HAL
open science

Les concrétions carbonatées des aqueducs gallo-romains de Villenoy (Seine-et-Marne, France) et de la Suippe à Reims (Marne, France) : étude pétrographique et questionnement sur l'origine des séquences enregistrées

Gilles Fronteau, David Couturier, Yoann Rabasté

To cite this version:

Gilles Fronteau, David Couturier, Yoann Rabasté. Les concrétions carbonatées des aqueducs gallo-romains de Villenoy (Seine-et-Marne, France) et de la Suippe à Reims (Marne, France) : étude pétrographique et questionnement sur l'origine des séquences enregistrées. Archéologie, société et environnement, 2023, 1 (1), 10.21494/ISTE.OP.2023.0945 . hal-04032635

HAL Id: hal-04032635

https://hal.univ-reims.fr/hal-04032635

Submitted on 16 Mar 2023

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.

Les concrétions carbonatées des aqueducs gallo-romains de Villenoy (Seine-et-Marne, France) et de la Suippe à Reims (Marne, France) : étude pétrographique et questionnement sur l'origine des séquences enregistrées

Carbonated concretions from the Gallo-Roman aqueducts of Villenoy (Seine-et-Marne, France) and the Suippe at Reims (Marne, France): petrographic study and questioning the origin of the recorded sequences

Gilles FRONTEAU[1], David COUTURIER[2,3], Yoann RABASTÉ[5]

[1] Université de Reims Champagne-Ardenne, GEGENAA, UR 3795, Reims, France, gilles.fronteau@univ-reims.fr
[2] INRAP CIF, Inrap Centre Île-de-France
[3] Pôle archéologique de la Ville de Paris, david.couturier@paris.fr
[4] UMR 7041 ARSCAN, Équipe TranSphères
[5] INRAP GEN, Centre archéologique de Reims, 28 rue Robert Fulton, 51100 Reims, yoan.rabaste@inrap.fr

RÉSUMÉ. L'étude archéologique récente de deux aqueducs antiques localisés dans le nord de la Gaule à Villenoy près de Meaux (Seine-et-Marne) et Reims (Marne) s'est accompagnée d'une analyse macroscopique et microscopique des concrétions calcaires situées sur les flancs du canal d'adduction d'eau. Le séquençage de ces concrétions, pourtant peu épaisses, permet tout de même de retracer des parties de l'histoire de ces monuments. Pour l'aqueduc de Villenoy, l'étude pétrographique confirme la succession chronologique de deux grandes phases et modes de fonctionnement. Dans cas de l'aqueduc de Reims, elle nous force à nous interroger sur le temps enregistré dans les concrétions préservées.

ABSTRACT. The recent archaeological study of two Roman aqueducts located in northern Gaul at Villenoy near Meaux (Seine-et-Marne) and Reims (Marne) was accompanied by a macroscopic and microscopic analysis of the carbonate concretions located on the sidewalls of the water channel. The sequencing of these concretions, although not very thick, allows us to retrace parts of the history of the aqueducts. For the aqueduct of Villenoy, the petrographic study confirms the chronological succession of two major phases and two types of operating modes. In the case of the aqueduct of Reims, it forces us to question the very short time recorded in the preserved concretions.

MOTS-CLÉS. Aqueduc, Antiquité, Concrétions calcaires, Pétrographie, Gaule du Nord.
KEYWORDS. Aqueduct, Antiquity, Carbonate concretions, Petrography, Northern Gaul.

1. Introduction

Les aqueducs gallo-romains les plus étudiés du point de vue de leurs concrétions carbonatées sont ceux du pourtour méditerranéen, avec par exemple, pour le territoire français, l'aqueduc de Fréjus (Bobée *et al.*, 2011), de Nîmes (Guendon & Vaudour, 1986), d'Arles (Guédon & Leveau, 2005), etc. Pour le reste, s'ils commencent à être bien documentés archéologiquement, les aqueducs du nord de la Gaule n'ont fait l'objet que de recherches embryonnaires sur la signification de leurs encroûtements calcaires. Dans cet article, nous nous proposons d'apporter quelques éléments d'informations sur les concrétions de deux aqueducs gallo-romains du Nord de la France : Villenoy près de Meaux (Seine-et-Marne) et Reims (Marne), étudiés grâce à des fouilles d'archéologie préventive conduites par l'INRAP. La bonne conservation des vestiges de certains

© 2023 ISTE OpenScience – Published by ISTE Ltd. London, UK – openscience. fr

tronçons de ces aqueducs a permis de procéder à des prélèvements et des études des concrétions localisées dans les canaux d'adduction. L'étude pétrographique des concrétions, présentée ici, correspond à la première étape de l'analyse de ces séquences calcaires, qui sera progressivement complétée d'observations à plus haute résolution (notamment au MEB) et d'analyses géochimiques (en cours de réalisation).

1.1. *Présentation des aqueducs de Villenoy (Seine-et-Marne) et de Reims (Marne)*

L'aqueduc de Villenoy, près de Meaux **(figure 1)** est d'une dimension modeste, avec un canal d'environ 30 centimètres de large, pour une hauteur totale de maçonnerie, du radier à la voûte, de l'ordre de 80 à 95 cm, sa longueur totale est inconnue, mais sans doute de l'ordre d'une dizaine de kilomètres. En effet, l'aqueduc prenait très probablement son eau au niveau d'une source karstique dans un vallon au nord-ouest de Meaux, par exemple le vallon du Rutel, mais le site exact de captage reste pour le moment inconnu. Les premiers tronçons de cet aqueduc ont été découverts au XIXe siècle (Denis, 1849), mais c'est essentiellement une fouille préventive conduite en 2009 (Couturier, 2010) qui a permis de mieux comprendre l'organisation de cet ouvrage. Durant cette fouille, l'aqueduc, ou du moins sa tranchée de fondation, a été reconnu sur une longueur de 368 m et par la réalisation de vingt sondages, ainsi que par le dégagement du canal sur environ 60 mètres de long **(figure 2)**. L'aqueduc et son contexte étant déjà extensivement décrits dans une publication sur l'approvisionnement en eau de la ville de Meaux antique (Couturier *et al.*, 2013), nous nous limiterons ici à en donner quelques informations dans le but de le comparer à celui de Reims.

