

Modélisation numérique et étude de bâti d'une section de l'aqueduc romain de Saintes

*Plantis des Neuf Puits - Vallon des Arcs
à Fontcouverte (17)*

sous la direction de
Vincent Miaillhe

avec la collaboration de
Ludovic Hericotte
et
Jean-Louis Hillairet



2026

Modélisation numérique et étude de bâti d'une section de l'aqueduc romain de Saintes

*Plantis des Neuf Puits - Vallon des Arcs
à Fontcouverte (17)*

sous la direction de

Vincent Mialhe

avec la collaboration de

Ludovic Hericotte

et

Jean-Louis Hillairet

2026



L'utilisation des données du rapport de fouille est régie par les dispositions du code de la propriété intellectuelle concernant la propriété littéraire et artistique. Les prises de notes et les clichés-copies sont autorisées pour un usage exclusivement privé et non destiné à une utilisation collective (article L. 122-5 du code de la propriété intellectuelle). Toute reproduction du texte accompagnée ou non de photographies, cartes ou schéma, n'est possible que dans le cadre de courtes citations, avec les références exactes et complètes de l'auteur de l'ouvrage.

Toute utilisation des données du rapport à des fins lucratives est interdite en vertu de l'article 10 de la loi modifiée du 17 juillet 1978 relative à l'amélioration des relations entre l'administration et le public. Le non respect de ces règles constitue un délit de contrefaçon puni par l'article 425 du code pénal.

Loi n° 78-753 du 17 juillet 1978, article 10 : «les documents administratifs sont communiqués sous réserve des droits de la propriété littéraire et artistique. L'exercice du droit à la documentation (...) exclut, pour des bénéficiaires ou des tiers, la possibilité de reproduire, de diffuser ou d'utiliser à des fins commerciales les documents communiqués».

Sommaire

5		Fiche signalétique
6		Mots-clefs des thesaurus
7		Notice scientifique
8		Equipe de fouille et remerciements
9		Localisation de l'opération
11	1.	Introduction
11	1.1.	Le projet
13	1.2.	Contexte historique général
17	1.3.	Contexte géographique, géologique et hydrographique
19	1.4.	Historique des recherches
25	2.	Méthodologie
25	2.1.	Topographie
27	2.1.1.	La tachéométrie
27	2.1.2.	La photogrammétrie
29	2.1.3.	La Lasergrammétrie
31	2.1.4.	Comparaison entre les deux technologies
32	2.2.	Enregistrement
33	3.	L'aqueduc de <i>Mediolanum</i>
35	3.1.	Tracé de l'aqueduc
38	3.2.	Les ouvrages
38	3.2.1.	Les sources
38	3.2.2.	Les canaux
39	3.2.3.	Les ponts
39	3.2.4.	Les murs ponts
39	3.2.5.	Les puits
39	3.2.6.	Les tunnels
39	3.2.7.	Les galeries souterraines
40	3.2.8.	Le siphon
40	3.2.9.	Les bassins de décantation
40	3.2.10.	La gestion du trop plein
40	3.2.11.	Le château d'eau
41	4.	Description de la section étudiée
41	4.1.	Localisation
41	4.2.	Les ouvrages
41	4.2.1.	La partie aérienne
49	4.2.2.	La partie souterraine
50	4.2.2.1.	Les puits (<i>putei</i>)
51	4.2.2.2.	Le tunnel de la phase I

69	5.	Données techniques
69	5.1.	Les matériaux
69	5.2.	La pente
70	5.3.	Le débit de l'aqueduc
70	5.4.	État sanitaire
71	6.	Conclusion
73	7.	Bibliographie
77	8.	Annexes
77	8.1.	Autorisation de Monsieur Torregrossa
78	8.2.	Autorisation de Monsieur Drapron
79	8.3.	Tableau des écarts entre la photogrammétrie et la tachéométrie
82	8.4.	Rapport du recalage des stations avec le scanner Trimble X7
92	8.5.	Le tracé de l'aqueduc et ses différents ouvrages sur le fond cadastral et le Lidar (commune du Douhet)
93	8.6.	Le tracé de l'aqueduc et ses différents ouvrages sur le fond cadastral et le Lidar (commune du Douhet)
94	8.7.	Le tracé de l'aqueduc et ses différents ouvrages sur le fond cadastral et le Lidar (commune du Douhet et Vénérand)
95	8.8.	Le tracé de l'aqueduc et ses différents ouvrages sur le fond cadastral et le Lidar (commune du Douhet et de Fontcouverte)
96	8.9.	Le tracé de l'aqueduc et ses différents ouvrages sur le fond cadastral et le Lidar (commune de Fontcouverte)
97	8.10.	Le tracé de l'aqueduc et ses différents ouvrages sur le fond cadastral et le Lidar (commune de Fontcouverte et de Saintes)
98	8.11.	Le tracé de l'aqueduc et ses différents ouvrages sur le fond cadastral et le Lidar (commune de Saintes)
99	8.12.	Diagramme stratigraphique du tunnel
101	9.	Liste des figures
105	10.	Inventaires techniques
105	10.1.	Inventaire des unités stratigraphiques dans le tunnel
114	10.2.	Inventaire des photographies (hors photogrammétrie) dans le tunnel

Fiche signalétique

Localisation

Région
Nouvelle-Aquitaine

Département
Charente-Maritime

Commune
Fontcouverte

Adresse ou lieu-dit
Vallon des Arcs et Plantis des Neuf Puits

Codes

code INSEE
17164

Coordonnées géographiques et altimétriques selon le système national de référence lambert 93

x : 420 010
y : 6 525 045
z : 4 à 40 m NGF69

Références cadastrales

Commune
Fontcouverte
Année
2025
section (s)
AM
parcelle (s)
23 - 27 - 257 à 260 - 287 - 291 - 292

Propriétaire du terrain

Monsieur Torregrossa (257 à 260 et 287) et Ville de Saintes (23 - 27 - 291 et 292)

Références de l'opération

N° OA Patriarche
OA 207501

Nature de l'opération

Relevé topographique et étude de bâti

Opérateur d'archéologie

Société d'archéologie et d'histoire de la Charente-Maritime (SahCM)

Responsable scientifique de l'opération

Miaillhe Vincent

Organisme de rattachement

Société d'archéologie et d'histoire de la Charente-Maritime (SahCM)
8, rue Mauny
17 100 Saintes

Dates d'intervention sur le terrain

2021 à 2024, une semaine chaque année

Surfaces

Surface impactée
3 000 m², soit 280 m linéaire

Informations sur la composition du rapport

Nombre de volumes
1

Nombre de figures
98

Nombre de pages
116

Nombre d'inventaires
2

Mots-clefs des thesaurus

Chronologie

- ☐ **Paléolithique**
 - ☐ Inferieur
 - ☐ Moyen
 - ☐ Superieur
 - ☐ Mésolithique et Epipaléolithique
- ☐ **Néolithique**
 - ☐ Ancien
 - ☐ Moyen
 - ☐ Récent
 - ☐ Chacolithique
- ☐ **Protohistoire**
 - ☐ Âge du Bronze
 - ☐ Ancien
 - ☐ Moyen
 - ☐ Récent
 - ☐ Âge du Fer
 - ☐ Hallstatt
(premier âge du Fer)
 - ☐ La Tène
(second âge du Fer)
- ☒ **Antiquité romaine (gallo-romain)**
 - ☐ République romaine
 - ☒ Empire romain
 - ☒ Haut-Empire (jusqu'en 284)
 - ☐ Bas-Empire (de 285 à 476)
- ☐ **Époque médiévale**
 - ☐ haut Moyen Âge
 - ☐ Moyen Âge
 - ☐ bas Moyen Âge
- ☐ **Temps modernes**
- ☐ **Époque contemporaine**
 - ☐ Ère industrielle

Sujets et thèmes

- ☒ Édifice public
- ☐ Édifice religieux
- ☐ Édifice militaire
- ☐ Bâtiment
- ☐ Structure funéraire
- ☐ Voirie
- ☒ Hydraulique
- ☐ Habitat rural
- ☐ Villa
- ☐ Bâtiment agricole
- ☐ Structure agraire
- ☐ Urbanisme
- ☐ Maison
- ☐ Structure urbaine
- ☐ Foyer
- ☐ Fossé
- ☐ Sépulture
- ☐ Grotte
- ☐ Abri
- ☐ Mégalithe
- ☐ Artisanat
- ☐ Argile : atelier
- ☐ Atelier
- ☐ Autre

Mobilier

- nb
- ☐ Industrie lithique
 - ☐ Industrie osseuse
 - ☐ Céramique
 - ☐ Restes
 - ☐ Végétaux
 - ☐ Faune
 - ☐ Flore
 - ☐ Objet métallique
 - ☐ Arme
 - ☐ Outil
 - ☐ Parure
 - ☐ Habillement
 - ☐ Trésor
 - ☐ Monnaie
 - ☐ Verre
 - ☐ Mosaïque
 - ☐ Peinture
 - ☐ Sculpture
 - ☐ Inscription
 - ☐ Autre

Études annexes

- ☐ Géologie
- ☐ Datation
- ☐ Anthropologie
- ☐ Paléontologie
- ☐ Zoologie
- ☐ Botanique
- ☐ Palynologie
- ☐ Macrorestes
- ☐ An. de céramique
- ☐ An. de métaux
- ☐ Aca. des données
- ☐ Numismatique
- ☐ Conservation
- ☐ Restauration
- ☐

Notice scientifique

Depuis 2003, la Société d'archéologie et d'histoire de la Charente-Maritime (SahCM) a entrepris une importante étude sur l'aqueduc romain de *Mediolanum*, menant à son classement au titre des Monuments Historiques. C'est dans le cadre de cette démarche scientifique que cette investigation, sur une section du monument, trouve son origine. Lors du programme de valorisation lancé en 2009 par la Communauté d'agglomération de Saintes, une restauration sur la partie amont du « pont des Arcs » a donné lieu à une modélisation par photogrammétrie, réalisée par l'Inrap (2020 et 2021). La SahCM a poursuivi ce travail topographique sur la partie aval du pont et sur deux sections souterraines du tunnel du « Plantis des Neuf Puits », à l'aide de trois campagnes (2021 à 2023). Les relevés 3D ont été menés en partenariat avec le lycée de Sillac, en associant à la fois, des étudiants de fin d'année de BTS de géomètre et des outils technologiques tels que la photogrammétrie et la lasergrammétrie, tout en intégrant une dimension pédagogique. Ces opérations ont généré une large documentation de plans et d'ortho-images, ainsi qu'un modèle numérique 3D, donnant lieu à une étude de bâti, en 2024. Cette étude archéologique a permis d'analyser l'architecture et d'établir un phasage de la partie souterraine.

La ville de Saintes se développe après la guerre des Gaules pour devenir *Mediolanum*. Dotée d'un vaste espace urbain structuré dès l'époque augustéenne, d'un réseau viaire et de monuments publics importants, la cité affirme son statut de capitale d'Aquitaine. La présence de deux complexes thermaux (Saint-Vivien, tout d'abord, puis Saint-Saloine) implique leur alimentation par un aqueduc. La rive gauche de la Charente, pauvre en ressources hydrauliques exploitables en altitude, explique les choix techniques de capter les sources de la rive droite, permettant, par gravité, d'alimenter la ville en eau. Un premier aqueduc est construit dès la période augustéenne, alimenté par deux sources, celles de « Font-Morillon » et de « Font de l'Eschalle ». Avec l'essor urbain, l'aqueduc, dans le deuxième quart du I^{er} siècle après J.-C, se prolonge vers deux autres sources, celles de « Grand-Font » et de « Fontaines des Romains ».

Les opérations successives se situent sur la commune de Fontcouverte et elles portent sur une section linéaire de l'aqueduc de 380 m de long. Le monument doit franchir un vallon sec, orienté nord-ouest/sud-est, de 200 m de large, avec un dénivelé de 20 m. Après ce vallon, suit une butte, s'élevant à 55 m NGF, alors que l'aqueduc se positionne à 38 m NGF. Face à cet obstacle, les ingénieurs romains font le choix de percer un tunnel de 500 m en ligne droite accompagné de treize puits.

« Le pont des Arcs » est l'un des rares vestiges bien visibles de l'aqueduc de *Mediolanum*, bien qu'il soit détruit à 87 %. De nombreux relevés ont été réalisés depuis le XVe siècle, révélant de légères variations de longueur selon les auteurs. Long de 149 m, il comprend deux culées et 26 piles supportant 27 arches en plein cintre. La maçonnerie associe *opus caementicium* et petit appareil régulier en *opus vittatum* ; seuls six piles, dont deux arches, subsistent aujourd'hui. Des traces d'échafaudages, attestés par la présence de négatifs de trous de boulin, témoignent des techniques de construction.

Le canal a connu plusieurs transformations. Initialement maçonné à la phase I, il présente une section modeste au profil trapézoïdal, défini par deux piédroits maçonnés et enduit d'un *opus signinum*. Lors de la phase II, liée à l'augmentation du débit après le captage des deux nouvelles sources, le canal fut élargi et rehaussé. Sa construction diffère ; elle comprend une maçonnerie entièrement en béton de chaux, coulée dans un coffrage. Un vestige fragmentaire sur l'une des arches du pont, peut correspondre à ces états successifs, voire à une phase III, plus tardive, mais son interprétation doit rester prudente en raison des restaurations modernes qu'il a connu.

Les puits du tunnel du « Plantis des Neuf Puits », de section circulaires ou quadrangulaires, permettent l'extraction des déblais, la ventilation et le contrôle du tracé. La forme quadrangulaire, peut correspondre à la phase II, ou, à des travaux de maintenance sans que l'on puisse pour autant les rattacher à un espace temporel. Lors de la phase I, l'aménagement se caractérise par une galerie au profil en forme d'un trou de serrure, avec des piédroits, en *opus vittatum* et des voûtes surbaissées, ou parfois, creusée directement dans le rocher. Le *specus* est maçonné ; deux piédroits canalisent l'eau, et le canal est accompagné d'un espace de circulation latéral, le long de la paroi occidentale, permettant l'entretien et l'évacuation des trop-pleins.

La phase II entraîne une transformation majeure : l'augmentation du débit impose l'élargissement du canal (de 0,16 à 0,32 m²) et la surélévation du voûtement. Des travaux en sous-œuvre modifient profondément la galerie : nouveaux piédroits en béton coffré, voûtes reconstruites en *opus quadratum* isodome, arcs plus cintrés et appareillage de grande qualité. Cette phase se distingue par un soin technique supérieur et une maîtrise architecturale plus aboutie que celle de la phase initiale.

Equipe de fouille et remerciements

Merci à tous les bénévoles de la Société d'archéologie et d'histoire de la Charente-Maritime qui contribuent à œuvrer sur l'histoire de l'aqueduc romain.

Merci à Daniel Dinand pour la gestion logistique de la spéléologie.

Merci aux deux présidents de la SahCM, Jean-Louis Monget et Romain Charrier, qui ont permis de mettre en place la logistique et de financer cette opération d'étude sur quatre années de campagne.

Merci à Laurent Salomon, professeur du lycée Sillac, et à ses six étudiants : Adrien Beigneux, Martin Beineix, Anthony Courrière, Aurélien Queffelec, Enzo Martin et Andréa Savoyen qui ont contribué aux levés topographiques.

Merci aux propriétaires des terrains, Christian Torregrossa et Bruno Drapron, président de la communauté d'agglomération et maire de Saintes, pour les autorisations à intervenir sur leur domaine (cf. annexe 1 et 2).

Merci aux archéologues, Ludovic Hericotte et Jean-Louis Hillairet, pour leur participation dans cette étude d'analyse du bâti.

Merci à Carole Fondeville pour la mise en page du rapport.

Et un grand merci à Christian Vernou pour sa relecture attentive et ses différentes remarques pertinentes contribuant à la réalisation de ce rapport.

Localisation de l'opération

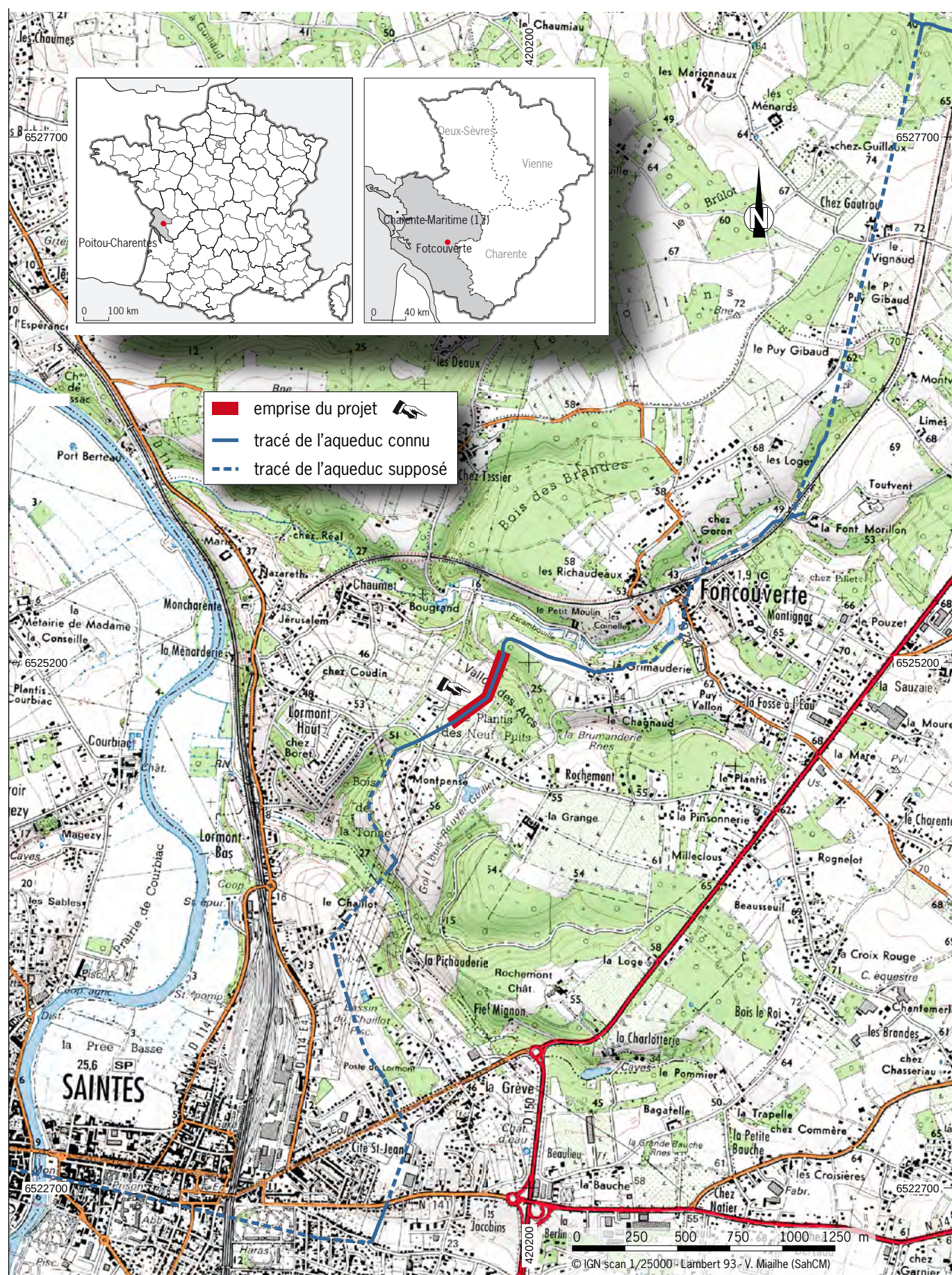


Figure 1 Localisation de l'intervention et du tracé de l'aqueduc sur la carte IGN au 1/25000.

