



HAL
open science

L’approvisionnement en eau de la ville de Meaux antique : fouille d’un tronçon d’aqueduc à Villenoy (Seine-et-Marne) et premier bilan

David Couturier, Olivier Bauchet, Gilles Fronteau

► To cite this version:

David Couturier, Olivier Bauchet, Gilles Fronteau. L’approvisionnement en eau de la ville de Meaux antique : fouille d’un tronçon d’aqueduc à Villenoy (Seine-et-Marne) et premier bilan. *Revue Archéologique du Centre de la France*, 2013, 52 (231-261). hal-01689180

HAL Id: hal-01689180

<https://hal.science/hal-01689180>

Submitted on 21 Jan 2018

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L’archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d’enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License

L'approvisionnement en eau de la ville de Meaux antique : fouille d'un tronçon d'aqueduc à Villenoy (Seine-et-Marne) et premier bilan

Water supply in the ancient town of Meaux : excavation of a section of aqueduct at Villenoy (Seine-et-Marne) and first assessment

David Couturier, Olivier Bauchet et Gilles Fronteau



Édition électronique

URL : <http://racf.revues.org/1933>
ISSN : 1951-6207

Éditeur

Fédération pour l'édition de la Revue archéologique du centre de la France (FERACF)

Édition imprimée

Pagination : 231-261
ISSN : 0220-6617

Référence électronique

David Couturier, Olivier Bauchet et Gilles Fronteau, « L'approvisionnement en eau de la ville de Meaux antique : fouille d'un tronçon d'aqueduc à Villenoy (Seine-et-Marne) et premier bilan », *Revue archéologique du Centre de la France* [En ligne], Tome 52 | 2013, mis en ligne le 31 décembre 2013, consulté le 01 octobre 2016. URL : <http://racf.revues.org/1933>

Ce document est un fac-similé de l'édition imprimée.



Les contenus de la *Revue archéologique du centre de la France* sont disponibles selon les termes de la Licence Creative Commons Attribution - Pas d'Utilisation Commerciale - Pas de Modification 4.0 International.



David COUTURIER¹, Olivier BAUCHET²
et Gilles FRONTEAU³

L'approvisionnement en eau de la ville de Meaux antique : fouille d'un tronçon d'aqueduc à Villenoy (Seine-et-Marne) et premier bilan

WATER SUPPLY IN THE ANCIENT TOWN OF MEAUX: EXCAVATION OF A SECTION OF AQUEDUCT AT VILLENYOY (SEINE-ET-MARNE) AND FIRST ASSESSMENT

Mots-clés : Alimentation en eau, concrétions, puits, aqueduc, source, Meaux-*Iatinum*, période romaine.

Keywords: *Water supply, concretions, wells, aqueduct, source, Iatinum (Meaux), Roman period.*

Résumé : Bordée par une rivière, la ville de Meaux antique a certainement puisé dans cette ressource pour son alimentation. Néanmoins, la présence des puits montre qu'elle n'était pas suffisante. La construction d'aqueducs témoigne de nouveaux besoins et de son urbanisation, certainement en relation avec la mise en place d'infrastructures publiques nécessitant une alimentation constante comme les thermes et les fontaines. La réalisation d'une fouille préventive à Villenoy, commune voisine de Meaux, a procuré l'opportunité d'étudier l'un d'entre eux. La bonne conservation de ces vestiges a permis d'identifier les principales caractéristiques techniques de cette petite adduction et d'appréhender au moins un état de réfection. Ces observations viennent compléter d'autres découvertes plus ponctuelles. La chronologie de cette installation mérite toutefois d'être précisée, tout comme sa ou ses source(s) d'alimentation. L'étude des concrétions a permis de reconstituer la succession des phases de fonctionnement.

Abstract: *Bordered by a river, the ancient town of Meaux certainly tapped into this resource for its water supply. Nevertheless, the presence of wells shows that it was not enough. Building aqueducts reflects new requirements and urbanization, certainly in relation to the establishment of public infrastructure requiring constant power such as spas and fountains. Conducting a rescue excavation at Villenoy, neighboring town to Meaux, has provided the opportunity to study one of them. Good preservation of the remains has enabled the identification of the main technical characteristics of this small water conveyance and understand at least one state of repair. These observations complement other more specific findings. However, the chronology of this installation is worth clarifying, as its source(s) of supply. The study of concretions has helped reconstruct the sequence of operating phases.*

1. Inrap Centre Île-de-France, david.couturier@inrap.fr

2. Inrap, Inrap Centre Île-de-France, olivier.bauchet@inrap.fr

3. Université de Reims, Groupe d'Étude sur les Géomatériaux et les Environnements Naturels, Anthropiques et Archéologiques, gilles.fronteau@univ-reims.fr

1. L'EAU DE PROXIMITÉ : LA RIVIÈRE ET LES PUIITS

- 1.1. La rivière
- 1.2. Les puits

2. LES AQUEDUCS

- 2.1. L'aqueduc de la plaine Saint-Faron
- 2.2. L'aqueduc de Villenoy
- 2.3. Deux aqueducs pour quelle utilisation

CONCLUSION

■ BIBLIOGRAPHIE

L'implantation de la ville de Meaux - *Ia(n)tinum*, chef-lieu de cité des Meldes, au cœur d'un méandre de la Marne (Fig. 1) traduit bien l'attraction pour le voisinage de l'eau (BEDON 2008 : 103). Le glissement opéré entre l'habitat groupé gaulois de La Tène D1a, installé, en amont, dans la boucle de Beauval, sur la commune de Poincy (POYETON 2012 : 147) et l'agglomération qui naît à partir de la fin de l'époque gauloise (COUTURIER 2009) montre que ce tropisme est bien ancré. Si l'accès à l'eau peut ainsi sembler aisé, il n'en a pas moins été complété par des apports plus lointains.

1. L'EAU DE PROXIMITÉ : LA RIVIÈRE ET LES PUIITS

1.1. La rivière

Si l'usage de puiser de l'eau dans une rivière est attesté pour la ville de Rome avant la construction du premier aqueduc en 312 av. J.-C. (FRONTIN *Aq.*, IV), il est encore rappelé pour Lutèce au milieu du IV^e s. (JULIEN *Mis.*, 7). Par ailleurs, la législation romaine de la même époque cherche à éviter la pollution de l'eau des rivières en amont des agglomérations, ce qui nous renseigne sur la protection d'une ressource utilisée pour la consommation humaine (ROUGÉ 1982 : 113). Son utilisation a perduré longtemps et à Meaux même, le pompage des eaux de la Marne a continué jusqu'à la fin du XIX^e s. (MOROT 1893 : 50-

54). À Paris, jusqu'au XVIII^e s. les eaux de la Seine répondent sans doute à l'essentiel des besoins en eau (ROCHE 1984 : 386).

1.2. Les puits

Outre le puisage dans la rivière qui ne laisse que peu de traces archéologiques, le moyen le plus courant pour accéder à l'eau est certainement le puits. Pour l'époque antique, la reconnaissance des puits peut sembler de prime abord aisée, du fait de la présence d'un parement en pierre. Néanmoins, leur identification se heurte à plusieurs obstacles. La récupération de la partie supérieure des parements est le moindre. Pour les périodes les plus anciennes, le parement semble absent et remplacé par un cuvelage en bois qui n'est pas conservé en raison de la variation du niveau de la nappe phréatique. Aussi la confusion avec des puits d'extraction de matériaux (sable et gravier) est possible.

En définitive, nous sommes contraints de ne retenir comme puits à eau que les exemples parementés, profonds, tout en sachant que ce postulat est forcément réducteur. En outre, leur datation est on ne peut plus délicate et bien souvent seul leur abandon peut être daté.

Si le nombre de puits découvert à Meaux est difficile à estimer, les fouilles récentes apportent un éclairage quant à leur disposition au sein de l'habitat.

Les opérations archéologiques effectuées à Meaux par l'archéologie préventive permettent d'esquisser les modalités d'urbanisation de la ville antique : le processus, amorcé à l'époque augustéenne, est initié par la mise en place du réseau viaire associé à des structures excavées linéaires profondes, d'abord interprétées comme des fossés parcellaires, mais qui pourraient correspondre à un réseau d'égouts cuvelés en bois (COUTURIER 2008 : 205). L'habitat est difficilement perceptible tant en raison de sa nature (bâtiment sur poteau et sablière) qu'en raison de recouvrements postérieurs. Aucun puits ne peut être attribué de façon formelle à cette période en dépit de la présence de creusements cylindriques profonds non identifiés.

À l'instar de l'introduction de la pierre dans la construction civile, l'utilisation de parements en pierre est délicate à cerner précisément dans le temps : si cette dernière est attestée, pour la construction des caves, dans la deuxième moitié du I^{er} s., on constate que l'emploi des matériaux périssables (bois et terre) perdure jusqu'à la fin du I^{er}

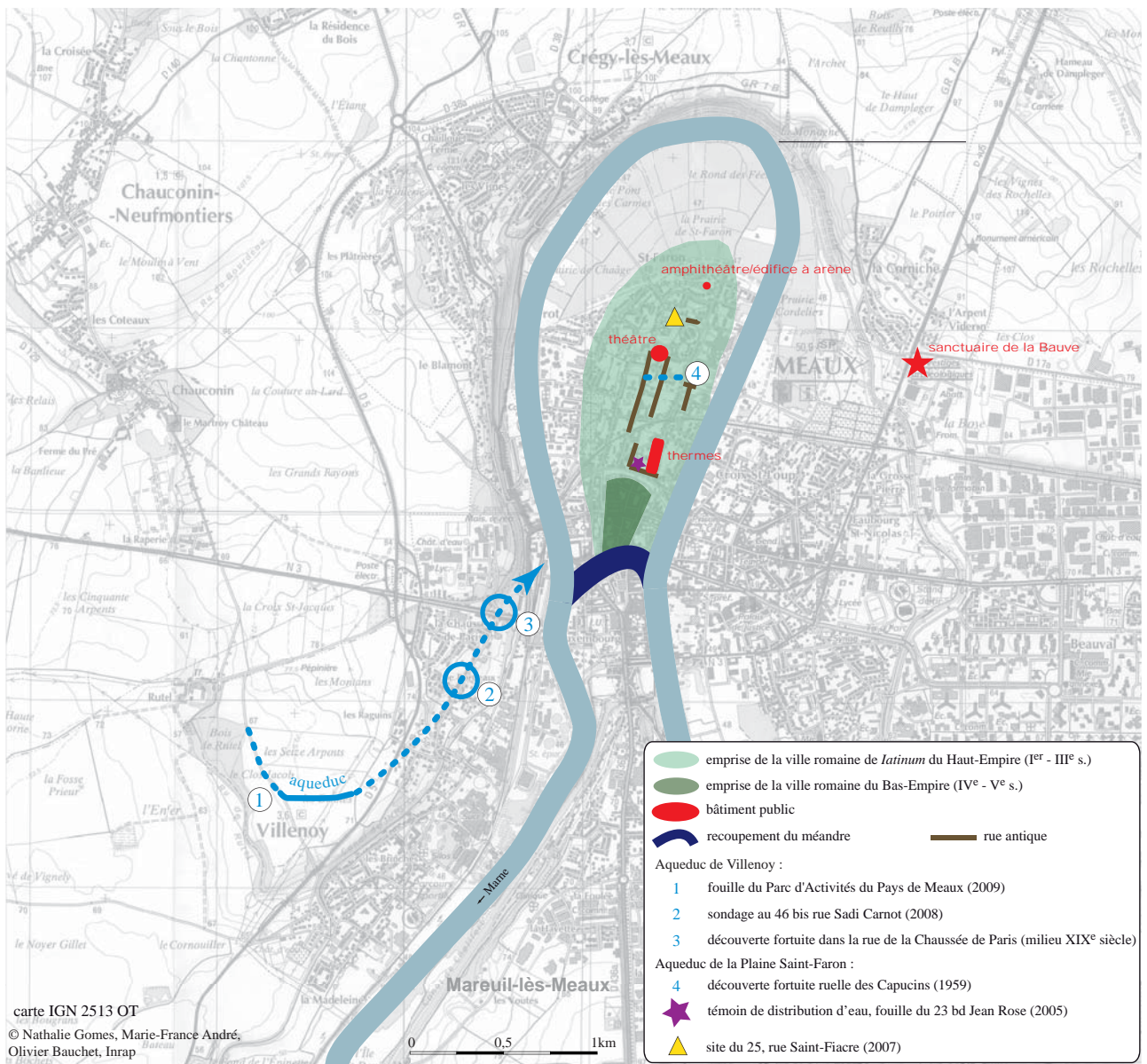


Fig. 1 : Plan schématique de la ville de Meaux antique, localisation des aqueducs et des sites mentionnés (© Nathalie Gomes, Marie-France André, Olivier Bauchet, Inrap).

et le début du II^e s. Pour les puits, si les parements sont présents dans le courant du I^{er} s., la plupart des contextes sont datés des II^e-III^e s.

La distribution des puits par rapport à l'habitat montre que, dans le cas d'une urbanisation en front de rue, telle qu'elle apparaît au nord de la ville antique, sur le site du 25 rue Saint-Fiacre, les puits sont localisés à l'arrière des bâtiments et en fond de parcelle, dans des espaces non construits que l'on peut

interpréter comme des jardins ou des cours. La densification de l'habitat, en lien avec la "pétrification" des constructions, s'accompagne ainsi de l'installation de cours dans lesquelles les puits occupent une place toute particulière.

En définitive, il est délicat d'évaluer la part respective, concernant l'accès de proximité à l'eau, du puisage dans la rivière et du captage dans la nappe phréatique. La rivière n'est clairement pas suffi-

sante ; en témoigne le cas de l'agglomération antique de Jouars-Pontchartrain (78), traversée par la Mauldre : la présence de la rivière au cœur de la ville n'est ici pas incompatible avec la présence de puits à eau parementés, que l'on retrouve aussi bien en fond de parcelle (arrosage des jardins ?) qu'au cœur des îlots (BLIN 2007).

2. LES AQUEDUCS

2.1. L'aqueduc de la plaine Saint-Faron

La section d'un aqueduc de petit gabarit a été découverte en 1959 entre la ruelle des Capucins et la chapelle des Visitandines (DESBORDES 1961) (cf. Fig. 1).

Il est orienté NE-SO. La canalisation est faiblement enterrée (0,75 m sous la surface) et est aménagée dans une maçonnerie en U. Celle-ci est constituée de blocs liés au mortier de tuileau. Le fond est construit avec des *tegulae* jointives, disposées dans le sens de la largeur et également liées au mortier de tuileau. Un joint de même nature, disposé en quart-de-rond, assure l'étanchéité entre le fond et les parois. Le canal est large de 0,35 m au sommet et de 0,15 m à la base, pour une hauteur de 0,32 m. Sa couverture n'est pas conservée. En limite est d'observation, trois petites ruptures de pente (0,04 à 0,05 m de dénivelé) ont été aménagées. En aval de ce dispositif, le conduit se rétrécit dans un premier temps puis devient circulaire (diamètre 0,05 m). Pour l'auteur de la découverte, cette transformation est liée au passage sous un *cardo*. En l'absence de renseignements directs, on peut supposer que cet aqueduc était alimenté à partir des sources de Crégy situées plus au nord et qui sont largement utilisées aux périodes postérieures (BAUCHET, COUTURIER et PACCARD 2011). Son débouché est inconnu. La chronologie de son fonctionnement n'est pas documentée.

Plus au sud, la découverte d'une conduite en bois sur le site du 23 boulevard Jean Rose (cf. *infra*) nous renseigne indirectement sur la présence d'un bassin de répartition. Toutefois, rien n'indique qu'il soit alimenté par l'aqueduc de la plaine Saint-Faron. De même, la présence des thermes (cf. Fig. 1) implique certainement celle d'une aduction.

2.2. L'aqueduc de Villenoy

Sa présentation intégrera les découvertes d'aval en amont.

2.2.1. Au 46 bis de la rue Sadi Carnot

Cette section étudiée en 2008¹ se trouve à moins de 5 m de la rue Sadi Carnot (BAUCHET 2008). Le canal (*specus*), réalisé en béton, mesure 0,32 m de largeur, pour une hauteur de 0,30 m (soit une section mouillée de 0,096 m²). La largeur totale de la maçonnerie varie de 0,89 à 0,94 m. Le fond du conduit est à 67 m NGF (Fig. 2). Les coupes n'ont révélé aucune trace de creusement de part et d'autre de l'ouvrage. L'irrégularité de la surface externe du *specus* laisse supposer que le béton a été coulé directement contre le creusement du conduit. La surface est lissée sur les faces internes et sommitales des parois et est irrégulière sur le fond du canal. Les deux piédroits sont recouverts d'un dépôt carbonaté atteignant par endroit 0,01 m d'épaisseur sur 0,20 m de hauteur.

Les maçonneries étaient recouvertes de limon brun sur 0,40 m d'épaisseur. Le conduit était comblé par ce même sédiment, totalement stérile en mobilier. Le bouleversement d'une partie de la maçonnerie laisse supposer que l'aqueduc a été perturbé, probablement lors d'activités agricoles précédant le lotissement de la rue qui intervient au début du xx^e s. Un bloc de meulière surmontant les deux piédroits en béton a tout d'abord été pris pour une dalle de recouvrement, mais les traces de mortier qu'il portait sur sa face postérieure trahissaient sa position secondaire. À l'origine, il devait participer à la confection des parois d'un deuxième état, comme ce qui a été observé sur le Parc d'Activités (cf. *infra*). Ce même aqueduc a aussi été retrouvé derrière une des maisons voisines (n° 52), à l'occasion de travaux d'extension (véranda). Ces quelques indications permettent d'établir que la section locale suit une orientation vers le nord-nord-est.