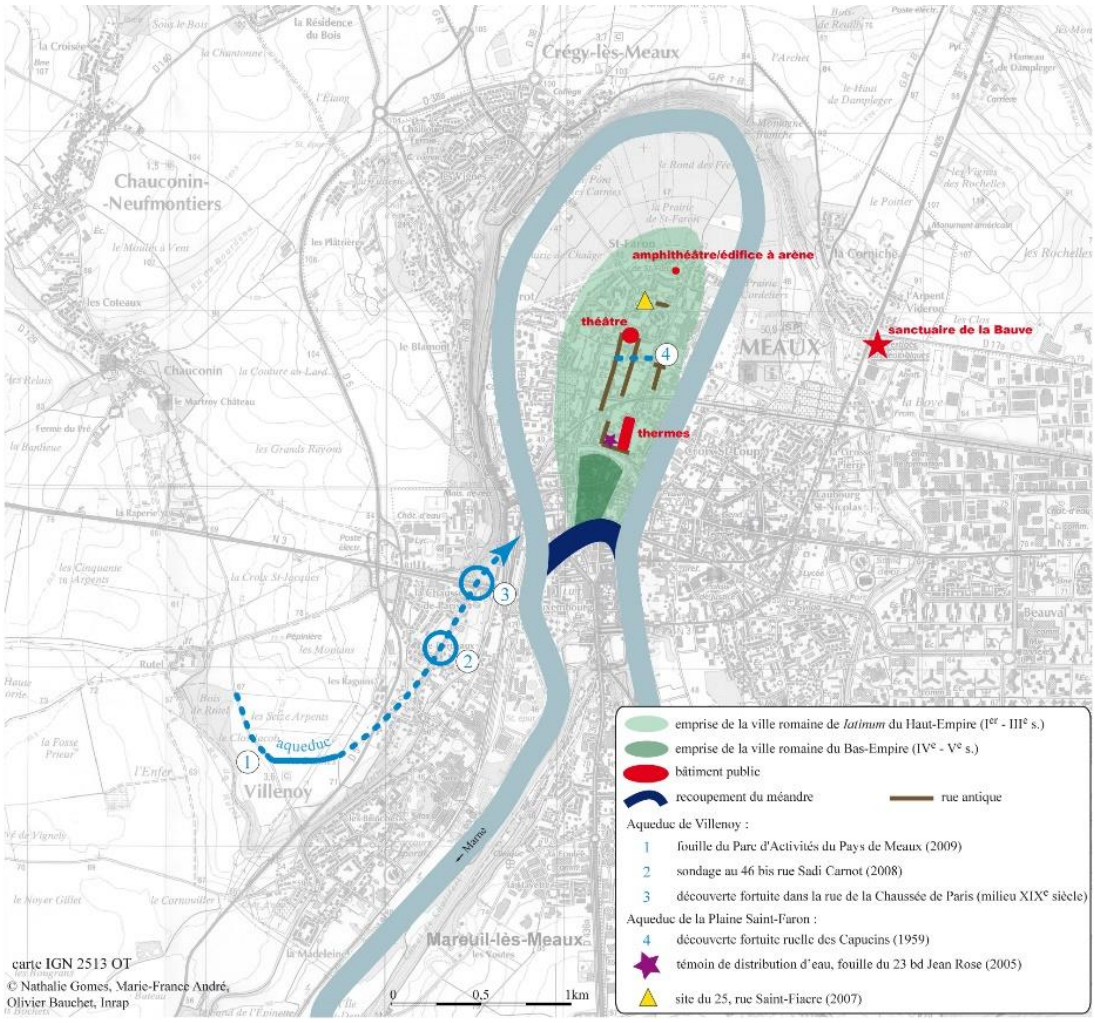

Figure 1. *Plan schématique de la ville de Meaux antique, localisation des aqueducs et des principaux sites en relation avec l'alimentation en eau © RACF 2013*

© 2023 ISTE OpenScience – Published by ISTE Ltd. London, UK – openscience. fr

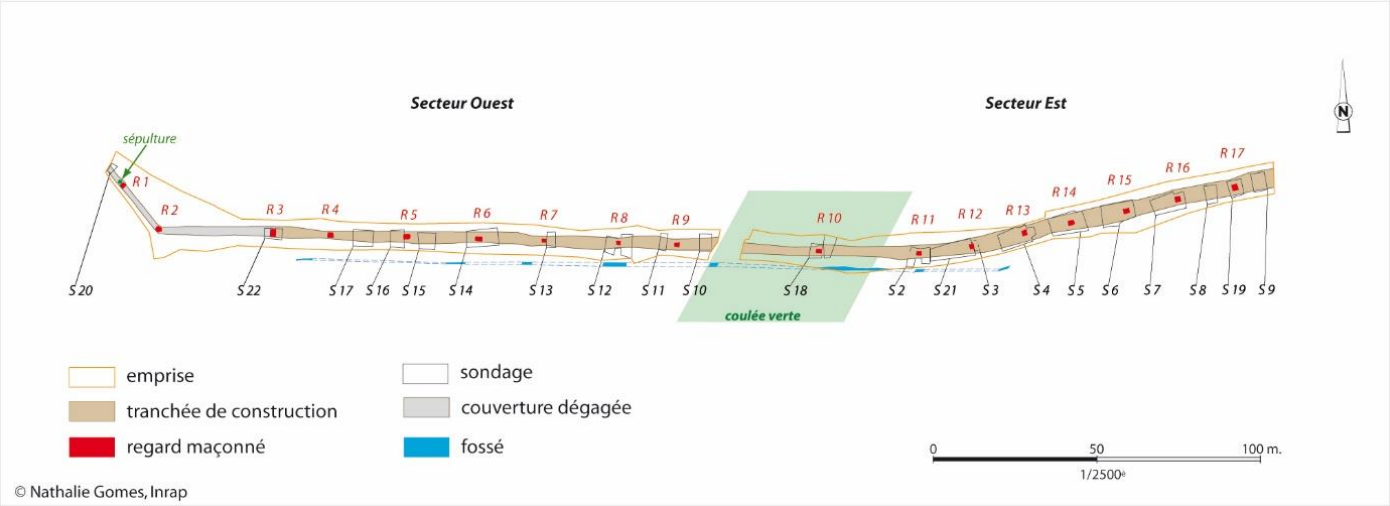

Figure 2. *Plan général de l'aqueduc de Villenoy sur la fouille du Parc d'Activités du Pays de Meaux © RACF 2013*

Deux états de construction ont été clairement distingués, les données recueillies par la fouille concernent essentiellement le deuxième état car celui-ci s'est superposé à la canalisation initiale **(figure 3)**. Le premier état de la conduite s'appuie sur un radier d'environ 0,10 m, lui-même coulé sur un hérisson de 0,18 m d'épaisseur ou directement sur le substrat marneux compact. Au-dessus, les deux parois ont été mises en place par coffrage, leur largeur est de 0,30 m côté sud et de 0,24 m côté nord (sondage 20). Ces parois sont composées d'un béton de tuileau mêlé à des granulats siliceux et calcaires, de granulométrie assez variable (du limon au gravier de calcaire ou de meulière). La largeur du canal est de 0,34 m pour une hauteur de 0,29 m. Le deuxième état de construction s'appuie sur le premier et correspond à un rehaussement pour atteindre un total de 0,58 m, tout en conservant une largeur et une pente identique. Les exhaussements sont aménagés avec des blocs de meulière liés au mortier. La couverture du canal, connue avec certitude uniquement pour ce second état, est homogène et composée de dalles calcaires, plus ou moins jointives et de dimensions variables, issue du périmètre immédiat ou attenant au site. 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, distants d'environ 13 à 20 mètres les uns des autres. La chronologie de construction, de fonctionnement et d'abandon de l'aqueduc sont peu évidentes, du fait de l'imprécision des datations céramiques et ^{14}C qui ont pu être réalisées (corpus céramique très faible, datations ^{14}C souvent aberrantes).