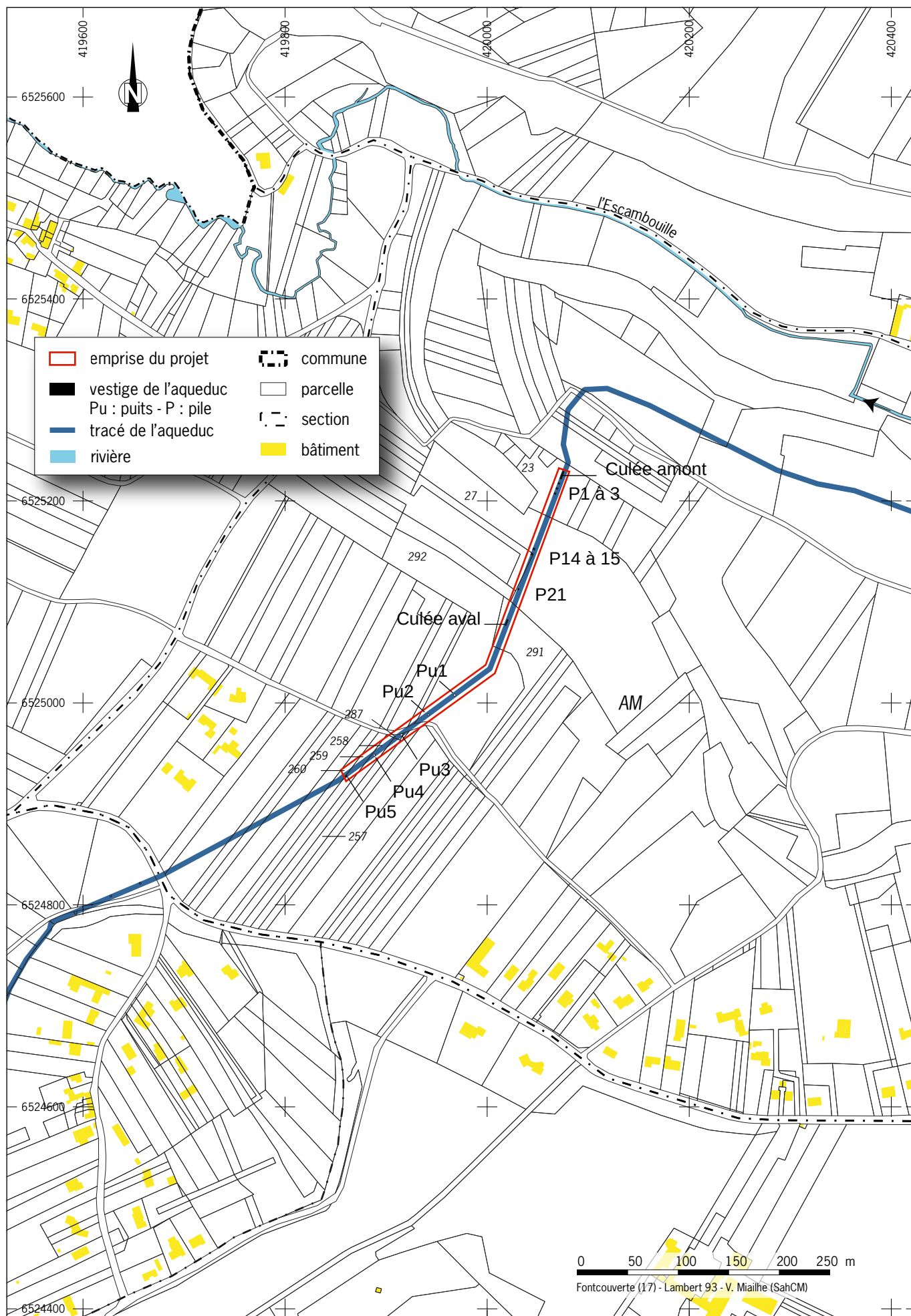


Figure 2 Localisation de l'intervention et des vestiges de l'aqueduc sur le cadastre.

1. Introduction

1.1. Le projet

La genèse de cette étude sur une section de l'aqueduc romain de *Mediolanum* a été initiée grâce au projet de valorisation du monument mené par la Communauté d'agglomération de Saintes (CAS) en 2009. Un projet destiné à restaurer et valoriser l'ouvrage à travers trois sites sur les dix-sept kilomètres de son tracé¹. Les sites choisis sont la source de la « Grand-Font » sur la commune du Douhet, la source de « Fontaines Romaines » à Vénérand et « le pont des Arcs » à Fontcouverte.

C'est notamment sur ce dernier site que le programme d'une modélisation numérique est né (fig. 1 et 2). La restauration du pont des Arcs inclut une prescription photogrammétrique² de la culée amont et des cinq piles encore visibles dans le paysage (fig. 3). Ce travail a permis de fournir, à l'architecte³ en charge du projet, des orthophotographies des différentes élévations et un plan au sol de cet ouvrage d'art avant et pendant la durée de la restauration. Cette opération a été menée par l'Inrap sous la direction de Vincent Mialhe entre 2020 et 2021, selon l'avancement des travaux. L'opération n'a pas débouché *in fine* sur une étude de bâti, suivie d'un rapport archéologique. Elle correspond à une prestation topographique limitée à une production de plans ainsi qu'à une conservation numérique tridimensionnelle et texturée de l'édifice. Ce modèle numérique du pont est consultable sur internet⁴.



Figure 3 Les cinq piles et la culée amont du pont des Arcs après la restauration, vue vers le nord-ouest.

© V. Mialhe (SahCM)

Pourquoi ne pas poursuivre ce travail de relevés modernes pour le reste de la construction ? C'est la question que les membres de la société d'archéologie et d'histoire de la Charente-Maritime (SahCM) se sont posés. D'autres éléments du pont sont encore conservés tels que la culée aval, une autre pile ainsi qu'une partie du tunnel du « Plantis des Neuf Puits », au sud du pont. Une section souterraine accessible sur une centaine de mètres dont l'accès se fait par le biais de deux puits (Pu1 et Pu3), fouillés respectivement en 2009⁵ et 2010⁶ par les bénévoles de la SahCM. Le conduit est bouché au niveau du puits Pu2, celui-ci n'étant pas dégagé, il est donc coupé en deux sections. Celle la plus au nord, longue d'une quarantaine de mètres, appelée tunnel du « Golf »⁷, est accessible par le puits Pu1. L'autre, au sud, appelée tunnel de « Torregrossa » dont l'accès correspond au puits Pu3, est longue de 70 m et son extrémité aval est bouchée par le comblement du puits Pu4 (fig. 2).

1. L'aqueduc traverse les communes de : Le Douhet, Fontcouverte, Saintes et Vénérand.

2. Prescription du Service Régional de l'Archéologie de la Nouvelle-Aquitaine afin de documenter le monument par des orthophotographies des toutes ses élévations et de rattacher l'ensemble des levés topographiques dans le système planimétrique RGF93CC46 et altimétrique NGF92, cf. annexe 1.

3. Rémi Desalbres d'ARC&SITES, cabinet d'architecture, patrimoine et création.

4. Modèle 3D <https://skfb.ly/oKLpC>

5. Hillairet J.-L. 2004 - Rapport de prospection archéologique, *Aqueduc de Saintes*, 2003-2004, 34 p. - SahCM.

6. Hillairet J.-L. 2010 - Rapport de sondage archéologique 2010-6, *Les deux aqueducs de Saintes, commune de Fontcouverte, Le tunnel du Plantis des Neuf Puits*. 2010, 27 p. - SahCM.

7. Ce tunnel est accessible aux publics lors des journées européennes de l'archéologie (JEA), en juin et lors des journées européennes du patrimoine (JEP), en septembre. Les visites sont organisées par la SahCM.



Figure 4 Calendrier des interventions entre 2020 et 2023.

© V. Mialhe (SahCM)

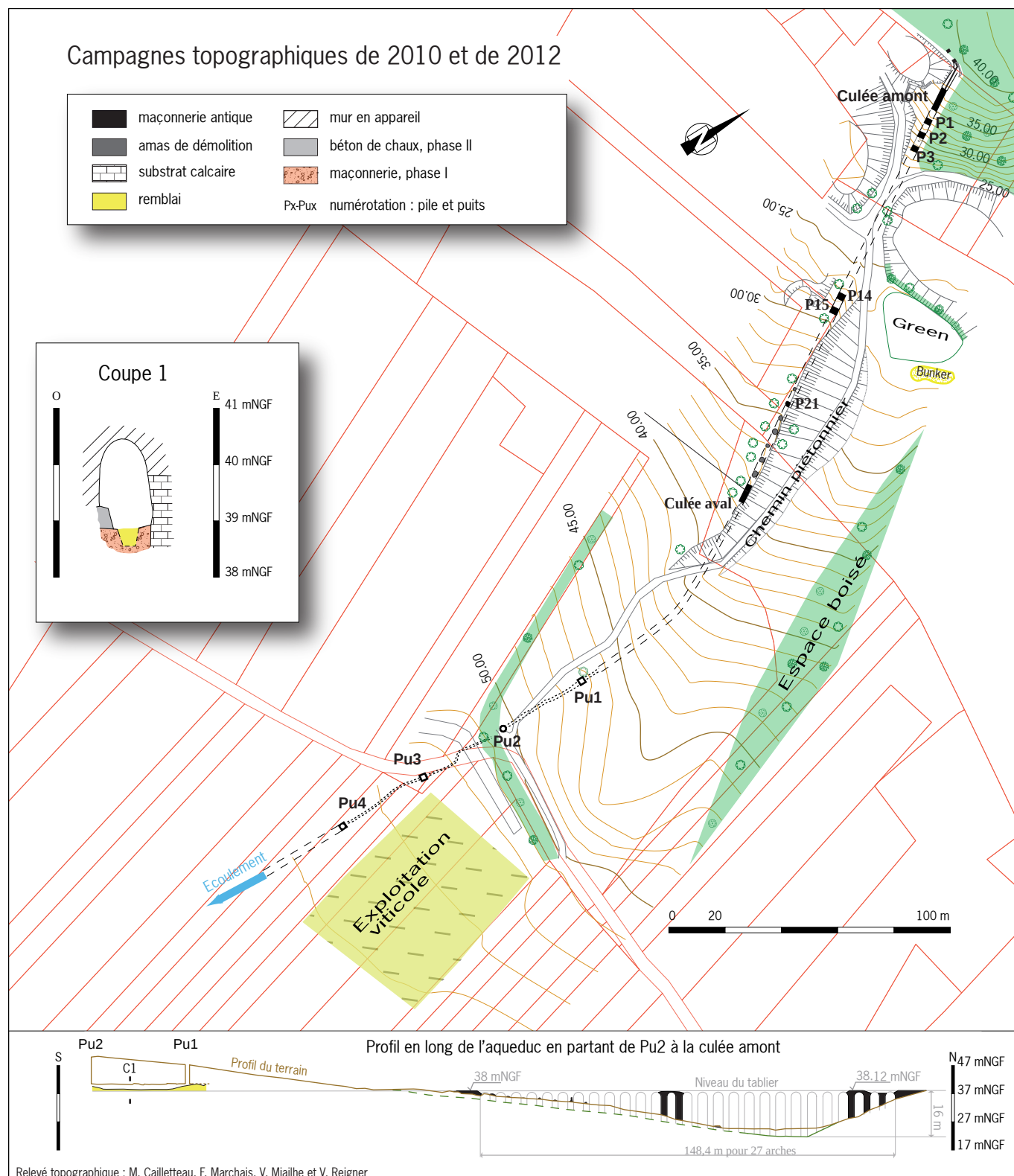


Figure 5 Plan des campagnes topographiques de 2010 et de 2012 sur le pont des Arcs et le tunnel des Plantis des Neuf Puits.

© V. Mialhe (SahCM)

Si la section du Golf est accessible aux publics⁸, celle de Torregrossa ne l'est pas. La poursuite de la photogrammétrie sur ces deux sections peut permettre aux publics de découvrir la partie de Torregrossa par le biais d'une visite virtuelle à l'aide de casque VR ; cette technologie compléterait la documentation de l'aqueduc. C'est pour ces deux raisons que la SahCM a lancé une campagne de levés topographiques complémentaires sur ces trois secteurs (les deux sections souterraines, Golf et Torregrossa et la partie aval du pont) en reprenant le cahier des charges du pont des Arcs, défini par la DRAC. L'équipe étant constituée exclusivement de bénévoles, l'opération a été étalée sur trois ans, entre 2021 et 2023, et sous la direction de V. Mialhe (fig. 4).

Cette campagne topographique a été réalisée en partenariat avec Laurent Salomon, professeur du BTS Métiers du Géomètre-Topographe et de la Modélisation Numérique du lycée Sillac à Angoulême. Un jumelage que la SahCM avait déjà initié en 2010 lors d'une campagne topographique sur le tunnel et le pont dans le golf de Saintes⁹. Cependant l'opération de 2010 ne comprenait pas de modélisation 3D mais un plan au sol et des profils, en longs et en travers (fig. 5). Le lycée de Sillac s'est joint aux deux campagnes portant uniquement sur les sections souterraines, en 2021 et 2023. A chaque mission, trois étudiants en deuxième année de BTS sont intervenus dans le cadre de leur stage de fin d'étude. Le sujet portait sur l'utilisation et la comparaison de la lasergrammétrie et de la photogrammétrie, sous la direction respective de L. Salomon et de V. Mialhe.

À la suite de ces trois campagnes qui ont permis de fournir une documentation variée et importante sur cette section de l'aqueduc, il était regrettable de s'arrêter là. L'année 2024 a donc été consacrée à une étude de bâti de la zone relevée. Cette étude a été menée par Ludovic Hericotte et Vincent Mialhe ; elle a permis de faire une analyse architecturale et d'établir un phasage de la partie souterraine en reprenant les premières études de Jean-Louis Hillairet.

1.2. Contexte historique général

La ville de Saintes se développe après la Guerre des Gaules et donne naissance à *Mediolanum*. Il est désormais reconnu qu'une occupation gauloise ait été présente avant l'arrivée des romains ; les nombreux espaces funéraires, les traces d'activités artisanales et les artefacts liés à cette période, découverts à Saintes et dans ses environs, le prouvent. Une présence, oui, mais peut-on parler de ville, difficile de se prononcer pour l'instant. La question de la présence d'un oppidum reste en suspens ? La topographie du lieu invite à le penser : une éminence rocheuse en bordure de la Charente et délimitée, au sud et au nord, par deux vallons secs¹⁰, dessinent un relief propice à une implantation gauloise. Mais à ce jour, aucune trace de *muris gallicus* a été révélée, contrairement aux découvertes effectuées dans la ville de Pons¹¹.

L'espace urbain semble se dessiner après la guerre des Gaules par la présence d'un double fossé défensif muni d'un talus mis au jour et interprété lors d'un diagnostic mené à Saint-Rémy¹² en 2005. Ses caractéristiques architecturales sont similaires aux fossés des camps romains, un profil en V avec un fossé plus petit à l'extérieur et un talus sur la partie interne, constitué par les remblais obtenus par le décaissement des deux fossés. Par la suite, cette enceinte fossoyée fut repérée en plusieurs endroits de la ville permettant de définir son tracé et de lui attribuer, en plus de son caractère défensif de la partie occidentale du plateau dépourvue de relief et difficilement défendable, un rôle urbanistique. L'enceinte ceinture un espace de 130 ha dans lequel va se développer la ville romaine (fig. 6).

L'établissement d'un réseau routier passant par Saintes va contribuer à son développement économique (fig. 7). Axes stratégiques de circulation pour le commerce à travers la Gaule, ces aménagements de circulation conçus à la période augustéenne furent un facteur décisif d'urbanisation. C'est notamment à cette époque que nous pouvons parler de ville. Malgré un relief accidenté, le plan hippodamien est choisi pour dessiner la cité avec un *decumanus maximus* aligné sur la *via Agrippa*, dont l'arc *Germanicus*¹³ marque l'entrée (fig. 8).

A l'intérieur de cette nouvelle cité, une politique d'urbanisme à la romaine va être menée et s'intensifie jusqu'à la période tibéro-claudienne. La ville est dotée d'un centre monumental comme en témoignent les nombreux fragments lapidaires retrouvés dans la muraille du Bas-Empire. Comme toutes les grandes cités du monde romain, la ville se dote de grands édifices religieux et publics, notamment des complexes thermaux dont deux sont relativement bien identifiés, « Saint-Vivien » et « Saint-Saloine¹⁴ » (fig. 9), situés dans la partie septentrionale de la ville (fig. 5).

8. La SahCM organise des visites du tunnel du Golf, lors des Journées Européennes de l'Archéologie et des Journées Européennes du Patrimoine.

9. Mialhe V. 2010 - *Levé topographique au Vallon des Arcs*, Fontcouverte (17), p. 18 - SahCM.

10. Au nord, le vallon de « Magezy », et au sud, celui des « vallon des Arènes ».

11. Landreau G. 2020 - *Rue de l'assomption, Pons (17)*, rapport de fouille, Inrap.

12. Nibodeau J.-P. 2006 - *Saint-Rémy - Montlouis, Saintes (17)*, rapport de diagnostic, Inrap.

13. Lien pour accéder au modèle 3D <https://skfb.ly/6RHER>

14. Lien pour accéder au modèle 3D <https://skfb.ly/6QXpn>

L'eau est un élément vital dans le développement d'une ville à la romaine et qui dit eau, dit aqueduc. Dès la période augustéenne, un premier aqueduc relié à deux sources est érigé¹⁵. Puis, quelques décennies plus tard, il est prolongé pour capter deux autres sources, se situant à une quinzaine de kilomètres de la ville. Comme de nombreuses villes romaines, cet ouvrage d'art a approvisionné la cité en eau potable. Mais son édification précoce, par rapport aux autres villes de la Gaule chevelue, donne à Saintes un statut à part, voire de capitale d'*Aquitania* comme le pensent de nombreux chercheurs¹⁶. L'aqueduc romain n'est pas qu'une simple canalisation transportant l'eau mais il symbolise aussi la puissance romaine dans cette nouvelle province récemment conquise.

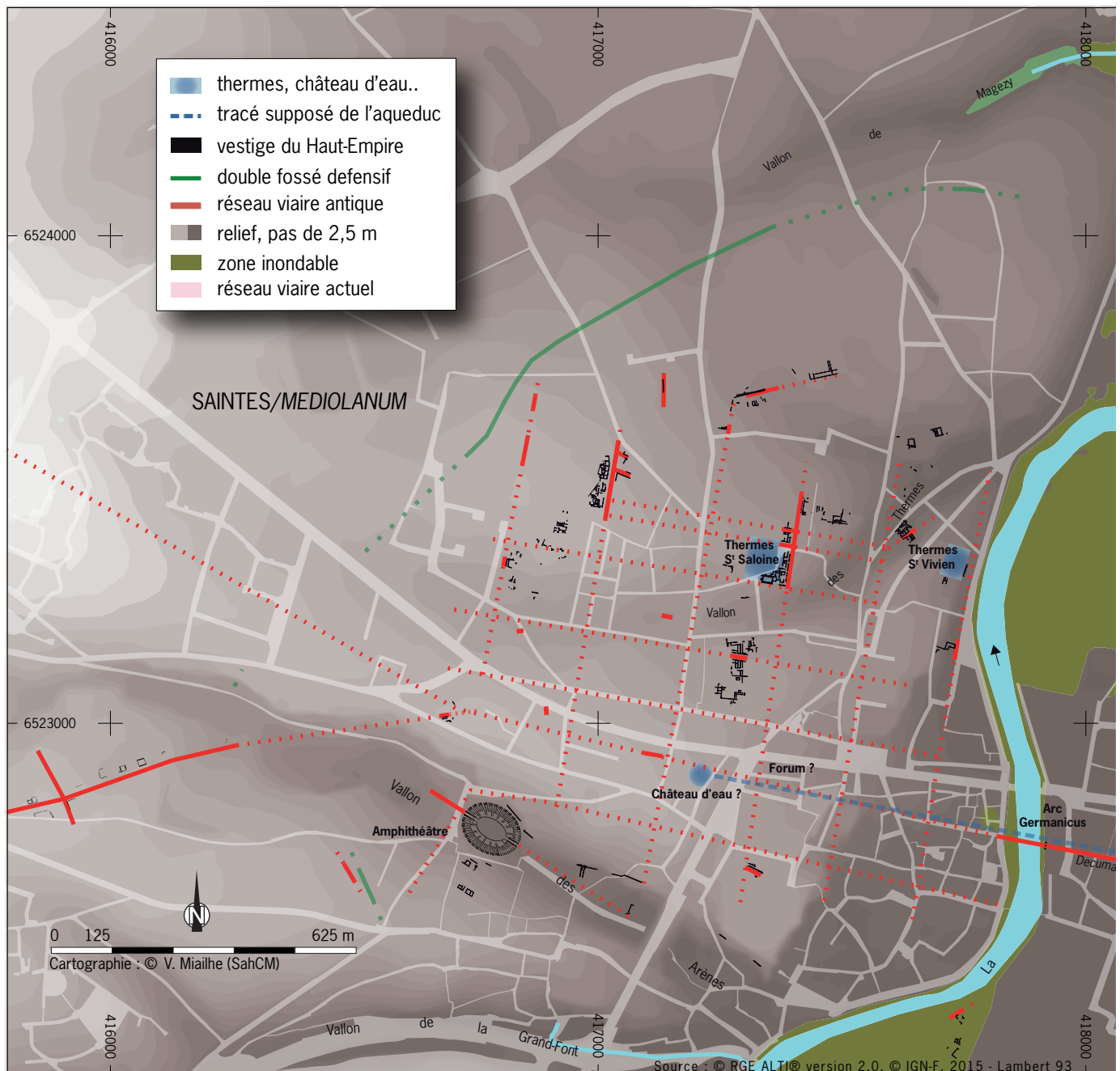


Figure 6 Plan de *Mediolanum* à la période du Haut-Empire.

© V. Mialhe (SahCM)

15. Aucun marqueur chronologique n'est présent pour étayer cette datation qui repose sur une réflexion logique de Jean-Louis Hillairet. La période augustéenne définit le schéma urbain et donne naissance aux premiers monuments caractéristiques du monde romain avec, peut-être, un complexe thermal. De même, la présence d'agrimenseurs à Saintes est certaine par son schéma hippodamien et la construction de la *via agrippa*. Sur le plan technique, cet ouvrage est réalisable. La datation repose aussi en comparant l'aqueduc des « Monts d'Or », daté entre -15 et +20, de la ville de Lyon dont la genèse correspond à celle de Saintes. On ne peut donc pas donner une fourchette précise, d'autant que le temps écoulé entre sa mise en œuvre et son fonctionnement peut prendre plusieurs années (*l'aqua Claudia* à Rome, long de 70 km, a été bâti en 14 ans). Il est de même pour son extension aux sources du Douhet et de Vénérand qu'on attribue à la période claudienne correspondant aux grands monuments dont l'amphithéâtre.

16. Maurin L., Bouet A., Hiriart E., Landreau G., Sirex C. et D. Tardy D. 2015 – *Saintes/Mediolanum, cité des Santons et Bordeaux/ Burdigala, vité des Bituriges Viviscae : destins croisés* – Gallia72-1.



Figure 7 Réseau routier autour de Mediolanum à la période du Haut-Empire.