2.2.2. Découverte ancienne

Un autre tronçon a été identifié 430 m plus au nord-est. Il a été découvert vers 1845 à l'occasion des travaux réalisés sur la nouvelle chaussée de Paris. Pour rendre la pente de cette route moins raide, des travaux de décaissement ont été entrepris sur les flancs de la butte. Cette découverte est relatée par l'abbé Frédéric-Auguste Denis dans ses notes manuscrites et dans une notice parue peu de temps

1. Nous remercions vivement M. Sevrain qui a accepté de déclarer sa découverte et nous a permis de réaliser un sondage dans sa propriété.



Fig. 2 : L'aqueduc de Villenoy au 46 bis de la rue Sadi Carnot (© Olivier Bauchet, Inrap).

après². Il indique que ces vestiges ont été retrouvés “ à l'entrée, sur la droite, de la tranchée inférieure que l'on vient d'ouvrir ; et presque à la hauteur de la grande auberge qui se trouve de l'autre côté de la route ”. Ces précisions topographiques permettent de localiser les vestiges observés au n° 12 ou 14 de la chaussée de Paris (côté nord).

La description de l'ouvrage maçonné semble à peu près conforme à ce qui a été retrouvé sur le Parc d'Activités et au 46 bis de la rue Sadi Carnot (cf. *supra*). Cependant, il faut noter certaines imprécisions dans les dimensions présentées dans les notes de l'auteur ou dans son article (Tabl. 1). La nature de l'ouvrage est en revanche décrite de la même manière. Le massif de maçonnerie était composé de petites pierres, de sable et de chaux. L'absence de béton romain dans son vocabulaire ne doit pas forcément conduire à penser qu'il n'existait pas. Il pré-

	notes	article
Largeur dans œuvre	0,30 m	0,40 m
Hauteur dans œuvre	0,40 m	0,40 m
Epaisseur du fond	0,15 m	0,15 m
Epaisseur des parois	0,15 m	0,18 à 0,20 m

Tabl. 1 : Caractéristique de la section d'aqueduc retrouvée à la chaussée de Paris selon les notes et l'article de l'abbé Denis.

cise d'ailleurs que “ le tout est fortement compact ”. La présence de petites pierres peut aussi s'apparenter à la maçonnerie du deuxième état perçu sur le Parc d'Activités. Il ajoute que ce conduit était dépourvu de voûte. Il pense que la couverture d'origine était constituée de larges dalles, comme celles qui ont pu être mises au jour dans un terrain voisin.

L'ouvrage adopte la direction “ du côté de Villenoy vers la route ” (sud-nord), ce qui revient à dire qu'il suit encore les courbes de niveau. D'ailleurs, l'auteur admet ne pas pouvoir discerner la moindre pente. Il perçoit en revanche une légère courbure vers l'est. Peut être, ce changement de direction annonce-t-il l'alignement du conduit sur l'ancienne chaussée de Paris située plus au nord. Avant que les travaux de canalisation de l'Ourcq ne viennent le couper, ce chemin, qualifié d'antique par de nombreux auteurs (DESBORDES 1959 : 238-239, GRIFFISCH, MAGNAN et MORDANT 2008 : 936), s'incurvait vers le nord-est pour descendre ensuite la forte pente (11 %) et rejoindre en contrebas l'avenue Gallieni. Mais, peut-être l'aqueduc passait-il sous la voie et continuait son cheminement sur les coteaux abrupts de la vallée de la Marne ? Quelle que soit l'orientation adoptée, l'aqueduc devait nécessairement devenir aérien pour franchir l'ancien bras de la Marne et alimenter la ville d'*Iatinum*. Le pont médiéval de Saint-Rémy qui existait encore au XVIII^e s. reprenait peut-être son tracé. Le décaissement de la nouvelle chaussée de Paris sur près de 16 m de large avait aussi permis aux ouvriers de dégager un bassin et un regard démontés avant que l'abbé Denis ne puisse en faire une description détaillée. Nous ignorons quelle fonction pouvait avoir le bassin. Il paraît peu vraisemblable qu'il ait servi à collecter les eaux d'un autre aqueduc, car il n'y a pas de sources connues en haut de cette butte. Peut-être s'agit-il d'un bassin de décantation ?

2. Bibliothèque diocésaine de Meaux, 84.311, pièces 280 à 286, et Denis 1849.

DENIS 1849

Denis F.-A. - Mémoire sur un aqueduc romain et sur d'autres vestiges d'antiquités trouvés dans les travaux de terrassement du chemin de fer, Société d'agriculture, de sciences et d'arts de Meaux, publications de mai 1845 à juin 1847 : 119-120.

Je m'empresse de signaler à l'attention de la Société, la découverte d'un aqueduc Romain, dans la montagne de la chaussée de Paris, à l'entrée, sur la droite, de la tranchée inférieure que l'on vient d'ouvrir ; et presque à la hauteur de la grande auberge qui se trouve de l'autre côté de la route.

Cet aqueduc est très apparent dans le talus qui retient les terres non envahies.

Il se dirige du côté de Villenoy vers la route, ou du côté de la route, vers Villenoy, le niveau étant difficile à saisir, et présentant une certaine courbe à l'est ; c'est ce que l'on a pu observer pendant plusieurs mois, dans deux témoins, qui conservaient des vestiges du monument, et qui sont aujourd'hui renversés.

La cuve comprend en œuvre 40 centimètres de largeur et autant de hauteur ; le fond et ses deux côtés ne consistent que dans un massif composé de petites pierres, de sable et de chaux, le tout fortement compacte. Le fond est épais de 15 centimètres, les côtés de 18 à 20. [Page 119]

La voûte a disparu. Souvent les aqueducs gallo-romains n'étaient couverts que de larges pierres : et cet appareil si simple était, ici, d'un emploi d'autant plus facile, que la terre est très forte, et que du côté de la route, le conduit est à plus d'un mètre de profondeur. Ajoutons que, vers Villenoy, où il est moins enterré, on a trouvé, autrefois, quelques-unes de ces larges pierres.

En sortant du second tertre, ou témoin dont j'ai parlé, l'aqueduc semblait s'élargir : les ouvriers ont remarqué en cet endroit un bassin et un regard. Quelle était la direction de ce conduit ? Dans quel but avait-il été établi ? Dérivait-il d'un autre plus élevé qui suivait l'ancienne chaussée de Paris, et qui débouchait du côté de la ville ?

La solution de ces questions pourrait contribuer à jeter quelque lumière sur l'état, encore si peu connu, de la ville de Meaux à l'époque gallo-romaine.

2.2.3. La fouille du Parc d'Activités du Pays de Meaux

L'opération préventive conduite en 2009³ (COUTURIER 2010a), fait suite au diagnostic préalable au projet d'une ZAC qui a permis de repérer l'adduction enterrée (DURAND 2009). La prescription prévoyait le décapage de l'aqueduc sur une emprise étroite (10 m) et la fouille des regards et des structures apparaissant sous le décapage. L'aqueduc – du moins sa tranchée de fondation – a été reconnu sur une longueur de 368 m⁴. Vingt sondages ont été réalisés en relation avec la recherche des regards. La mise en

évidence du faible recouvrement de la canalisation dans la partie ouest a permis son dégagement sur une longueur de 58 m. Elle est orientée NO-SE et bifurque ensuite sur un tracé ouest-est (Fig. 3).

Nous évoquerons dans un premier temps le fossé bordier puis les deux états de l'aqueduc. L'analyse des concrétions calcaires fera l'objet d'une présentation très détaillée. Nous aborderons ensuite les regards et nous terminerons par les réutilisations de l'adduction au Bas-Empire.

– Un fossé bordier au sud

Il a été repéré dès la phase de diagnostic : il est situé au sud de l'aqueduc et son tracé lui est parallèle. La distance séparant le fossé de la tranchée d'installation de l'aqueduc varie de 3 à 6 m. La largeur du fossé est de 1,20 m et il présente un profil en auge (profondeur : 0,20 m). Son comblement n'a pas livré de mobilier qui aurait pu affiner l'attribution chronologique faite au diagnostic (I^{er}-II^e s.). Le parallélisme des deux tracés semblerait indiquer la contemporanéité de leur mis en place. Il s'agirait, en ce cas, d'une limite signalant la bande de terre dévolue à la protection de l'ouvrage (FRONTIN *Aq.* : 129). Ce fossé, éventuellement associé à une haie,

3. Nous remercions vivement les participants à cette fouille : Olivier Bauchet, Alain Berthier, John Cornu, Patricia Guinchard-Panseri et Christelle Seng. Le travail de mise en forme est redevable du travail de DAO/PAO de Nathalie Gomes et la recherche bibliographique a bénéficié du soutien de Pascale Souvant. Christel Delozanne a relu cet article. Que tous trouvent ici l'expression de nos chaleureux remerciements.

4. La présence d'une piste de chantier a entraîné la création de deux secteurs (est et ouest). Une coulée verte, large de 42 m, située immédiatement à l'est de la piste a limité la recherche des regards à la seule tranchée d'assainissement la traversant (sondage 18).

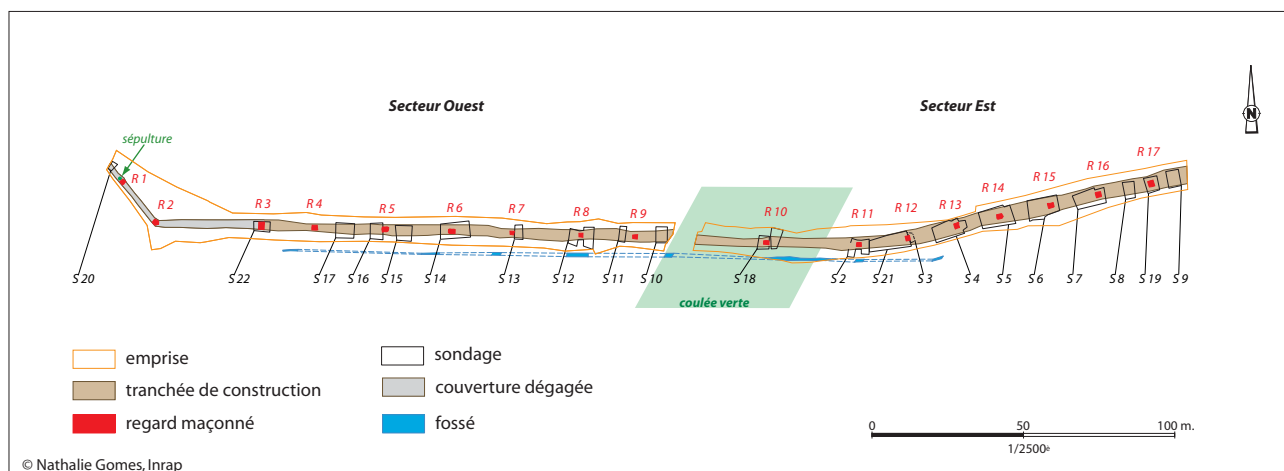


Fig. 3 : Plan général de l'aqueduc de Villenoy sur la fouille du Parc d'Activités du Pays de Meaux (Nathalie Gomes, Inrap).

pourrait aussi témoigner d'une limite parcellaire héritée du tracé antique. L'absence de tracé symétrique au nord est à relever : l'aqueduc de Reims a par exemple un fossé bordier de part et d'autre (RABASTÉ et ARDHUIN 2011 : 66). Il faut noter que le diagnostic a révélé pour le site de Villenoy une occupation antique côté sud. Toutefois, la faible largeur de l'emprise de fouille n'a pas permis de valider cette information et invite donc à la prudence.

– Premier état de la canalisation

Si deux états de construction ont été clairement distingués, les données recueillies concernent essentiellement le deuxième état qui s'est superposé à la canalisation initiale.

Pour la tranchée d'installation, aucun recoupement n'est perceptible, ce qui amène deux hypothèses :

- 1) soit la tranchée liée à la réfection a repris à l'identique le gabarit de la tranchée initiale ;
- 2) soit cette tranchée a outrepassé les limites de la tranchée du premier état.

Elle a en tout cas été difficilement perçue, vu la faiblesse de la largeur décapée et le faible contraste du remplissage par rapport à l'encaissant : cette dernière donnée nous renseigne sur un stockage des déblais à proximité et leur réutilisation lors du rebouchage.

Le niveau d'apparition de la tranchée d'installation se situe sous la terre végétale à l'ouest et sous

une couche de colluvions, épaisse de 0,65 m à l'est. Sa largeur varie de 2,50 m côté ouest à 5,50 m côté est pour une hauteur conservée au-dessus de la conduite de respectivement 0,75 m (sondage 20) et de 2,60 m (sondage 19) (Fig. 4). Son profil est évasé à partir du sommet jusqu'à la canalisation, puis en U. Son comblement, qui présente peu de variation, est composé de limon brun. Il se caractérise par une absence quasi totale de mobilier.

Le premier état de la conduite est constitué d'un canal (*specus*) aménagé dans une maçonnerie en béton (Fig. 5). Un radier est coulé et damé sur un hérisson de cailloutis siliceux épais de 0,18 m (Fig. 6). On observe que si celui-ci est présent dans le sondage 20, il est en revanche absent du sondage 1. Cette différence est peut-être liée à la nature du terrain encaissant : là où les constructeurs antiques ont rencontré le terrain naturel marneux compact, il n'a pas été nécessaire de mettre en place un hérisson.

L'épaisseur du radier de béton est de 0,10 m. Au-dessus, les deux parois sont mises en place en réservant par coffrage l'emplacement du canal. Leur largeur est de 0,30 m côté sud et de 0,24 m côté nord (sondage 20). Une mise en œuvre en deux temps (radier puis parois), proposée pour une section de l'aqueduc de Béziers (ANDRIEU 1997 : 82), n'est pas perceptible, du moins à l'échelle macroscopique, pour l'adduction de Villenoy. Les parois du canal sont aplanies mais non parfaitement lissées et recouvertes d'une fine couche de chaux et de sable fin.

Le béton est composé de granulats siliceux et calcaires, de diverses dimensions (du sable au silt)

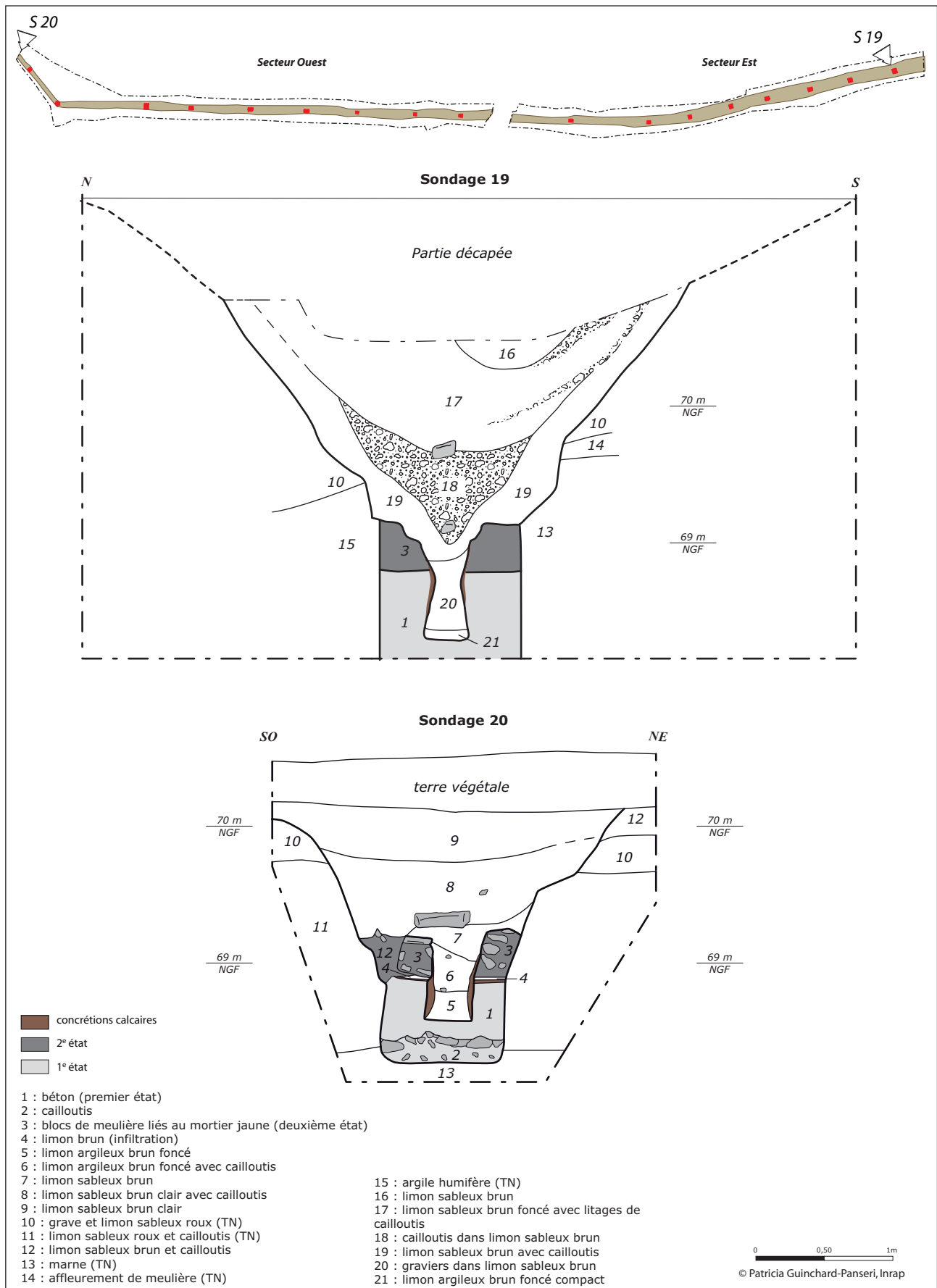


Fig. 4 : Coupe de l'aqueduc aux extrémités de la fouille du Parc d'Activités du Pays de Meaux (Patricia Guinchart-Panseri, Inrap).