Les concrétions calcaires de l'aqueduc de Villenoy ont une épaisseur maximum de 4 cm, chiffre comprenant les concrétions des deux états de fonctionnement **(figure 3)**. Le secteur d'étude des concrétions est celui de la fouille de 2009, c'est-à-dire à une distance estimée de 4 à 5 km de la source captée probable.

L'aqueduc de Reims est quant à lui un véritable monument, qui accompagne l'urbanisation antique de la cité. L'aqueduc prenait son eau au niveau d'un petit canal d'amenée greffé à la Suippe, un affluent de l'Aisne. Puis il conduisait vers Reims par un tracé long d'environ 40 km parfois souterrain, parfois complètement enterré ou semi-enfoui **(figure 4)**. Ses proportions sont relativement imposantes : canal de 66 cm de large, hauteur totale de maçonnerie d'environ 2,20 m. Mentionné pour la première fois en 1831, l'aqueduc antique de Reims a fait l'objet de plusieurs observations pendant le XIXe siècle avant qu'il ne soit effacé des mémoires avec la première Guerre Mondiale. Il fallut attendre le début des années 80 pour que le G.E.A.C.A. (Groupe d'études archéologiques Champagne-Ardenne) entreprenne une nouvelle étude de l'édifice, au moyen de campagnes de prospections, appuyées par des sondages (Ardhuin, 1997). Plus récemment, des fouilles préventives réalisées par l'INRAP ont été l'occasion de préciser de nombreuses données quant à l'organisation, la structure et le fonctionnement de l'aqueduc. Une publication de synthèse

© 2023 ISTE OpenScience – Published by ISTE Ltd. London, UK – openscience. fr

(Rabasté & Ardhuin, 2010), en présente l'historique, le contexte et les caractéristiques ; nous invitons donc le lecteur à s'y reporter pour plus d'informations et nous limiterons ici à quelques éléments descriptifs destinés à replacer les concrétions étudiées dans leurs contextes.

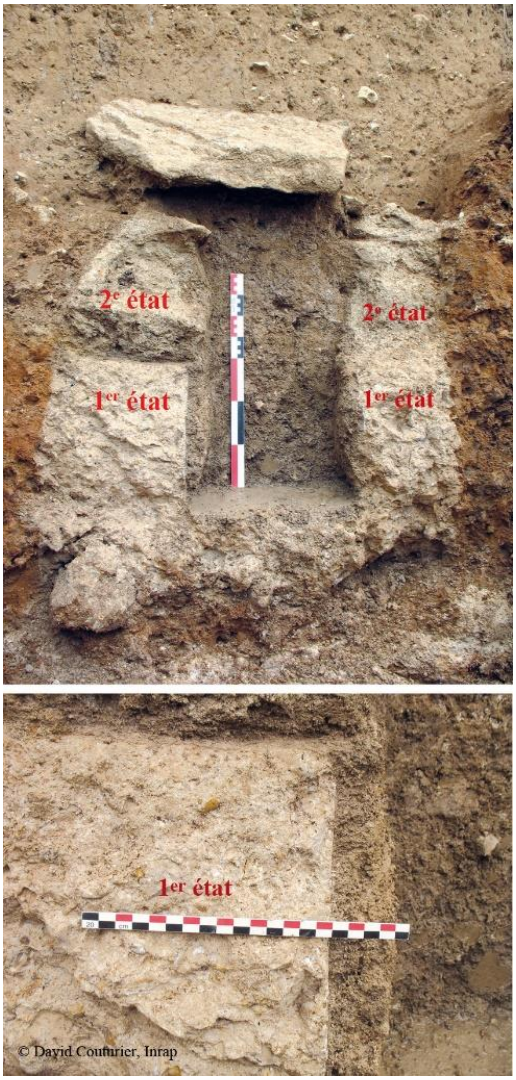

Figure 3. *Les deux états superposés de la conduite de l'aqueduc de Villenoy et détail des concrétions © RACF 2013*

Quel que soit les zones étudiées, l'aqueduc de Reims semble très homogène au niveau des techniques de constructions, même si des différences pourraient exister dans certains secteurs souterrains profonds avec l'emploi de briques plates en lieu et place des moellons de meulières (Rabasté & Ardhuin, 2010 : 19, 36). La construction comprend un radier de blocaille composé de plusieurs couches, avec un lit supérieur est grossièrement lié à l'aide d'un mortier très sableux et jaunâtre. Sur un lit de pose de granulométrie plus faible (graveluches de craie), faiblement cimenté des dalles de pierre de taille calcaire (de 0,6 à 1,00 m de long pour 0,80 m de large), sont jointoyées à l'aide d'un mortier hydraulique, parfois en deux couches. Les piédroits, principalement en moellons de meulières, épais d'environ 0,44 m, recouvrent de quelques centimètres les bordures des dalles **(figure 5)**. Ils sont régularisés et étanchéifiés par application de mortier hydraulique sur plusieurs centimètres d'épaisseur. La couverture, pour laquelle peu d'indices sont connus était probablement une voûte coffrée en moellons de meulières disposés en claveaux. Les dimensions intérieures du conduit, hors voûte, sont de 0,66 m de large pour 1,00 m de haut, avec toutefois une hauteur d'eau maximale de 0,90 m, indiquée par la limite supérieure des concrétions calcaires. Dans certains secteurs, la largeur de l'aqueduc serait d'environ 1,00 m (Rabasté & Ardhuin, 2010 : 64). Les études céramologiques et numismatiques, ainsi que la datation au radiocarbone, situent la construction de l'aqueduc

© 2023 ISTE OpenScience – Published by ISTE Ltd. London, UK – openscience. fr

durant la seconde partie du règne d'Auguste, dans le premier quart du Ier siècle de notre ère. Cette datation, relativement précoce pour ce secteur géographique, coïncide avec la réorganisation urbaine de *Durocortorum*, devenue capitale de la province de Gaule Belgique.