© J.-L. Hillairet (SahCM)

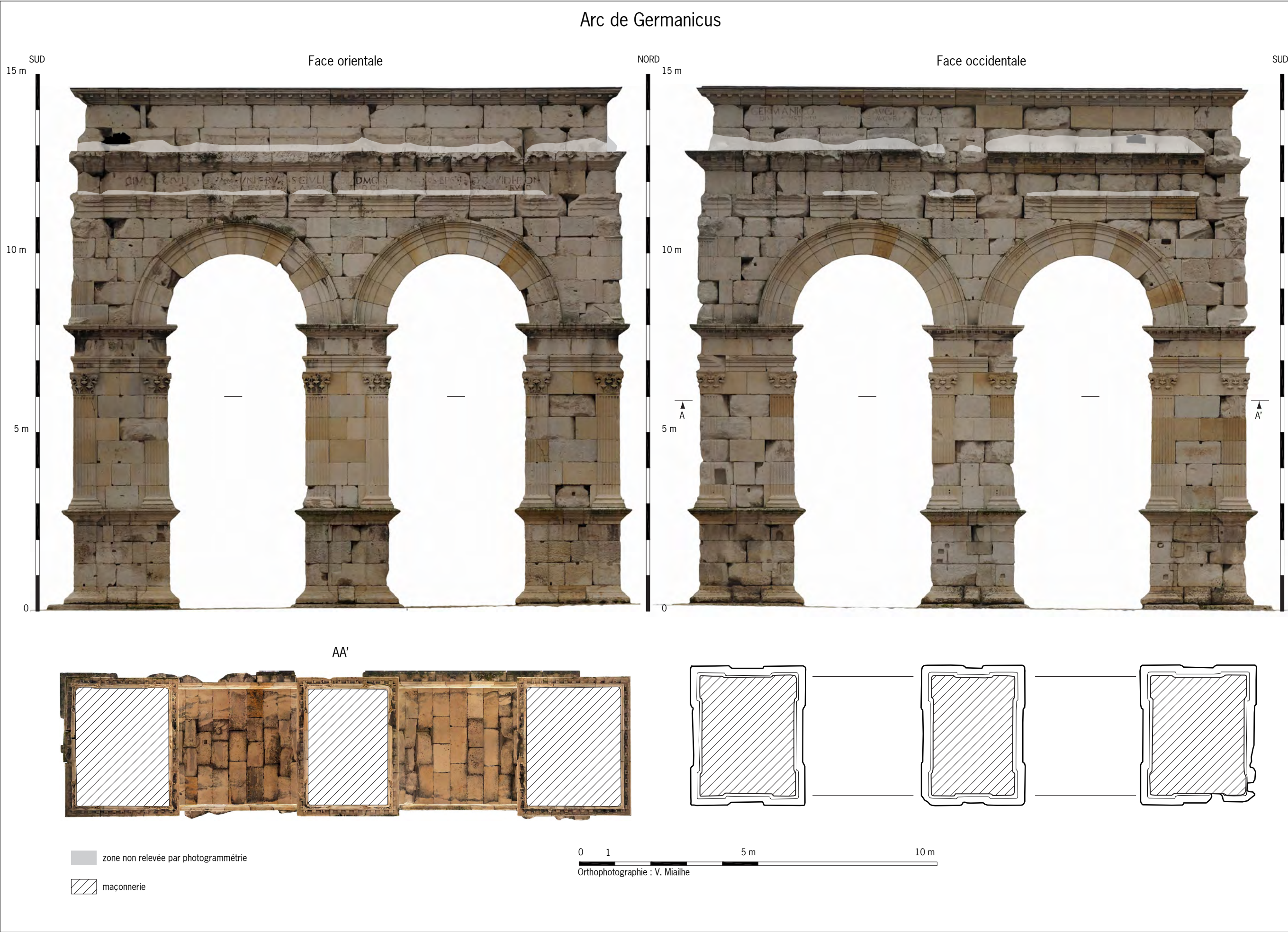


Figure 8 Élévation et plan au sol de l'arc Germanicus.

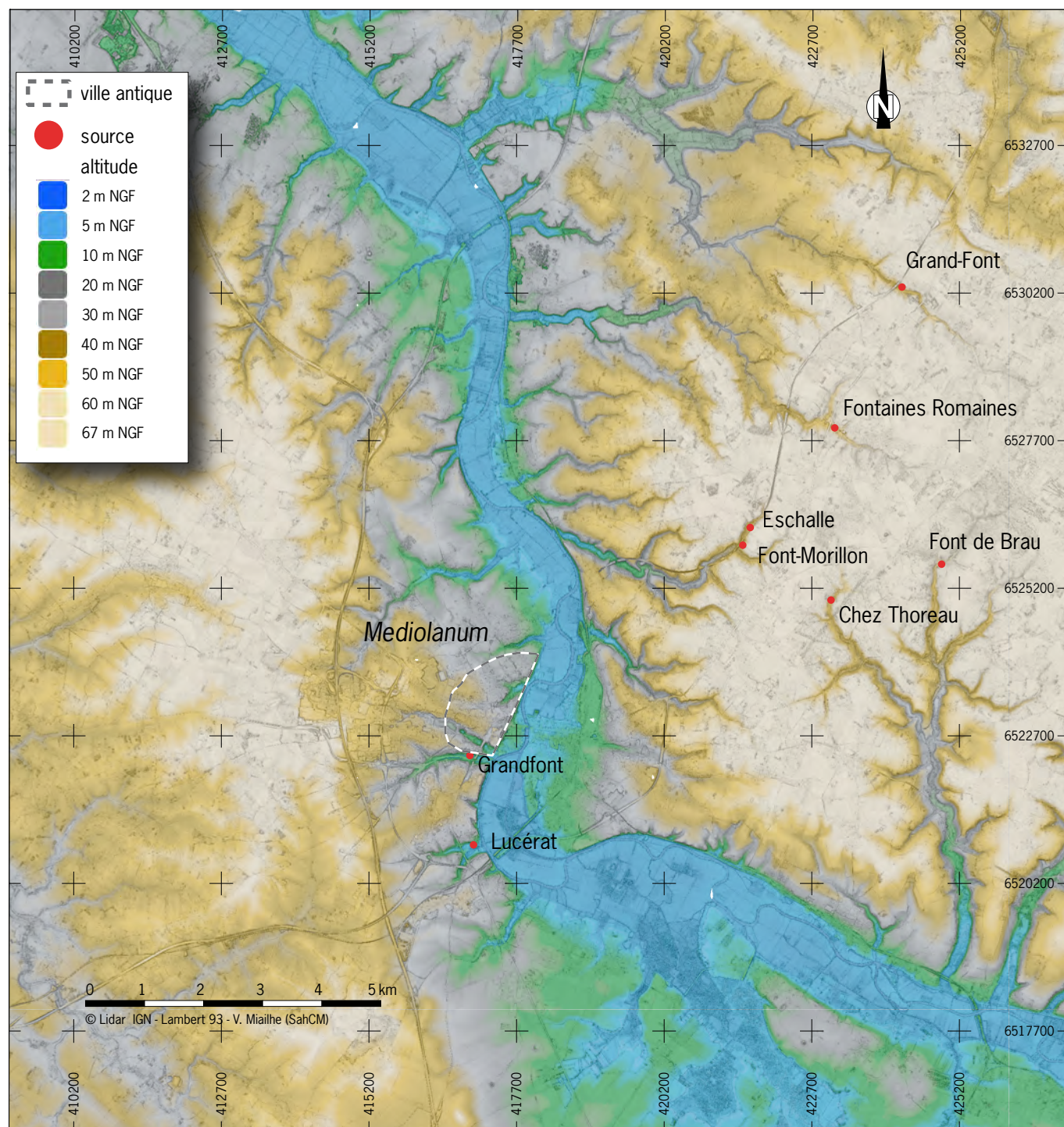


Figure 9 Relief et réseau hydrographique, avec les sources, autour de Saintes d'après les données Lidar.

© V. Mialhe (SahCM)

1.3. Contexte géographique, géologique et hydrographique

Alimenter *Mediolanum* en eau n'a pas été une tâche facile pour les ingénieurs romains. La ville antique est située sur la rive gauche de la Charente, une zone à faibles nappes d'eaux souterraines en raison de la présence d'un fort manteau calcaire Santonien sur cette rive. Le calcaire Santonien n'est pas propice à conserver de l'eau à une altitude suffisamment haute pour l'amener par gravité à *Mediolanum* dont l'altitude s'échelonne entre 5 et 35 m NGF. Les seules sources abondantes sont celles de « Lucérat » et de la « Grandfont » en amont de la ville, à des altitudes inférieures à 5 m NGF. Il faut donc chercher des résurgences d'eau plus élevées que la ville. Seule, la rive droite dispose de ce profil topographique (fig. 9).

Sur le plan géologique, la rive droite est constituée des mêmes étages géologiques (Turonien, Coniacien, Santonien et Campanien) que la rive gauche mais à des altitudes plus élevées (fig. 10 et 11). Ces roches superposées appartiennent au Crétacé supérieur et se caractérisent par une variation de différents calcaires.

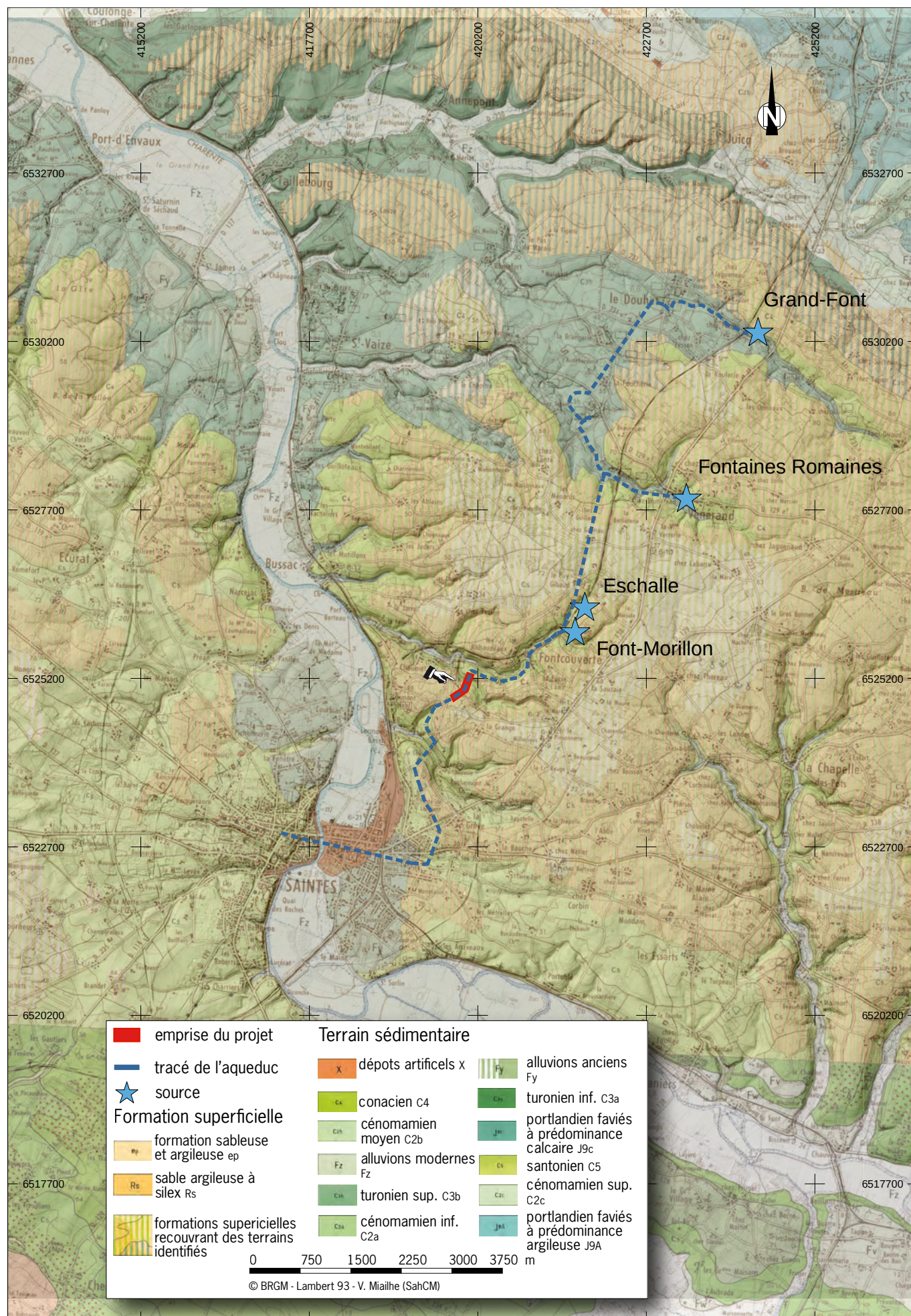


Figure 10 Tracé de l'aqueduc et la localisation de ses sources sur la carte géologique du BRGM.

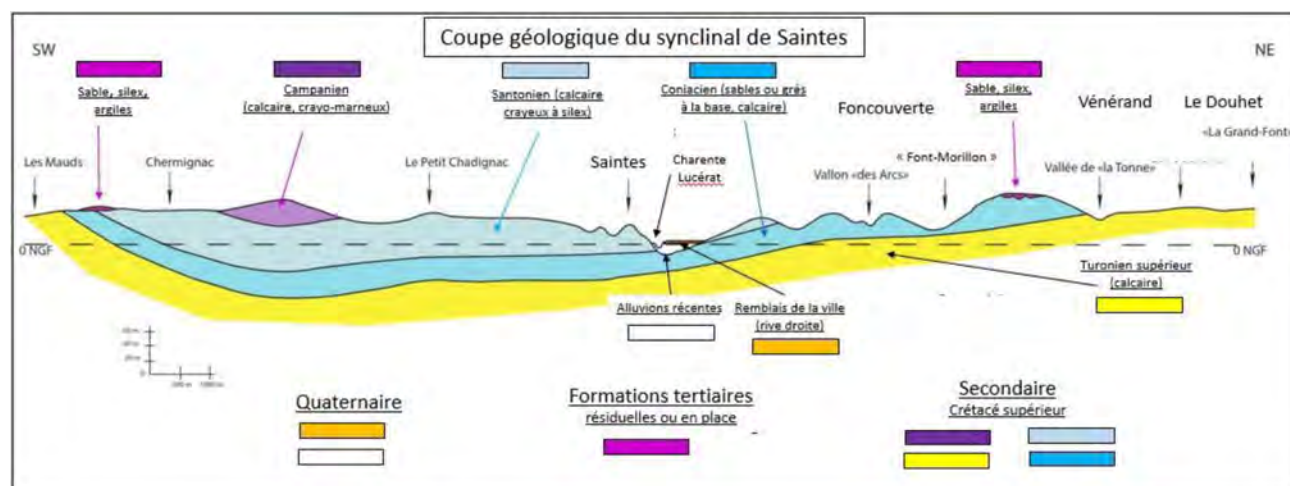


Figure 11 Coupe géologique de Saintes.

© B. Bourguet (SahCM)

La plus ancienne, le Turonien, est constituée de calcaire blanc fossilifère à silex gris sur plusieurs dizaines de mètres d'épaisseur. Au-dessus, repose le Coniacien qui démarre par un niveau de grès et de silex noirs sur 1 ou 2 m, puis d'un calcaire fossilifère sur 25 m d'épaisseur et, pour terminer, par une accumulation de 3 à 4 m de coquilles d'huîtres. La stratigraphie se termine par le calcaire Santonien, crayeux et tendre, moins présent sur la rive droite.

Le Turonien et le Coniacien forment un ensemble calcaire sur 120 m d'épaisseur. De plus, sur le plan hydrogéologique, ils font partie des roches aquifères, donc propices à contenir des réservoirs d'eau issus des eaux pluviales. Le Turonien affleure sur les communes du Douhet et de Vénérand et c'est dans cette formation géologique que surgissent, respectivement, les sources de la « Grand-Font » et des « Fontaines Romaines ». Tandis que les deux sources de Fontcouverte, « Font-Morillon » et « Font de l'Eschalle », sortent au niveau de la base du Coniacien. Les quatre sources se situent à une altitude comprise entre 40 et 43 m NGF et peuvent alimenter en eau, par la gravité, la ville de *Mediolanum*.

Les sources sont alimentées par des réseaux karstiques aux ressources importantes et ne tarissant pas en période de sécheresse.

1.4. Historique des recherches

L'aqueduc de Saintes a toujours suscité un grand intérêt des historiens et de nombreux chercheurs ont documenté l'ouvrage. Notre étude ne porte pas sur l'historiographie du monument car ce travail de recherche a déjà été fait par la SahCM¹⁷.

Les premières mentions de l'aqueduc romain apparaissent au XVI^e siècle par un texte d'Elie Vinet en 1571 qui observe les restes d'une conduite d'eau et de fontaines sur la commune du Douhet¹⁸. Ces premières observations vont permettre tout le long des siècles d'identifier le parcours de l'aqueduc et de localiser ses différentes sources. Une cartographie qui va peu à peu se positionner sur les quatre communes du Douhet, de Vénérand, de Fontcouverte et de Saintes.

Nicolas Alain¹⁹ est le premier à rattacher les sources de la « Grand-Font » et des « Fontaines Romaines » à l'aqueduc dans sa publication de 1598. Ce ne sont que deux sources au départ, mais ce nombre va évoluer ainsi que la diversité des lieux. En 1780, François-Marie de Bourignon²⁰ marque un tournant dans l'étude topographique du tracé de l'aqueduc. Il publie de nombreuses observations sur le monument antique et identifie une nouvelle source à l'est de la « Grand-Font », sur la commune d'Écoyeux, au lieu-dit « Fond-Giraud ». Il rejette, dans un premier temps, l'idée de la source des « Fontaines Romaines » à Vénérand émise par Félix François de La Sauvagère²¹ en 1770, mais ses recherches dans le « vallon de la Tonne » le conduisent à admettre son existence. Le tracé de l'aqueduc est encore flou mais une première cartographie est ainsi proposée à la fin du XVIII^e siècle avec trois sources sur les communes d'Écoyeux, du Douhet et de Vénérand. Amédée Gautier²² soutient lui aussi la thèse d'une troisième source à Écoyeux. Mais cette thèse est rejetée par d'autres chercheurs. Ce rejet se confirme par la réalisation de sondages à « Font-Giraud » par Léon Triou²³, avant la deuxième guerre mondiale, montrant la non présence de l'aqueduc sur ce lieu. Pourtant l'aqueduc possède bien trois sources. La troisième ne se situe pas à Écoyeux mais à Fontcouverte

17. Hillairet J.-L. et Michaud A., *Les aqueducs antiques de Mediolanum*, Vingt années d'études (2003-2023), 2026 à paraître.

18. Vinet E., *L'antiquité de Saintes*, Bordeaux, Pierre de Ladime, 1571, \$10 «... tirant vers Saint Iehan d'Angelyi des restes d'un conduit d'eaux et fontains. Lequel conduit j'ai ouvert tout auprès du Douhet : et la, jeter grand'eau & fort bonne. »

19. Nicolas A., *De Santonum regione et iioribus familis... opera I. Alani*, in Buderg. *Curia advocati auctoris filii in lucemeditus*, Saintes, François Audebert, 1598.

20. Bourignon F.-M., *Recherches topographiques, historiques, militaires et critiques sur les Antiquités Gauloises et Romaines de la Province de Saintonge*, Paris, Saintes, 1780.

21. Sauvagère F.-F., *Recueil d'antiquités dans les Gaules : recherche sur les ruines de Saintes et de ses environs...*, Paris, 1770.

22. Gautier A., *Statistiques générales de la Charente-Inférieure*, 1839.

23. Triou L., *Un archéologue Saintais oublié* par J.-L. Hillairet ; in : *Bulletin de la société d'archéologie et d'histoire de la Charente-Maritime*, 2011.

Figure 12 Conduit de l'aqueduc de la phase I, à gauche en partant de la Font-Morillon et à droite de l'Eschalle.

© B. Bourgueil (SahCM)



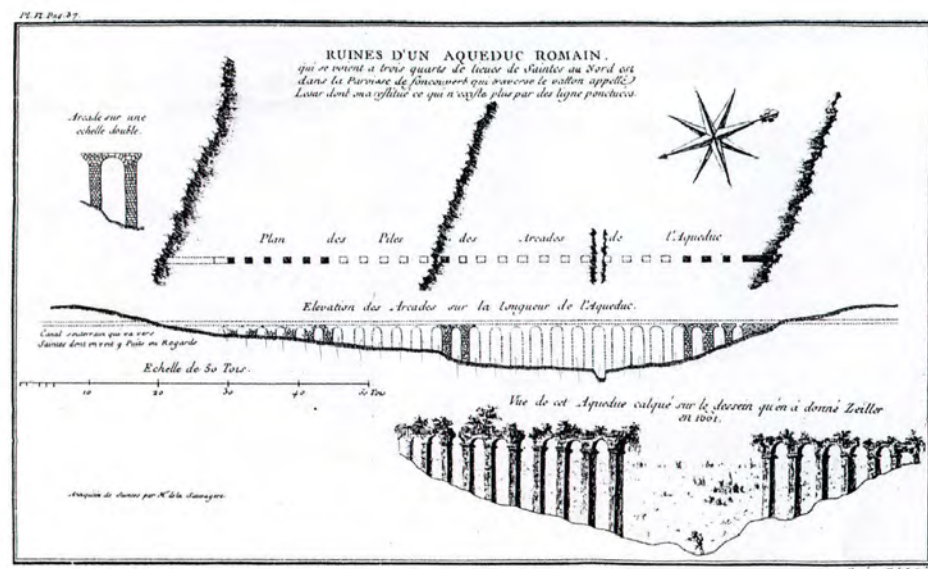
Figure 13 Gravure de C. Chastillon (1560-1616) publiée par J. Boisseau en 1641.