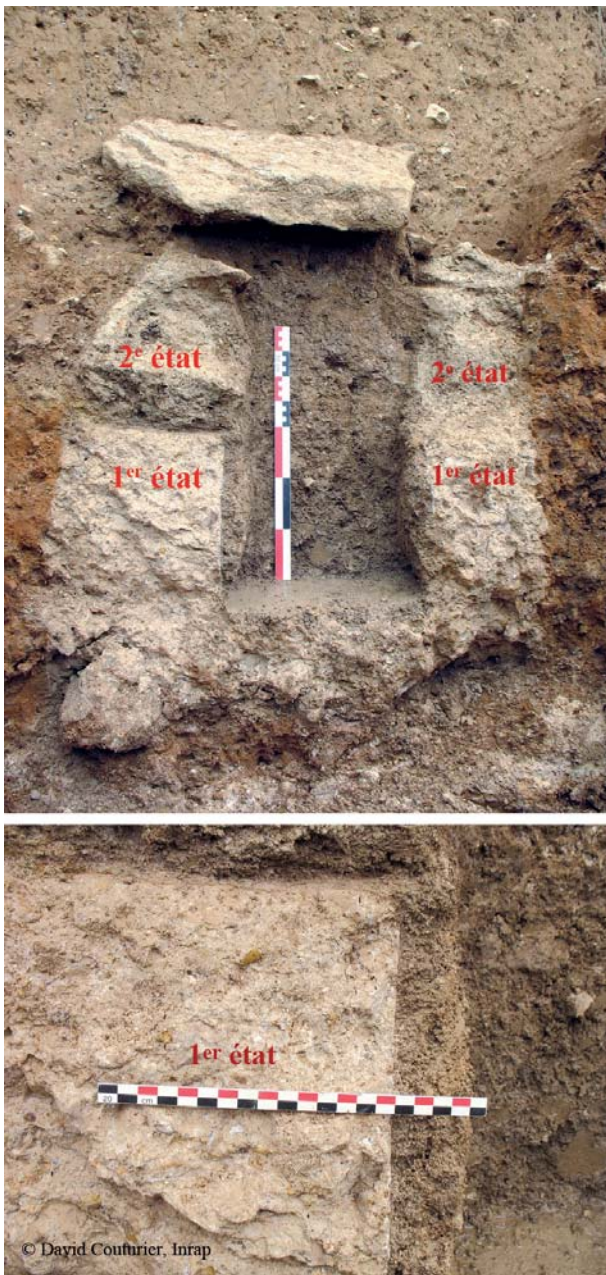


Fig. 5 : Les deux états superposés de la conduite et détail des concrétions (© David Couturier, Inrap).

mélangés avec des fragments de fins fragments de terre cuite broyée intégrés au mortier. Les gros granulats sont des fragments de meulière (roche siliceuse micro-cristalline ou fibreuse).

Les grains de sables ont parfois de fins cortex argileux les entourant presque totalement. Ces cutanes argilo-ferreuses sont typiques des circulations de surface et ne s'observent pas dans les sables extraits



Fig. 6 : Le hérisson de fondation du premier état de la conduite (vue du dessous) (© Olivier Bauchet, Inrap).

localement en carrière. Cela serait donc un indice en faveur de l'emploi d'un gisement sableux au sein d'une formation superficielle ou pédologique, via le creusement de petites fosses superficielles, et non d'un prélèvement dans une couche géologique sableuse au sein d'une véritable carrière. De la même façon, les graviers arrondis calcaires correspondent à des grains fortement roulés de calcaires bioclastiques ou micritiques. La présence de graviers calcaires à petits foraminifères et d'un tube de *Ditrupea strangulata* montre l'emploi de fragments de calcaires du Lutétien moyen et supérieur (Fig. 7). La forme des granulats et le mélange de différentes formations géologiques est aussi un indice d'un prélèvement dans des sédiments superficiels à graviers et non du broyage de fragments de calcaires. On peut d'ailleurs noter que les calcaires du Lutétien n'affleurent pas dans les environs du site, mais uniquement en fond de vallée près de Meaux. Ceci impliquerait l'emploi de sédiments alluviaux ou colluviaux situés en contrebas ou de graviers issus des terrasses alluviales locales.

Le liant est un mortier de chaux, assez mal cristallisé et parsemé de petites particules d'argile ocre (= argile illuviale pédologique prélevée en même temps que les granulats). L'ajout d'un peu de terre cuite concassée dans le liant a peut-être favorisé sa prise et renforcé sa durabilité, mais on peut noter que la quantité de tuileau est ici assez faible.

La largeur du canal est de 0,34 m pour une hauteur de 0,29 m. La circulation de l'eau se fait ici d'ouest en est avec une très légère pente de 0,78

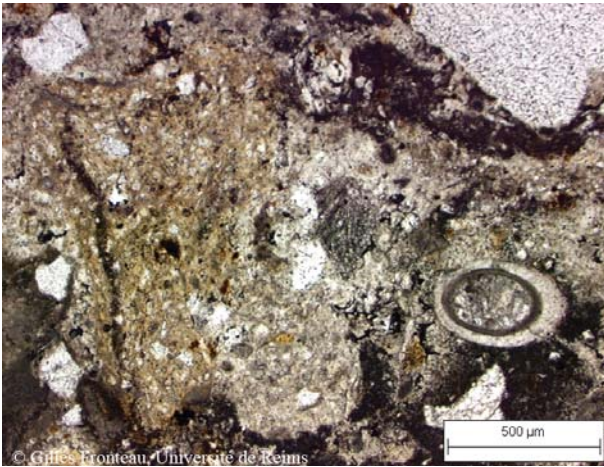


Fig. 7 : Mortier de maçonnerie de l'aqueduc (état 1), à rares fragments de terre cuite ; sables et éléments calcaires (dont ici un tube de *Ditrupa* en section transversale). Lumière polarisée non analysée (© Gilles Fronteau, Université de Reims).

pour 1 000 m. On note que cette pente est irrégulière, voire avec des contre-pentes à l'est du regard 2 (Fig. 24). Cette irrégularité est fréquente pour ce genre de construction (BAILHACHE 1983 : 22). Cette circulation d'eau, relativement lente, a engendré la formation de concrétions calcaires. Leur épaisseur atteint un maximum de 0,04 m. Ce chiffre inclut les concrétions du deuxième état. Leur étude, par l'un de nous (cf. *infra*), montre qu'elles se décomposent en plusieurs entités successives :

- une croûte de calcite cristallisée au contact de la maçonnerie ;
- deux séries de concrétions biominérales contemporaines du fonctionnement de l'aqueduc. La première contient des lits d'oxyde de fer et de manganèse qui indiquent des épisodes cycliques sans eau. Cette donnée traduit un mauvais fonctionnement de l'aqueduc.

Pour ce premier état, on ne connaît pas le mode de couverture de la canalisation : était-elle recouverte de dalles calcaires comme le deuxième état ? La découverte d'une *tegula* complète (dim. : 0,42 m x 0,335 m), entièrement recouverte de concrétions calcaires sur la face inférieure (Fig. 8), dans la maçonnerie du regard 14 du deuxième état, invite à envisager, à titre d'hypothèse, son utilisation comme élément de couverture⁵. Ces concrétions sont pré-

5. L'hypothèse d'une couverture comportant des tuiles a été formulée dès le diagnostic par notre collègue Alain Berthier.

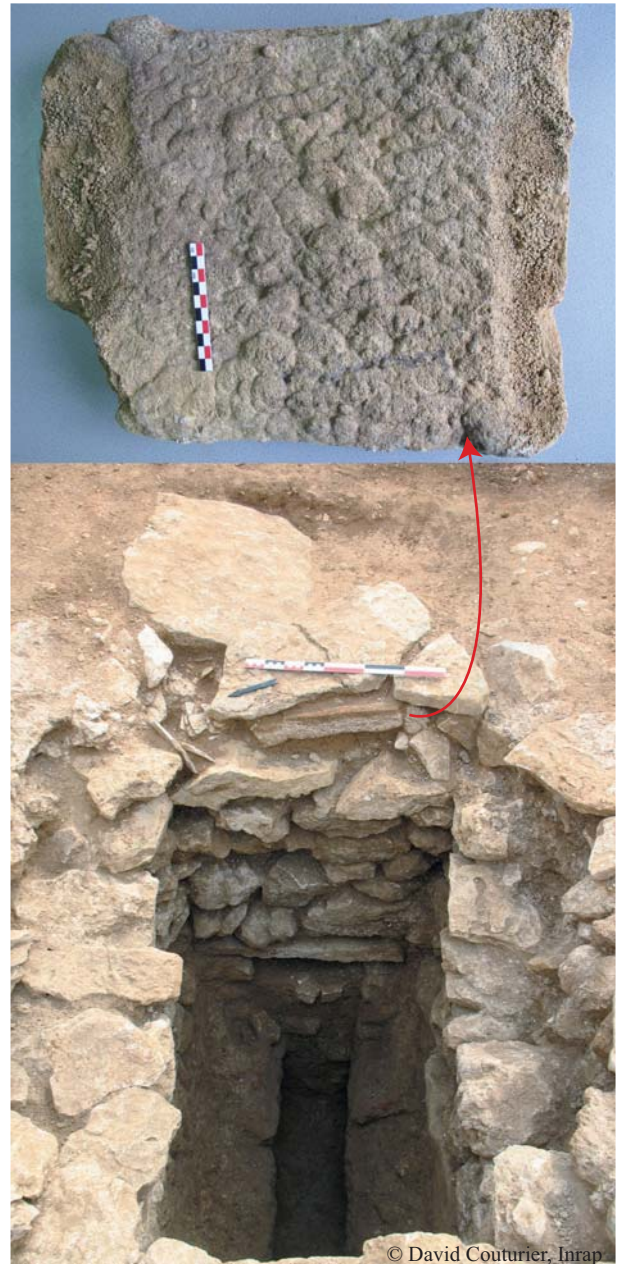


Fig. 8 : *Tegula* concrétionnée intégrée dans la maçonnerie du regard 14 (© David Couturier, Inrap).

sentes sur une largeur de 0,30 m. D'autres fragments de *tegula* également recouverts de concrétions ont aussi été retrouvés dès la phase de diagnostic et dans le comblement du regard 3. Les exemples de couverture en tuile sont rares : l'aqueduc rural de " Sur Fontorbe " (Aude) est partiellement couvert avec des *tegulae* remployées (PASSELAC 2005 : 110) et à Nérès (Allier), des tuiles cintrées ont été

spécialement confectionnées pour servir de couverture (DESNOYERS 1983 : 76).

– *Deuxième état : une augmentation de la capacité*

Les deux parois du canal en béton ont été exhaussées sur une hauteur équivalente à la celle initiale, pour atteindre au total 0,58 m. Le canal conserve une largeur identique. Le fond de la construction et donc la pente restent inchangés. Le mode de construction diffère ici : les exhaussements sont aménagés avec des blocs de meulière liés au mortier (cf. Fig. 5 et Fig. 9).

Cet état n'a pas été retrouvé au 46 bis rue Sadi Carnot, mais l'état de conservation n'est pas le même : le faible recouvrement et l'impact de l'urbanisation semblent avoir engendré une moins bonne préservation. La découverte d'un bloc de meulière avec du mortier sur une de ses faces au sommet du comblement du canal pourrait nous renseigner sur la destruction du rehaussement ou sa récupération. Sur l'aqueduc de Lutèce, un exhaussement des parois a aussi été observé mais il concerne également le radier (PHILIPPE, VIRÉ et VERGISON-ROZIER 2001 : 57).

Les concrétions calcaires traduisent pour cet état un meilleur fonctionnement de l'aqueduc (cf. *infra*) : il n'y a plus, contrairement au premier état, de périodes d'interruption. Cette donnée pourrait être reliée à une meilleure gestion de la zone de captage, sans qu'on puisse préciser si une ou plusieurs nouvelles sources ont été utilisées.

- *La couverture*

Si celle du premier état est difficilement restituable, la couverture de l'état 2 a pu être dégagée ponctuellement dans le secteur est et plus largement dans le secteur ouest. Au total, un peu moins de 70 m ont pu être mis en évidence, ce qui représente 20 % de la surface dégagée de l'aqueduc.

La couverture est homogène (Fig. 10 et 11) : elle est composée essentiellement de dalles calcaires⁶ plus ou moins jointives et de dimensions variables. Ce matériau est présent sur place et un affleurement a été observé dès le diagnostic au sud de l'emprise fouillée (DURAND 2009 : 61). Des terrassements effectués concomitamment à la fouille ont confirmé la disponibilité du matériau (Fig. 12). Les dalles pré-

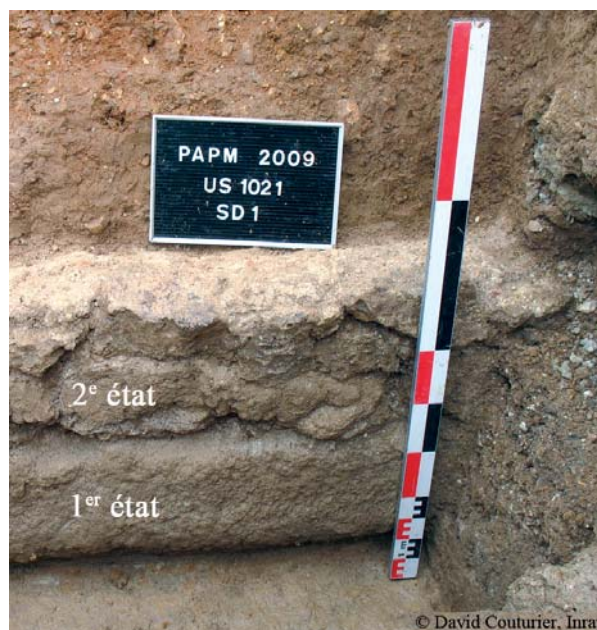


Fig. 9 : Détail de la maçonnerie d'un piédroit du deuxième état (© David Couturier, Inrap).



Fig. 10 : La couverture de l'aqueduc à l'ouest du regard 3 (© David Couturier, Inrap).

6. Un seul gros bloc de grès a été employé.

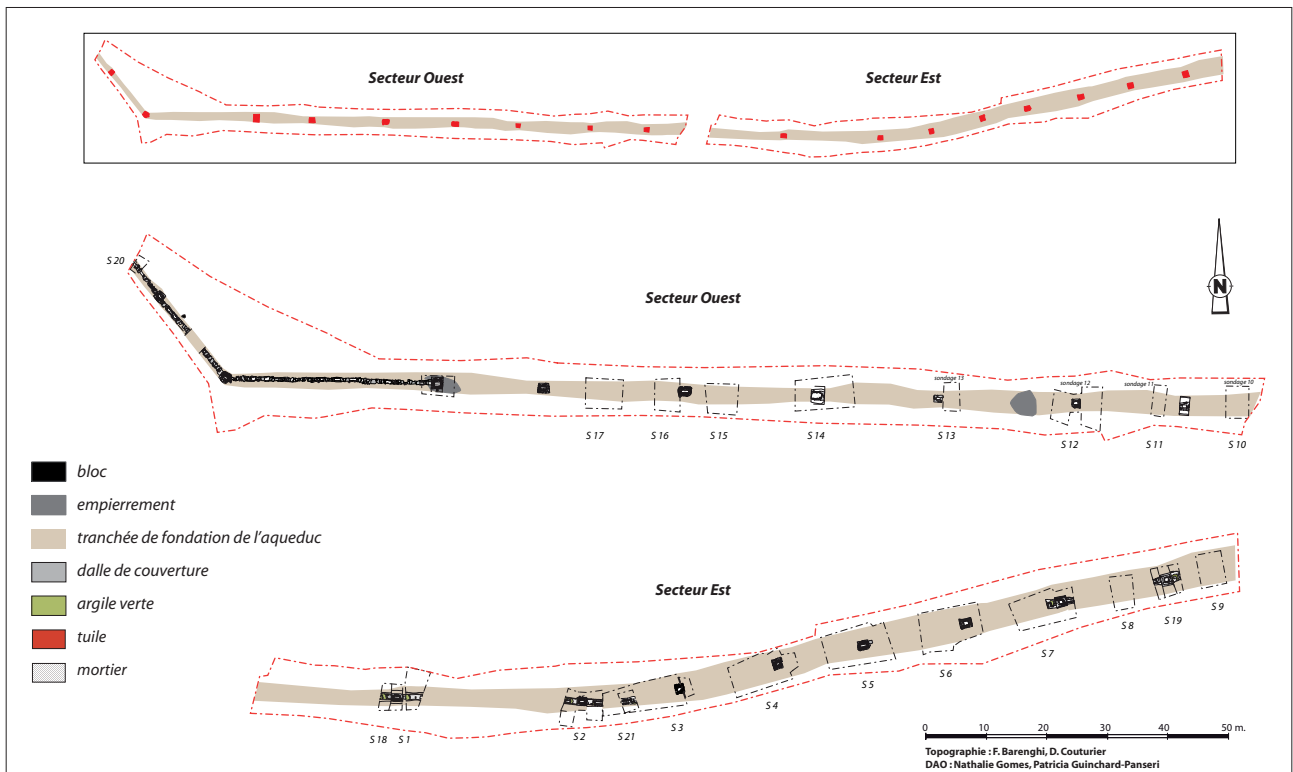


Fig. 11 : Détail de la couverture de l'aqueduc (© Patricia Guinchart-Panseri, et Nathalie Gomes, Inrap).

sentent des traces de concrétions calcaires sur leur face inférieure.