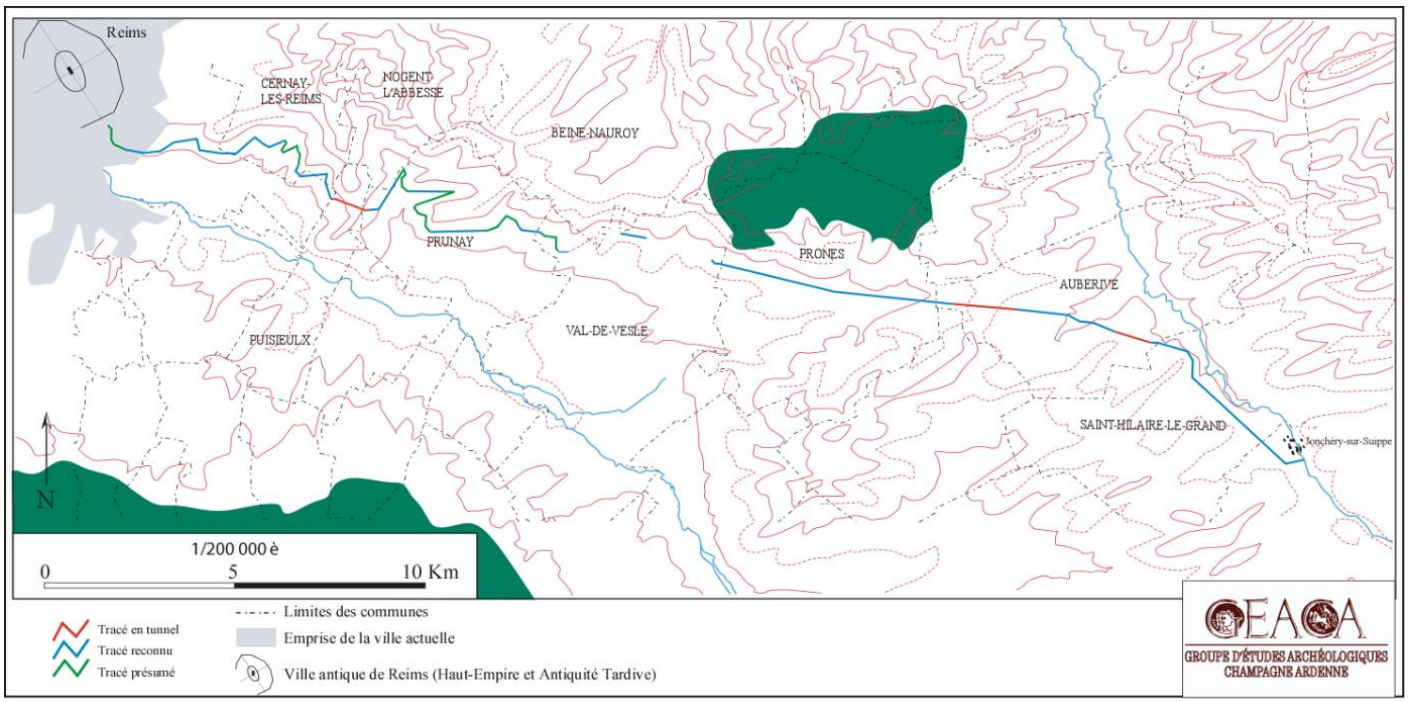

Figure 4. *Carte de localisation du parcours de l'aqueduc de Reims dans le paysage rural établi par le G.E.A.C.A. (remise au net) © SAC 2010*

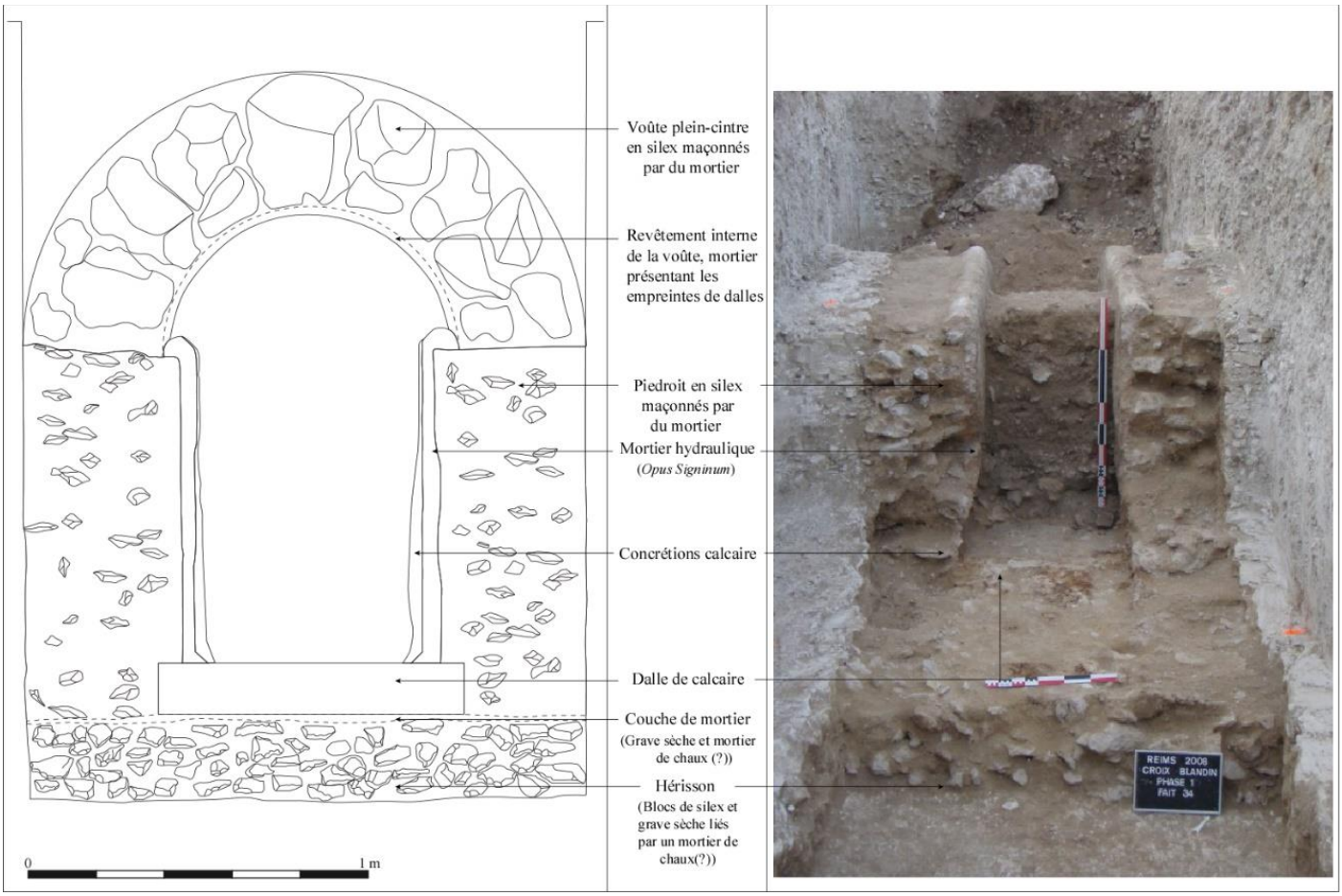

Figure 5. *Proposition de restitution du canal de l'aqueduc de Reims en tranchée © SAC 2010*

© 2023 ISTE OpenScience – Published by ISTE Ltd. London, UK – openscience. fr

Les concrétions calcaires de l'aqueduc de Reims ont une épaisseur maximum de 6 centimètres, chiffre comprenant les deux types de concrétions différenciées (cf. *infra*) : concrétions grises tendres, laminées et concrétions blanches et jaunes, striées **(figure 6)**. Le principal secteur d'étude des concrétions est celui de la Z.AC de la Croix-Blandin (fouilles 2007-2008), à une distance estimée d'environ 35 km du captage de la Suippe.

Figure 6. *Détail du canal de l'aqueduc de Reims et de ses concrétions, fouille réalisée par le GEACA à Reims « Les charmilles » en 1986 © SAC 2010, modifié*

1.2. *Méthode d'études*

Dans les deux cas d'études présentés ici : Villenoy et Reims, les concrétions ont été analysées macroscopiquement (loupe binoculaire) puis en microscopie optique (après induration à cause de leur relative fragilité) et au MEB (microscope électronique à balayage). Pour ces études, les échantillons ont fait l'objet de préparations diverses allant du simple nettoyage à l'inclusion sous vide avec des résines époxy (type araldite), puis polissage pour la réalisation de surfaces sciées ou litholamellage à 30 µm pour la réalisation de lames-minces.