Figure 14 Extrait d'un plan de C. Masse, de 1714.



Figure 15 Plan de F.-F. de La Sauvagère, de 1770.



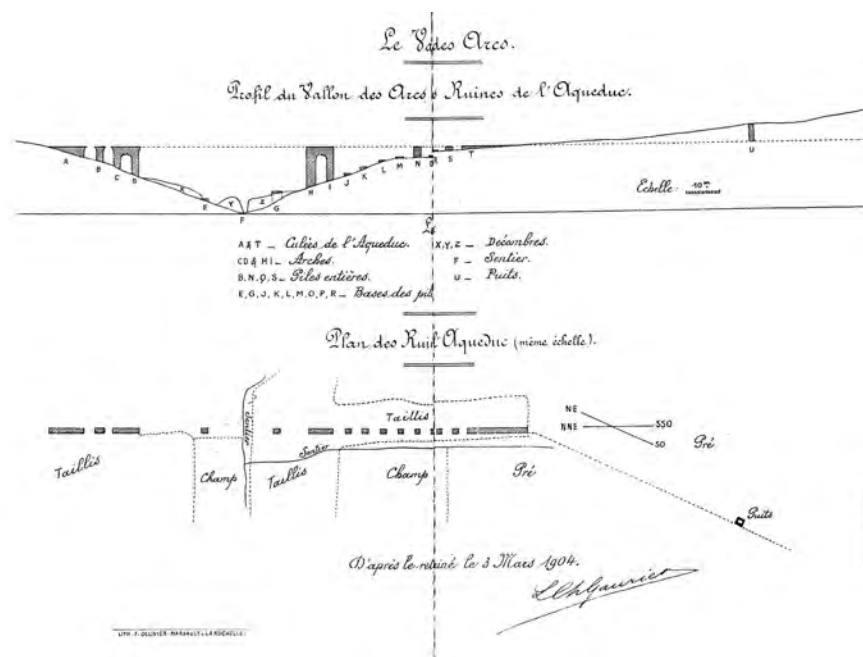


Figure 16 Plan de l'abbé Gaurier, de 1904.

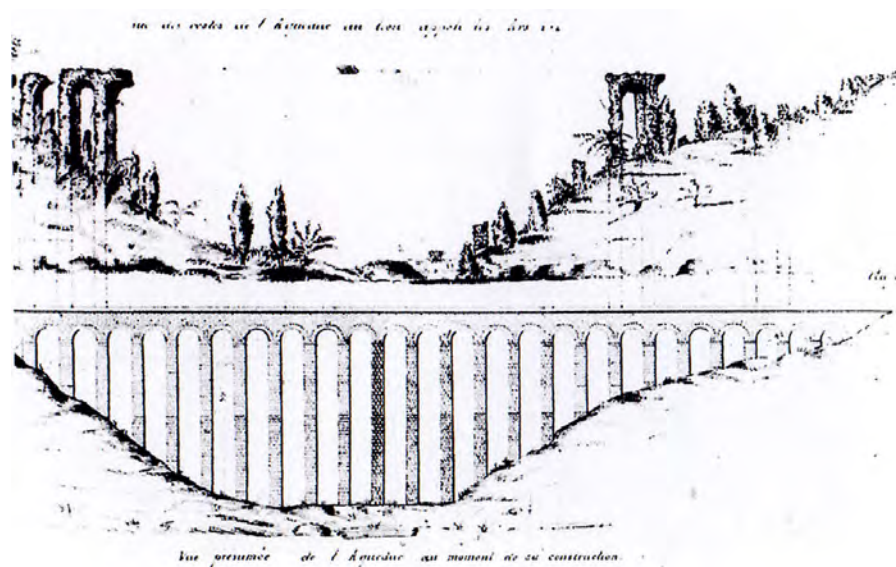


Figure 17 Extrait d'un plan de 1832, auteur inconnu. © M. Rouyer-Guillet

géographe du roi Louis XIV, en charge de la cartographie du littoral atlantique, qui devait veiller à la préparation de la défense côtière, que les premiers levés topographiques vont être réalisés. Fêré d'histoire, il mène quelques campagnes de relevés sur l'aqueduc et notamment sur le pont des Arcs ainsi que sur la partie souterraine en aval (fig. 14), correspondant à l'étude actuelle. Ces plans sont accompagnés d'une réflexion d'architecte et propose aussi une restitution du pont de Haumont²⁹, déjà entièrement détruit à son époque. On comprend mieux pourquoi c'est autour du pont des Arcs que l'iconographie est la plus abondante avec les plans de F.-F. de la Sauvagère en 1770 (fig. 15), l'abbé Gaurier³⁰ en 1904 (fig. 16) ou d'auteur inconnu (fig. 17).

au lieu-dit la « Font-Morillon » pour René Lesson²⁴ sans pour autant y voir la source primitive de l'aqueduc. Ce n'est qu'au milieu du XX^e siècle, grâce aux travaux des frères Triou²⁵, que la notion de phasage va être intégrée dans l'étude du monument. Un premier aqueduc rattaché à la source de Fontcouverte, puis, plus tard, une extension vers deux autres sources au Douhet et à Vénérand avec la construction d'un deuxième aqueduc. En 2010, Jean-Louis Hillairet²⁶ met au jour à « Font de l'Eschalle », à quelques centaines de mètres au nord de la Font-Morillon, une quatrième source. Une localisation difficile à préciser en raison de la présence de la voie ferrée construite à la fin du XIX^e siècle qui a fortement perturbé le lieu. Mais cette source coule toujours à l'intérieur de l'aqueduc avec un débit bien supérieur à celui de la « Font-Morillon ». La source de « l'Eschalle » se rattache, elle aussi, au premier aqueduc. L'architecture de sa galerie²⁷ est identique à celle de la « Font-Morillon » (fig. 12).

Le fonds iconographique existe aussi mais en moins grand nombre, pour la simple raison que l'aqueduc est en grande partie en tranchée couverte ou en galerie souterraine. Il ne se voit pas, sa présence dans le paysage est marquée uniquement par les sources et les ponts. La toute première est une gravure de Claude Chastillon représentant le pont des Arcs (fig. 13). Une image ubuesque où l'imaginaire de l'artiste prend le pas à la rigueur scientifique. Cette représentation graphique du pont des Arcs de la fin du XVI^e siècle est à prendre avec prudence. Il faut attendre le début du XVIII^e siècle pour obtenir des vues correctes et notamment, grâce aux travaux de Claude Masse²⁸.

C'est lors du passage de cet ingénieur

24. Lesson R. P., *La Saintonge illustrée* (dessins de Louis Benjamin Augustin), 1843.

25. Triou A., *Les aqueducs gallo-romain de Saintes* ; in : *Revue de Saintonge et Aunis*, XLVI-XLVII, Saintes 1936 et 1947

26. Hillairet J.-L., 2010 - Rapport de sondage archéologique 2010-1, *Le deuxième aqueduc de Saintes, commune de Fontcouverte, Les Loges, Le Font de l'Eschalle*. SahCM.

27. Hillairet J.-L., 2026 - Recherches archéologiques en Saintonge, *L'Aqueduc antique de Mediolanum et son évolution jusqu'à nos jours*. Vingt années de recherches et d'études 2003 – 2023, SahCM, 397 p. à paraître.

28. Masse C., *Recueil des plans de Saintonge, assorti d'un mémoire sur la ville de Saintes*, Service historique de l'armée de terre à Vincennes, ms 503 (f° 131 f).

29. Le pont de Haumont se situe à 1 km au sud du pont des Arcs.

30. Gaurier L. Ch., *note sur l'aqueduc romain de Saintes*. In ; *Recueil de la commission des Arts et Monuments de la Charente-Inférieure*, 1902-1904.

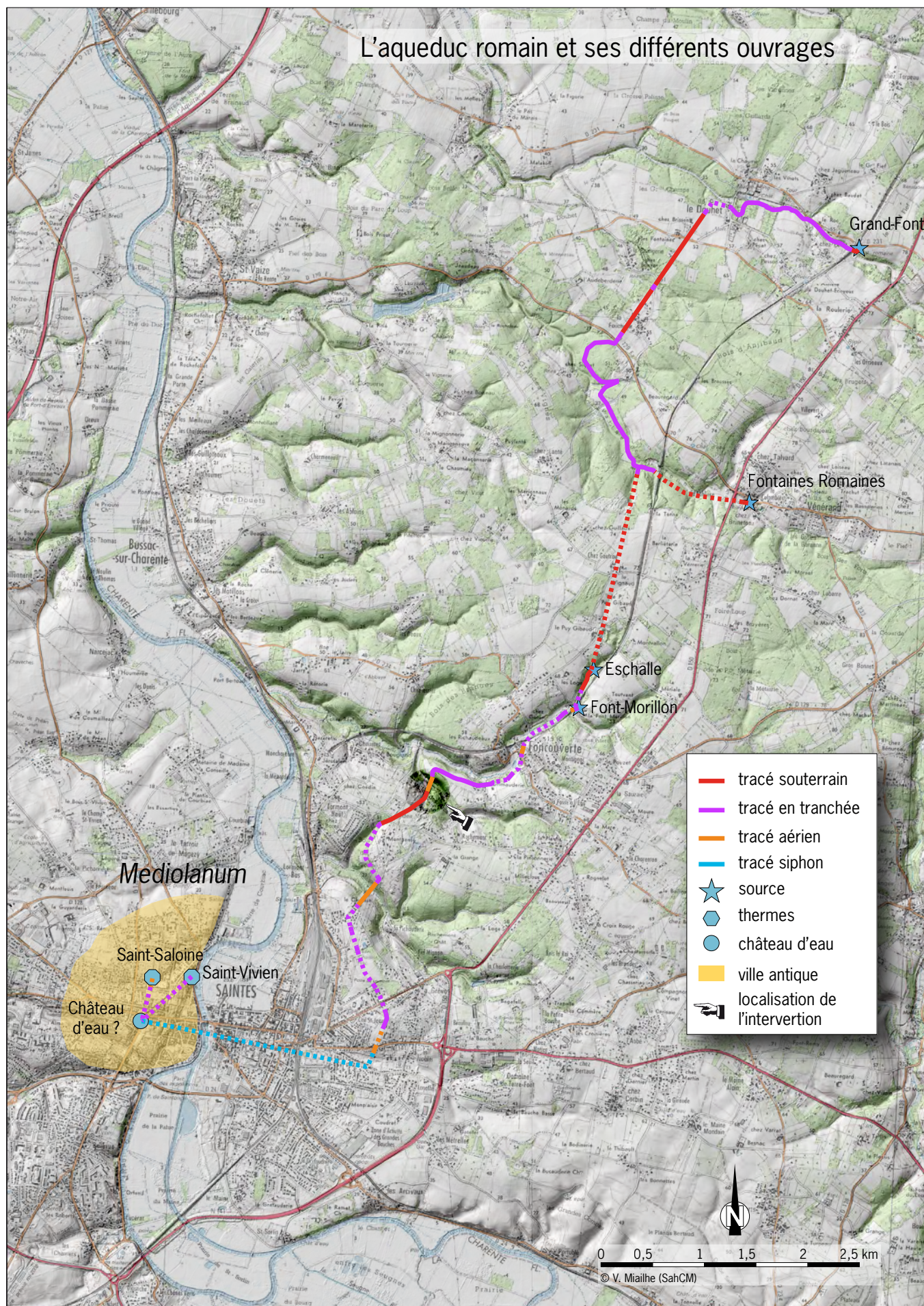


Figure 18 Tracé général de l'aqueduc avec ses différents ouvrages sur la carte IGN de 1/25000 et le Lidar.

© V. Mialhe (SahCM)

Mais la plus grande étude du monument reste celle de la Société d'archéologie et d'histoire de la Charente-Maritime, entreprise en 2003 sous la direction de Jean-Louis Hillairet. Pendant 20 ans, une équipe pluridisciplinaire divisée en deux groupes, les archives et le terrain, et composée uniquement de bénévoles, va étudier l'ouvrage. Les interventions sur le terrain alternent entre des prospections terrestres, voire spéléologiques, et des opérations archéologiques sous la forme de sondages. Une vingtaine de points d'observation ont pu mettre en évidence le tracé de l'aqueduc (**fig. 18**) et fournir une documentation sous la forme de rapport. De nombreuses interventions se sont portées sur les parties souterraines et c'est grâce à celles-ci que le parcours de l'aqueduc a pu être si bien défini.



Figure 19 Les entrées pour accéder au tunnel du « Plantis des Neuf Puits », à gauche chez Mr. Torregrossa et à droite dans le Golf.

© J.-L. Monget (SahCM)



Figure 20 La section de chez Mr. Torregrossa, du tunnel du « Plantis des Neuf Puits », vue vers le sud. © R. Charrier (SahCM)



Figure 21 Échafaudage des piles 1 à 3, vue vers le nord-ouest.

© V. Mialhe (SahCM)



Figure 22 Échafaudage des piles 14 à 15, vue vers le sud-ouest.

© V. Mialhe (SahCM)

Figure 23 Exemple de la création de masque sur les clichés afin d'obtenir un nuage dense propre.

© V. Mialhe (SahCM)



2. Méthodologie

2.1. Topographie

A l'origine du projet, l'opération se limite à une topographie tridimensionnelle de la partie amont du pont des Arcs avec pour objectif de produire des orthophotographies de l'ouvrage d'art. Par la suite, la topographie s'est poursuivie sur l'ensemble du pont et du tunnel en aval de ce dernier. Le levé couvre une distance linéaire de 380 m de long sur 4 m de large. Certes, une emprise relativement petite mais la difficulté provient du contexte environnemental très particulier. La section concernée de l'aqueduc à relever est à la fois aérienne et souterraine.

Comme cela a été expliqué en introduction, le tunnel est sectionné en deux parties. Pour les différencier, les sections sont nommées par le nom du propriétaire du terrain où se situe le puits d'accès (à la sortie du pont, la section du Golf et, dans la continuité, Torregrossa). L'accès se fait uniquement par les puits (Pu1 et Pu3) dont les hauteurs varient respectivement, de 8 m et de 14 m (fig. 19). Les puits sont sensiblement carrés, de 1,40 m de côté. La longueur accessible des tunnels diffère, celui du golf étant le plus petit, 41 m de long, alors que Torregrossa a une longueur de 62 m. Ces distances linéaires correspondent à l'emprise accessible pour effectuer correctement les levés topographiques. Ces distances ne reflètent pas la longueur réelle des galeries qui sont bouchées à leurs extrémités par le comblement des puits non dégagés. La hauteur de plafond varie aussi, en prenant en compte le fond du conduit de l'aqueduc, elle fluctue entre 1,70 m et 2,30 m. Et la largeur moyenne du conduit est de 1,30 m. Pour conclure ce point, rappelons que l'espace est exigu et difficilement accessible pour opérer un levé topographique (fig. 20).

La partie aérienne est plus simple. Elle est entièrement dégagée, exceptée la section aval du pont, qui se situe dans un espace boisé, mais, relativement clairsemé. La contrainte végétale a pu être atténuée en réalisant l'intervention à la fin de l'hiver. La plus grande difficulté réside par la présence d'échafaudages mise en place lors de la restauration, par les compagnons de Saint-Jacques³¹, sur la culée amont et les cinq piles³² (fig. 21 et 22). Cette intervention s'inscrit dans la prestation de l'Inrap. La culée amont et les piles P1 à P3 ont pu être relevées par photogrammétrie avant la pose de l'échafaudage sauf pour la partie sommitale des piles P2 et P3. La présence d'un canal issu d'une restauration des années 80 et la forte végétation couvrant l'édifice ne permet pas d'opérer une photogrammétrie de qualité. Elle a été réalisée après la suppression de ces éléments et avec l'échafaudage. De même pour les piles P14 et P15, où la pose de l'échafaudage s'est faite avant l'intervention. En photogrammétrie, la présence d'échafaudages est une contrainte, augmentant le nombre de clichés photographiques et le temps de traitement des données, par la création de masques sur chaque photo où l'échafaudage est présent (fig. 23). Afin de respecter le calendrier et le budget, Eric Normand³³ a permis que la photogrammétrie des piles P14 et P15 se fasse après la dépose de l'échafaudage, en indiquant les zones restaurées lors de cette campagne sur les orthophotographies.

L'opération menée par la SahCM inclut un aspect pédagogique par l'accueil de six étudiants de deuxième année de BTS de topographe et géomètre du lycée des Métiers du Bâtiment de Sillac pris en charge par Vincent Mialhe en tant que maître de stage. Sur le terrain, les étudiants ont réalisé l'ensemble des levés et ils ont été supervisés par leur maître de stage et leur professeur. Adrien Beigneux, Andréa Savoyen et Anthony Courrière ont fait partie de la promotion 2021 (fig. 24) ; Martin Beineix, Aurélien Queffelec et Enzo Martin, de celle de 2023 (fig. 25). Le traitement des données après la partie terrain a été sous le contrôle de leur professeur.

Les données topographiques sont livrées sur un support numérique, à différents formats, selon leur nature. Les plans sont au format DWG et GPKG et les données 3D en PLY pour les nuages denses et OBJ pour les maillages texturés.

31. Les Compagnons de Saint-Jacques est une entreprise habilitée MH, filiale du Groupe Aurige, spécialiste dans la taille de pierre, qui a obtenu le marché pour la restauration des trois sites.

32. Les piles sont numérotées par extrapolation de 1 à n en partant de la partie amont.

33. Agent prescripteur du service régional de l'archéologie, site de Poitiers.



Figure 24 Mise en place du tachéomètre par un étudiant de la campagne 2021, section Torregrossa.

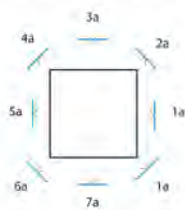
© J.-L. Monget (SahCM)



Figure 25 Mise en place du canevas polygonal par les étudiants de la campagne 2023, section Golf.

© V. Mialhe (SahCM)

Prise de vue pour un levé photogrammétrique d'un puits



Prise en 8 clichés - **a** - pour le haut du puits avec une inclinaison à 45° en plongée et une autre série de 8 clichés - **b** - par le bas en contre plongée, au total 16 clichés. S'il y a des trous dans le conduit faire une autre série plus haute avec 8 clichés en contre plongés et traiter les lots individuellement.

Dans l'exemple, 2 séries (zone 1 et 2) rassembler par la suite sur MetaShape les deux nuages de points clairsemés en ayant comme points communs les repères du milieu.

Pour l'installation des repères topographiques à l'intérieur du puits et dans son fond, mettre en station libre le tachéomètre au dessus du puits en visant les stations 1 à 3 formant une polygonale fermée. Mesurer la hauteur d'appareil pour chaque station libre, positionner au sol le point à l'aide du plomb laser par le biais de la nivelle électronique, tourner le tachéomètre autour de l'axe verticale pour vérifier en bas si le faisceau laser ne déplace pas en formant un cercle cela permet de voir si l'appareil est bien étalonné, le faire pour chaque station libre.

Calculer sous covadis les stations libres 4 à 6 par triangulation angulaire en soustrayant la hauteur de l'appareil mesurer on obtient les station libre 4' à 6' qui peuvent servir de repères pour la photogrammétrie ou de stations pour un cheminement à l'intérieur d'un boyau horizontal.

Difficultés : éclairage et mise en place d'une plateforme pour installer le tachéomètre.

par V. Mialhe (Inrap)

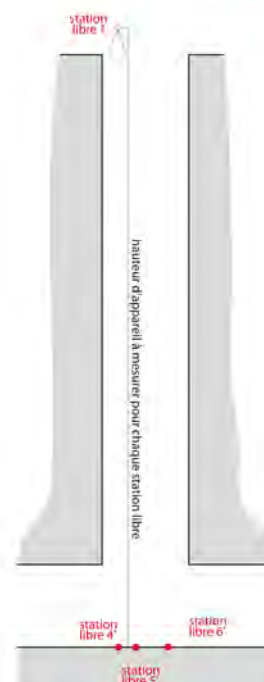
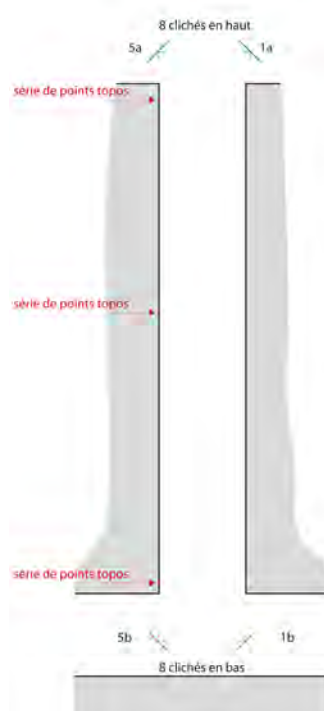
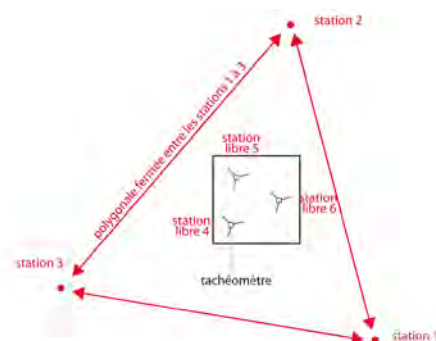


Figure 26 Méthodologie de la mise en place des points géodésiques à l'intérieur du tunnel et prise de vue photographique du conduit du puits.