Les dalles sont recouvertes avec du mortier et/ou de l'argile verte (Fig. 13). La présence de ces derniers éléments n'est pas homogène sur toute la longueur étudiée : même si le dégagement intégral de la couverture de l'aqueduc n'a pu être réalisé, on observe que dans le secteur est (sondages 1, 2, 7, 18 et 19), les niveaux de colmatage semblent mieux préservés. Eu égard à l'approche partielle, il est délicat d'en tirer des conclusions trop hâtives. En revanche, dans le cas d'une présence conjointe, on observe que l'argile verte recouvre le mortier (sondage 2). Cet agencement pose la question de leur simultanéité : le mortier pourrait avoir recouvert initialement les dalles de couverture, comme les données du sondage 1 le laissent supposer (cf. Fig. 13). L'exemple de l'aqueduc de Lutèce montre une disposition du même type (KARST 1997 : 8). Celle-ci a-t-elle été prévue dès l'origine ? Un exemple régional de petit aqueduc rural comme celui de la villa du "Nouret" sur le commune de Tremblay-en-France (Seine-Saint-Denis) (MARCILLE, COTTIAUX et

COUTURIER 1999 : 76) montre que, dans un tel système de couverture, les interstices entre les dalles ne sont pas forcément comblés avec du mortier,



Fig. 12 : Les dalles calcaires extraites du sous-sol par les terrassements liés aux travaux (© David Couturier, Inrap).



Fig. 13 : Les dalles recouvertes avec du mortier et de l'argile verte (© David Couturier, Inrap).

à moins que l'on envisage l'utilisation d'un liant à base de limon ou d'argile qui aurait été dégradé depuis.

Il semble que la mise en place de l'argile verte soit liée à une réfection de l'étanchéité de la couverture de l'aqueduc. On a pu observer ponctuellement (sondage 19) que, sous un rechapage d'argile verte, la disposition du dallage de couverture a été modifiée : les dalles n'étaient plus simplement juxtaposées mais aussi superposées. On peut supposer que la réfection n'a pas seulement consisté à rechapier les dalles avec de l'argile verte, mais également à les replacer.

On peut aussi présumer que le conduit a été nettoyé. A cet égard, les concrétions calcaires ne portent pas trace d'un quelconque curage, comme cela a été observé pour l'aqueduc de Reims (RABASTÉ et ARDHUIN 2010 : 93). Est-ce à dire que l'intervention n'a porté que sur le simple nettoyage du conduit ou que les concrétions se sont formées après l'intervention portant sur l'étanchéité de la couverture ?

Dans deux cas (sondage 7 et 19), l'argile verte est associée à du mortier de tuileau qui a aussi servi à rechapier les piédroits du deuxième état (Fig. 14). On peut s'étonner que le mortier de tuileau n'ait pas été utilisé dès la création de l'adduction, comme c'est le cas pour un grand nombre d'ouvrage de ce type. Régionalement, on peut citer l'utilisation du mortier de tuileau pour combler les interstices des dalles de couvertures de l'aqueduc de l'agglomération antique de Saint-Chéron (91) (Goustard 2010 : 33).



Fig. 14 : Mortier de tuileau utilisé ponctuellement pour rechapier les piédroits du deuxième état (© Alain Berthier, Inrap).

Nous avons constaté, en plusieurs points, l'absence de dalles de couverture. Si elle peut signaler par défaut la présence d'un regard qui aurait été entièrement récupéré (exemple de l'aqueduc du "Nouret" : MARCILLE, COTTIAUX et COUTURIER 1999 : 89) ou être associée avec des phénomènes postérieurs (cf. *infra*), elle traduit une probable action de récupération qu'il est toutefois difficile d'appréhender. Dans le sondage 2, de part et d'autre du regard 11, le dégagement de l'aqueduc a permis d'observer, tant à l'est qu'à l'ouest du regard, des manques dans le dallage de couverture (Fig. 15). Ils peuvent ici



Fig. 15 : La couverture de l'aqueduc partiellement récupérée de part et d'autre du regard 11 (© Alain Berthier, Inrap).

être mis en relation avec les coupes (Fig. 16) : côté est, on observe clairement, dans la partie centrale du remplissage de la tranchée de construction de l'aqueduc, un recreusement en V (US 1056), large de 1,60 m à l'ouverture. Son comblement (US 1055) contient une dalle calcaire de même type que celles utilisées pour la couverture de l'aqueduc.

– *Étude des concrétions, les diverses approches possibles*

Les analyses des concrétions d'aqueduc, et plus spécialement d'aqueducs gallo-romains, se fondent principalement sur trois modes d'investigations différents. Premièrement, l'étude de la position, de l'organisation générale, de la structure et de l'épaisseur des concrétions au sein de l'aqueduc (GUENDON et VAUDOUR 1986 : 140-147 ; CARBON *et al.* 2005 : 83-85 ; GUENDON et LEVEAU 2005 : 89-93). Deuxièmement, l'analyse de la micromorphologie des encroûtements qui a pour but de caractériser l'organisation, la micro-texture et les types de lamines calcaires (GUENDON et VAUDOUR 1986 : 147-150 ; VERRECHIA 1999 ; PENTECOST 2005 : 20-48 ; DUBAR 2006a : 82 ; 2006b : 166 ; FRONTEAU 2011 : 81-84). Et troisièmement, les études géochimiques qui ont pour but de mesurer les signaux chimiques enregistrés dans les cristallisations (CARLUT *et al.* 2009 : 13-17 ; BOBÉE *et al.* 2011 : 241-260 ; SÜRMEHINDI *et al.* sous-presse). Ces trois modes d'investigation utilisent des techniques et des approches différentes, le premier étant en lien direct avec l'analyse archéologique et l'étude du terrain, les deux derniers sont plus archéomé-

triques et essentiellement réalisées en laboratoire. L'analyse des microtextures utilise principalement les outils classiques de pétrographie : loupe binoculaire, microscope optique, microscope électronique à balayage. Quant aux études géochimiques, elles s'attachent à mesurer soit les concentrations en éléments (Sr, Fe, Mg, K, Al, Si, etc.), soit les variations d'isotopes stables (essentiellement $\Delta^{13}\text{C}$ et $\Delta^{18}\text{O}$), à partir de micro-prélèvements, ou, avec les appareils les plus perfectionnés, directement au niveau des lamines calcaires.

- *Étude des concrétions : méthodologie utilisée*

Dans l'étude des concrétions de l'aqueduc de Villenoy, les deux premiers modes d'approche ont été utilisés afin de caractériser l'organisation générale des concrétions au sein de l'ouvrage et de préciser leur évolution verticale dans le but d'essayer d'en appréhender le fonctionnement. En complément, une première série de mesures géochimiques a été réalisée à partir de micro-prélèvements et d'autres analyses seront ultérieurement effectuées directement sur les lamines calcaires.

Après une étude préliminaire (examen macroscopique et à la loupe) de l'ensemble des concrétions encore fixées à leur support, une série de prélèvements a été réalisée sur deux fragments de l'aqueduc prélevés lors de la fouille⁷. En complément, les concrétions développées sur une tuile découverte au sein de l'aqueduc ont été analysées.

7. Il s'agit des montants latéraux prélevés dans le seul sondage destructif (n° 20) qu'il a été possible de réaliser.

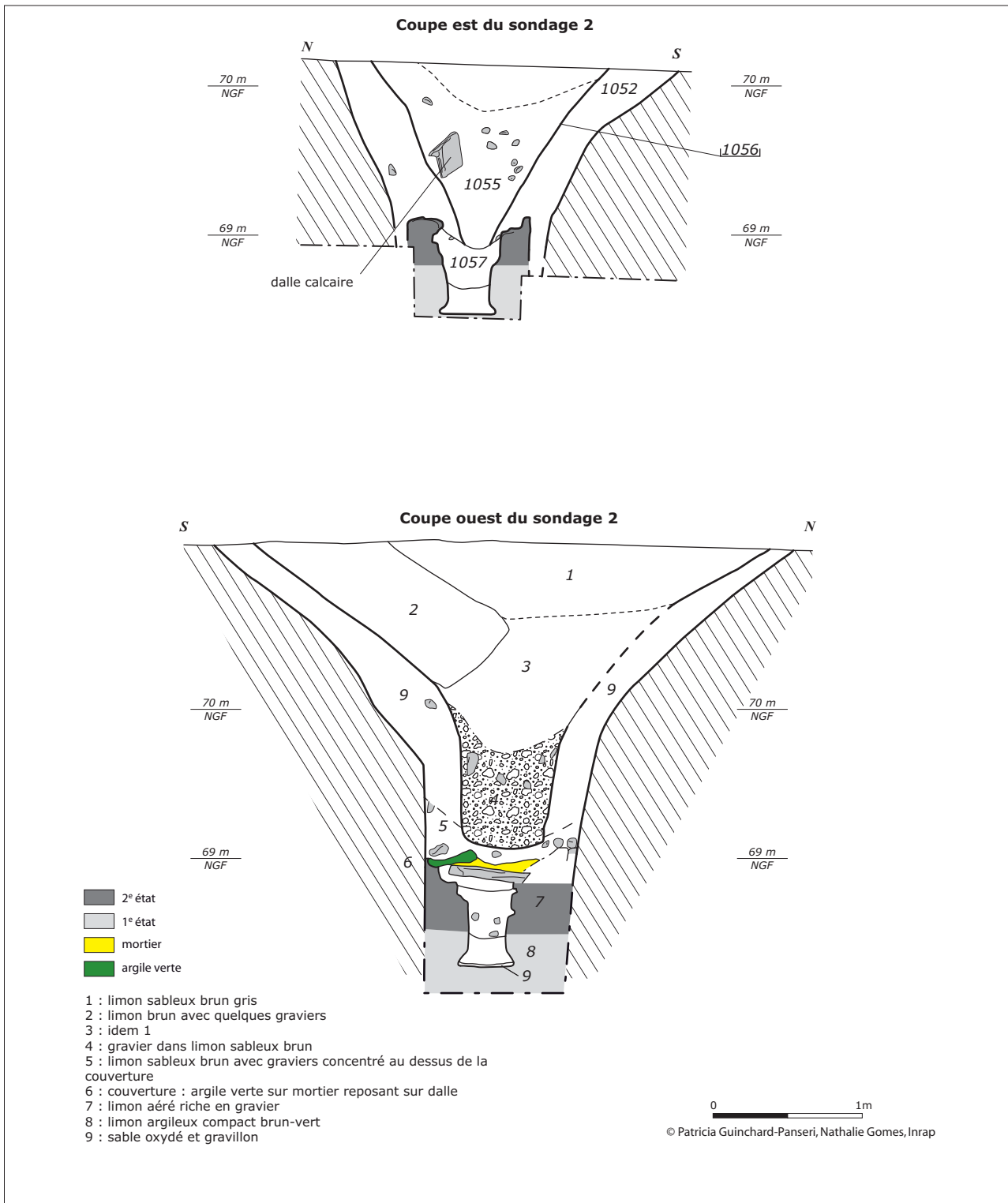


Fig. 16 : Coupes est et ouest du sondage 2 (© Patricia Guinchart-Panseri, Inrap).

La totalité des dépôts carbonatés ne représentant qu'environ 2 à 3 cm d'épaisseur et étant très fragiles, il a été parfois difficile d'effectuer des prélèvements continus. C'est pourquoi, en complément des quelques micro-carottages effectués avec succès, on a réalisé des prélèvements de petites sections étagées, puis à une reconstitution de la séquence complète.

En tout, 14 lames-minces ainsi qu'un bloc à surface polie ont été réalisés. Pour ce faire, les fragments ont été préalablement séchés à 60°C puis indurés une première fois avec de la résine araldite fluide à haut pouvoir de pénétration (résine Geofix). Après prise de la résine, les prélèvements ont été sciés et indurés une seconde fois afin d'obtenir une surface la plus parfaite possible pour la réalisation de la lame-mince. Les lames-minces ont été étudiées à l'aide d'un microscope optique polarisant Olympus BX60, équipé d'une caméra Tri-CCD Sony DXP930 et d'un système de capture et d'analyse d'images (logiciels Archimed et Saisam de Microvision Instruments).

- Description micro-morphologique des concrétions calcaires

Nous présenterons ici les résultats de l'analyse pétrographique, de façon centripète, en partant des parties situées contre les parois de l'aqueduc qui servent de support aux concrétions, puis les concrétions elles-mêmes jusqu'à leur sommet.

- Base des concrétions : croûte de calcite bien cristallisée

Les deux premiers millimètres de concrétion, situés immédiatement à la surface du mortier sont très différents des autres encroûtements (Fig. 17). Il s'agit d'une croûte cassante de calcite bien cristallisée, ponctuée par endroits de petits édifices carbonatés. L'examen précis de cette partie de concrétion montre une stratigraphie très complexe, associant à la fois des phénomènes de cristallisations bio-minérales et des recristallisations chimiques.

La surface du mortier montrant la présence d'une fine couche de texture différente de celle du mortier, il s'agirait peut être d'un badigeon superficiel de chaux et de sable fin (d'épaisseur millimétrique). Cette croûte de base repose sur un mortier à surface non lissée, avec un fin film microcristallin, sans doute de recristallisation de type "calcin". Elle est composée de fines lamines de calcite bien cristallisée (sparite) ou de calcite micro-cristalline (micrite), ponctuées d'un peu de minéraux opaques. Au sein de ces lamines se développent des amas ponctuels de cristallisations

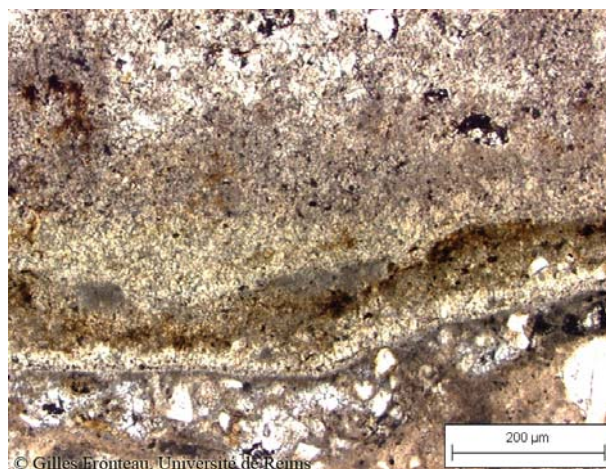


Fig. 17 : Limite externe du mortier de maçonnerie de l'aqueduc (état 1) et premières concrétions calcaires. Présence d'une fine croûte bien cristallisée et des quelques liserés d'oxydes de fer au sein des premières lamines de calcite microcristalline. Lumière polarisée non analysée (© Gilles Fronteau, Université de Reims).

de minéraux opaques (oxydes de fer et de manganèse) et quelques petits édifices carbonatés à liserés d'oxydes de fer et à laminations partiellement conservées (dont le type correspond aux concrétions qui se trouvent au-dessus de cette croûte). L'épaisseur totale de cette partie de la séquence de concrétion est faible (entre 0,5 mm et 2 mm). Cette croûte est dure, cassante et se sépare facilement du reste de l'encroûtement. Son interprétation est difficile. La présence de lamines à signatures différentes en base des concrétions a déjà été signalée (CARLUT *et al.* 2009 : 14-15), ou observée dans l'aqueduc de Reims (FRONTEAU 2011 : 81-84). Il s'agit très vraisemblablement d'une surface réactionnelle entre les premières concrétions biominérales liées à la mise en eau et des influences du contact avec le mortier de maçonnerie. Une réaction physico-chimique avec le mortier serait alors à l'origine de cet aspect si particulier des premières lamines de concrétions calcaires.

- Première série de dépôts : des concrétions massives avec liserés de minéraux opaques

Ces concrétions s'observent dans les échantillons du premier état, au-dessus de la croûte de calcite bien cristallisée. Le passage de la croûte à ces concrétions semble progressif. Celles-ci sont massives, formant des dômes et elles sont très régulièrement marquées par des lits d'oxydes de fer (et de manganèse). Elles correspondent à l'empilement de lamines mal préservées (doublets clairs sombres) formant des petits dômes plats accolés

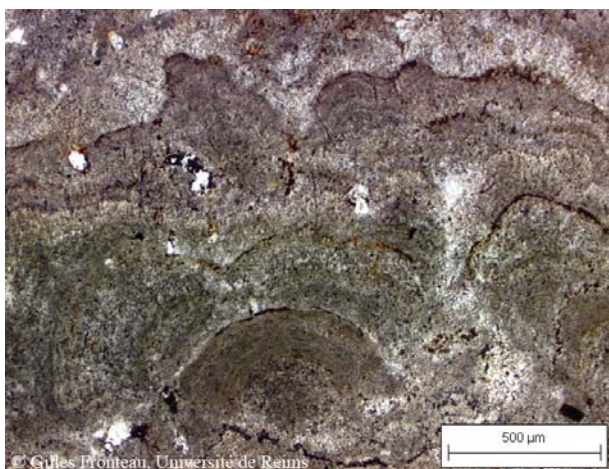


Fig. 18 : Concrétions calcaires laminées, massives et peu poreuses. Les dômes se superposent même s'ils sont parfois marqués ou limités par des liserés d'oxydes de fer. Lumière polarisée non analysée (© Gilles Fronteau, Université de Reims).

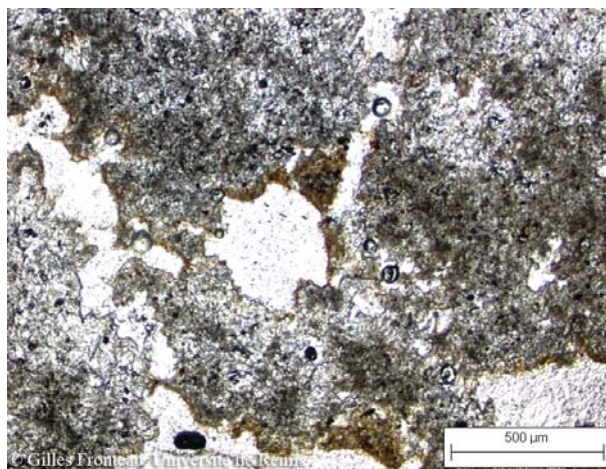


Fig. 20 : Structure peu laminée au sein des concrétions buissonnantes, poreuses, sans liseré de minéraux opaques. Lumière polarisée non analysée (© Gilles Fronteau, Université de Reims).