L'étude pétrographique, complétée par les descriptifs réalisés sur le terrain, permet de proposer de séquences de fonctionnement ayant entrainé des dépôts et cristallisations carbonatées cycliques ou pseudo-cycliques de différentes natures et morphologies. L'analyse des concrétions a été réalisée par la méthode du séquençage diagénétique, en procédant, par datations relatives, à l'inventaire chronologique des différentes phases de cimentations, remplissages et recristallisations.

© 2023 ISTE OpenScience – Published by ISTE Ltd. London, UK – openscience. fr

2. Caractéristiques générales des deux séries de concrétions

Les différentes séries d'encroutements carbonatés montrent quelques similitudes, mais aussi de nombreuses différences, notamment si l'on compare les deux sites.

A Villenoy les concrétions sont assez cohérentes et assez bien cristallisées, les macrocristaux de calcite (= sparite) sont assez fréquents, notamment dans les concrétions branchues de la partie supérieure. A Reims, les concrétions sont pour une partie d'entre elles très friables et demandent une induration dans de la résine avant toute réalisation de coupe, par exemple, ces concrétions friables ne peuvent être prélevées par carottage. De plus, les couleurs grises, blanches et jaunes dominent à Reims, avec des superpositions de couches de couleurs et de textures différentes (dans la partie inférieure), tandis qu'à Villenoy, les concrétions sont relativement rousses et de couleur homogène. Ces différences de couleurs sont probablement liées aux contextes géologiques locaux, l'environnement crayeux où les argiles de décantations sont souvent grises à Reims s'oppose à l'environnement des plateaux des environs de Meaux, où les limons et argiles de surfaces sont très rouges et relativement riches en oxydes de fer.

En revanche, des points communs peuvent être soulignés pour les deux aqueducs. D'une part, la relative faible épaisseur des concrétions calcaires : environ 4 cm d'épaisseur à Villenoy et environ 6 cm à Reims. Nous sommes ici bien loin des 19 cm analysés via géochimie ou 35 cm à 50 cm décrits pour l'aqueduc de Fréjus (Bobée *et al.*, 2011 ; Guendon &Vaudour, 1986), ou des 26 cm de l'aqueduc d'Antipolis (Garczynski, 2005), etc. D'autre part, alors que les analyses des concrétions des aqueducs méditerranéens montrent essentiellement des encroutements massifs, parfois légèrement contaminés par des éléments terrigènes, les concrétions étudiées ici sont majoritairement très poreuses, parfois nettement branchues (Villenoy) ou en chou-fleur (Reims).

Enfin, dans les deux cas, on constate la présence de deux types superposés de séquences d'encroutements. A Villenoy, les concrétions sont au départ à tendance massive, puis à tendance branchue. A Reims, les concrétions sont striées, stratifiées et hétérogènes à la base, puis tendres et laminées dans leur partie supérieure. Et pour ces deux sites, les analyses pétrographiques réalisées dans les différents types superposés donnent des résultats très différents, aussi bien en termes de micromorphologies que de structures.

3. Description des séquences de concrétions de l'aqueduc de Villenoy

3.1. *Base des concrétions : une croute de calcite bien cristallisée (figure 7a)*

Les deux premiers millimètres de concrétion sont composés d'une croute cassante qui se sépare assez facilement du reste de l'encroûtement. Cette croute est composée de calcite bien cristallisée (sparite), ponctuée par endroits de petits édifices carbonatés ou d'îlots de minéraux opaques. L'épaisseur totale de cette partie de la séquence de concrétion est faible (entre 0,5 mm et 2 mm). La présence de lamines à signatures différentes en base des concrétions a été signalée (Carlut *et al.*, 2009) et est aussi observée dans l'aqueduc de Reims. Son interprétation est difficile, il s'agit 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.

© 2023 ISTE OpenScience – Published by ISTE Ltd. London, UK – openscience. fr

3.2. *Concrétions massives avec liserés de minéraux opaques (figure 7b)*

Ces concrétions s'observent au-dessus de la croute de calcite bien cristallisée ; elles sont massives et très régulièrement marquées ou interrompues par des lits d'oxydes de fer (et de manganèse). Elles correspondent à l'empilement de doublets clairs/sombres qui forment des petits dômes plats accolés les uns aux autres. La porosité inter-édifices carbonatés est très faible. Dans certaines zones, les laminations micritiques (*microcrystalline calcite*) sont encore bien préservées. L'épaisseur de cette séquence de concrétions mesure entre 1,5 et 2 cm. Ces concrétions sur plutôt dures et difficiles à prélever par simple cassure, par contre, elles se prêtent bien à un prélèvement par carottage.