© V. Mialhe (SahCM)

2.1.1. La tachéométrie

Lors de la campagne 2010 (fig. 5), première collaboration avec le lycée Sillac, un canevas polygonal a été implanté dans le golf. Le système planimétrique utilisé à l'époque fut le Lambert II issu du NTF³⁴. La campagne triennale a repris ce cheminement en le poursuivant sur le nouveau secteur d'étude, le tunnel de Torregrossa, mais en utilisant le système de projection planimétrique RGF93CC46³⁵ pour être conforme à la nouvelle législation. L'altimétrie est rattachée au NGF69³⁶.

Le cheminement des stations est une polygonale fermée pour la partie terrestre et en antenne avec retour pour la partie souterraine. La mise en place du canevas dans les tunnels a été implantée de la manière suivante (fig. 26) :

- mise en place de stations autour des puits sur le terrestre ;
- calcul d'une station libre au-dessus du puits à l'aide de trois stations connues et correction des erreurs de collimation ;
- implantation de la station libre au fond du puits par le plomb laser du tachéomètre avec une vérification du centrage de l'appareil par une rotation de 360° sur l'axe Z et mesure de la hauteur de l'appareil ;
- la manipulation a été répétée trois fois afin d'avoir un minimum de trois repères géodésiques au fond du puits ;
- cheminement en antenne à l'intérieur de la galerie avec retournement sur les deux axes à chaque mesure.

Le plan de la zone étudiée a été dressé sous AutoCadMap, à partir du nuage dense de points issus de la photogrammétrie ou de la lasergrammétrie ainsi que des ortho-images. Le logiciel Covadis a permis de calculer les carnets de terrain. Un logiciel de SIG gère l'ensemble des données cartographiques dont le LiDAR d'IGN.

2.1.2. La photogrammétrie

La photogrammétrie de 2020 à 2022 a été réalisée avec un appareil photographique numérique de type hybride Olympus E-M5II (résolution 4608 x 3456 px, focale 14 mm). Le traitement des piles 14 et 15 a été fait à l'aide d'un drone DJI MavicPro, muni d'une caméra FC220 (4000x3000 px, focale 26 mm), de même pour le modèleur numérique terrestre en dehors des parties boisées. L'appareil utilisé pour la campagne 2023, section souterraine du Golf, est un hybride Panasonic Lumix DC-GX9 (5184 x 3888 px, focale 12 mm). La prise des clichés suit un protocole classique, en combinant des prises stéréos et convergentes avec un recouvrement compris entre 75 et 80 % sur une même ligne. Le recouvrement entre ligne est de 50 à 60 %.

Pour la partie souterraine, le sujet a été décomposé en quatre projets : la voûte, le *specus* et les deux parois. La voûte et le *specus* sont réalisés à partir de trois photos, l'une zénithale (ou nadirale pour le *specus*) et, de part et d'autre de cette dernière, deux autres, convergentes vers la première. Ce trinôme suit le tracé de l'aqueduc avec un chevauchement de 75 à 80 %. Pour les parois, la prise en stéréo (parallèle à la paroi) a été utilisée tout le long du tunnel sur plusieurs lignes. Des prises convergentes ont été rajoutées au niveau des redans ou des ruptures de voûte. Un schéma relativement classique mais le recul de moins de 1 m couvre une faible surface, nécessitant un déplacement de l'appareil de 0,20 m, a conduit à une multiplication des clichés et du temps de travail. De plus, une légère inclinaison de la caméra fait perdre la tolérance souhaitée dans le recouvrement, rendant l'alignement de certaines photos impossibles ou avec des erreurs engendrant un manque de précision (fig. 27). De même, les photos floues n'ont pas pu être utilisées. Le nombre important de photographies et le temps imparti ont conduit à ne pas doubler les prises de vue, engendrant une perte d'information. Pour minimiser les pertes, un éclairage a été positionné de chaque côté



Figure 27 Erreur d'alignement lié à un chevauchement en dessous de 75%.

© V. Mialhe (SahCM)

34. Nouvelle Triangulation Française.

35. Réseau Géodésique Français de 1993 en Conique Conforme.

36. Nivellement Général de la France.

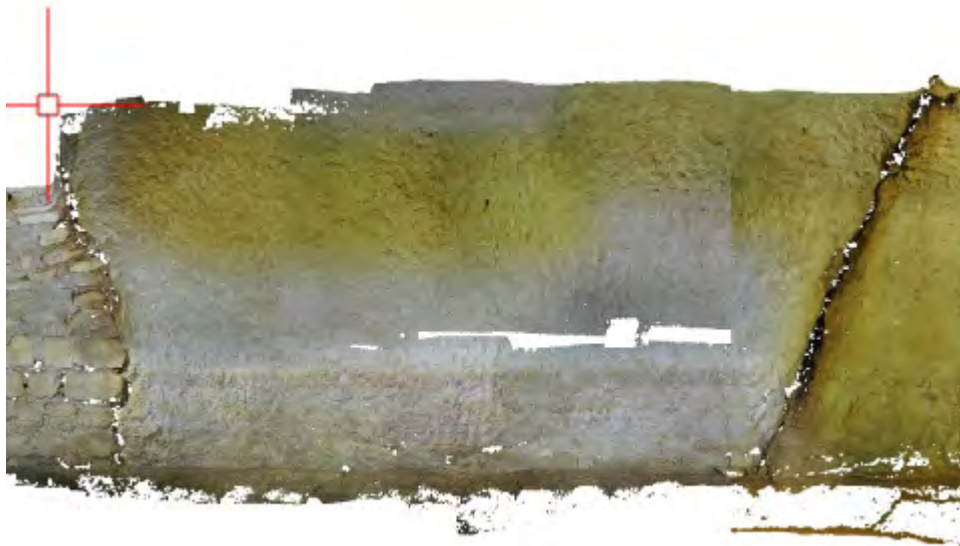


Figure 28 Erreur dans la balance des blancs en raison de deux sources lumineuses aux températures de couleurs différentes. © V. Mialhe (SahCM)

cela, l'ISO a été poussé jusqu'à 800, engendrant par la même occasion du bruit³⁷ qui a dû être nettoyé par la suite en post-fouille. L'ouverture du diaphragme a été réglée sur $f/4$ afin de faire rentrer plus de lumière et réduire la vitesse d'obturation. Le sujet étant relativement plat (les profondeurs se situent sur le plafond et le specus tous les deux en creux, les parois sont planes), la profondeur de champ peut être courte, de moins de 1 m, les zones floues de second plan ont été masquées, notamment lors des prises en rayonnement autour des clés de voûte ou des redans. La valeur de $f/4$ n'apporte pas d'aberration chromatique³⁸. La mission de 2021 a été une période d'essai et de tâtonnements permettant de mettre en place un protocole à partir des échecs de la première année (fig. 29). La photogrammétrie a pour but de faire un relevé exhaustif du monument, il a été nécessaire l'année suivante de rectifier les erreurs de la première année. C'est pour cette raison que le tunnel du Torregrossa a une densité de points moins homogène que celui de Golf. A titre de comparaison, la section de Torregrossa, longue de 62 m, est composée

de 1829 photographies alors que celle du Golf, longue de 41 m, en possède 2432, une différence qui se remarque dans le résultat final.

Les puits ont été couverts à partir de cinq clichés, un au centre et les quatre autres sur les côtés inclinés vers le centre du puits ; une série vers le haut et une autre vers le bas, sauf pour le puits du Golf où l'installation de la nacelle et la végétation ne permettent pas de prendre des photos exploitables du haut pour la photogrammétrie. Ces prises de vues conduisent uniquement à obtenir un profil du puits et elles ne peuvent être exploitées pour une orthographie de l'élévation du puits (fig. 26).

Pour la partie terrestre, le modeler numérique de terrain a été accompli à l'aide de clichés aériens, par un drone ou une perche télescopique, sur plusieurs bandes. Quant au pont, des prises de clichés (1630) en mode stéréo et convergent autour des piles et des intrados ainsi que sur le terrain naturel.

Afin de mettre à l'échelle et de positionner dans l'espace le modèle 3D, des cibles ont été positionnées à différents endroits du monument et pris au tachéomètre afin de leur attribuer des coordonnées géographiques (fig. 30). Ce géoréférencement permet de fusionner les différents projets, notamment pour la partie souterraine qui est composée en plusieurs éléments (voûte, specus, les deux parois et le puits).

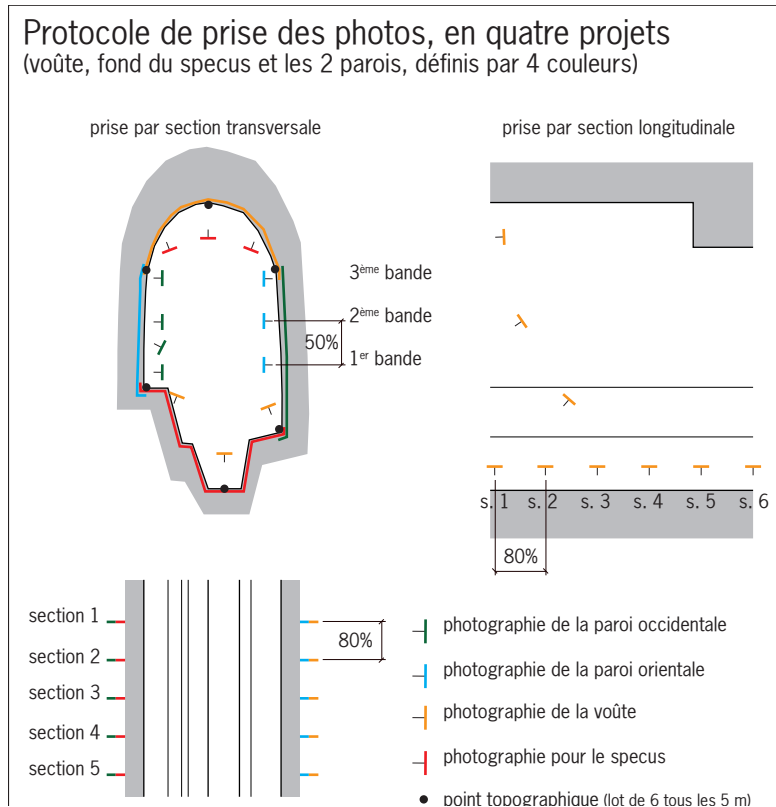


Figure 29 Protocole de prise de photos dans le tunnel pour les levés photogrammétriques. © V. Mialhe (SahCM)

37. Le bruit est un signal parasite qui vient s'ajouter au signal utile. Les causes en sont : irrégularité de la lumière, homogénéité du capteur, chaleur, lecture et quantification du signal, conversion en fichier et compression de l'information. La densité du bruit augmente plus les ISO sont élevés.

38. L'aberration chromatique est une anomalie dans la focalisation des rayons lumineux qui se trouvent déviés différemment selon leur longueur d'onde. L'erreur augmente plus le diaphragme est ouvert.

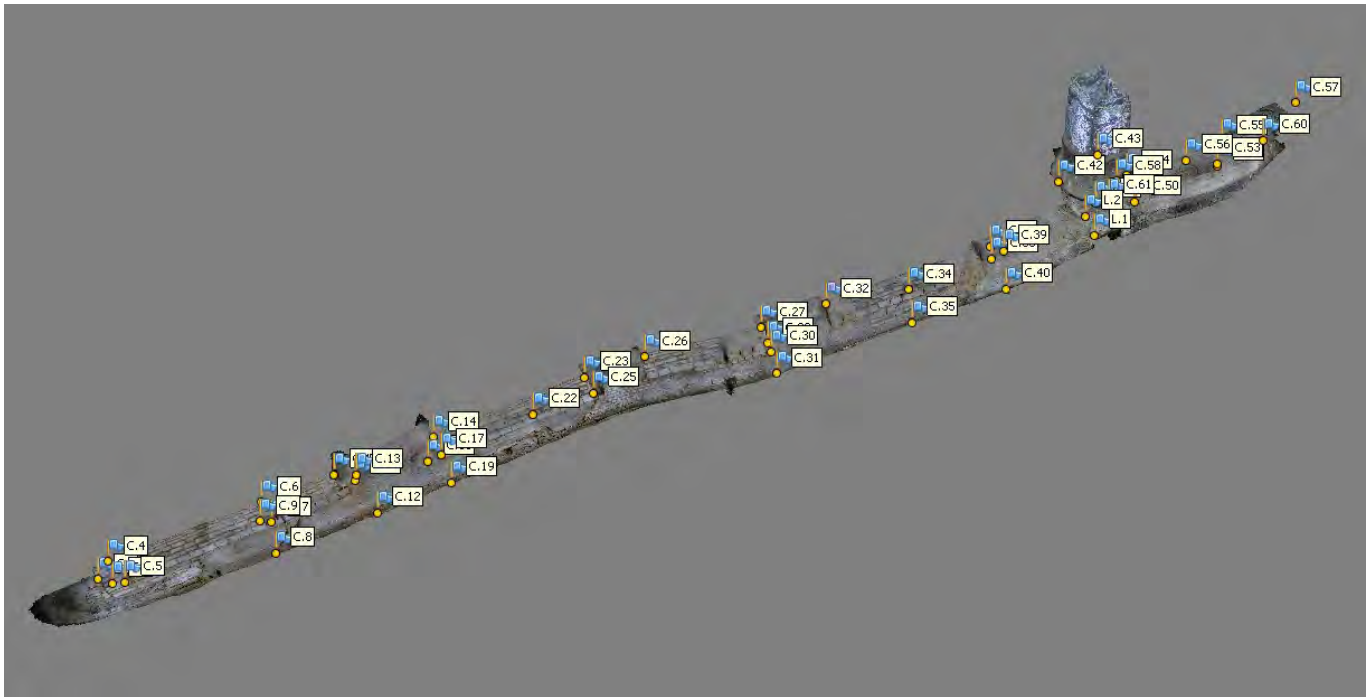


Figure 30 Répartition des cibles géodésiques pour la photogrammétrie, à l'intérieur du conduit du Golf.
© V. Mialhe (SahCM)

Les repères ont aussi une fonction de contrôle pour vérifier l'exactitude du résultat final. Il est donc capital d'avoir suffisamment de points de contrôle pour certifier le résultat final. Le résultat des écarts entre la tachéométrie et la photogrammétrie est présenté en annexe (cf. annexe 3).

Le nombre de repères par ouvrage est de :

- 100 repères pour le tunnel de Torregrossa,
- 46 repères pour le tunnel du Golf,
- 120 repères pour le pont et le relief.

Dans la galerie souterraine, les repères sont placés par lot de quatre ou cinq et, avec ce retour d'expérience, six serait le nombre idéal, sur des sections distantes de quelques mètres. Le positionnement par groupe est le suivant, trois sur la partie haute et idem pour le bas, certains points devant combiner pour deux projets (fig. 29). Cette disposition permet, en cas de manque de photographies, de traiter des lots séparés. Le puits de Torregrossa est composé de deux lots, la partie basse et la partie haute. Chacune des parties à huit repères, dont quatre en commun au milieu du puits. Pour le pont, la répartition est plus aléatoire en fonction des échafaudages pour faciliter la prise des points au tachéomètre.

Le logiciel MetaShape d'Agisoft a été utilisé pour l'alignement des photos (avec un jeu de six photos pour la calibration), le nuage dense de points, le maillage, le texturage et les ortho-images. Le traitement des données tridimensionnelles, notamment les sections, avec le logiciel CloudCompare.

Les modèles peuvent être visualiser sur le site de Sketchfab aux liens suivants :

- Le pont <https://skfb.ly/oKLpC>
- Le tunnel de Torregrossa <https://skfb.ly/oKLoz>
- Le tunnel du Golf <https://skfb.ly/oQCVB>
- La totalité <https://skfb.ly/oKFWI>

2.1.3. La Lasergrammétrie

La lasergrammétrie a été réalisée uniquement dans les parties souterraines à l'aide de trois types d'appareil : deux scanners lasers statiques, l'un, à impulsion (Leica C10) et calé sur un référentiel, l'autre, par auto-alignement (Trimble X7) puis un dynamique (Leica BLK2GO) (fig. 31).

L'utilisation du Leica C10 s'est faite dans le tunnel de Torregrossa avec un cheminement polygonal de plusieurs stations (14) pour relever l'ensemble du conduit, horizontal et vertical. Les autres appareils ont été utilisés lors de l'opération dans le tunnel du golf. Le scanner par auto-alignement, Trimble X7 (fig. 32), a nécessité plus de stations (25) afin de rattacher correctement les stations entre elles à l'aide d'un chevauchement de 40 % minimum (cf. annexe 4).



Figure 31 Scanners lasers utilisés lors des opérations lasergramétriques dans le tunnel, à gauche le Trimble X7, en haut à droite le Leica C10 et en bas à droite le Leica BLK2GO. © V. Miaillhe (SahCM)

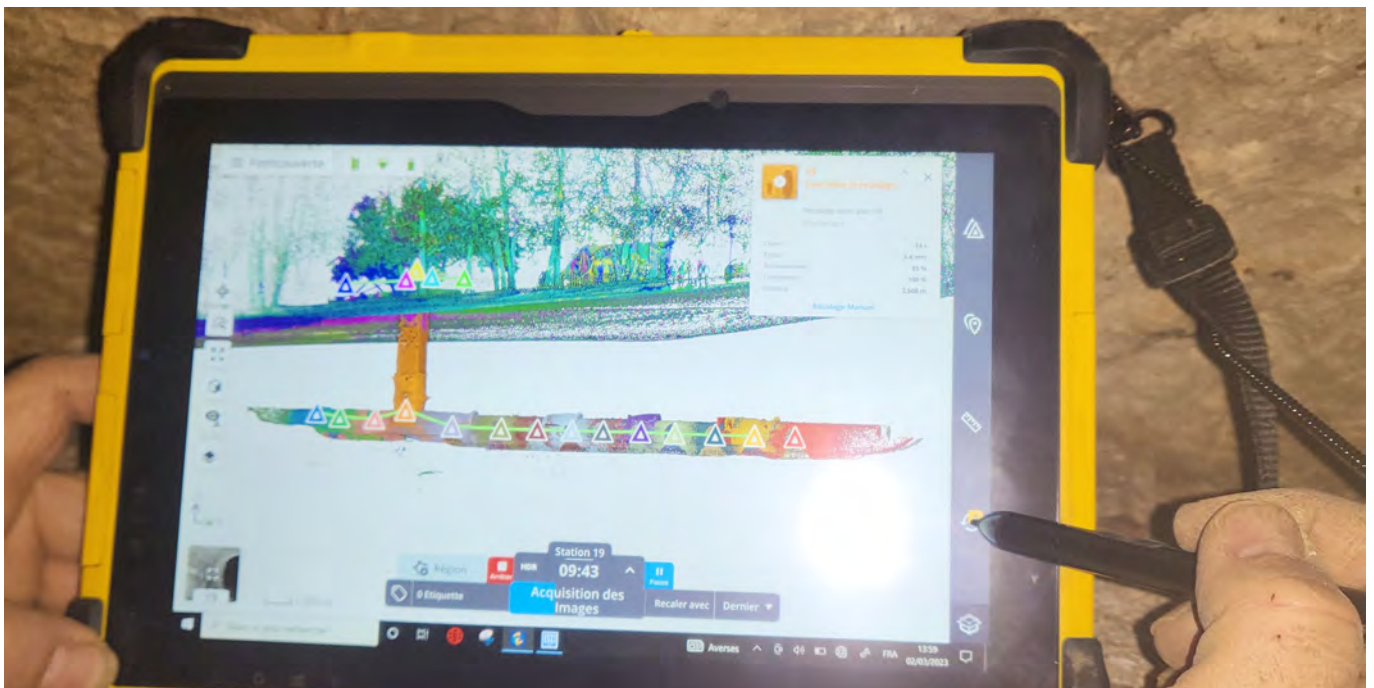


Figure 32 Le positionnement des stations lors de la lasergrammétrie avec le Trimble X7. © V. Miaillhe (SahCM)

2.1.4. Comparaison entre les deux technologies

Des comparaisons ont pu être faites entre les différents modèles 3D issus des deux méthodes³⁹. Tout d'abord, le manque d'éclairage lors des levés lasergrammétriques ne permet pas de générer des orthophotographies de qualité et exploitable pour l'archéologie malgré les caméras hautes résolutions incorporées sur le X7. Certes, une colorisation des points existe mais pas aussi précise que celle de la photogrammétrie. De plus, le fait de ne pas avoir l'appareil de mesure systématiquement en face du sujet contribue à ne pas recueillir correctement la colorimétrie du sujet. Pour cette même raison, la répartition des points n'est pas aussi homogène que la photogrammétrie, le maillage entre points s'étire plus le sujet s'éloigne du scanner 3D. Malgré les chevauchements de 40 %, la correction ne peut se faire et elle s'accroît au niveau de l'emplacement de la station du scanner laser 3D⁴⁰ (fig. 33 et 34) ; la répartition des points n'est donc pas constante.

Sur le plan de la géométrie de l'objet, les comparaisons des modèles ont montré de faible écart entre les deux technologies, de 0,01 à 0,02 m pour les maximums. Ces écarts sont dus au bruit, la photogrammétrie en génère plus, notamment du fait d'une ISO haute (fig. 35).