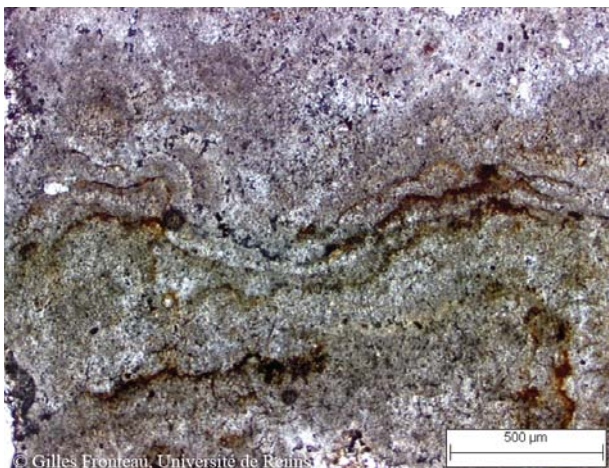


Fig. 19 : Lamines de concrétions calcaires massives à liserés d'oxydes de fer superposés. Lumière polarisée non analysée (© Gilles Fronteau, Université de Reims).

les uns aux autres (Fig 18). Les dômes sont recouverts de liserés de minéraux opaques (oxydes de fer et de manganèse), qui marquent des interruptions dans la croissance des édifices (Fig. 19). La porosité inter-édifices carbonatés est très faible. Dans certaines zones, la calcite est très recristallisée (sparite), tandis que dans d'autres parties de l'encroûtement, les laminations micritiques sont encore bien préservées. L'épaisseur totale de cette partie de la séquence de concrétion est importante (entre 1,5 et 2 cm). Ces concrétions, plutôt dures et difficiles à prélever par simple cassure, se prêtent bien en revanche à un prélèvement par carottage.

- Deuxième série de dépôts : des concrétions buissonnante, poreuse, sans liseré de minéraux opaques

Dans les prélèvements du premier état, ces concrétions se développent au sommet de l'encroûtement au-dessus des concrétions tabulaires, avec parfois une limite marquée par un fin dépôt d'argile silto-sableuse. Le passage d'un type de concrétion à l'autre est relativement brutal et marqué à la base par un liseré micritique très fin. En revanche, pour les prélèvements du deuxième état et ceux réalisés sur la tuile, ces concrétions se développent parfois dès la base de la séquence. Ces concrétions sont très poreuses et s'organisent en petites branches ramifiées verticales formant une structure buissonnante (Fig. 20). Les lits d'oxydes de fer (et de manganèse ?) mis en évidence pour le type précédent sont absents. Les microstructures sont très mal préservées car très recristallisées. Elles présentent soit un aspect nuageux micritique, soit des recristallisations complètes. Les lamines ne sont observables qu'en de très petits secteurs sans continuité dans les empilements. La porosité inter-édifices carbonatés est très forte (Fig. 21). L'épaisseur totale de cette partie de la séquence de concrétion est relativement importante (entre 1 et 2 cm pour le premier état, environ 2 cm pour le deuxième état, jusqu'à 3,50 cm pour certains prélèvements réalisés sur la tuile). Ces concrétions sont assez faciles à prélever manuellement car cette partie de l'encroûtement est relativement tendre ; à l'inverse, elles peuvent ne pas supporter les prélèvements par carottage.

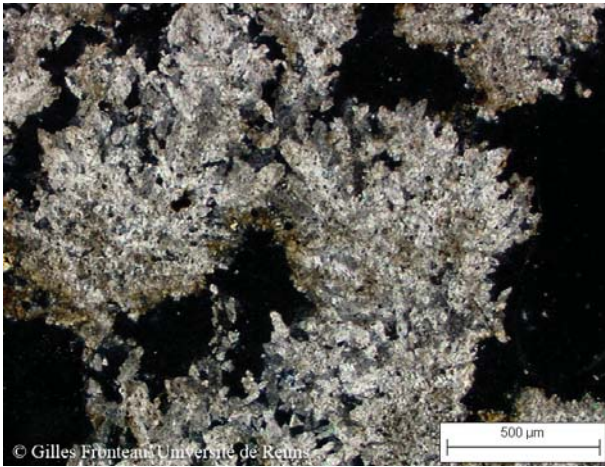


Fig. 21 : Concrétions buissonnantes, poreuses, sans liseré de minéraux opaques. Lumière polarisée analysée (la porosité apparaît en noir, les cristaux de calcite sont nettement visibles) (© Gilles Fronteau, Université de Reims).

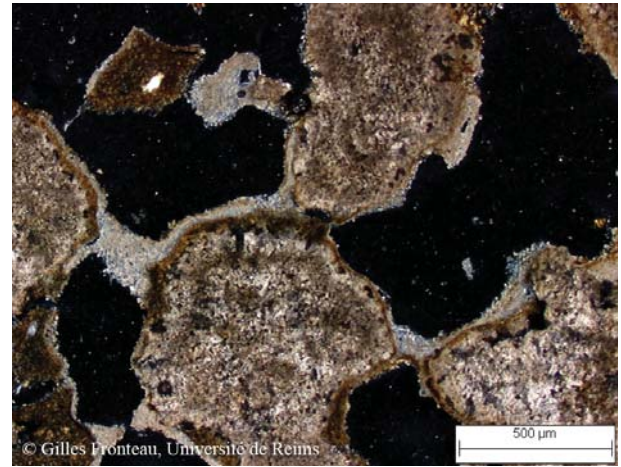


Fig. 22 : Terminaison des concrétions calcaires buissonnantes. La fin de croissance des concrétions est marquée une fine couche d'argile riche en oxydes de fer et par des cristallisations en pont de micro-aiguille de calcite (© Gilles Fronteau, Université de Reims).

- *Terminaison des concrétions calcaires : liseré d'oxydes de fer et ciment à micro-aiguilles de calcite*

Les sommets des concrétions et des micro-édifices carbonatés sont recouverts d'une fine pellicule d'oxydes de fer, puis de cristallisations de calcite et enfin d'argile ferrugineuse silteuse (Fig. 22). L'épaisseur totale de ces éléments de terminaison est très faible, de moins d'un dixième de millimètre, mais leur importance doit être soulignée car ils témoignent de la fin de fonctionnement de l'aqueduc.

En effet, les cristallisations et accumulations d'oxydes de fer témoignent de l'influence d'un milieu oxydant, et l'épaisseur variable du liseré, qui peut passer du simple au quadruple autour de la même structure, montre un milieu de cristallisation vadose, c'est-à-dire non saturé en eau. Enfin, la morphologie des ciments calcitiques, qui peuvent former des ponts entre les micro-édifices, ainsi que leur microstructure, en micro-aiguilles, témoignent elles-aussi d'un milieu de formation non saturé en eau. Ces fines phases diagénétiques traduisent la fin du fonctionnement de l'aqueduc, qui se retrouve à sec, puis sera partiellement comblé par de l'argile rouge silteuse.

- *Interprétation des microstructures*

L'étude pétrographique permet de définir les principales caractéristiques micro-morphologiques des différentes phases de développement des concrétions au sein du canal d'alimentation en

eau de l'aqueduc gallo-romain de Villenoy. Les encroûtements ont une origine bio-minérale nette.

Les édifices, surtout visibles en vue macroscopique, correspondent essentiellement à des calcifications bactériennes, peut-être parfois avec des influences mycéliennes. Certaines cristallisations orientées de part et d'autre d'un axe pourraient correspondre à des croissances autour de racines ou de tiges, mais il s'agit de zones ponctuelles très recristallisées où les structures initiales ont disparu.

La plupart de ces cristallisations se sont développées en milieu phréatique, c'est-à-dire saturé d'eau. Elles seraient donc contemporaines d'une phase de fonctionnement de l'aqueduc. La morphologie tabulaire compacte indique un milieu peu propice au développement des encroûtements. La présence d'interruptions, marquées par des liserés de minéraux opaques, correspond très certainement des épisodes cycliques d'arrêt de croissance des concrétions, ce qui peut traduire des périodes de manque d'eau. À l'inverse, la morphologie buissonnante poreuse indique un milieu propice au développement vertical des micro-édifices, qui ont une croissance plus rapide et sans interruption, ce qui est confirmé par l'absence des liserés d'oxydes de fer décrits pour le type tabulaire. Seules les cristallisations observées sur les derniers millimètres des concrétions présentent des croissances d'épaisseur variable et des ponts ou amas de micro-aiguilles de calcite. Il s'agirait de cristallisations qui se seraient développées tardivement, alors que le milieu n'aurait plus été saturé en eau.

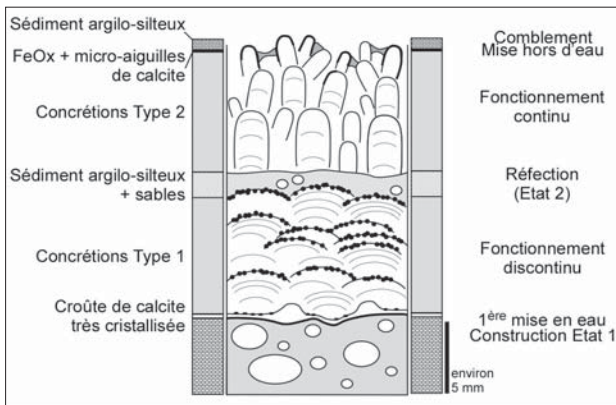


Fig. 23 : Reconstitution du fonctionnement de l'aqueduc de Villenoy d'après les concrétions (© Gilles Fronteau, Université de Reims).

- Reconstitution de la succession des phases de fonctionnement

À partir de l'observation des différents prélèvements et de l'analyse des structures effectuée par les archéologues, nous pouvons définir les phases suivantes (Fig. 23) :

1/ Construction de la paroi de l'aqueduc avec un mortier de chaux, contenant un peu de terre cuite broyée et des granulats prélevés dans des formations superficielles (et non dans une strate géolo-

gique spécifique du substrat). Les parois sont aplanies mais non parfaitement lissées.

2/ Développement d'un film de calcaire à la surface du mortier et première mise en eau. Développement d'une croûte millimétrique de calcite bien cristallisée, ponctuée de petits édifices carbonatés.

3/ Développement des concrétions biominérales massives (type 1), témoignant d'une croissance faible et discontinue.

4/ Réfection de l'aqueduc (construction de l'état 2 ?) : un niveau d'argile silteuse contenant des grains de sables marque la limite entre les deux types de concrétions. Ce sédiment interne pourrait correspondre à du sédiment tombé dans l'aqueduc lors de sa phase de réfection.

5/ Développement des concrétions biominérales branchues et aérées (type 2). Elles sont très recristallisées et ne montrent pas de niveau d'arrêt marqué par des oxydes de fer. Cette morphologie indique un milieu propice au développement des encroûtements, sans épisode de crise (pas d'arrêt cyclique du fonctionnement, débit plus stable que lors du stade 1 ?).

6/ Fermeture des concrétions par un liseré d'oxydes de fer et présence de ciments orientés ou en pont, composés de micro-aiguilles de calcite. Ces éléments marquent la fin du fonctionne-

									niveau d'ap
regard	secteur	plan	dim ext	dim int	ép. des murs	h. cons	type de fouille	par rapport au niveau de décapage	
1	1031	ouest	rectangulaire	1,5 x 1,4	0,66 x 0,55	0,4	0,6	mc	- 0,07
2 (*)	1032	ouest	irrégulier	1,9 x 1,4	1 x 0,8	0,4 à 0,5	0,85	m	0
3	1088	ouest	rectangulaire	1,9 x 1,6	1 x 0,8	0,3 à 0,44	0,9	mc	- 0,57
4	1087	ouest	rectangulaire	1,9 x 1,6	0,9 x 0,6	0,45	0,95	m	- 0,55
5	1077	ouest	rectangulaire	2,2 x 1,6	1,15 x 0,7	0,4 à 0,5	1	m	- 0,73
6	1081	ouest	rectangulaire	2,15 x 1,4	0,6 de large	0,3 à 0,45	1	c	- 0,64
7 (*)	1078	ouest	rectangulaire	1,44 x 1,2	0,66 x 0,38	0,36 à 0,4	1	c(*)	- 0,68
8 (*)	1079	ouest	carré	1,28 x 1,2	0,76 x 0,44	0,25 à 0,4	1,4	mé	- 0,54
9	1080	ouest	rectangulaire	1,6 x 1,4	0,7 x 0,5	0,4	1,3	cmé	- 0,58
10	1067	est	rectangulaire	1,8 x 1,25	0,9 x 0,5	0,32 à 0,44	0,8	mc	- 0,81
11	1089	est	rectangulaire	1,6 x 1,3	0,75 x 0,5	0,4 à 0,45	1,1	mc	- 0,87
12	1070	est	carré	1,5 x 1,5	0,7 x 0,5	0,4 à 0,58	nd	d	- 1,15
13	1061	est	carré	1,7 x 1,7	0,6 x 0,5	0,6	1,05	m	- 1,07
14	1071	est	rectangulaire	1,7 x 1,5	1,1 x 0,6	0,4 à 0,64	1	m	- 1,44
15	1072	est	rectangulaire	2 x 1,5	0,75 x 0,7	0,4 à 0,6	1,5	mc	- 1,33
16	1073	est	rectangulaire	1,8 x 1,6	0,65 x 0,55	0,56	1,3	mc	- 1,23
17	1074	est	rectangulaire	2 x 1,85	0,6 x 0,6	0,4	1,42	mc	- 1,07

(*) dégagé lors du diagnostic

nd : non dégagé en hauteur

d = dégagé en

m = manuelle

c = dégagement des maçonneries

mé = mécanique

Tabl. 2 : Données concernant les regards.

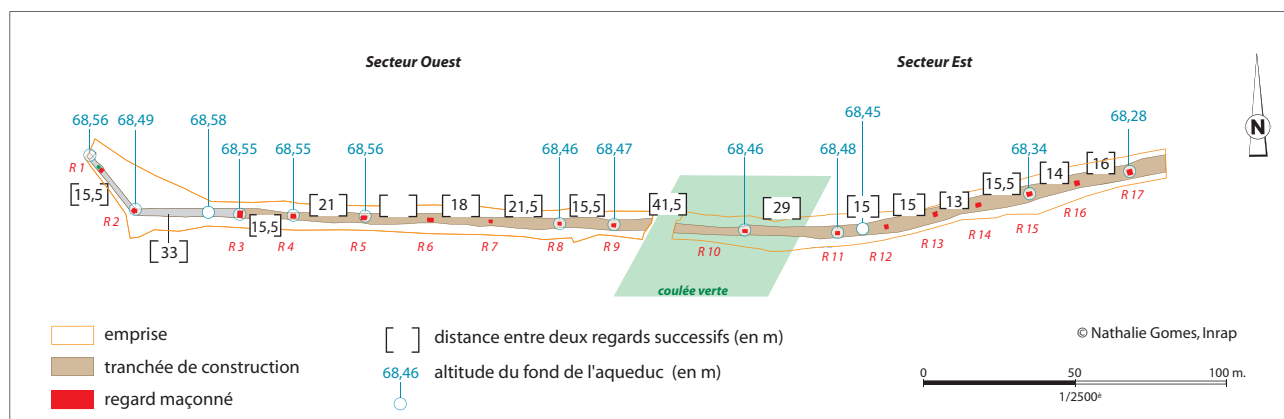


Fig. 24 : Altitudes du fond du canal et distances inter-regard (© Nathalie Gomes, Inrap).

ment en régime phréatique et une mise hors d'eau de l'aqueduc. En outre, quelques comblements orientés d'argile silteuse, scellent partiellement les pores au sein des concrétions, ce qui préfigure un comblement complet du canal de l'aqueduc par de l'argile ferrugineuse silteuse. Les cristallisations en micro-aiguilles, indice de percolation d'eau sont très peu développées. Elles sont scellées par des accumulations argilo-limoneuses. Le canal est donc probablement resté ouvert peu de temps et s'est progressivement comblé de sédiment.

– Les regards

Sur l'ensemble de la section de l'aqueduc qui a été dégagée au niveau de la tranchée d'installation, 17 regards maçonnés ont été identifiés (Tabl. 2). Ce chiffre constitue un minimum dans la mesure où, dans la coulée verte, la recherche a été limitée, rappelons-le, à la tranchée d'assainissement (cf. Fig. 3). Ils ont été numérotés R1 à R17 d'ouest en est. Trois de ces regards (R2, R7 et R8) ont été mis en évidence lors du diagnostic. L'espacement entre les regards oscille, côté ouest, entre 21,50 m et 15,50 m et entre 16 m et 13 m, côté est (Fig. 24). Cet espacement permet de supposer la présence d'un regard manquant entre R2 et R3, distants de 33 m. Comme dans ce secteur la couverture de l'ouvrage a été intégralement dégagée, on peut supposer que le regard attendu a été complètement récupéré. La présence, à 17 m et à 20 m à l'est de R2, de deux zones où les éléments de couverture sont absents sur une distance d'1 m, pourrait corroborer cette hypothèse. De même, on pourrait restituer deux autres puits

d'accès dans l'emprise de la coulée verte : l'un entre les regards 9 et 10, l'autre entre les regards 10 et 11.