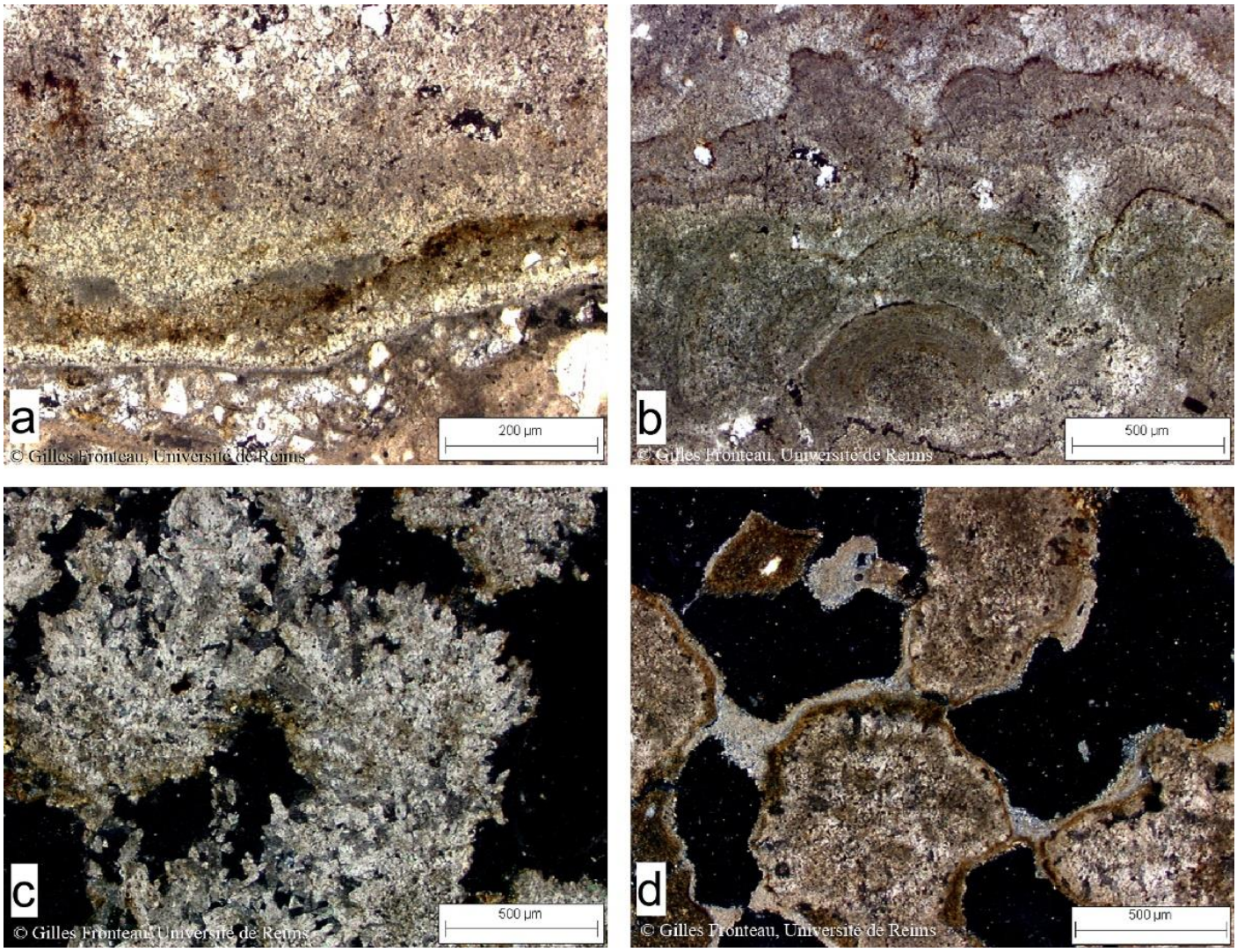

Figure 7. *Détail des différents types et morphologies de concrétions superposées dans l'encroutement calcaire présent sur les flancs du canal de l'aqueduc de Villenoy.* ***a -*** *fine croûte bien cristallisée et des quelques liserés d'oxydes de fer au sein des premières lamines de calcite microcristalline. Lumière polarisée non analysée.* ***b -*** *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.* ***c -*** *Concrétions buissonnantes, poreuses, sans liseré de minéraux opaques. Lumière polarisée analysée (la porosité apparait en noir, les cristaux de calcite sont nettement visibles).* ***d -*** *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. Lumière polarisée analysée (la porosité apparait en noir). © RACF 2013, modifié*

© 2023 ISTE OpenScience – Published by ISTE Ltd. London, UK – openscience. fr

3.3. *Concrétions buissonnante, poreuse, sans liseré de minéraux opaques* ***(figure 7c)***

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. Ces concrétions sont très poreuses et s'organisent en petits banches ramifiées verticales qui forment une structure buissonnante. Les lits opaques d'oxydes, mis en évidence pour le type précédent, sont absents. Les microstructures sont très mal préservées car très recristallisées. Les lamines ne sont observables qu'en de très petits secteurs et sans continuité verticale ou horizontale. La porosité inter-édifices carbonatés est très forte. L'épaisseur de cette séquence de concrétion mesure entre 1 cm et jusqu'à 3,5 cm pour certains prélèvements. Ces concrétions sont assez faciles à prélever manuellement, à l'inverse, elles se fragmentent parfois fortement lors d'un prélèvement par carottage.

3.4. *Terminaison des concrétions calcaires : liseré d'oxydes de fer et ciment à micro-aiguilles de calcite* ***(figure 7d)***

Les sommets des concrétions sont recouverts d'une fine pellicule d'oxydes de fer, puis de cristallisations de calcite, en ponts ou en amas d'aiguilles (*Needle fiber calcite NFC*), et enfin d'argile ferrugineuse silteuse. L'épaisseur totale de ces éléments de terminaison est très faible, moins d'un dixième de millimètre. Les cristallisations et accumulation d'oxydes de fer témoignent d'une influence d'un milieu oxydant, 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. Ce qui est confirmé par la présence des micro-aiguilles de calcite de type NFC. Enfin, l'aqueduc sera partiellement comblé par de l'argile rouge silteuse.

3.5. *Discussion*

Dans notre interprétation, nous avons considéré que la croissance des concrétions carbonatées massives ou buissonnantes s'était effectuée dans un milieu phréatique, c'est à dire saturé en eau. Elles seraient donc contemporaines d'une phase de fonctionnement de l'aqueduc. La morphologie tabulaire compacte indiquerait un milieu peu propice au développement des encroutements. La présence d'interruptions et de liserés de minéraux opaques correspondrait alors à des épisodes d'arrêt de croissance des concrétions (périodes d'étiages). A l'inverse, la morphologie buissonnante poreuse dépourvue de liserés d'oxydes de fer indiquerait un milieu propice au développement vertical des micro-édifices. Seules les cristallisations observées sur les derniers millimètres des concrétions avec les ponts et les amas de micro-aiguilles de calcite de type NFC seraient des cristallisations développées tardivement, dans un milieu non saturé en eau mais pas encore remplis par les argiles qui combleront ensuite le canal.

A partir de l'observation de différents prélèvements et de l'analyse des structures effectuée par les archéologues, nous pouvons définir les successions suivantes **(figure 8)** :

1. Construction de la paroi de l'aqueduc avec un mortier de chaux, contenant un peu de tuileau broyé et des granulats prélevés dans des formations superficielles. Les parois sont aplanies mais non parfaitement lissées.
2. Première mise en eau. Développement d'une croute millimétrique de calcite cohérente bien cristallisée, ponctuée de petits édifices carbonatés.
3. Développement des concrétions biominérales massives (type 1), témoignant d'une croissance faible et discontinue.

© 2023 ISTE OpenScience – Published by ISTE Ltd. London, UK – openscience. fr

4. Réfection de l'aqueduc (construction de l'état 2) : un niveau d'argile-silteuse contenant des grains de sable marque parfois la limite entre les deux types de concrétions. Ce sédiment pourrait correspondre à des particules tombées 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 encroutements, sans épisode de crise (pas ou peu d'arrêt de fonctionnement, débit plus stable que lors du stade 1, meilleure mise en eau).
6. Fermeture des concrétions par un liseré d'oxydes de fer et présence de ciments orientés ou en ponts, composés de micro-aiguilles de calcite. Ces éléments marquent la fin du fonctionnement en régime phréatique et une mise hors d'eau de l'aqueduc.
7. Quelques comblements orientés d'argile silteuse, scellent partiellement les pores au sein des concrétions. Ils préfigurent le comblement complet du canal de l'aqueduc par de l'argile ferrugineuse tel que retrouvé lors de la fouille.