Figure 33 Comparaison des nuages denses à l'intérieur du tunnel, à gauche la photogrammétrie et à droite la lasergrammétrie. © V. Mialhe (SahCM)

Densification du nuage dense dans le tunnel de la section du Golf

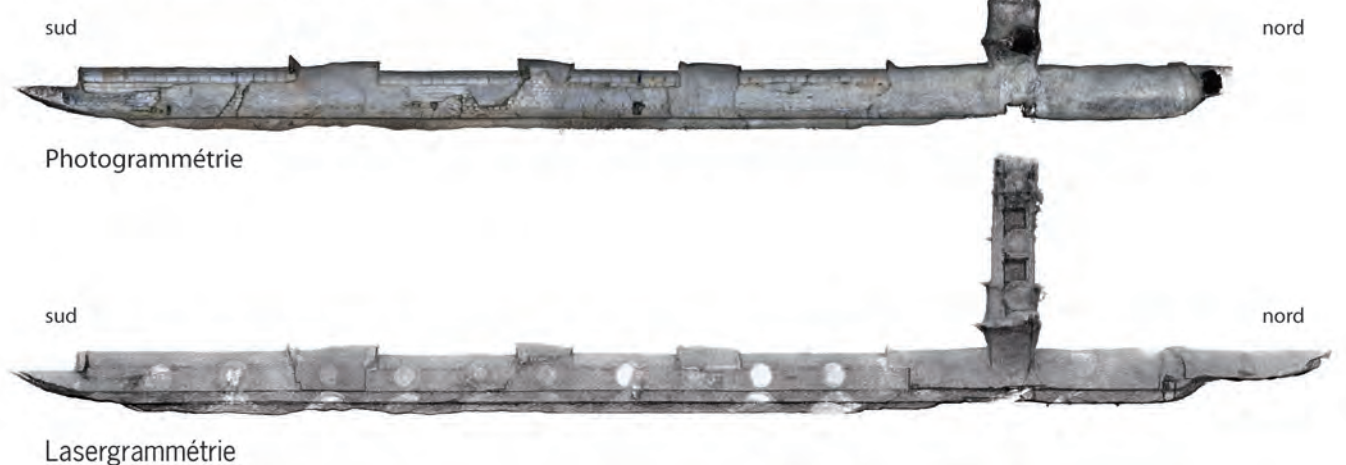


Figure 34 Comparaison des nuages denses, en haut la photogrammétrie et en bas la lasergrammétrie. © V. Mialhe (SahCM)

39. La comparaison se fait avec la galerie du Golf aboutissant, grâce à l'expérience de l'année précédente, à un meilleur résultat final que la section de chez Torregrossa.

40. La prise des points se fait à une distance supérieure à 0,60 m.

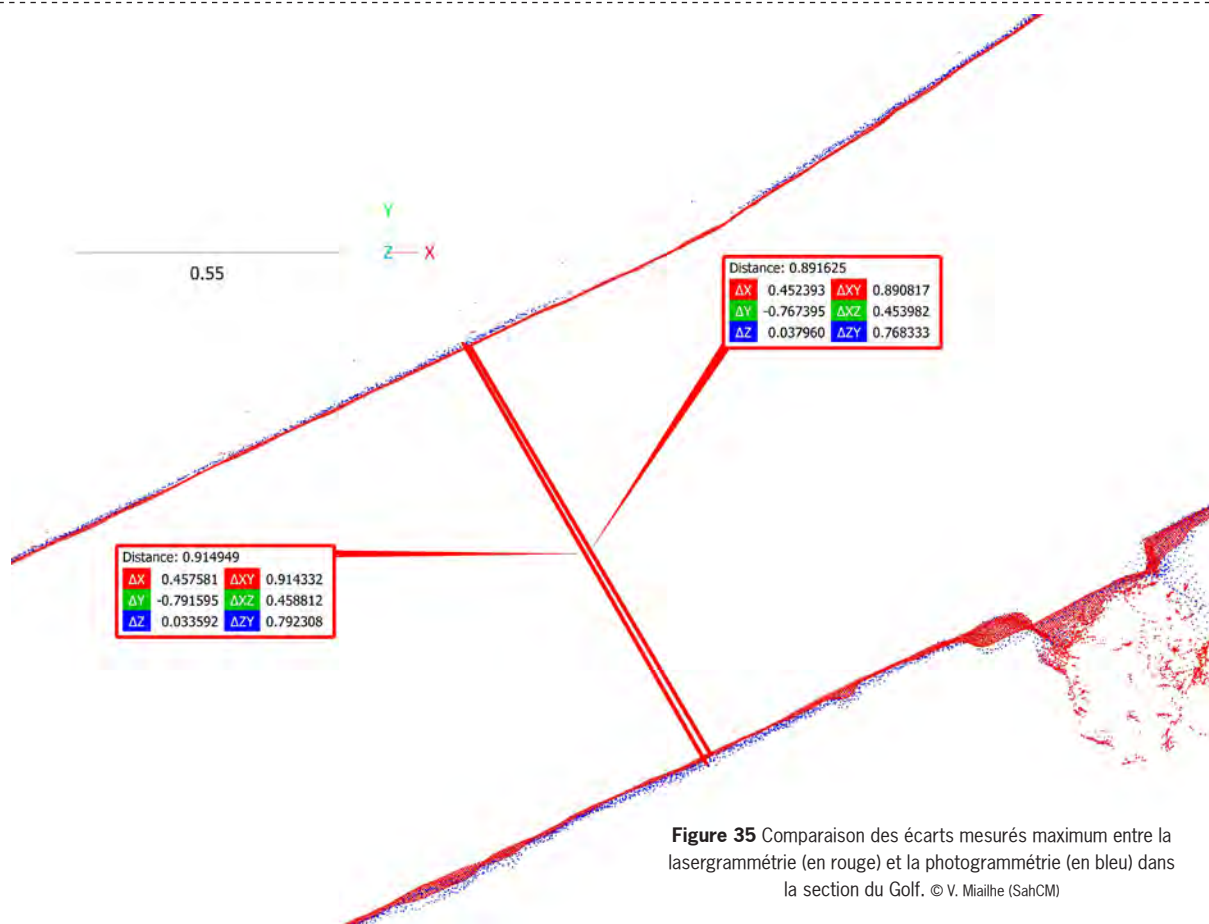


Figure 35 Comparaison des écarts mesurés maximum entre la lasergrammétrie (en rouge) et la photogrammétrie (en bleu) dans la section du Golf. © V. Mialhe (SahCM)

Le test avec le scanner dynamique par auto-alignement, Leica BLK2Go, n'a pas été probant. Des erreurs importantes sur l'axe longitudinal, de 4 m, sont apparues et n'ont pas permis d'utiliser ce modèle (fig. 36). Mais ces erreurs ne se retrouvent pas sur l'axe transversal. Les raisons de cet écart d'ordre métrique peuvent venir d'un passage trop rapide dû à la forme relativement régulière du tunnel, posant des difficultés dans l'alignement automatique des flashes⁴¹.

Le temps d'intervention est difficilement comparable entre les deux technologies, une journée pour la lasergrammétrie avec le scanner laser statique, dix minutes avec le dynamique et trois jours pour la photogrammétrie. Ce temps de travail s'inscrit uniquement pour la phase terrain, les temps de traitement en post-fouille sont encore plus long pour la photogrammétrie, du fait de la création des masques et du temps de calcul dans l'alignement des photographies, dépendant de la puissance de l'ordinateur.

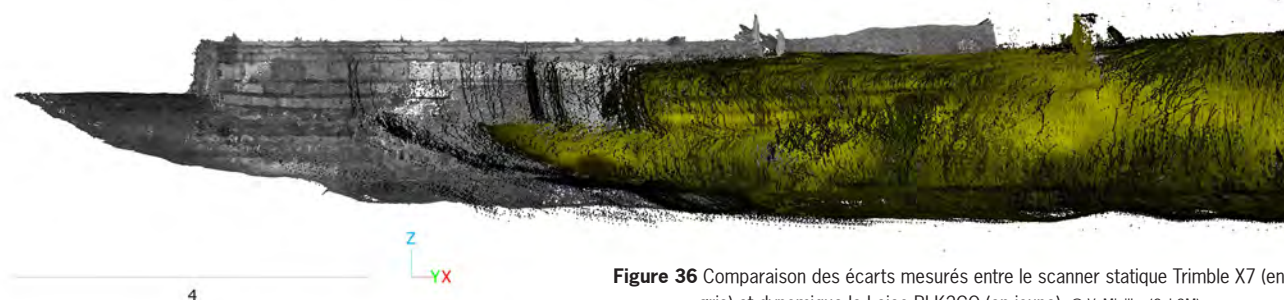


Figure 36 Comparaison des écarts mesurés entre le scanner statique Trimble X7 (en gris) et dynamique le Leica BLK2GO (en jaune). © V. Mialhe (SahCM)

2.2. Enregistrement

Les unités stratigraphiques sont enregistrées dans une base de données, StratiBase 3.4 sous FileMakerPro, et elles sont numérotées selon les secteurs, de 1000 à n pour la section Torregrossa, et, de 2000 à n pour le Golf. Pour chaque US, une description et une relation stratigraphique sont consignées dans la base de données (cf. inventaire US). Un préfixe désigne l'interprétation (US pour une unité architecturale, V pour la voûte, P pour la pile, Pu pour le puits) ou bien par une sémiologie colorisée dans les plans.

Les travaux topographiques ont permis de générer un ensemble de documents pour la phase terrain. Ils se présentent sous la forme d'orthophotographie ou d'ortho-image, en plan ou en élévation, permettant de reporter les unités stratigraphiques lors de l'étude de bâti.

41. Sur les scanners statiques par auto-alignement, le suivi est contrôlé par l'opérateur entre chaque station.

3. L'aqueduc de *Mediolanum*

On parle souvent d'un, de deux voire, de trois aqueducs, dans la nomenclature de cet ouvrage saintais. Mais cette dénomination s'inscrit plus dans une forme de phasage dans le temps plutôt que d'un nombre d'aqueducs, comme on peut le voir avec ceux de Lyon⁴² ou de Poitiers⁴³ qui définissent des tracés directionnels à la recherche de sources. Un aqueduc peut se munir de plusieurs sources comme celui de l'aqueduc de « l'Yseron » à Lyon et définir un tracé tentaculaire pour se capter sur celles-ci, subir des modifications dans le temps par des travaux de maintenance ou de reconstruction, comprenant l'ajout de nouveaux canaux, parallèles aux anciens, et suivant le même relief. Ces observations se retrouvent aussi sur celui de Saintes : quatre sources avec des bifurcations de quelques dizaines de mètres à la « Font-Morillon » et de plusieurs centaines de mètres à Vénérand, différentes phases de construction entre la fin du I^{er} siècle av. J.-C. et le début du I^{er} siècle et de travaux de maintenance, modifiant le tracé du conduit sur la fin de son fonctionnement.

A Saintes, nous pouvons dire qu'il n'y a qu'un aqueduc directionnel muni de quatre adductions et qu'il a été construit en deux étapes avec des phases de maintenances plus ou moins marquées jusqu'au IV^{ème} siècle. La phase I (7,9 km de long)⁴⁴ correspond au captage des sources de la « Font-Morillon » et de « l'Eschalle » sur la commune de Fontcouverte, la phase II aux sources de Vénérand et du Douhet et la phase III à d'importants travaux de maintenance modifiant le tracé du conduit sur sa fin d'exploitation (fig. 37).

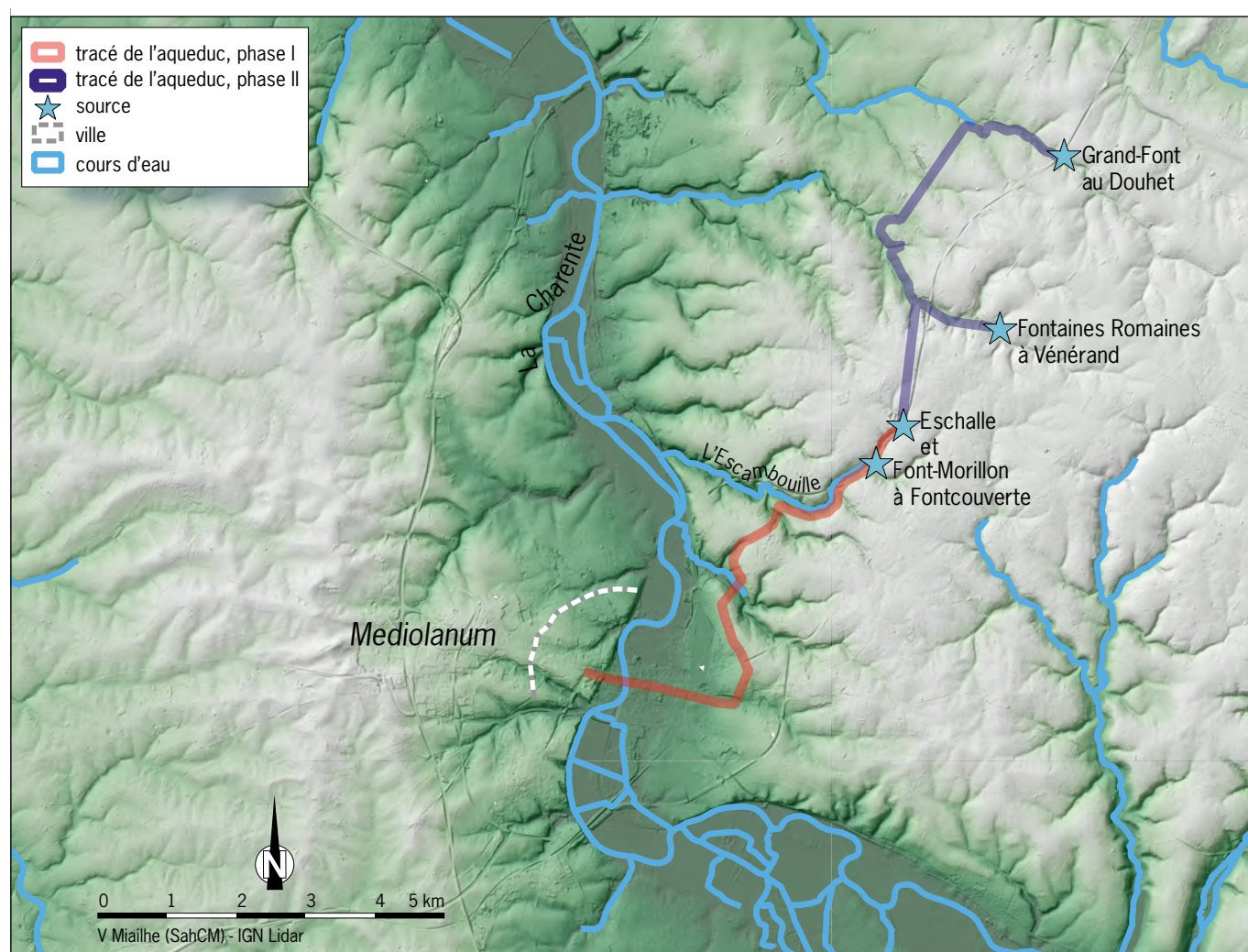


Figure 37 Localisation des quatre sources de l'aqueduc sur le fond Lidar de l'IGN. © V. Mialhe (SahCM)

42. Cinq aqueducs à Lyon : Brévenne, Fontanière, Gier, Mont d'Or et Yseron.

43. Trois aqueducs à Poitiers : Fleury, Basse-Fontaine avec la branche de la Reynière et Cimeau

44. Distance parcouru de l'aqueduc, entre la source de l'Eschalle et le château d'eau. Mais ne pouvant positionner ces deux ouvrages avec précision, la distance indiquée n'est qu'une estimation.



Figure 38 Interprétation du tracé de l'aqueduc en fonction des données cadastrales et du Lidar d'IGN. © V. Mialhe (SahCM)

3.1. Tracé de l'aqueduc

Le parcours général de l'aqueduc de Saintes est de 16,3 km, si on prend en compte l'ensemble des canaux partant des quatre sources jusqu'au château d'eau situé sur le point le plus haut de la rive gauche de la Charente⁴⁵, tout en étant plus bas que le réservoir de chasse situé sur la rive opposée. Mais la cartographie de son tracé comporte certaines incertitudes, seul 45% de son parcours est connu. Cependant, les zones non cartographiées peuvent être perçues à travers une analyse détaillée du relief, du cadastre et du principe de gravité (fig. 38). Une extrapolation cartographique des zones inconnues du tracé est donc possible et les futurs travaux de recherche compléteront les inflexions du tracé. La difficulté dans la connaissance du linéaire réside dans le fait que plus de 90% de l'aqueduc est enterré et les quelques parties aériennes sont pour la plupart détruites et par conséquent, absentes du paysage.

Le parcours de l'aqueduc repose essentiellement sur le principe de la gravité, l'eau coule naturellement jusqu'à Saintes par le biais d'un canal suivant sensiblement les courbes de niveaux du relief. Mais son parcours n'est pas exempt d'embûches. Vallon, vallée, colline et la plaine alluviale de la Charente vont contraindre les ingénieurs romains à construire des ouvrages d'art pour passer outre ces obstacles. La description du tracé est présentée d'amont en aval en partant de la source la plus éloignée jusqu'à Saintes et non par un ordre chronologique (cf. annexe 5 à 11).

La source de la « Grand-Font⁴⁶ » (fig. 39) culmine à 43 m NGF, elle se situe sur la commune du Douhet. On accède à la résurgence par un tunnel taillé sur une trentaine de mètres dans le calcaire turonien. Le conduit se poursuit vers l'ouest en suivant un petit vallon sec jusqu'au château du Douhet, distant d'un kilomètre. Cette section, en tunnel au départ, passe au bout de soixante-dix mètres en tranchée ouverte munie de dalles calcaires en guise de couverture afin de ne pas souiller l'eau du conduit. Au sud du château, l'aqueduc forme un coude pour franchir au plus étroit un paléochenal à l'aide d'un mur-pont long d'une quarantaine de mètres. Puis, il repart en tranchée pour traverser le village du Douhet et se dirige vers le sud-ouest. À partir de « Chez Brisson », le conduit s'écoule sous terre par un tunnel rectiligne d'une longueur d'environ 800 m. Le conduit ressort au lieu-dit « Chez Bonnet » où se situe un paléochenal et le franchit par la construction d'un mur-pont. Il repart une fois de plus en souterrain par le biais d'un tunnel rectiligne de 500 m de long débouchant au sud de « La Foucherie », à 70 m au nord de la RD129 (fig. 40). Cette partie se situant dans une dépression, l'aqueduc passe sur un mur pont. Après cette dépression, il affleure le sol en tranchée sur 800 m pour suivre une courbe de niveau afin de contourner, par l'ouest, une éminence⁴⁷ (fig. 37). La ligne droite aurait obligé les ingénieurs romains à creuser un quatrième tunnel de 350 m.

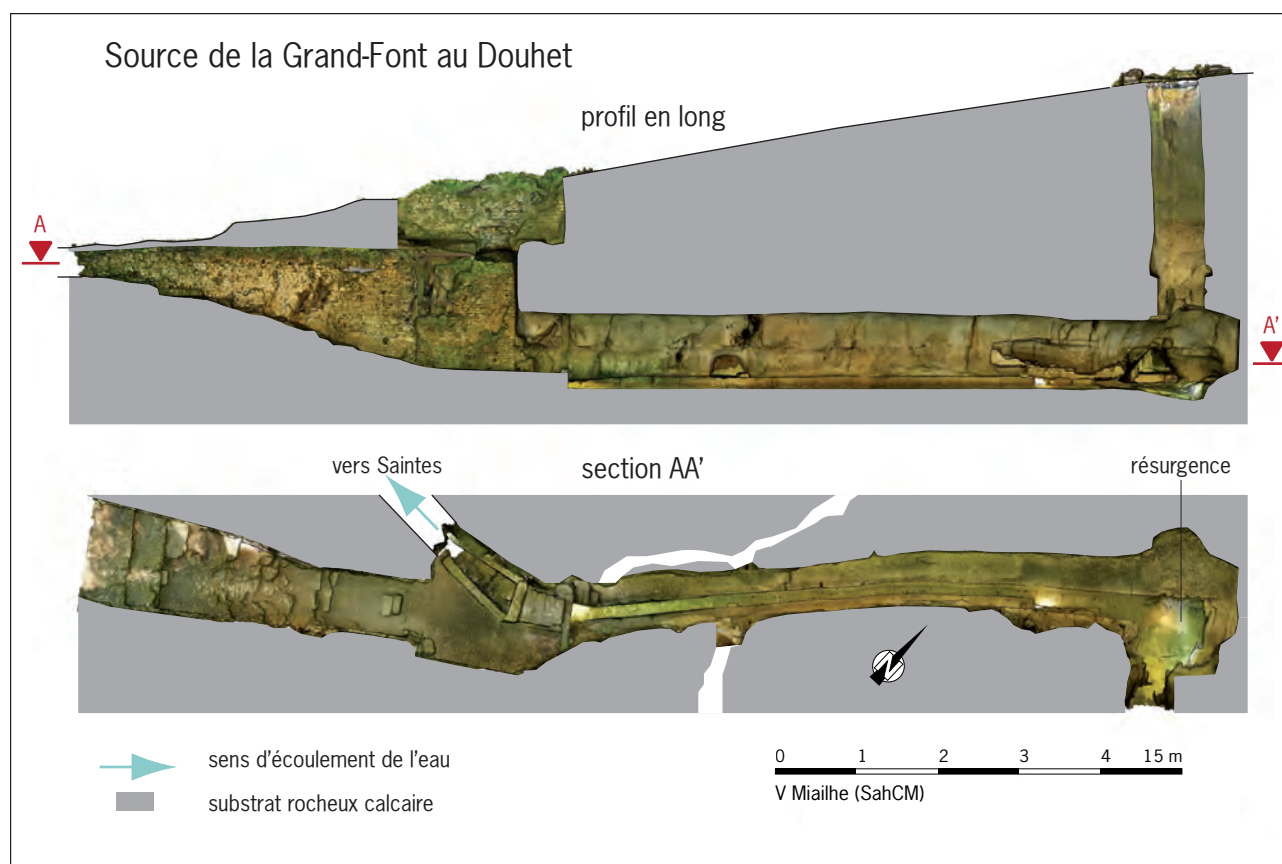


Figure 39 Profil en long et plan de la source de la « Grand-Font » par photogrammétrie. © V. Mialhe (SahCM)

45. La zone la plus haute de Saintes culmine à 38 m d'altitude et se situe au niveau de l'intersection des rues Pallue de la Barrière et du Puits. On situe le château d'eau entre les cours Reverseaux et Maréchal Leclerc et la rue de Pallue de la Barrière (au niveau de l'ancienne banque de France).