La fouille a concerné 16 regards. La plus grande partie a été fouillée manuellement et ce en dépit de l'étroitesse des structures. Le dégagement des maçonneries au droit de la conduite a concerné les mieux conservés (regards 1, 2, 3, 6, 8, 10, 11, 15, 16 et 17). Leur niveau d'apparition se situe, pour la plupart, entre 0,50 m et 1,40 m sous le niveau perçu de la tranchée de construction, ce qui implique une récupération du sommet de la maçonnerie des regards sur une hauteur au minimum égale aux hauteurs précédentes⁸ (Fig. 25). Seul ceux situés à l'extrémité du secteur ouest sont plus affleurants.

- Leur mode de construction

Dans la majorité des cas, les regards sont de plan rectangulaire (Fig. 26), avec une longueur comprise entre 2,15 m et 1,50 m et une largeur comprise entre 1,85 m et 1,25 m. Ils présentent des dimensions variables qui s'échelonnent entre deux modules : 1,15 m x 0,70 m et 0,60 m x 0,50 m. Au niveau de l'inflexion de l'aqueduc vers l'est, le regard R2 présente quant à lui un plan qui épouse le coude de la canalisation.

Les murs des regards sont appareillés avec des blocs équarris liés au mortier, en calcaire pour l'essentiel et en meulière dans une moindre mesure (par exemple R12). Les emplois sont rares : dans la maçonnerie du regard 14 (Fig. 8), on observe la présence d'une *tegula* entière concrétionnée, qui, à

8. Sans tenir compte de l'érosion des niveaux antiques.

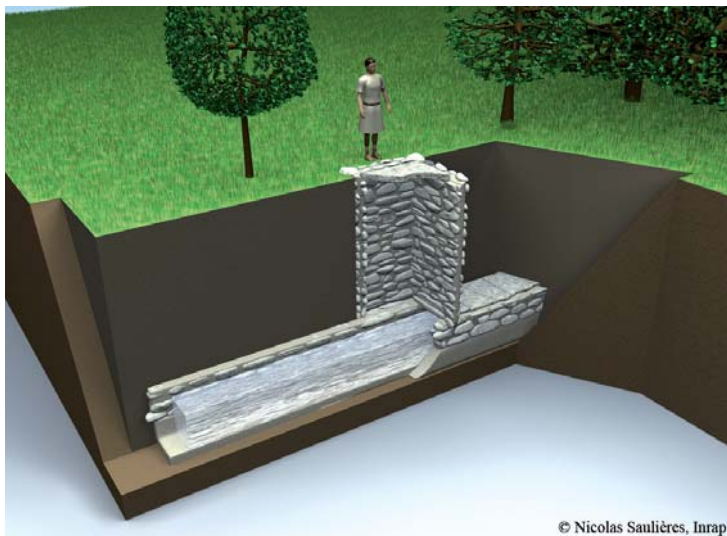


Fig. 25 : Restitution 3D d'un regard de l'aqueduc
(© Nicolas Saulières, Inrap).

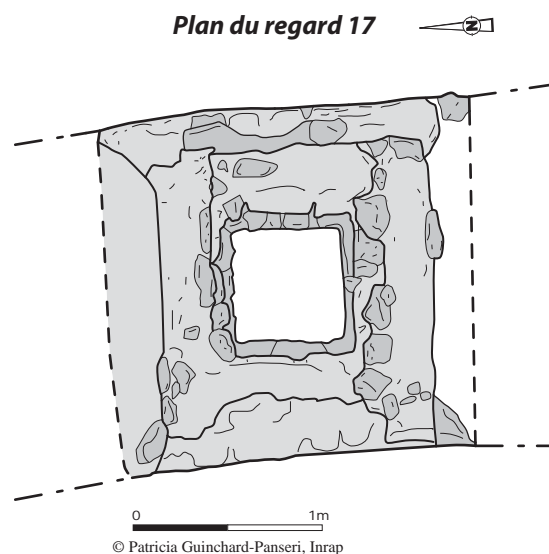


Fig. 26 : Plan du regard 17
(© Patricia Guinchart-Panseri, Inrap).

titre d'hypothèse, a été mise en relation avec la couverture du premier état (cf. *supra*), et de dalles calcaires. L'épaisseur des murs varie de 0,60 m à 0,30 m. Les parois sont enduites de mortier et lissées. À l'intérieur, l'enduit semble mal conservé : il est uniquement présent dans le regard 17.

La disposition des regards sur l'aqueduc fait apparaître deux variantes :

1) dans la plupart des cas documentés (9 sur 12), les regards ont été construits à cheval sur la couverture du deuxième état (regards 3, 4, 5, 6, 8, 9, 10, 11, 14). Mais on constate que l'exhaussement des parois du canal n'est pas présent à l'intérieur des regards dont la base s'appuie ici directement sur les limites extérieures des parois en béton du premier état. On note la présence de fragments de *tegulae* dans cinq regards (R3, 4, 5, 6 et 14). Ils sont localisés sur les parois du premier état et sont liés au mortier pour les mieux conservés. Dans le regard 6, ces fragments de tuiles liés au mortier forment une véritable chape qui recouvre partiellement, côté ouest, le premier état du canal. Cette disposition est troublante : témoigne-t-elle de la couverture du premier état de l'aqueduc qui n'aurait pas ici été démontée ou faut-il y voir les restes d'un bouchage du regard (cf. *infra*) qui aurait été ouvert dans un second temps, voire les traces d'une réparation ?

2) dans au moins trois cas – les R7, 15, 16 et 17 ne sont pas renseignés – les regards reposent sur les piédroits du deuxième état (R1, 2 et 13).



Fig. 27 : La face ouest du regard 17 (© Alain Berthier, Inrap).

Peut-on envisager une construction postérieure à l'exhaussement de l'aqueduc et à la mise en place synchrone d'une première série de regard ?

Les regards présentent aussi des variations quant à leur disposition par rapport à la tranchée de construction de l'aqueduc et à leur élévation. Ces données concernent neuf regards : la plupart d'entre eux (R3, 7, 9 et 16) sont fondés au contact des parois de la tranchée de construction. Il faut signaler que, côté ouest, les affleurements marneux, voire de meulière (Fig. 27), ont pu inciter les constructeurs antiques à ancrer directement le regard dans un terrain naturel solide, à l'instar du regard 16. D'autres

(R6, 10 et 11) sont en retrait. Le R17 s'appuie du côté ouest contre la tranchée, mais non du côté est. Le regard 8, côté sud, ne s'appuie pas contre le bord de la tranchée, contrairement au côté opposé.

Si une partie des regards présente des murs verticaux (regards 10, 16), la majorité montre un élargissement de la maçonnerie par rapport à la base (R3, 6, 7, 9, 11, 15, 16). Les regards 15 et 17, les mieux conservés, offrent une disposition particulière : à partir de la base, ils sont verticaux sur 1 m au maximum, puis ils s'élargissent en particulier côté est. La partie supérieure marque un rétrécissement. On observe, d'une part qu'au niveau de l'élargissement les blocs ne sont plus enduits, d'autre part la rupture dans la ligne de maçonnerie est marquée par un changement de remplissage dans la tranchée de fondation côté est. Ces éléments pourraient nous inciter à reconnaître une réfection du regard 17. Un autre exemple de réfection a été mis en évidence. Il concerne le regard 10 (Fig. 28) : dans l'angle sud-ouest, la partie supérieure de la maçonnerie a été reconstruite avec des blocs sans utilisation de mortier.

La découverte d'une dalle calcaire, au sommet du regard 15, avec un espace non colmaté de 0,9 m en dessous (Fig. 29), permet de s'interroger sur le mode de couverture utilisé. Même si la différence altimétrique existante (1,50 m) entre le niveau d'apparition de la tranchée de construction et le sommet du regard, plus bas, nous renseigne sur la récupération de la partie sommitale de la maçonnerie, on peut supposer que la dalle provient du sommet de la construction et qu'elle a glissé avant la récupération de la partie supérieure. L'utilisation de dalles pour fermer les regards des aqueducs est largement attestée comme par exemple à Lyon pour l'aqueduc du Gier (BURDY 1996 : 222) ou à Saintes (SOCIÉTÉ D'ARCHÉOLOGIE ET D'HISTOIRE DE LA CHARENTE-MARITIME 2008 et 2010).

Deux regards (R15 et 17), situés dans la partie est du tracé, présentent la particularité d'avoir été bouchés par du mortier au niveau du contact avec la conduite. Comme le regard 16 n'a pas été fouillé, il n'est pas possible de savoir s'il était lui aussi obstrué. Le regard 6 pourrait également avoir été dans un premier temps bouché à sa base. Cette action a-t-elle visé à empêcher l'eau de remonter à l'intérieur des regards ou à assurer une meilleure étanchéité ?

– La réutilisation de l'aqueduc au Bas-Empire

- Regards-dépotoirs

Plusieurs regards (R2, 8, 9, 11, 12) ont livré à la base de leur remplissage, au-dessus du canal com-



Fig. 28 : Les deux états de la maçonnerie du regard 10
(© Alain Berthier, Inrap).



Fig. 29 : Dalle découverte au sommet du regard 15
(© David Couturier, Inrap).

blé, c'est-à-dire après abandon de la conduite, des restes fauniques dont certains étaient en connexion. Cette récurrence a motivé une détermination des ossements et une datation ^{14}C en l'absence de mobilier associé.

Dans deux regards, des restes en connexion ont pu être mis en évidence :

- dans le regard 11, un chien a été retrouvé au-dessus d'une couche de blocs contenant aussi les restes d'un jeune porc. Un ossement du chien a fait l'objet d'une datation ^{14}C dont le résultat est : 380 - 550 (GrA-47165-1025) ;

- dans le regard 8, des restes fauniques ont été perçus dans de moins bonnes conditions : la moitié orientale de ce regard a été fouillé à la pelle méca-

nique. Une concentration de faune a été repérée en coupe à 1,10 m de profondeur (par rapport au sommet conservé de la maçonnerie) et sur une hauteur de 0,30 m. Cette découverte a motivé la fouille manuelle de la moitié restante. Cette opération a mis en évidence deux ensembles de restes fauniques associées à des blocs : au sommet, on trouve des restes de bœuf et, immédiatement en dessous, des restes de chien et de porc.

Ces rejets témoignent de l'utilisation de certains regards comme dépotoirs. La spécificité des rejets uniquement composés de restes fauniques pose question et leur attribution chronologique à une même période repose sur les données d'une chronologie toute relative : les rejets à base de faune s'appuient sur le colmatage du canal de l'aqueduc et sont scellés par le remplissage des regards.

- La destruction de la partie sommitale, la récupération et le comblement des regards

Outre la présence de rejets de faune, le remplissage des regards fait apparaître un certain nombre de points communs. Les regards les plus proches de la surface (actuelle) présentent une concentration de blocs au sommet de leur remplissage, en association avec du limon brun contenant des inclusions de mortier. Ces couches, qui témoignent de la démolition de la partie supérieure des regards, ont une épaisseur de 0,50 m (R2) à 0,70 m (R1). Pour les autres regards, les blocs sont aussi présents en plus ou moins grande densité, mais non directement au sommet du remplissage (Fig. 30) composé de limon brun (R3, 4, 6, 8, 9, 13, 14). Les blocs sont rarement absents du remplissage (R17).

Le niveau d'apparition des regards, comparé à celui de la tranchée de fondation de l'aqueduc, permet d'estimer la hauteur minimum de la maçonnerie qui a été démolie. Celle-ci oscille entre 0,50 m et 1,40 m. Il est clair que les volumes de blocs retrouvés semblent inférieurs à ceux qu'on pourrait attendre dans le cas d'une démolition et d'un rejet direct dans les structures en place. Il faut donc introduire une notion de récupération des matériaux, malgré la difficulté à la quantifier. Seul le regard 17, qui, rappelons-le, n'a pas livré de blocs dans son remplissage, permet d'attester une récupération complète des maçonneries.

Dans le regard 3, le décapage a révélé un empiérement qui pourrait être associé au démantèlement de sa partie sommitale.

Il est difficile de dater ces actions de destruction, de récupération et de colmatage, et rien n'indique qu'elles aient été accomplies en même temps. Qui



Fig. 30 : Coupe du remplissage du regard 9 (© David Couturier, Inrap).



Fig. 31 : Vue générale de la sépulture (© David Couturier, Inrap).

plus est, le comblement a pu mêler des actions anthropiques (démolition et récupération des blocs) et des phénomènes naturels (colmatage par ruissellement, colluvionnement). Tout au plus peut-on proposer de dater l'abandon du canal au moins dès la fin du Bas-Empire.

- *Une sépulture installée dans le conduit colmaté*

Elle a été découverte lors d'une tentative de sondage mécanique à l'ouest du regard 1. Celle-ci avait été motivée par une double anomalie affectant le dallage de couverture : alors que les dalles montrent un plan sub-horizontale (autour de l'altitude de 69,2 m), le dallage tend à remonter pour atteindre au pied du regard la cote de 69,54 m. Par ailleurs, nous avons remarqué que deux de ces dalles portaient des traces de concrétions calcaires sur leur face supérieure, ce qui nous renseignait sur une position secondaire. Un bloc de meulière y était disposé de plus de champ : l'absence de ce matériau dans la couverture et sa disposition à cet endroit étaient suspectes.

Le démontage mécanique des dalles a mis en évidence une sépulture orientée NO-SE, tête à l'est (Fig. 31) sur le comblement du canal. L'étude anthropologique⁹ montre qu'il s'agit d'une femme âgée entre 20 et 30 ans. La disposition du corps nous renseigne sur une inhumation en cercueil ou en coffre dont aucune trace archéologique n'a été conservée. Les dalles servant initialement à couvrir l'aqueduc ont été replacées soigneusement au-dessus de la sépulture.

Le seul mobilier associé est composé d'un ensemble de clous de petites dimensions retrouvés entre les jambes du défunt, en dessous du bassin. Son étude¹⁰ montre qu'il pourrait s'agir d'une paire de chaussures en position non fonctionnelle.

La datation ¹⁴C (GrA-47172-1100) qui a été effectuée sur un ossement de la sépulture permet de proposer une fourchette chronologique située entre 230 et 410 (95,4 %) : si la date la plus basse semble peu probable, l'absence de données concernant l'abandon de l'adduction antique ne permet guère d'aller au-delà. Tout au plus peut-on proposer une datation Bas-Empire. S'il est délicat de discuter de l'isolement de la sépulture de Villenoy en l'absence d'une fouille sur une grande surface du canal, sa présence confirme une fréquentation déjà illustrée par les rejets de faune. La permanence dans le paysage tardo-antique des vestiges de l'aqueduc, après abandon, est patente.

9. Étude réalisée par Louiza Aoudia (doctorante, université de Bordeaux I, bénévole).

10. Luc Leconte, Inrap.

Un autre exemple de réutilisation d'une adduction antique comme lieu de sépulture est donné par l'aqueduc dit de Rungis qui alimentait Paris (PHILIPPE, VIRÉ et VERGISON-ROZIER 2001 : 57).

Plus largement, la réutilisation des édifices ou des constructions antiques comme lieu d'inhumation pour des groupes, si elle est documentée pour le haut Moyen Âge (LE MAHO 2004), ne semble pas l'être pour l'époque tardo-antique : l'exemple d'Amiens montre que, si des nécropoles investissent l'espace urbanisé du Haut-Empire, elles ne s'installent pas à l'intérieur des constructions antiques et que leur présence n'est d'ailleurs pas incompatible avec une perdurance des nécropoles antérieures (PICHON 2009 : 49).

2.2.4. Premiers éléments de synthèse

La fouille du Parc d'Activités permet de proposer des pistes de réflexions relatives à la chronologie de l'aqueduc de Villenoy, en s'appuyant sur des datations radiocarbones mais aussi en partant des concrétions. Elle a aussi permis de s'interroger sur son alimentation.

- *L'épineux problème de la chronologie*

La datation des aqueducs est l'écueil majeur des études menées sur ces constructions (FICHES 2008 : 82) et celui de Villenoy ne fait pas exception. Tout d'abord, la céramique recueillie lors de fouille est indigente (21 tessons collectés) et n'autorise aucune approche chronologique. Par ailleurs, la tranchée d'installation ne recoupe aucune structure archéologique antérieure et l'emprise étroite de l'intervention n'a pas permis de repérer d'éventuelles installations liées aux chantiers : pourtant, le diagnostic avait mis en évidence un affleurement de dalles calcaires au sud de l'aqueduc. Leur extraction sur place ne peut donc être attestée que par défaut, à titre d'hypothèse.

Pour évaluer la chronologie de la mise en place de l'adduction, nous avons opté pour des datations ¹⁴C. Le prélèvement du conduit maçonné pour l'analyse des concrétions carbonatées (sondage 20) a permis de repérer un fragment de bois sec piégé dans le béton. Il a pu être prélevé et a donné lieu à une datation ¹⁴C (GrA-7278). La datation obtenue (590AD -700AD) est aberrante et nous a conduit à faire effectuer une deuxième datation, cette fois sur un charbon de bois : malgré

plusieurs essais, aucun charbon n'a résisté au traitement préliminaire.

Pour le deuxième état, la datation ^{14}C d'un charbon de bois contenu dans le mortier liant les blocs a obtenu plus de succès : l'intervalle obtenu est 50AD - 230AD (GrA-47280-1021). Cette grande amplitude a motivé une seconde datation ^{14}C qui, à l'instar de celle du premier état, a échoué.

La caractérisation pétrographique permet de définir la présence de deux types de concrétions au sein du canal de l'aqueduc gallo-romain de Villenoy. Celles-ci ont d'ailleurs des duretés différentes et sont séparées par un sédiment interne argilo-silteux. Elles peuvent être associées aux deux états de la conduite.