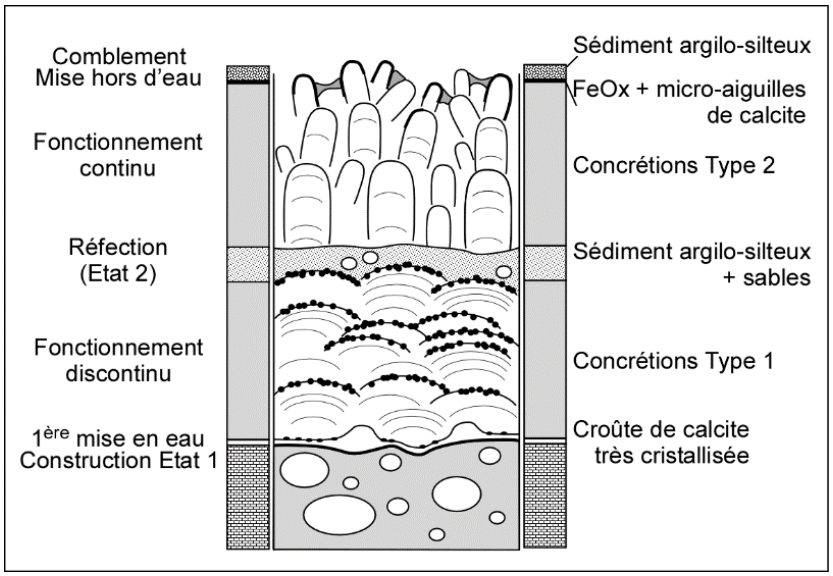

Figure 8. *Reconstitution du fonctionnement de l'aqueduc de Villenoy d'après les concrétions © d'après RACF, 2013, modifié.*

4. Description des séquences de concrétions de l'aqueduc de Reims

4.1. *Base des concrétions : une croute de calcite bien cristallisée*

De la même façon qu'à Villenoy, les concrétions de l'aqueduc de Reims montrent à la base une fine couche de calcite bien cristallisée, cassante.

4.2. *Concrétions striées à columnaires, stratifiées, blanches et jaunes (figure 9)*

Ces concrétions sont blanches ou beiges et composées de plusieurs strates de microstructure et couleur différentes. Elles ont soit une organisation en alignements striés, formant des lignes horizontales, soit une organisation en petites grappes ou colonnes, parfois creuses. Elles adhèrent relativement bien au mortier hydraulique et sont donc partiellement ou totalement préservées à la surface des fragments issus de la démolition des piédroits de l'aqueduc. Ces concrétions ont une structure stratifiée, composée de différentes couches empilées les unes sur les autres. Sur certains échantillons, 4 à 6 couches ont été différenciées, avec

© 2023 ISTE OpenScience – Published by ISTE Ltd. London, UK – openscience. fr

par exemple la superposition des couches blanches, friables (composées de calcite nano-cristalline en aiguilles, celles-ci sont différentes des NFC précédemment citées, notamment par leur moindre dimension de couches beiges friables avec lit d'argile grise et de couches avec cristallisations d'oxydes de fer et/ou de manganèse. L'épaisseur de cette séquence de concrétion mesure entre 1,5 et 2 cm.

Observées en section sciée après induration dans de la résine, on constate que ces concrétions sont effectivement très perturbées. Et même si elles ne mesurent qu'un à deux centimètres d'épaisseur, elles semblent avoir enregistré de nombreuses phases de croissance (au moins 6 ou 8 séquences). Mais ces séquences sont discontinues et souvent difficiles à différenciées, elles sont donc difficiles à identifier et à comptabiliser.

Les stries présentées par ces concrétions sont horizontales et semblent assez continues. Or, elles reposent sur la face lissée du mortier de tuileau, les stries ne seraient donc être liées à des irrégularités du support. Cet aspect strié des parois du *specus* de l'aqueduc s'observe à chaque fois que des piédroits sont bien préservés, ce qui est rare pour l'aqueduc de Reims dont les matériaux ont été intensivement récupérés, parfois jusqu'au radier. L'organisation en stries ou rides horizontales pourrait montrer différents niveaux de remplissage en eau du canal de l'aqueduc. Chaque ride correspondrait à une limite supérieure de la tranche d'eau, à un moment donné. Mais cette hypothèse n'explique ni le fait que les rides soient quasiment équidistantes les unes des autres, ni le fait que les concrétions en stries soient aussi présentes sur les parties basses du canal, parties qui devaient être en permanence sous l'eau ou encore que les lamines paraissent s'interrompre plutôt que de se superposer… Il est encore possible d'imaginer une origine anthropique à ces stries horizontales, qui pourrait être le témoignage d'un raclage partiel des parois de l'aqueduc à l'aide d'un outil à griffes trainé. Entre les phases de raclages, les concrétions se développeraient, en reprenant les axes des croûtes restées en reliques, etc. Dans ce contexte, régulièrement nettoyé, les concrétions préservées seraient peu épaisses et seule une fraction plus adhérente au support serait conservée.

Figure 9. *Section indurée et sciée des concrétions striées stratifiées de la base de l'encroutement calcaire présent sur les flancs du canal de l'aqueduc de Reims. © SAC, 2010*

4.3. *Concrétions blanches à grises, tendres, laminées (figure 10)*

Ces concrétions sont tendres et friables. Elles sont surtout observées en partie basse des parois car elles se détachent aisément de la paroi. Pour la même raison, elles ne sont généralement pas observées sur les éléments en démolition. Ces concrétions recouvrent les concrétions décrites précédemment, qui elles sont

© 2023 ISTE OpenScience – Published by ISTE Ltd. London, UK – openscience. fr

directement fixées à la paroi. Elles sont presque uniquement composées de calcite. Il est difficile de préserver l'intégralité de l'encroûtement et les échantillons doivent être entièrement indurés dans la résine pour être étudiés et manipulés. Sur certains échantillons, les lamines de l'encroûtement sont organisées en séquences successives tandis que d'autres sections ne présentent que des séquences très difficilement identifiables. Ces séquences ressortent parfois assez nettement, elles sont alors au nombre de trois ou quatre suivant les échantillons. Ces séquences ou phases de croissance sont séparées les unes des autres par des liserés plus sombres, contenant des oxydes de fer. Et à l'intérieur de chaque séquence de croissance, la concrétion est organisée en petites lamines clair/sombre, malheureusement souvent difficilement observables. L'épaisseur de cette séquence de concrétion mesure entre 1,5 et 2 cm.

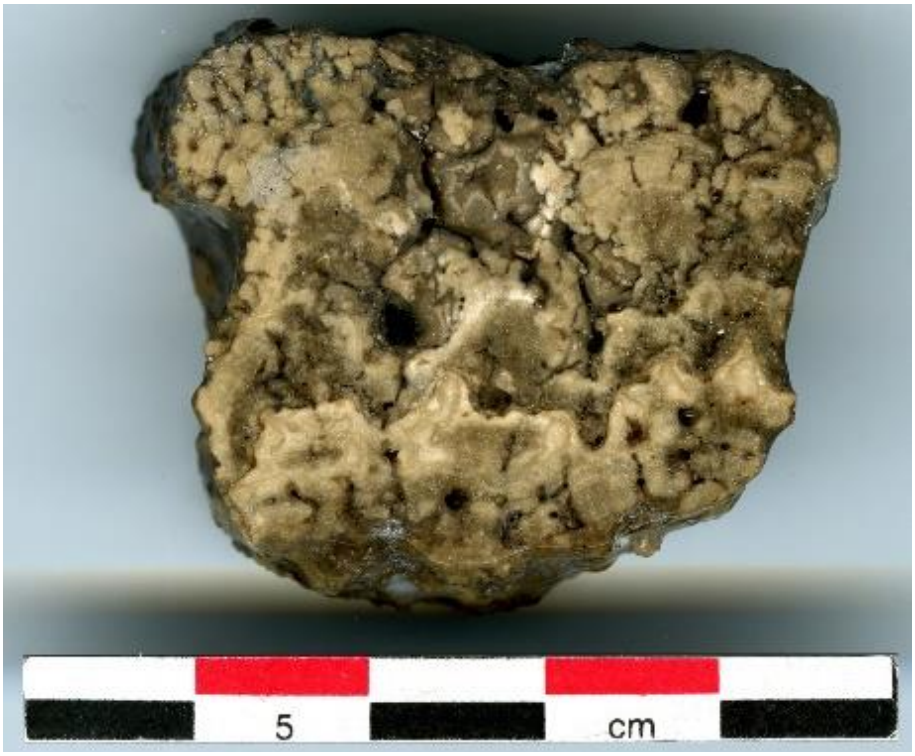

Figure 10. *Section indurée et sciée des concrétions blanches à grises, tendres, laminées située en surface de certains encroutements calcaires présents sur les flancs du canal de l'aqueduc de Reims. © SAC, 2010*