46. Lien pour accéder au modèle 3D <https://skfb.ly/oNvny>

47. Son tracé a pu être défini par les levés LiDAR et les limites parcellaires.



Figure 40 Tunnel au lieu-dit « la Foucherie », vue vers le nord.
© J.-L. Hillairet (SahCM)



Figure 41 Source de Vénérand au lieu-dit « Fontaines Romaines » et son lavoir XVIII^e siècle, vue vers le nord-ouest.
© J.-L. Hillairet (SahCM)

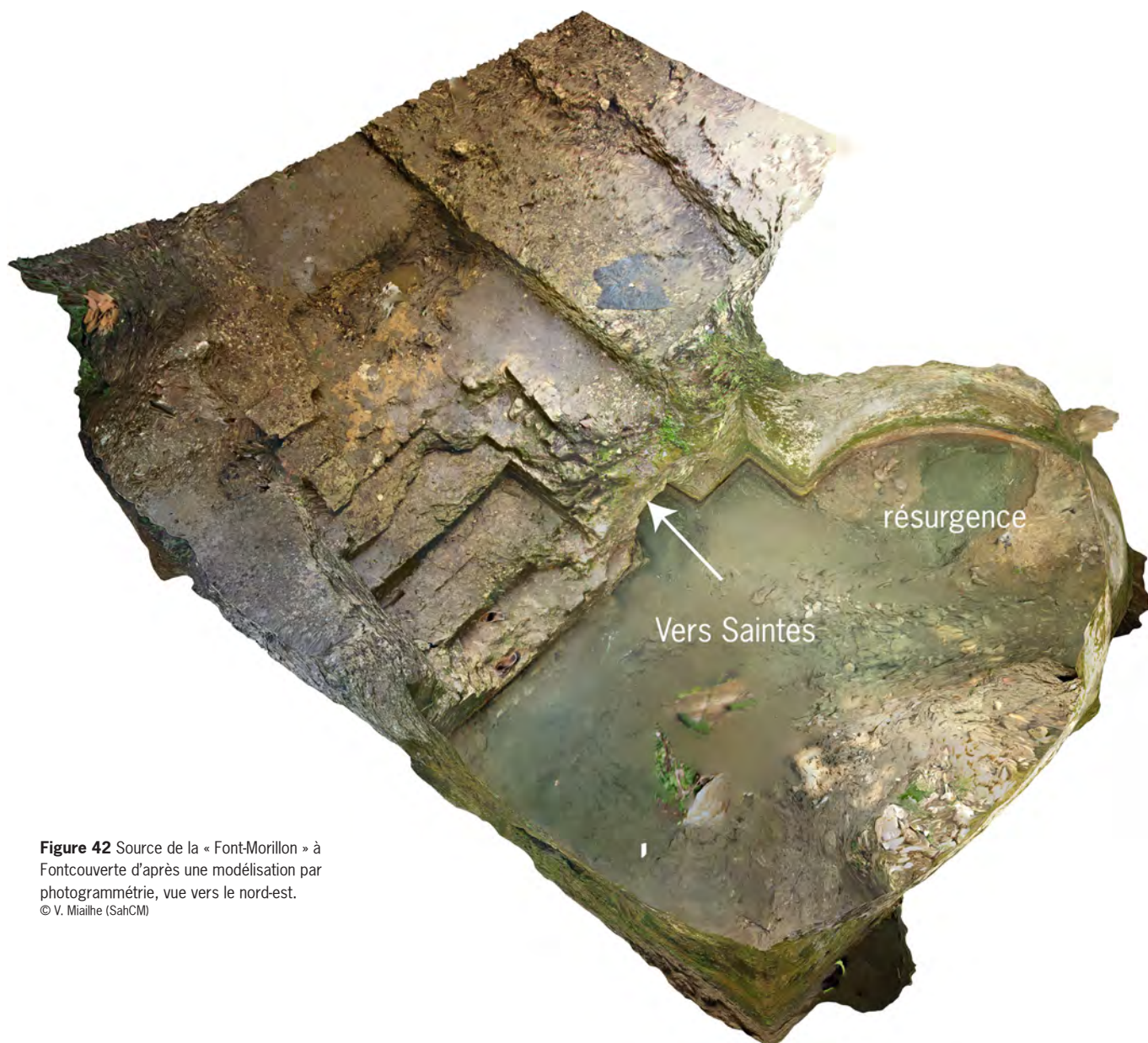


Figure 42 Source de la « Font-Morillon » à Fontcouverte d'après une modélisation par photogrammétrie, vue vers le nord-est.
© V. Mialhe (SahCM)

L'aqueduc poursuit son parcours sur un kilomètre, le long d'une courbe de niveau, en direction du sud-est, pour rejoindre la section venant de la source de Vénérand. Cinquante mètres avant cette convergence, il franchit le vallon sec du « Vallon de la Tonne », grâce à un mur-pont long d'une trentaine de mètres.

La section venant de la source des « Fontaines de Romaines », à Vénérand, parcourt une distance de 1,2 km en tunnel sur le versant sud de la vallée de la Tonne. De son parcours, on ne connaît que son départ (fig. 41), en tunnel, sur quelques mètres et son arrivée, de façon sporadique en tranchée sur une centaine de mètres, grâce à l'ouverture de six sondages⁴⁸, juste avant la jonction avec la section de la « Grand-Font ».

Les canaux du Douhet et de Vénérand fusionnent dans « la Vallée de la Tonne », pour filer vers le sud dans un tunnel rectiligne de près de deux kilomètres de long. Ce tunnel débouche sur la commune de Fontcouverte au lieu-dit la « Font de l'Eschalle », qui correspond au vallon humide de « l'Escambouille ». C'est à partir de ce lieu que débute l'aqueduc de la phase I.

De la source de « l'Eschalle »⁴⁹, on ne sait rien sur sa localisation précise, ni sur sa conception architecturale. Est en cause, la construction à la fin du XIX^e siècle, de la ligne de chemin de fer qui a fortement perturbé le vallon de « l'Escambouille ». Tout ce qu'on peut dire sur cette source, c'est son appartenance à la phase I par sa technique de construction du conduit allant rejoindre la source de la « Font-Morillon⁵⁰ », 300 m au sud. Il est enterré et forme une galerie couverte. La jonction avec la source de la « Font-Morillon » n'existe plus pour les mêmes raisons décrites précédemment.

La source de la « Font-Morillon » est une cavité rocheuse coniacienne à ciel ouvert (fig. 42) ayant le plus faible débit des quatre sources. De cette dernière, un petit conduit maçonné et voûté en plein cintre, d'une dizaine de mètres de long, part vers le sud-ouest pour rejoindre le tracé principal.

A partir de cette jonction, un mur-pont devait permettre à l'aqueduc de franchir un paléochenal venant se greffer au sud de la vallée de « l'Escambouille ». L'aqueduc se poursuit en affleurant le sol tout le long du versant sud de la vallée, et ce, jusqu'au village de Fontcouverte. La traversée du village se fait par un pont, de 4 à 5 arches, dont on peut observer certains éléments dans les maçonneries de quelques maisons, côté pair de la « rue du Viaduc ». A la sortie du village, l'aqueduc reprend son aspect habituel, un canal suivant une courbe de niveau avec un mur-pont au passage du lieu-dit la « Grimauderie », cet ouvrage aussi s'observe dans la maçonnerie d'une ferme. Le canal continue sa route et affleure le sol en suivant le relief sinueux jusqu'au pont des Arcs. Cet ouvrage d'art permet de franchir un vallon sec, « le Vallon des Arcs ». Le pont mesure 149 m de long avec une hauteur d'un peu moins de 20 m et il est composé de vingt-sept arches et 26 piles. Après le passage du vallon, l'aqueduc part sous terre, au « Plantis des Neuf Puits », sur une distance de 500 m et débouche dans un vallon sec du « Bois de la Tonne »⁵¹. C'est à la fin de cette section que devait se trouver l'ouvrage d'art le plus spectaculaire de l'aqueduc de Saintes. Une large vallée barre la route de l'aqueduc et un pont est construit, le pont de « Haumont ». De cet édifice, il ne reste que quatre piles et la culée amont mais nous pouvons estimer ses dimensions, plus de 300 m de long sur 30 m de haut. En 1714, Claude Masse a publié une restitution du pont (fig. 43). La culée aval doit se situer au niveau de la ferme de Chaillot. Le conduit reprend un tracé en suivant une courbe de niveau jusqu'à Saintes au quartier des Cormiers puis à la rue Roger Griffon, à une altitude de 39 m NGF, supérieure au plateau de la ville antique.

Le passage de la vallée de la Charente doit se faire grâce à un siphon, reposant sur le principe des vases communicant, à l'instar des aqueducs de Lyon⁵². Le réservoir de chasse doit se situer après la rue Roger Griffon, au sud de la « rue du Petit Boulogne ». Une fois le vallon franchi, l'aqueduc bifurque vers l'ouest pour suivre parallèlement la *via Agrippa*. Une tour de changement de direction a dû exister pour permettre ce changement brutal de direction. Le fait de longer cet axe routier majeur nous donne une indication de datation de l'aqueduc de la phase I, soit postérieure à la construction de la *via Agrippa* -30/35.

Du réservoir de fuite, en aval de celui de chasse, nous n'avons aucun indice. Entre ces deux réservoirs un ensemble de tuyaux de plomb acheminait l'eau d'une rive à l'autre. Une section de la tuyauterie plombifère a pu être observée en 1641 lors de la construction du couvent de Sainte-Claire⁵³, aujourd'hui la prison de Saintes.



Figure 43 Restitution du pont de Haumont d'après Claude Masse, en 1714.

© Vincennes

48. Hillairet J.-L. 2013 - Synthèse – *Les aqueducs de Saintes - Vallon de la Tonne*, SahCM.

49. La source n'ayant pas été localisée avec précision, on peut la situer sur deux lieux-dits « la Font de l'Eschalle » ou « des Pendants ».

50. Lien pour accéder au modèle 3D <https://skfb.ly/pGVsW>

51. Cette section souterraine est appelée le tunnel du « Plantis des Neuf Puits », c'est sa partie amont qui est le sujet de l'étude.

52. Borlenghia A., Coquide C. et al., *Les aqueducs romains de Lyon et d'ailleurs : nouveaux repères*. GALIA, archéologie des gaules, t. 80.1, 2023, 480 p.

53. Briand J. – Histoire de l'église santone et aunisienne, depuis son origine jusqu'à nos jours, t.2, 1843, p. 295-296. Citation Charles Dangibeau : « On creusa, pour les fondements du monastère jusqu'à une profondeur de 15 pieds, on jugea qu'il fallait descendre plus bas pour trouver la terre ferme, soit 17 pieds (5, 60 m de profondeur). On découvrit alors des canaux de plomb d'une prodigieuse grosseur dans l'étendu de 60 pieds (environ 20 m). Ces canaux se prolongeaient beaucoup plus loin sous les maisons du faubourg. »

3.2. Les ouvrages

Lors de la présentation du tracé de l'aqueduc nous avons pu énumérer un certain nombre d'ouvrages d'arts, notamment les plus importants voire les plus imposants, tels que les ponts, les tunnels, le siphon, les murs ponts et les canaux. Mais cette énumération reste incomplète. D'autres ouvrages d'art jalonnent le tracé, en voici une liste mais non exhaustive.

3.2.1. Les sources

Elles sont au nombre de quatre. Les deux situées sur la commune de Fontcouverte (« Font-Morillon » et « l'Eschalle ») appartiennent à la Phase I et les deux autres (« Grand-Font » et « Fontaines Romaines ») à la phase II. Les études sont nombreuses à l'exception de la source de « l'Eschalle », non repérée et probablement détruite par la ligne de chemin de fer.

3.2.2. Les canaux

L'écoulement des eaux se fait par un canal et sa technique de construction diffère selon la phase de construction (fig. 44). Pour la phase I, il s'agit d'une maçonnerie constituée de deux piédroits maçonnés en moellons liés par un mortier, d'une largeur d'environ 0,40 m sur 1,40 m de haut, et posés sur une semelle de fondation maçonnée. On l'observe à la sortie de la

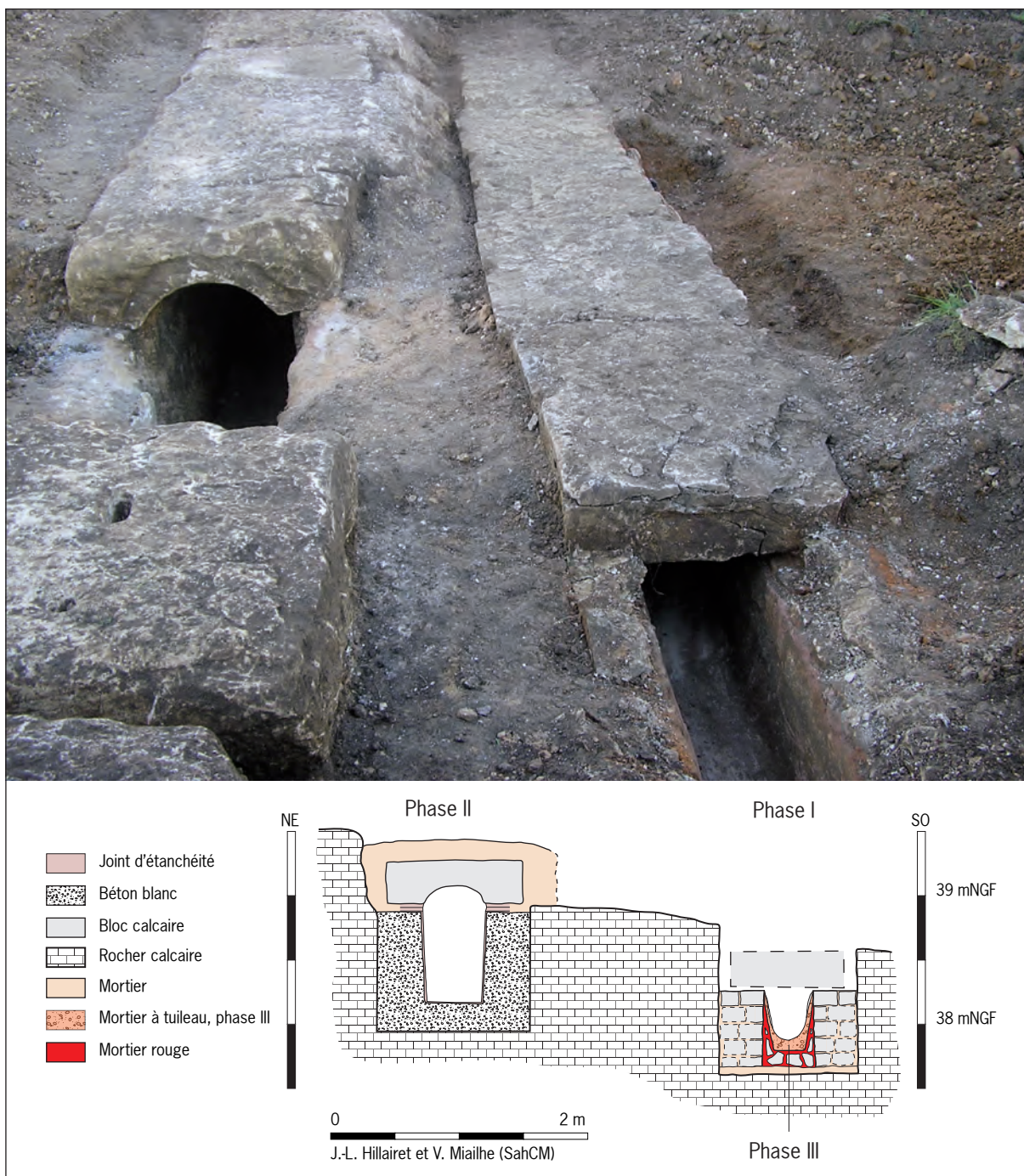


Figure 44 Coupes des deux canaux maçonnés, la phase II à gauche et la phase I à droite, situés à la « Grimauderie ». © J.-L. Hillairet et V. Mailhe (SahCM)

source de la Font-Morillon. Sur le reste du tracé, le canal a subi des reprises, sans doute lors de travaux de maintenance que l'on attribue pour les plus importantes à la phase III. La largeur moyenne du conduit est de 0,65 m et il est enduit pour assurer l'étanchéité. La couverture du *specus* est une voûte en plein cintre, sur cette section portant la hauteur du canal à 1,75 m.

Le canal de la phase II, lui, est réalisé en béton de chaux moulé à l'aide d'un coffrage en bois dans une tranchée large de 1,20 m. Le profil est légèrement évasé, 0,35 m au fond et 0,38 en haut, et enduit d'un mortier hydraulique sur quelques millimètres d'épaisseur. L'ensemble est couvert par des dalles calcaires de 0,33 m d'épaisseur, dont la face interne est creusée



Figure 45 Dernier état du conduit, pouvant être attribué à la phase III, « chez Gauron ». © J.-L. Hillairet (SahCM)

longitudinalement, en forme de voûte, sur 0,14 m de profondeur ; la hauteur totale du canal est de 0,80 m. Le tout est scellé par une couche de mortier pour éviter de souiller l'eau du canal. A cette même phase, le canal peut être constitué de blocs monolithes en calcaire avec un profil en U. On retrouve ces éléments notamment aux sources du Douhet et de Vénérand, à proximité de bassins de décantation, comme au Vallon de la Tonne et probablement sur les ponts. Les blocs, dont le module moyen est de 1,50 m de long sur 0,80 m de large, sont appareillés par un béton coulé dans deux gorges, à chaque extrémité des blocs. Ces gorges jouent le rôle d'une queue d'aronde et le béton versé à l'intérieur assure en plus l'étanchéité du canal.

La phase III correspond au dernier état de maintenance de l'aqueduc (fig. 45).

3.2.3. Les ponts

C'est lors de la phase I que l'ensemble des ponts a été construit, on ne retrouve pas de tels ouvrages sur le tracé de la phase II car le relief ne l'exige pas. Sauf pour le siphon où les avis divergent sur la construction, ou non, d'un deuxième siphon lors de cette même phase. On dénombre au moins quatre ponts : dans le bourg de Fontcouverte, « le vallon des Arcs », « le vallon de Hautmont » et, sur la commune de Saintes, « le vallon de la Berling », pour le siphon.

3.2.4. Les murs ponts

Contrairement au pont composé d'une série d'arcades, le mur-pont est une maçonnerie pleine avec une seule arche située au niveau du talweg permettant aux eaux naturelles de s'écouler dans le vallon sans faire barrage. La dimension de cette arche peut varier selon les ouvrages ; pour l'aqueduc de Saintes, aucun vestige de ce type n'a été fouillé. On peut estimer à neuf le nombre de ces ouvrages.

3.2.5. Les puits

Les puits sont les éléments clés dans la construction des tunnels et par la suite dans la maintenance du réseau souterrain. Présent aussi bien dans les phases I et II, ces constructions, de section circulaire ou quadrangulaire, s'échelonnent à chaque distance d'un *actus*, soit 35,3 m. Dans la réalité, cet espacement varie entre 32 et 35 m, et peut se réduire à un demi-actus comme c'est le cas au lieu-dit La Foucherie, sur la commune du Douhet. Leur hauteur varie aussi selon le profil du terrain ; le plus profond est de 15 m. Les puits sont généralement maçonnés sur les parties hautes et, quand le substrat rocheux est de qualité, leur creusement dans la roche. On dénombre une centaine de puits.

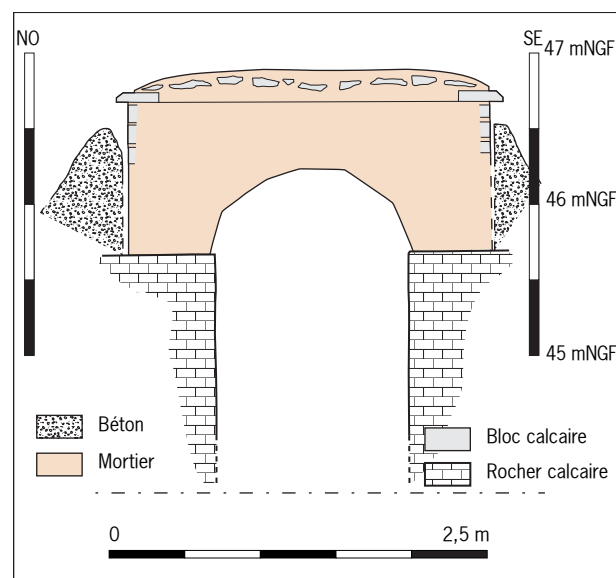


Figure 46 Coupe de la galerie des « Fontaines ». © J.-L. Hillairet et V. Mialhe (SahCM)

3.2.6. Les tunnels

Par le biais des puits verticaux, les tunneliers creusent entre deux puits un tunnel horizontal. Les parois montrant de l'instabilité, roche friable ou diacase d'argile, sont purgées et remplacées par une maçonnerie et une voûte en plein cintre. Six tunnels jalonnent le parcours de l'aqueduc. Le tunnel du Plantis des Neufs Puits correspond à la phase I tandis que les autres appartiennent à la phase II.