Pour essayer de répondre aux questions concernant la durée des deux phases de fonctionnement de l'aqueduc, nous avons essayé de mesurer les épaisseurs de doublets clairs ou sombres généralement considérés comme marqueurs d'une cyclicité annuelle et dont le dénombrement permet de donner une estimation de la durée de fonctionnement. Nous nous sommes alors heurté à la difficulté de trouver des doublets clairs/sombres non recristallisés : en effet, sur les 3 cm de concrétions, seules quelques zones contiennent des lamines mesurables et aucune séquence continue sur l'ensemble de l'épaisseur n'a pu être observée. Ceci est à comparer par exemple avec les concrétions étudiées pour l'aqueduc de Fréjus, où 102 doublets clair/sombres ont été comptabilisés sur une épaisseur de 17 cm (DUBAR 2006a : 82 ; 2006 b : 166) !

Les mesures réalisées sur les concrétions de l'aqueduc de Villenoy montrent que les doublets clairs/sombres ont une épaisseur comprise entre 50 et 350 μm , ce qui est très éloigné des taux de croissance d'encroûtement constatés sur les aqueducs méditerranéens (GUENDON et LEVEAU 2005 : 93) qui ont une croissance moyenne d'1 mm/an et peuvent atteindre 2 mm/an. Si l'on retient une valeur moyenne, soit 200/250 μm de croissance par an (uniquement 0,25 mm/an) et puisque les concrétions totales mesurent environ 3 cm, nous obtenons une durée de fonctionnement d'environ 120-150 ans, ce qui, somme toute, est une durée de fonctionnement assez faible mais possible pour un ouvrage de dimension modeste.

Néanmoins, nous avons montré que les caractéristiques des biominéralisations de l'état 1 sont massives et marquées de liserés d'oxydes de fer. En certains endroits, les liserés d'oxydes de fer sont très rapprochés et les lamines très peu épaisses. Comment mesurer les laminations et es-

timer la durée de ces cycles perturbés ? Si les liserés d'oxydes de fer correspondent à des périodes sans eau et donc sans enregistrement au sein des concrétions calcaires, à combien se montent les périodes non enregistrées par les concrétions ? Ce sont des questions auxquelles il est très difficile de répondre.

Afin d'essayer d'aller plus loin dans la discussion, soulignons que l'interprétation des laminations comme cycles annuels est d'autant plus complexe que celles-ci sont ici parfois très condensées (notamment dans les concrétions en dômes massifs). Quelques micro-édifices présentent de très nombreuses lamines sur de faibles épaisseurs : parfois une dizaine de doublets laminaires sur seulement 0,5 mm d'épaisseur. Comment placer les limites annuelles au sein de tels encroûtements ? S'agit-il de biominéralisations à croissance annuelle très faible (dans ce cas, pour les concrétions compactes de type 1, l'épaisseur d'un doublet serait d'environ 40/50 μm seulement) ou alors de l'enregistrement de cycle infra-annuels ? Ou faut-il y voir la traduction des grands cycles pluri-annuels incluant des cycles saisonniers ?

L'hypothèse la plus probable est qu'il s'agit de concrétions à très faible taux de croissance. Si l'on considère que celles-ci mesurent 1 cm d'épaisseur, cela équivaldrait à 200 ans de fonctionnement pour l'état 1. Quant à l'état 2, avec environ 2 cm de concrétions ayant une croissance moyenne d'environ 250 μm par an, cela équivaldrait à un enregistrement d'environ 80 ans. La durée estimée de fonctionnement de l'aqueduc ne serait alors plus de 120/150 ans environ, mais d'au minimum de 280 ans, ce qui paraît excessif.

Nous avons aussi testé la possibilité de dater les concrétions calcaires par ^{14}C . À l'instar des résultats obtenus pour les aqueducs d'Arles (8300 BP) ou de Fréjus (11200 et 67 000 BP) (FABRE, FICHES et LEVEAU 2005 : 11), les dates, qui s'échelonnent entre 4465 et 7825 BP, " ne paraissent pas probantes voire totalement aberrantes ". Pour Mark Van Strydonck (Royal Institute for Cultural Heritage de Bruxelles), qui a réalisé l'analyse, il est clair qu'une partie du carbonate des concrétions vient du carbonate fossile dissous dans l'eau.

Seule la période d'abandon paraît relativement mieux documentée : la datation ^{14}C de la sépulture (entre 230 et 410) permet de disposer d'un *terminus ante quem*. Néanmoins, le large intervalle et la disposition de la sépulture sur le conduit déjà largement colmaté invite à la prudence.

– Une prise d'eau encore incertaine

L'adoption d'un aqueduc de petite section laisse supposer que la source captée n'était pas très éloignée de son lieu de destination. Dans cette hypothèse de travail, nous avons concentré nos recherches sur un territoire limité. Différents champs d'investigation ont déjà été explorés pour essayer de suivre le tracé de cet aqueduc en amont de la section fouillée : analyse des photos aériennes de l'IGN, prises à haute ou basse altitude, clichés obliques des prospecteurs aériens, étude du parcellaire ancien environnant le site de la découverte, ou encore microtoponymie. Malheureusement, aucune de ces analyses n'a permis de repérer de traces tangibles. Les hypothèses de prises d'eau présentées ici reposent donc sur l'observation de la topographie, de l'hydrographie et de la géologie.

L'espace de captage est selon toute vraisemblance circonscrit au nord par le chapelet de buttes témoins de la Goële et au sud par la vallée de la Marne (Fig. 32). Cette zone de plateau est entaillée par une succession de ruisseaux qui se forment sur les flancs ou en contrebas des buttes stampiennes et se rassemblent dans des bassins versants distincts, dont le plus proche de Meaux est celui du Rutel. Ce ru est alimenté par quatre affluents : les rus de La Sorcière, des Touches, de Viry et de Bourdeau. À partir de la confluence avec le ru de Viry, le Rutel est qualifié de cours d'eau permanent. C'est d'ailleurs en contrebas de cette jonction que se trouve le premier moulin sur étang. Les eaux de ruissellement du Rutel et de ses affluents ne semblent pourtant pas avoir été captées pour l'alimentation de l'aqueduc car sinon les concrétions du *specus* auraient contenues de la matière organique.

En revanche, dans le bassin versant du Rutel, qui mesure 35 km², 17 sources sont signalées par les cadastres napoléoniens, auxquelles on peut ajouter trois ou quatre sources proches supplémentaires. Parmi ces sources, neuf d'entre elles naissent sous les sables de Fontainebleau des buttes témoins. Mais d'après les analyses réalisées sur les concrétions du *specus*, il est peu probable que l'eau provienne de cette couche aquifère, car celle-ci est peu chargée en carbonate de calcium. Les autres sources répertoriées sont situées soit dans des colluvions polygéniques des versants, des colluvions limoneuses de fond de vallée ou des limons de plateaux.

Parmi celles-ci, seule La Fontaine aux Veaux apparaît dans les calcaires de Saint-Ouen affleurant dans le fond de vallon du Rutel, en rive gauche. Cette eau, potentiellement plus riche en carbonate

de calcium, sort de terre à 460 m en amont de la confluence du Rutel et du ru de Viry. Son altitude est à environ 82 m NGF. Trois murs en pierres sèches encadrent la source sur ses trois côtés, délimitant un espace d'environ 16 m². Cet aménagement sommaire doit être relativement récent. Comme son nom l'indique, ce point d'eau servait avant tout à abreuver le bétail pâturant dans l'ancienne prairie, converti depuis le siècle dernier en peupleraie. La présence de quelques fragments de *tegulae* dans le cœur de la source est-elle un indice d'utilisation dès l'époque antique ? Un site du Bas-Empire a par ailleurs été identifié à proximité, dans des terrains labourables compris entre le Rutel et le ru de Viry (GRIFFISCH, MAGNAN et MORDANT 2008 : 937). La distance à parcourir entre ce point d'eau et la section fouillée, en suivant les courbes de niveau, est d'environ 4 800 m, 9 100 m si l'on poursuit son cheminement jusqu'au cœur de la cité.

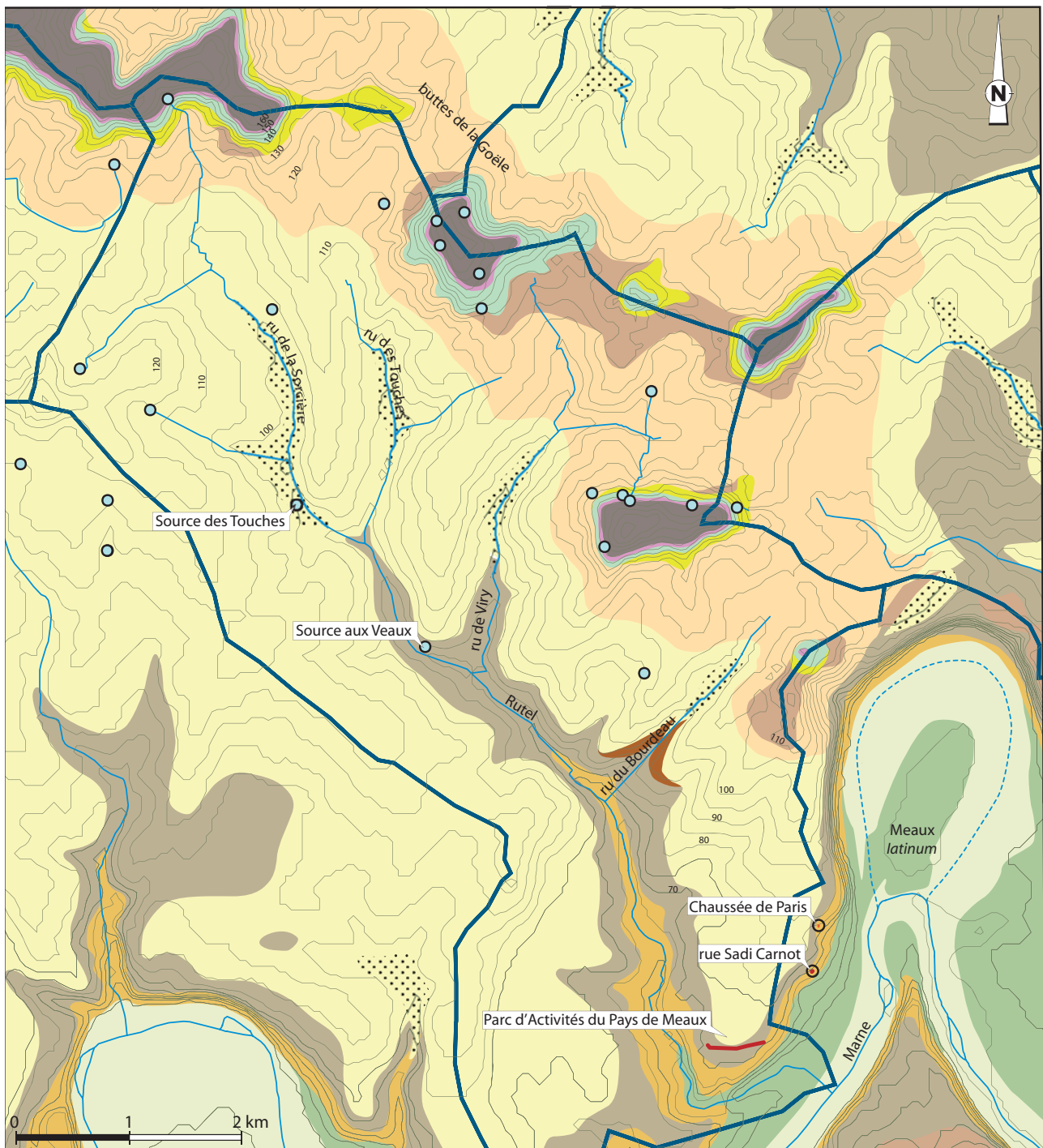
En remontant le vallon sur 2 100 m, une autre source surgit sur la rive droite du ru de la Sorcière, à 700 m en amont de la confluence avec le Rutel. Si cette source est située dans des colluvions, son altitude (94 m) correspond au sommet des bancs de calcaire de Saint-Ouen repéré par forage au Puits Péguy, à Villeroy¹¹. Un important site du II^e au IV^e s. a été repéré à proximité, de l'autre côté du ru de la Sorcière (GRIFFISCH, MAGNAN et MORDANT 2008 : 940-941).

Ces deux sources semblent les plus probables de tout le lot. Il faut toutefois rester prudent car nous manquons de renseignement précis sur les caractéristiques biochimiques de ces eaux. On ignore également si les débits (saisonniers et annuels) suffisaient à alimenter cet aqueduc. Des investigations doivent donc être approfondies, tant sur le plan archéologique (sondages) que physico-chimique.

Enfin, on remarque que des villes insérées dans la même topographie de méandre, comme Besançon (JACCOTTEY 2006 : 83-84) ou Cahors (RIGAL 2007 : 60-68), ont choisi un tracé unique et de gabarit important (pour Besançon), passant par le pédoncule. Pour Meaux, les constructeurs antiques n'ont pas retenu le côté ouvert du méandre¹² et ce malgré la présence potentielle de sources à proximité, en particulier sur la commune de Mareuil-les-Meaux (DUJAY 1834 : 13).

11. (<http://ficheinfoterre.brgm.fr/InfoterreFiche/ficheBss.action?id=01547X0102/MN0003>).

12. Son recoupement intervient au moins à partir du Bas-Empire si l'on en juge par la situation du *castrum* dont le côté sud s'appuie contre le nouveau tracé.



© Olivier Bauchet, Inrap, d'après Caudron M. et Labourguigne J. – Carte géologique au 1/50000, feuille de Lagny, BRGM

- | | | |
|-----------------------------------------|----------------------------------------------|--------------------------------|
| ■ Sables de Fontainebleau | ■ Colluvions polygéniques | ■ Sables de Beauchamp |
| ■ Marnes à huîtres et argies à corbules | ■ Limon de plateaux | ■ Alluvions anciennes |
| ■ Argile verte | ■ Colluvions de versant et de fond de vallée | ■ Alluvions récentes |
| ■ Marnes supragypseuses | ■ Sables de Monceau | — Limites des bassins versants |
| ■ Masses et marnes du gypse | ■ Calcaire de Saint-Ouen | ○ Sources |
| | | — Aqueduc |

Fig. 32 : Localisation des sources du bassin du Rutel et des tronçons de l'aqueduc romain sur fond de carte géologique (BRGM) (© Olivier Bauchet, Inrap).

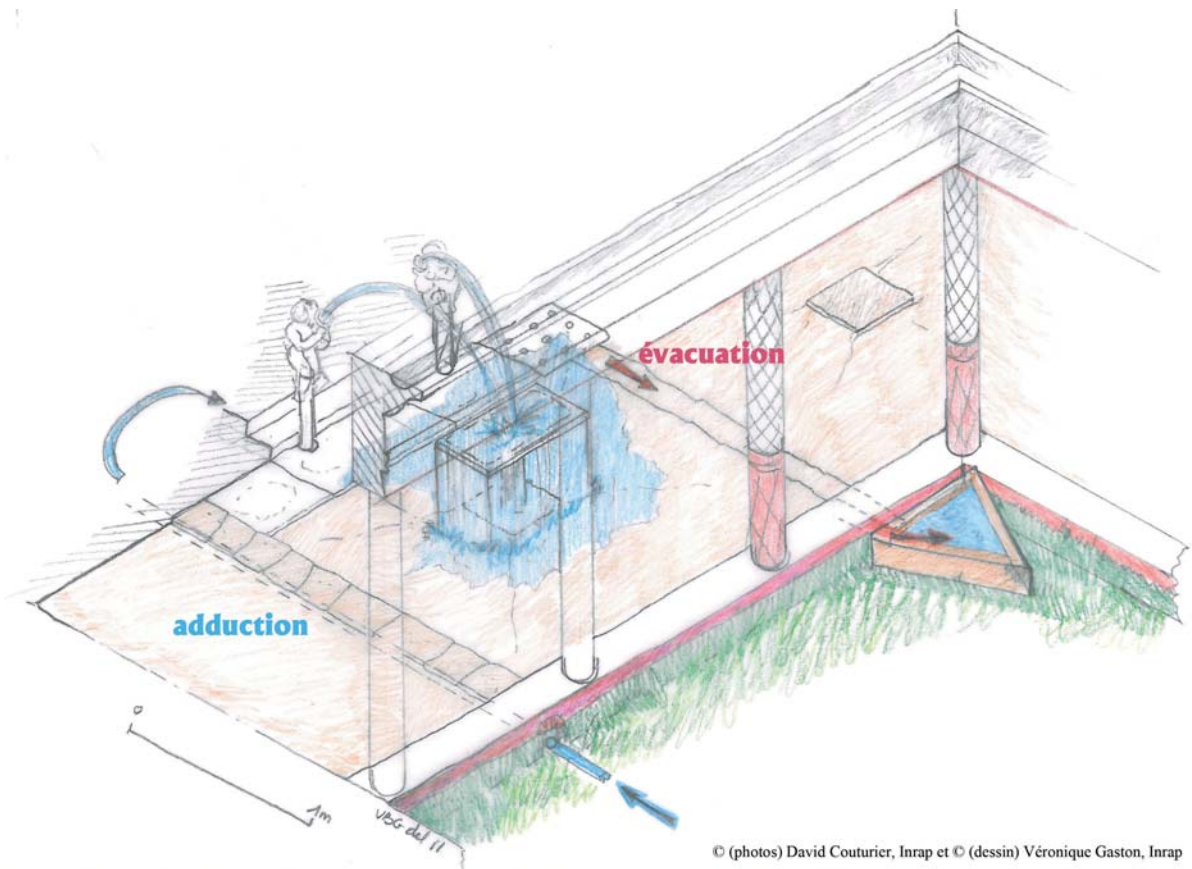


Fig. 33 : Vues et restitution de la fontaine privée du 23 boulevard Jean Rose
 © (photos) David Couturier, Inrap et © (dessin) Véronique Gaston, Inrap).