5. Conclusion : des séquences naturelles au sein de macro-séquences anthropiques ?

Pour l'aqueduc de Villenoy, les dépôts montrent une succession de deux séquences d'accumulations, elles-mêmes laminées et organisées en micro-cycles de croissance. Les micro-cycles seraient liés au fonctionnement « naturel » de l'aqueduc. Quant aux deux séquences principales, elles ont été interprétées comme liées au fonctionnement et à la chronologie générale du monument. Celle-ci est en effet marqué d'une phase 1 : caractérisée par un mauvais fonctionnement et d'une phase 2 : caractérisée par un meilleur fonctionnement, après réfections et rehaussement des maçonneries (Couturier *et al.*, 2013).

Pour l'aqueduc de Reims, les dépôts sont caractérisés par la présence de nombreux types de concrétions, dont certaines sont très tendres et d'autres imprégnées d'oxydes de fer. Ces encroûtements pourraient avoir enregistré un curage « régulier » des parois. Les micro-cycles de dépôts « naturels » seraient donc, là encore, nettement masqués par des séquences de fonctionnement, qui, elles, seraient totalement anthropiques.

Ainsi pour les deux aqueducs présentés ici, l'analyse des concrétions montre que leur genèse est contrôlée par au moins deux types de phénomènes : d'une part des cycles naturels de croissance, qui ont créé des

© 2023 ISTE OpenScience – Published by ISTE Ltd. London, UK – openscience. fr

doublets clairs/sombres, généralement considérés comme annuels, mais surtout, d'autre part, des évènements anthropiques, liés à l'histoire de l'aqueduc. Dans le cas de l'aqueduc de Villenoy, il s'agit de la phase de rénovation, qui semble complètement bouleverser le type et la structure des croissances biominérales. Dans le cas de l'aqueduc de Reims, il s'agirait peut-être, mais ce n'est qu'une hypothèse, d'action de curages des parois, qui aurait supprimé une partie des encroutements tendres. Cette hypothèse serait à explorer si de nouveaux tronçons de l'aqueduc étaient découverts et étudiés.

Des analyses complémentaires sont désormais en cours pour essayer de percevoir l'importance et la signification de ces cycles et séquence emboités. Elles permettront peut-être de préciser la nature des micro-cycles naturels potentiellement enregistrés au sein de ces différentes macro-séquences de croissances, qui elles paraissent surtout contrôlées par des actions anthropiques.

Remerciements

Nous tenons à remercier la Revue Archéologique du Centre de la France et la Société Archéologique Champenoise pour leur autorisation concernant l'utilisation de figures publiées au sein de leur revue.

Conflit d'intérêts

Les auteurs n'ont aucun conflit d'intérêt à déclarer.

Évaluation

Les deux rapporteurs de cet article sont Christophe Petit et Julien Curie.

Responsabilités des évaluateurs externes

Les évaluations des examinateurs externes sont prises en considération de façon sérieuse par les éditeurs et les auteurs dans la préparation des manuscrits pour publication. Toutefois, être nommé comme examinateur n'indique pas nécessairement l'approbation de ce manuscrit. Les éditeurs d'Archéologie, Société, Environnement assument l'entière responsabilité de l'acceptation finale de la publication d'un article.

Références bibliographiques

Ardhuin, M., 1997. L'aqueduc romain de Reims. Bilan des recherches archéologiques menées durant la période 1982-1991. in Bedon R. (dir.), Les aqueducs de la Gaule romaine et des régions voisines, Presses Univ. Limoges, 31, 333-352.

Bobée, C., Huon, S., Guendon, J.-L., Salomon, J., Gébara, C., Michel, J.-M., Regert, M., 2011. High-resolution (PIXE) analyses of carbonate deposits in a roman aqueduct (Fréjus, SE France): implications for the study of palaeohydrological variability and water resources management in southern Gaul during the roman period. *Archaeometry*. 53(2), 241–260.

Carbon, D., Fabre, G., Volant, P., Fiches, J.-L., Levret, A., Combes, P., 2005. L'aqueduc de Nîmes dans la haute Vistrenque : Analyse interdisciplinaire d'un tronçon souterrain. *Gallia*. 62, 69-86. DOI : 10.3406/galia.2005.3221.

Carlut, J., Chazot, G., Dessales, H., Letellier E., 2009. 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 D., Bauchet O. et Fronteau G. (2013), « 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 16 février 2015. URL : http://racf.revues.org/1933.

© 2023 ISTE OpenScience – Published by ISTE Ltd. London, UK – openscience. fr

Couturier, D., (dir.), 2010. Île-de-France, Seine-et-Marne, Villenoy, Parc d'Activités de Meaux. Un aqueduc antique, rapport de fouille archéologique. INRAP Idf, déc. 2010, 159 p, non publié (consultable au SRA Île-de-France).

Denis, F.-A., 1849. 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.

Dubar, M., 2006. Recherche et interprétation climatique des microcycles du concrétionnement tavertineux de l'aqueduc romain de Fréjus (Var, France). *Quaternaire*. 17(2), 79-85.DOI : 10.4000/quaternaire.800.

Dubar, M., 2006. Approche climatique de la période romaine dans l'est du Var : recherche et analyse des composantes périodiques sur un concrétionnement centennal (Ier-IIe siècle apr. J.-C.) de l'aqueduc de Fréjus. *ArcheoSciences, revue d'archéométrie*. 30, 163-171.

Garczynski, P., Foucras, J., Dubar, M., 2005. L'aqueduc d'Antipolis dit de la Bouillide (Alpes-Maritimes). *Gallia*, 62, 13-34.

Guendon, J.L., Leveau, P., 2005. 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. DOI : 10.3406/galia.2005.3222.

Guendon, J.-L., Vaudour, J., 1986. Les concrétions de l'aqueduc de Nîmes. in Travertins LS et évolution des paysages holocènes dons le domaine méditerranéen. *Méditerranée*. 57(1-2), 140-151. doi : 10.3406/medit.1986.2384.

Rabasté, Y., Ardhuin, M., (coord.). 2010. L'aqueduc antique de Reims (Durocotorum). in Archéologie Urbaine à Reims, n°9, *Bulletin de la Société Archéologique Champenoise*. 103, 119 pages.

© 2023 ISTE OpenScience – Published by ISTE Ltd. London, UK – openscience. fr