandis que Poitiers et Périgueux en comptaient trois. Le nombre d'aqueducs ne reflète cependant pas la quantité d'eau disponible, puisque, nous l'avons vu ci-dessus, ce sont les sections et les pentes qui influencent les débits. Il faut néanmoins préciser que le nombre connu des aqueducs alimentant des agglomérations ou des *villae* n'est que le reflet de l'état de la recherche.

Sections et débits

Marcel Bailhache a tenté de classer les conduites de la Gaule en fonction de leurs sections¹⁸⁹ : dans les aqueducs de grande section, celle-ci est supérieure à 1 m², dans ceux de moyenne section, elle varie entre 1 m² et 0,5 m² et dans ceux de petite section elle est inférieure à 0,5 m². Les tronçons connus d'Avenches appartiennent tous à la dernière catégorie (fig. 35), loin derrière ceux à grande section de

Vienne (F) et de Nîmes ou ceux à moyenne section de Lyon, de Sens ou de Poitiers. Précisons toutefois que nous ne connaissons pas les dimensions du canal de Bonne Fontaine après sa jonction avec la branche secondaire provenant de *Romanex*. Si sa largeur avait effectivement été d'un mètre, comme le suggère C. Mouraz (BF.25 et BF.27), on aurait donc affaire à un aqueduc de moyenne, voire de grande section.

La vitesse d'écoulement jouant aussi un rôle pour le calcul des débits, il est tout à fait possible qu'une conduite de moyenne section véhicule davantage d'eau qu'une autre de grande section. On notera, en se basant sur le tableau (fig. 39), qu'il existe de très grandes différences dans les débits estimés des aqueducs du monde romain. Le volume d'eau à acheminer dans une agglomération dépend évidemment du nombre d'habitants qui la peuplent. Il est naturel, par exemple, que l'*Urbs* dispose de ressources en eau nettement supérieures au camp légionnaire de *Vindonissa*. D'autres facteurs interviennent également, comme la présence d'artisanats grands consommateurs d'eau, plus ou moins représentés selon les agglomérations. Une ville suréquipée en thermes ou en monuments des eaux par rapport à d'autres consomme également davantage de liquide.

Longueurs des tracés

Le tableau (fig. 39) met également en évidence les longueurs des tracés des conduites. Bien que la majorité des parcours se situe dans la fourchette de 20 km à 40 km, il en existe qui mesurent nettement plus, ainsi l'aqueduc de Carthage (132 km en incluant la branche secondaire), celui de l'Eiffel à Cologne (94,4 km) et celui du Gier à Lyon (86 km avec la boucle de la vallée de la Durèze). A Avenches, seule la conduite de Bonne Fontaine avoisine la moyenne. Les agglomérations secondaires, les *villae* et certaines capitales de cité, comme Périgueux, ne sont généralement pas dotées d'aqueducs parcourant de longues distances. Les longueurs de parcours ne sont toutefois pas un critère de prestige. Si un centre urbain jouissait de sources de bonne qualité à proximité, il était inutile d'aller capter de l'eau ailleurs.

Pentes

En comparant les données relatives aux pentes des fig. 37 et 39, on remarque aussi que les conduites d'*Aventicum* se démarquent sensiblement des autres aqueducs des provinces occidentales. C'est à nouveau la structure de Bonne Fontaine qui présente des chiffres se rapprochant de la pente préconisée par les auteurs antiques¹⁹⁰, tandis que les autres conduites avenchoises, avec des pentes moyennes excédant les 20 m/km, sont de loin supérieures à cette valeur théorique. Comme nous l'avons déjà précisé plus haut, cela est dû à la grande différence existant entre le niveau des résurgences et celui des châteaux d'eau ou des citernes, combinée à la faible longueur des aqueducs. Nous retrouvons le même phénomène, mais moins prononcé, sur d'autres conduites, comme celle de l'Yzeron à Lyon (16,8

¹⁸⁸ AUBERT 1968, p. 4-5.

¹⁸⁹ M. BAILHACHE, Etude de l'évolution du débit des aqueducs gallo-romains, in: BOUCHER 1983, p. 19-49.

¹⁹⁰ Cf. ci-dessus, note 178.