2.3. Deux aqueducs pour quelle utilisation

Un établissement thermal important a été partiellement repéré au sud de la ville (cf. Fig. 1), sous et à l'ouest de la rue Saint-Faron (MAGNAN 2008 : 740-743). La datation de sa mise en place ne peut être appréhendée. S'il est tentant de le relier à l'une des adductions, aucun élément tangible n'a été repéré dans les multiples surveillances. Seule une citerne témoigne d'un aménagement hydraulique au sud-est du complexe.

En revanche, le site du 23 boulevard Jean Rose a livré le seul cas à Meaux de conduite forcée alimentant une demeure privée (Fig. 33). L'espace qui a été l'objet d'un aménagement hydraulique mesure 7 x 3,50 m. Son traitement est particulièrement soigné : le sol est construit en mortier de tuileau avec, au centre, un bloc calcaire carré (0,60 m de côté). Contre le mur ouest, on trouve une grande dalle calcaire. Deux canalisations parallèles, orientées est-ouest, sont présentes à égale distance du bloc central : au sud, il s'agit d'une adduction enterrée matérialisée par une série de frettes et qui est recouverte par des dalles calcaires : cette disposition nous renseigne sur la présence d'une conduite forcée constituée de tuyaux en bois. Elle se poursuit au delà du mur limitant la pièce côté est. Au nord, il s'agit d'une évacuation construite avec des briques liées au mortier de tuileau. Elle aussi déborde du mur oriental et débouche sur un bassin de forme triangulaire aménagé avec de l'argile verte. Véronique Gaston-Brunet qui a étudié cet ensemble propose de l'interpréter comme une fontaine privée (BAUCHET, COUTURIER et PACCARD 2011 : 75).

L'intérêt de cette découverte, dont la particularité mérite d'être soulignée, est d'attester l'existence d'un réseau de distribution en conduite forcée. Malgré l'absence de découverte d'un bassin de répartition, force est de constater, comme on le sait pour d'autres villes¹³, que l'eau des aqueducs de Meaux n'est pas uniquement réservée à un usage public (thermes, fontaines...) mais qu'elle alimente aussi des installations privées, sans que l'on puisse faire la part des besoins respectifs, d'autant que des équipements publics emblématiques comme des fontaines n'ont pas été encore reconnus à *Iatinum*.

Sur les autres sites, comme le 25 rue Saint-Fiacre (COUTURIER 2010b), la découverte de quelques frettes, en position non fonctionnelle, nous renseigne par défaut sur l'existence de conduites forcées. Leur nombre et leur importance semblent limités. Il est vrai aussi que la nature du matériau utilisé pour les canalisations (tuyaux en bois) peut expliquer en partie un déficit de connaissances¹⁴. Toutefois, la mise en évidence d'un fragment de tuyau en céramique, remployé à l'extrémité d'un caniveau du III^e s. (COUTURIER 2010b : 51), montre que, si cette technique est utilisée, elle n'a pas forcément résisté aux transformations successives de la ville antique.

CONCLUSION

Bordé d'eau, *Ia(n)tinum* était aussi alimenté par deux aqueducs de petit gabarit : l'un, celui de la plaine Saint-Faron, provenant du nord et tirant certainement parti des sources de Crégy largement utilisées aux périodes postérieures (BAUCHET, COUTURIER et PACCARD 2011 : 75), et l'autre, celui de Villenoy, issu du sud-ouest mais dont le bassin de captage n'est pas encore identifié. Seul, le débit potentiel du deuxième aqueduc peut être estimé entre 2 300 m³ (premier état) et 6 474 m³ (après agrandissement) par jour. L'étude des concrétions témoigne en effet d'un mauvais fonctionnement initial, illustré par des épisodes cycliques sans eau. Ce défaut est corrigé, avec en outre une augmentation de la capacité.

Même si l'on ignore si ces adductions ont pu être contemporaines, le choix des tracés, qui implique à chaque fois le franchissement, *via* un ouvrage d'art, de la Marne, interroge sur les motivations des ingénieurs antiques. La proximité des sources a-t-elle été le facteur décisif quant à leur définition ?

En définitive, le réseau hydraulique qui alimentait la ville de Meaux antique reste encore largement méconnu : outre l'absence ou l'indigence des données chronologiques, les relations avec les équipements publics (thermes et fontaines) restent à établir, sans oublier la recherche des zones de captage et la gestion des canaux.

13. Exemple de Reims (ARDHUIN, BALMELLE et RABASTÉ : 153).

14. À cet égard, pour la période moderne et par extension pour le Moyen Âge, la nature du matériau utilisé par les tuyaux (en céramique) et les modalités de construction (utilisation du mortier de tuileau) facilite clairement la reconnaissance des adductions (BAUCHET, COUTURIER et PACCARD 2011).

BIBLIOGRAPHIE

- ANDRIEU 1997
Andrieu J.-L. - *Techniques de construction des aqueducs sur les territoires des cités romaines de Béziers et de Narbonne*, in : Bedon R. (éd.), *Les aqueducs de la Gaule romaine et des régions voisines, Caesarodunum*, XXXI : 73-108.
- ARDHUIN, BALMELLE et RABASTÉ 2011
Ardhuin M., Balmelle A. et Rabasté Y. - *L'eau à Durocortorum (Reims) à travers les aménagements hydrauliques*, in : Abadie-Reynal C., Provost S. et Vipard P. (dir.), *Les réseaux d'eau courante dans l'Antiquité. Réparations, modifications, réutilisations, abandon, récupération*, Actes du colloque international de Nancy (20-21 novembre 2009), Presses Universitaires de Rennes : 147-158.
- BAILHACHE 1983
Bailhache M. - Étude de l'évolution du débit des aqueducs gallo-romains, in : BOUCHER 1983 : 19-49.
- BAUCHET 2008
Bauchet O. - *Villenoy, 46 bis rue Sadi Carnot*, rapport de sondage archéologique (consultable au SRA Île-de-France).
- BAUCHET, COUTURIER et PACCARD 2011
Bauchet O., Couturier D. et Paccard N. - Les adductions de Meaux, rapprochement des sources archéologiques et textuelles, *Archéopages*, 32 : 72-79.
- BEDON 2008
Bedon R. - Les villes des Trois Gaules et leur recherche d'une proximité de l'eau : gestion des atouts et des difficultés créés par la présence de rivières et de marécages, in : Hermon E. (dir.), *Vers une gestion intégrée de l'eau dans l'empire romain*, Actes du colloque international, Université Laval, octobre 2006 : 99-106.
- BLIN 2007
Blin O. - Le Tremblay-sur-Mauldre, in : Barat Y. - Les Yvelines-78, *Carte archéologique de la Gaule*, 78, Paris, Académie des Inscriptions et Belles Lettres/Maison des Sciences de l'Homme.
- BOBÉE *et al.* 2011
Bobée C. Huon S., Guendon J.L., Salomon C., Gébara C., Michel J.M., Regert M. - High resolution (PIXE) analyses of carbonate deposits in a roman aqueduct (Fréjus, SE France) : Implication for the study of palaeohydrological variability and water resources management in southern Gaul during the roman period, *Archaeometry*, 53, 2 : 241-260.
- BOUCHER 1983
Boucher J.-P. - *Journées d'études sur les aqueducs romains*, Actes du colloque de Lyon (26-28 mai 1977).
- BURDY 1996
Burdy J. - *Lyon, l'aqueduc romain du Gier*, Préinventaire des monuments et richesses artistiques, Département du Rhône.
- CARBON *et al.* 2005
Carbon D., Fabre G., Volant P., Fiches J.-L., Levret A., Combes P. - L'aqueduc de Nîmes dans la haute Vistrenque : Analyse interdisciplinaire d'un tronçon souterrain, *Gallia*, 62 : 69-86.
- CARLUT *et al.* 2009
Carlut J., Chazot G., Dessales H., Letellier R. - Trace element variations in an archeological carbonate deposit from the antique city of Ostia: Environmental and archeological implications, *C. R. Geoscience*, 341: 10-20.
- COUTURIER 2008
Couturier D. - Nouvelle approche du réseau viaire de la ville de Meaux antique (Seine-et-Marne), *Revue archéologique d'Île-de-France*, 1 : 191 - 208.
- COUTURIER 2009
Couturier D. - La fouille du 23, boulevard Jean Rose à Meaux (77), in : *Actes des Journées Archéologiques 2007*, Service Régional de l'Archéologie d'Île-de-France : 85-87.
- COUTURIER 2010a
Couturier D. (dir.) - *Île-de-France, Seine-et-Marne, Villenoy, Parc d'Activités de Meaux. Un aqueduc antique, rapport de fouille archéologique* (consultable au SRA Île-de-France), INRAP Idf, déc. 2010, 159 p, Figs, 1 plan h.t.
- COUTURIER 2010b
Couturier D. (dir.) - *Île-de-France, Seine-et-Marne, Meaux, La fouille du 25 rue Saint-Fiacre /124 rue de Châage, rapport de fouille archéologique* (consultable au SRA Île-de-France), INRAP Idf, juin 2010, 2 volumes, Figs, 1 plan h.t.
- DENIS 1849
Denis F.-A. - Mémoire sur un aqueduc romain et sur d'autres vestiges d'antiquités dans les travaux de terrassement du chemin de fer, *Société d'agriculture, de sciences et d'arts de Meaux*, publications de mai 1845 à juin 1847 : 119-120.
- DESBORDES 1959
Desbordes J.-M. - *La cité des Meldes : recherches sur les limites et sur la répartition de l'habitat*, s.l., s.n.
- DESBORDES 1961
Desbordes J.-M. - Découverte d'un aqueduc romain, *Bulletin du Groupement Archéologique de Seine-et-Marne*, 1 : 55-60.
- DESNOYERS 1983
Desnoyers M. - Nouvelles recherches sur les aqueducs de Nérès-les-Bains, in : BOUCHER 1983 : 75-80.
- DUBAR 2006a
Dubar M. - Recherche et interprétation climatique des microcycles du concrétionnement taverneux de l'aqueduc romain de Fréjus (Var, France), *Quaternaire*, 17, 2 : 79-85.
- DUBAR 2006b
Dubar M. - Approche climatique de la période romaine dans l'est du Var : recherche et analyse des composantes périodiques sur un concrétionnement centennal (I^{er}-II^e siècle apr. J.-C.) de l'aqueduc de Fréjus, *ArcheoSciences, revue d'archéométrie*, 30 : 163-171.
- DUJAY 1834
Dujay J. - *Statistique de Mareuil-lez-Meaux*, Meaux.
- DURAND 2009
Durand J. - *Villenoy et Chauconin-Neufmontiers, Parc d'Activité du Pays de Meaux (77) : rapport de diagnostic* (consultable au SRA Île-de-France), INRAP Idf, janvier 2009, 316 p, Figs, 1 plan h.t.
- FABRE, FICHES et LEVEAU 2005
Fabre G., Fiches J.-L. et Leveau P. - Recherches récentes sur les aqueducs romains de Gaule méditerranéenne, in : Fabre G., Fiches J.-L. et Leveau P. (dir.), *Aqueducs de la Gaule méditerranéenne, Gallia*, 62 : 5-12.
- FICHES 2008
Fiches J.-L. - Les aqueducs romains, des objets ar-

- chéologiques complexes et singuliers, in : Guimier-Sorbets A.-M. (dir.), *L'eau : enjeux, usages et représentations*, Actes du colloque, Paris.
- FRONTEAU 2011
Fronteau G. - Caractérisation et provenance des matériaux, in : Rabasté Y. et Arduin M. (dir.), *L'aqueduc antique de Reims (Durocotorum)*, Archéologie Urbaine à Reims, 9, *Bull. Société Archéologique Champenoise*, 103, n° 4 : 69-84.
- FRONTIN Aq.
Frontin - *Les aqueducs de la ville de Rome*, trad. P. Grimal, Paris, Les Belles Lettres, 1944.
- GUENDON et LEVEAU 2005
Guendon J.L. et Leveau P. - Dépôts carbonatés et fonctionnement des aqueducs romains : le bassin amont du vallon des Arcs sur l'aqueduc d'Arles (Bouches-du-Rhône), *Gallia*, 62 : 87-96.
- GUENDON et VAUDOUR 1986
Guendon J.L., Vaudour J. - Les concrétions de l'aqueduc de Nîmes, in : *Travertins LS et évolution des paysages holocènes dans le domaine méditerranéen, Méditerranée*, Troisième série, 57 : 140-151.
- GOUSTARD 2010
Goustar V. - *Île-de-France, Essone, Saint-Chéron, 7 rue du Cheval Blanc (lot B), rapport de diagnostic* (consultable au SRA Île-de-France), INRAP Idf, octobre 2010, 52 p, Figs.
- GRIFFISCH, MAGNAN et MORDANT 2008
Griffisch J.-N., Magnan D. et Mordant D. - *La Seine-et-Marne, Carte archéologique de la Gaule 77/2*, Paris, Académie des Inscriptions et Belles Lettres/Maison des Sciences de l'Homme.
- JACCOTTEY 2006
Jaccottey L. - *L'aqueduc d'Arcier*, in : *De Vesontio à Besançon*, catalogue d'exposition : 83-84.
- Julien Mis.
Julien - *Misopogon*, trad. C. Lacombrade, Paris, Les Belles Lettres, 2003, 94 p.
- KARST 1997
Karst N. - *L'aqueduc de Lutèce*, Archéologie en Île-de-France, Bulletin de liaison, 6 : 8-9.
- LE MAHO 2004
Le Maho J. - *Aux origines du paysage ecclésial de la Haute-Normandie : la réutilisation funéraire des édifices antiques à l'époque mérovingienne* in : Al-duc-Le Bagousse A. (dir.), *Inhumations et édifices religieux au Moyen Âge entre Loire et Seine*, Actes de la Table Ronde du Crahm, 1 : 47-62.
- MAGNAN 2008
Magnan D. - Meaux, in : Griffisch J.-N., Magnan D., Mordant D., *La Seine-et-Marne, Carte archéologique de la Gaule 77/2*, Paris, Académie des Inscriptions et Belles Lettres/Maison des Sciences de l'Homme.
- MARCILLE, COTTIAUX et COUTURIER 1999
Marcille C. (dir.), Cottiaux R. et Couturier D. - *Île-de-France, Tremblay-en-France / Le Nouret (93) : document final de synthèse* (consultable au SRA Île-de-France), AFAN, Service Régional de l'Archéologie, 3 volumes.
- MOROT 1893
Morot G. - *Histoire contemporaine de la ville de Meaux, suivie d'une description sommaire de la rivière de Marne*.
- PASSELAC 2005
Passelac M. - *Trois vestiges d'aqueducs ruraux gallo-romains dans la partie occidentale de la cité de Carcassonne (Aude)*, in : Fabre G., Fiches J.-L. et Leveau P. (dir.), *Aqueducs de la Gaule méditerranéenne*, Gallia, 62.
- PENTECOST 2005
Pentecost A. - *Travertine*. Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg, 445 p.
- PHILIPPE, VIRÉ et VERGISON-ROZIER 2001
Philippe M., Viré M., Vergison-Rozier G. - *L'aqueduc antique de Lutèce, dit " d'Arcueil "*, *Historiographie des recherches sur le segment suburbain*, in : Naudet F., Val-de-Marne, *Carte Archéologique de la Gaule*, 94, Paris, Académie des Inscriptions et Belles Lettres/Maison des Sciences de l'Homme : 56-72.
- PICHON 2009
Pichon B. - *Amiens 80 /1*, Carte Archéologique de la Gaule, Paris, Académie des Inscriptions et Belles Lettres/Maison des Sciences de l'Homme.
- POYETON 2012
Poyeton A. - *Île-de-France, Poincy " Près le Pont de Trilport, les Longs-Prés-sud "*, rapport de fouille (consultable au SRA Île-de-France), Inrap Idf, 2 volumes, Figs.
- RABASTÉ et ARDHUIN 2010
Rabasté Y. et Arduin M. - *L'aqueduc antique de Reims (Durocorturum)*, *Bulletin de la Société archéologique champenoise*, 103, Archéologie urbaine à Reims n° 4.
- RIGAL 2007
Rigal D. - *L'aqueduc de Cahors*, in : Filippini A., Le Lot, Carte Archéologique de la Gaule, Paris, Académie des Inscriptions et Belles Lettres/Maison des Sciences de l'Homme : 60-68.
- ROCHE 1984
Roche D. - Le temps de l'eau rare du Moyen Âge à l'époque moderne, *Annales. Économies, Sociétés, Civilisations*, 39^e année, 2 : 383-399.
- ROUGÉ 1982
Rougé J. - *La législation justinienne de l'eau*, in : Pouilloux J., L'Homme et l'eau en Méditerranée et au Proche-Orient. II. Aménagements hydrauliques. État et législation. Séminaire de recherche 1980-1981. Lyon : Maison de l'Orient et de la Méditerranée : 383-399.
- SOCIÉTÉ D'ARCHÉOLOGIE ET D'HISTOIRE DE LA CHARENTE-MARITIME 2008 et 2010
Société d'Histoire et d'Archéologie de la Charente-Maritime, *Les cahiers de l'aqueduc*, 1 et 2.
- SÜRMELEHINDI *et al.* sous-presse
Sürmelihindi G., Passchier C.W., Spötl C., Kessener P., Bestmann M., Jacob D.E., Baykan O.N. - Laminated carbonate deposits in Roman aqueducts: Origin, processes and implications. *Sedimentology*, DOI : 10.1111/sed.12000.
- VERRECHIA 1999
Verrechia E. - Rapport sur les concrétions carbonatées associées à un aqueduc gallo-romain (site Le Nouret, AFAN Roissy) in : Marcille C. (dir.), Cottiaux R. et Couturier D., *Tremblay-en-France / Le Nouret (93) : document final de synthèse* (consultable au SRA Île-de-France), AFAN, Service Régional de l'Archéologie, volume 3 (études spécialisées), annexe 9 : 1-19.