3.2.7. Les galeries souterraines

Entre la tranchée couverte et le tunnel, la galerie souterraine se distingue par un conduit creusé profondément, muni de piédroits maçonnés et d'un toit voûté pouvant être couvert par un chaperon sur l'extrados (fig. 46). Ce type d'ouvrage est le plus souvent placé à l'entrée et à la sortie des tunnels ou bien, dans le fond de vallon comme à l'Eschalle (fig. 12).

3.2.8. Le siphon

Un siphon est sur le tracé, sa présence est indispensable pour le franchissement de la vallée de la Charente. Il est construit probablement dès la phase I et, peut-être, un second à la phase II. De cet ouvrage, nous avons très peu d'informations mais la topographie de la rive droite situe le réservoir de chasse au sud de la rue du Petit Boulogne. Les seules traces observées, pouvant se référer à cet ouvrage, ont été repérées rue de Raymond Tillaud, lors d'un diagnostic du service archéologique du Conseil Général de la Charente-Maritime⁵⁴. Elles se matérialisent par un alignement de quatre maçonneries quadrangulaires pouvant être attribuées au pont avant le château de chasse.

3.2.9. Les bassins de décantation

A la sortie des sources ou à la jonction de deux conduits, il n'est pas rare de rencontrer un bassin. Les fonctions des bassins sont multiples : vocation liturgique, procédé de décantation, régulateur du débit ou bien surélever un niveau d'écoulement situé trop bas par le principe de venturi comme cela a pu être observé au Vallon de la Tonne⁵⁵ (fig. 47).

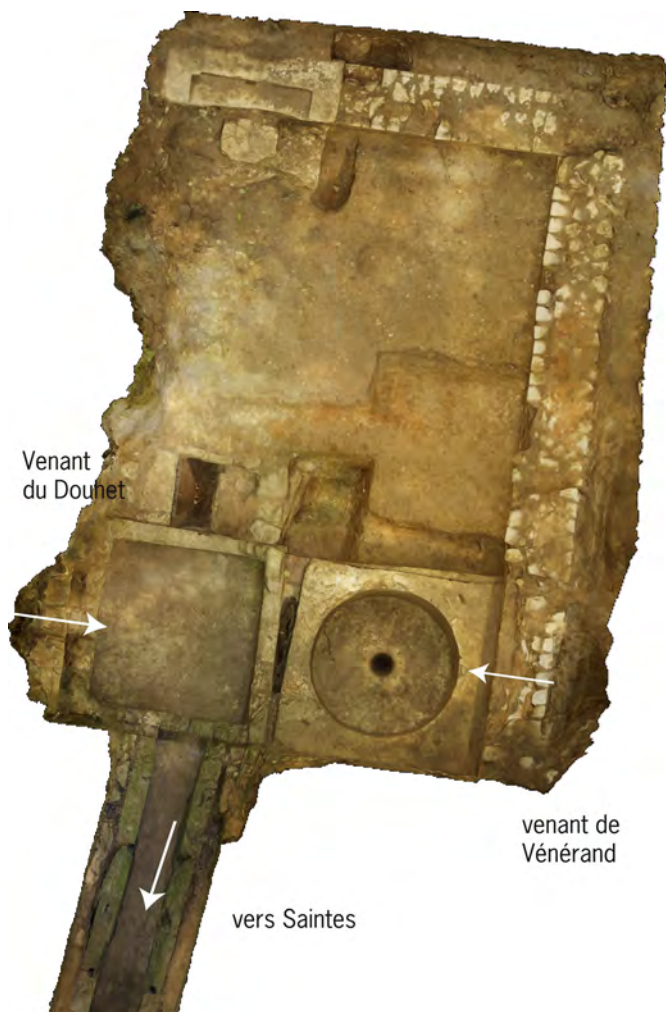


Figure 47 Bassin de décantation au « Vallon de la Tonne », jonction des canaux provenant de la source du Douhet et de Vénérand à l'entrée du tunnel, orthophotographie issue d'une photogrammétrie.
© V. Miaïhe (SahCM)

3.2.10. La gestion du trop plein

Pour répondre à cette question, il n'est pas rare de voir des déversoirs le long du canal. Ils se matérialisent par des canaux maçonnés fermés par une vanne murale à guillotine, la pelle pouvant être en bois. Ces canaux se situent systématiquement à l'entrée d'un pont, d'un mur pont ou sur un simple tracé linéaire. Les vannes murales peuvent se situer aussi dans le conduit principal et bloquer l'eau lors de travaux de maintenance.

3.2.11. Le château d'eau

Afin de desservir les quartiers de la cité en eau, il est indispensable d'avoir un château d'eau (*castellum aquae*). Celui-ci doit se positionner sur le point haut de la rive gauche mais à une altitude plus basse que le réservoir de chasse du siphon.

54. Gissenger B. 2010 - *Vallum de la Berlingue*, rapport de diagnostic archéologique, 2010, CG17.

55. Hillairet J.-L. 2013 - Synthèse – *Les aqueducs de Saintes*, SahCM.

4. Description de la section étudiée

La présente étude située sur la commune de Fontcouverte, à trois kilomètres de la ville de Saintes, porte sur le passage d'un vallon sec, suivi d'une butte (fig. 2 et annexe 9).

4.1. Localisation

La ligne de talweg du vallon, appelé «vallon des Arcs», suit une direction nord/ouest-sud/est et elle se greffe sur la «vallée de l'Escambouille», plus au nord. Le vallon creuse un terrain sédimentaire coniacien avec des pentes douces sur le versant sud et plus abruptes sur le versant nord (pente moyenne des versants de 10% et de 30%). La largeur du vallon sur le passage de l'aqueduc est de 200 m, pour une élévation d'une vingtaine de mètres. A la suite de cet obstacle naturel, le terrain présente une butte culminant à 55 m NGF ; le conduit de l'aqueduc se situe à une altitude d'environ 38 m NGF. Deux possibilités s'offraient aux ingénieurs romains : suivre les courbes de niveau en contournant l'éminence par le nord-ouest sur 2,1 km ou bien, creuser un tunnel de 500 m de long en ligne droite pour rejoindre « le Bois de la Tonne » (annexe 9). Le choix s'est porté sur la réalisation d'un tunnel appelé « Plantis des Neuf Puits ».

Cette section s'attache aux deux phases de construction et c'est en cela qu'elle est particulière. Les ouvrages d'art ont été construits lors de la première phase de l'aqueduc, soit à l'époque augustéenne, avant l'ère chrétienne ; mais avec le captage de deux sources supplémentaires des modifications du conduit ont dû être opérées pour s'adapter au nouveau débit. Identifier et caractériser ces phases de constructions est l'objectif de cette phase d'étude sur le bâti.

4.2. Les ouvrages

En amont du pont, l'aqueduc est construit en tranchée ouverte en suivant une courbe de niveau depuis le lieu-dit de la Grimauderie. En 2007, une étude a été menée par la SahCM⁵⁶ sur la jonction du canal avec la culée amont du pont. Cette étude montre des modifications du conduit pour se conformer au nouveau débit avant d'atteindre la culée du pont (fig. 48). Du pont, il ne reste que six piles⁵⁷ et les deux culées. Le canal est visible uniquement sur les piles P2 et P3. Entre la culée aval et la partie souterraine, il ne reste rien de l'aqueduc. La création d'un sentier pédestre pour le golf a entièrement détruit l'ouvrage sur une cinquantaine de mètres. C'est justement dans cette partie que s'opère un changement de direction de l'aqueduc, pont et tunnel n'étant pas alignés. On observe l'aqueduc dans sa partie souterraine par un long tunnel de 500 m disposant de 13 puits⁵⁸, dont certains atteignent plus de 15 m de haut. La section étudiée ne comprend pas l'ensemble du tunnel, mais seulement les cent cinquante premiers mètres amont ainsi que le pont dans sa totalité. À la sortie du tunnel, au bois de la Tonne, il repart en tranchée ouverte en suivant une courbe de niveau jusqu'au pont de Haumont.



Figure 48 Le canal avant le pont des Arcs, vue vers le sud.
© J.-L. Hillairet (SahCM)

4.2.1. La partie aérienne

Depuis le XV^e siècle, un grand nombre de levés topographiques ont été réalisés sur cet ouvrage et cela s'explique du fait que c'est un des rares éléments de l'aqueduc bien visible dans le paysage, malgré 87% de destruction. La documentation iconographique ne manque pas, la dernière date de 2010⁵⁹. Son état sanitaire n'a pas trop évolué depuis trois siècles ; une restauration du pont a été réalisée dans les années 80. En revanche, les dimensions de l'ouvrage montrent des différences de quelques mètres sur sa longueur entre les plans de C. Masse (1714), F.-F. de La Sauvagère (1770), de J. Triou (1832), l'Abbé Gaurier (1904) et de V. Miallilhe (2010 et 2020) (fig. 49 à 53).

56. Hillairet 2008 - *Synthèse des travaux archéologiques, sur les aqueducs de Saintes 2003 – 2007*, SahCM

57. Les piles sont numérotées par extrapolation de 1 à n, en partant de la partie amont.

58. Les puits sont numérotés de 1 à n, en partant de la partie amont.

59. Miallilhe 2010 – *Levé topographique au Vallon des Arcs*, Fontcouverte (17), SahCM.

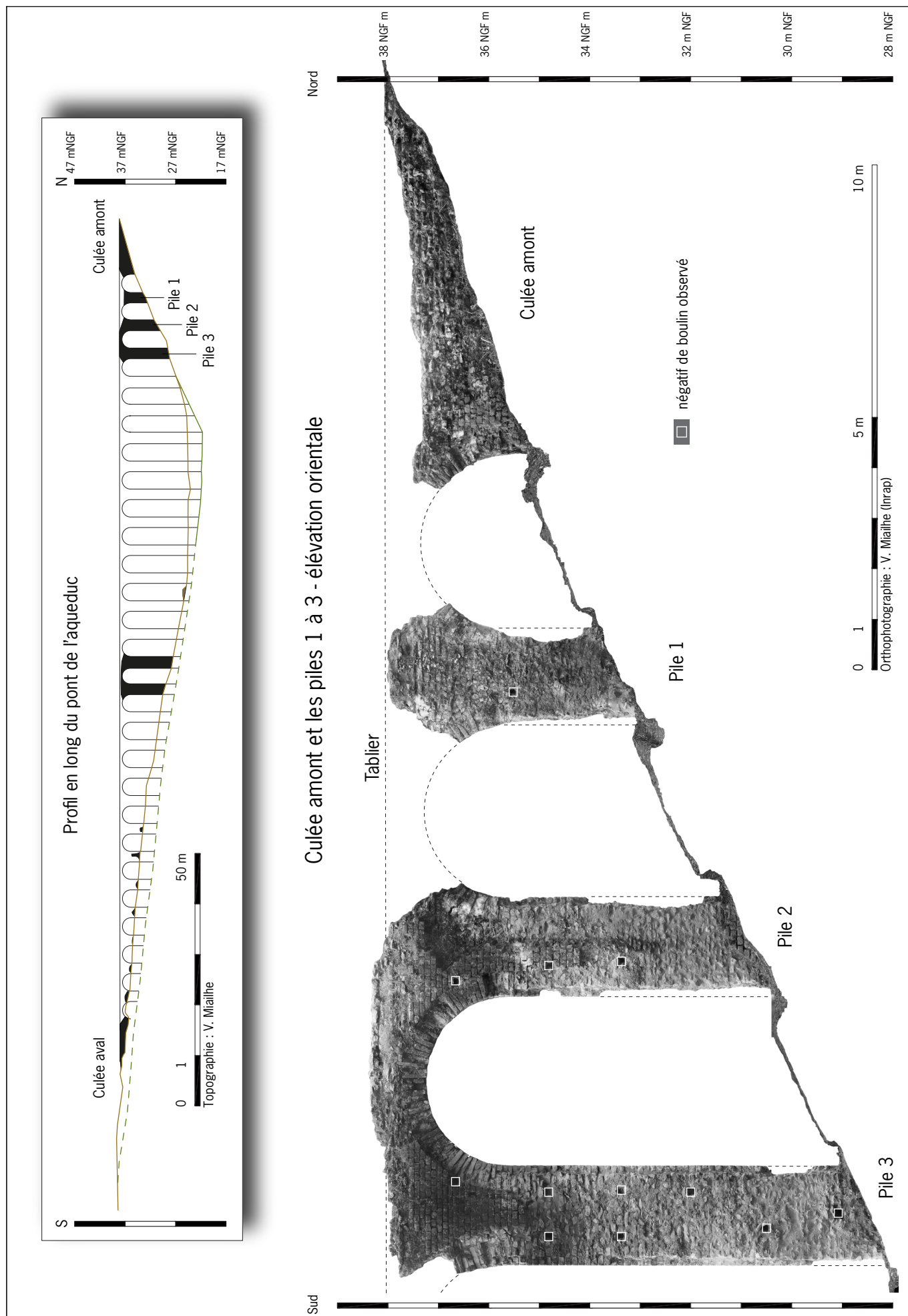


Figure 49 Élévation orientale de la culée amont et des piles 1 à 3, par orthophotographie. © V. Mialthe (SahCM)

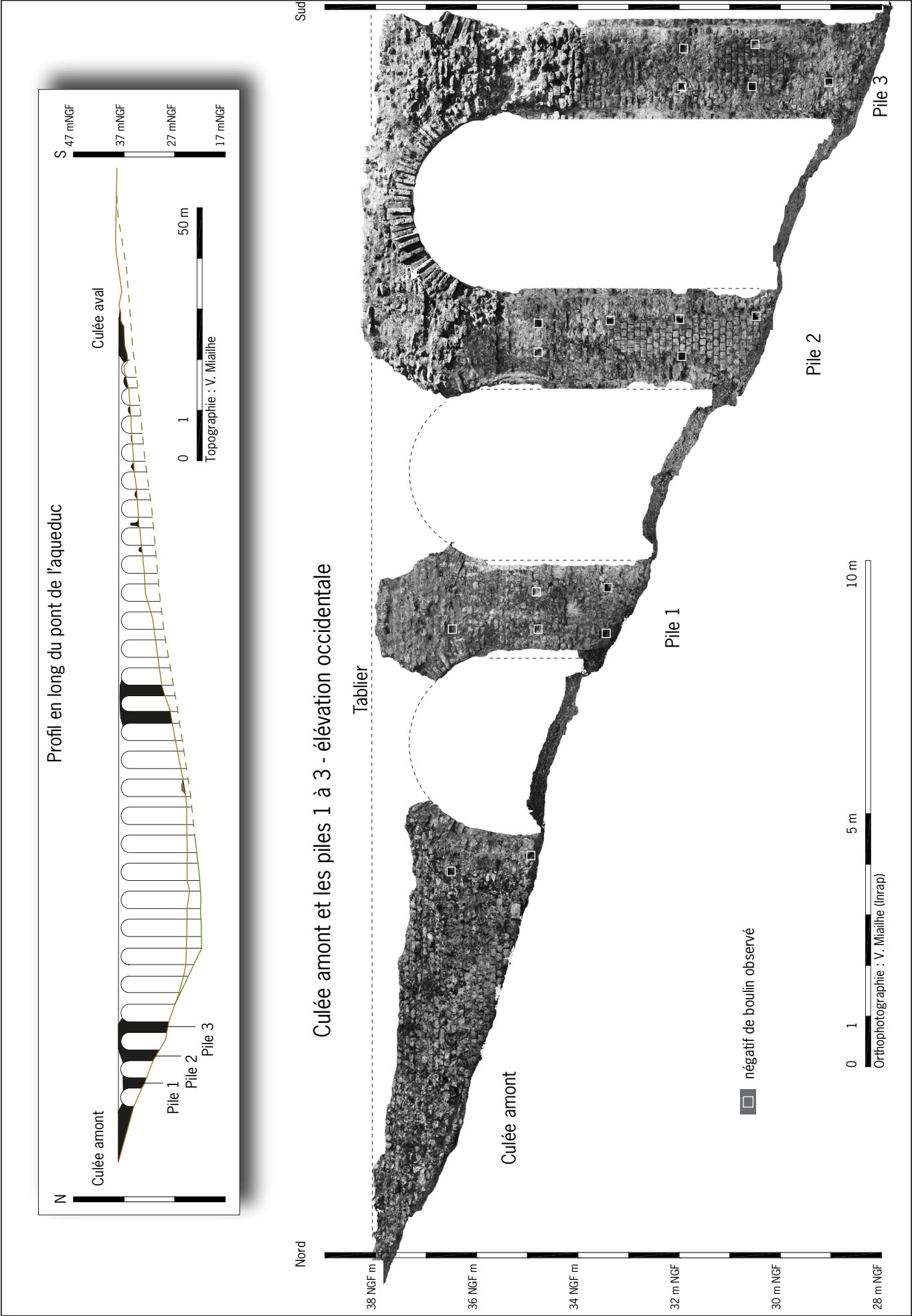


Figure 50 Élévation occidentale de la culée amont et des piles 1 à 3, par orthophotographie. © V. Mialhe (SahCM)

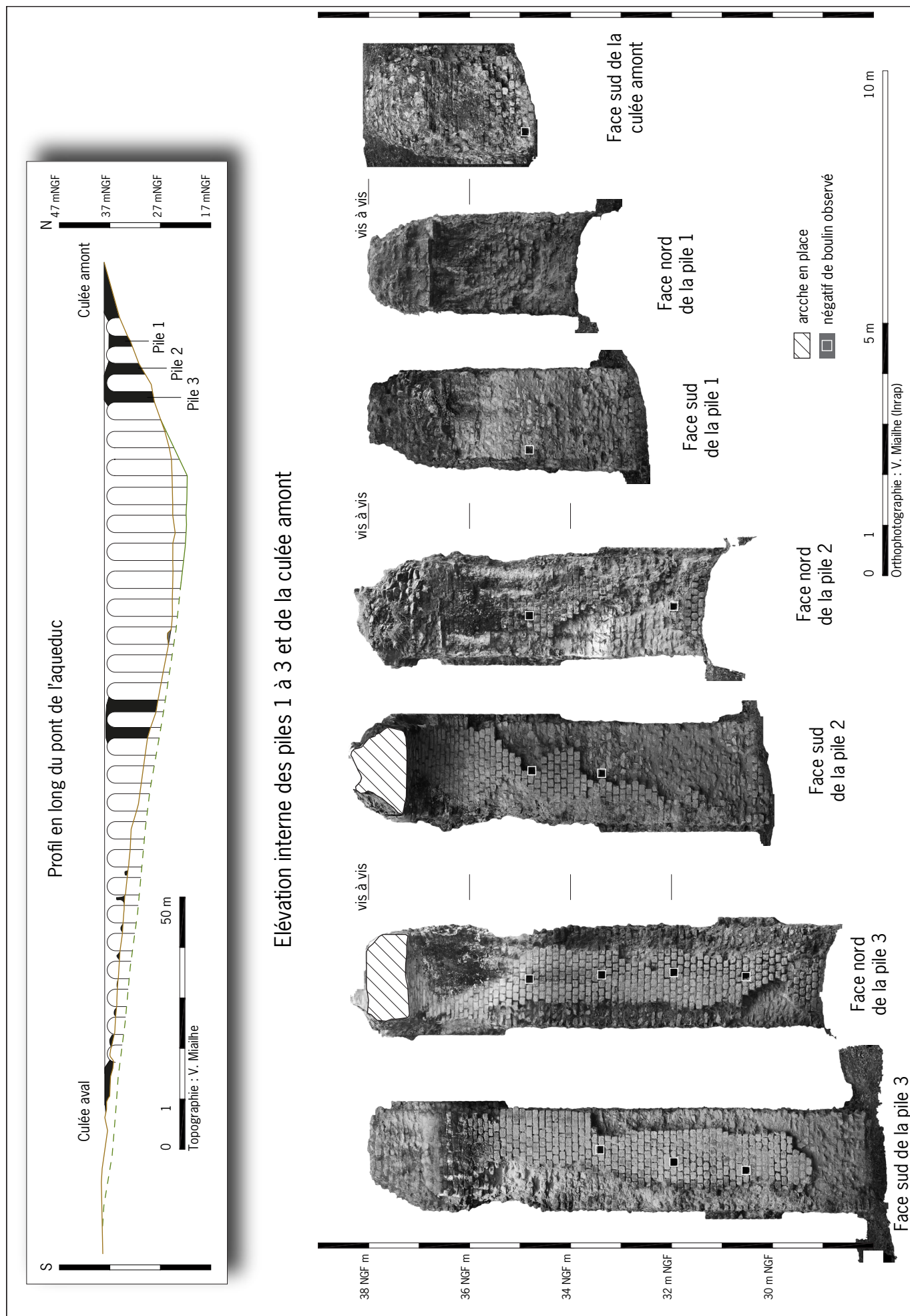


Figure 51 Élévation interne de la culée amont et des piles 1 à 3, par orthophotographie. © V. Mialhe (SahCM)

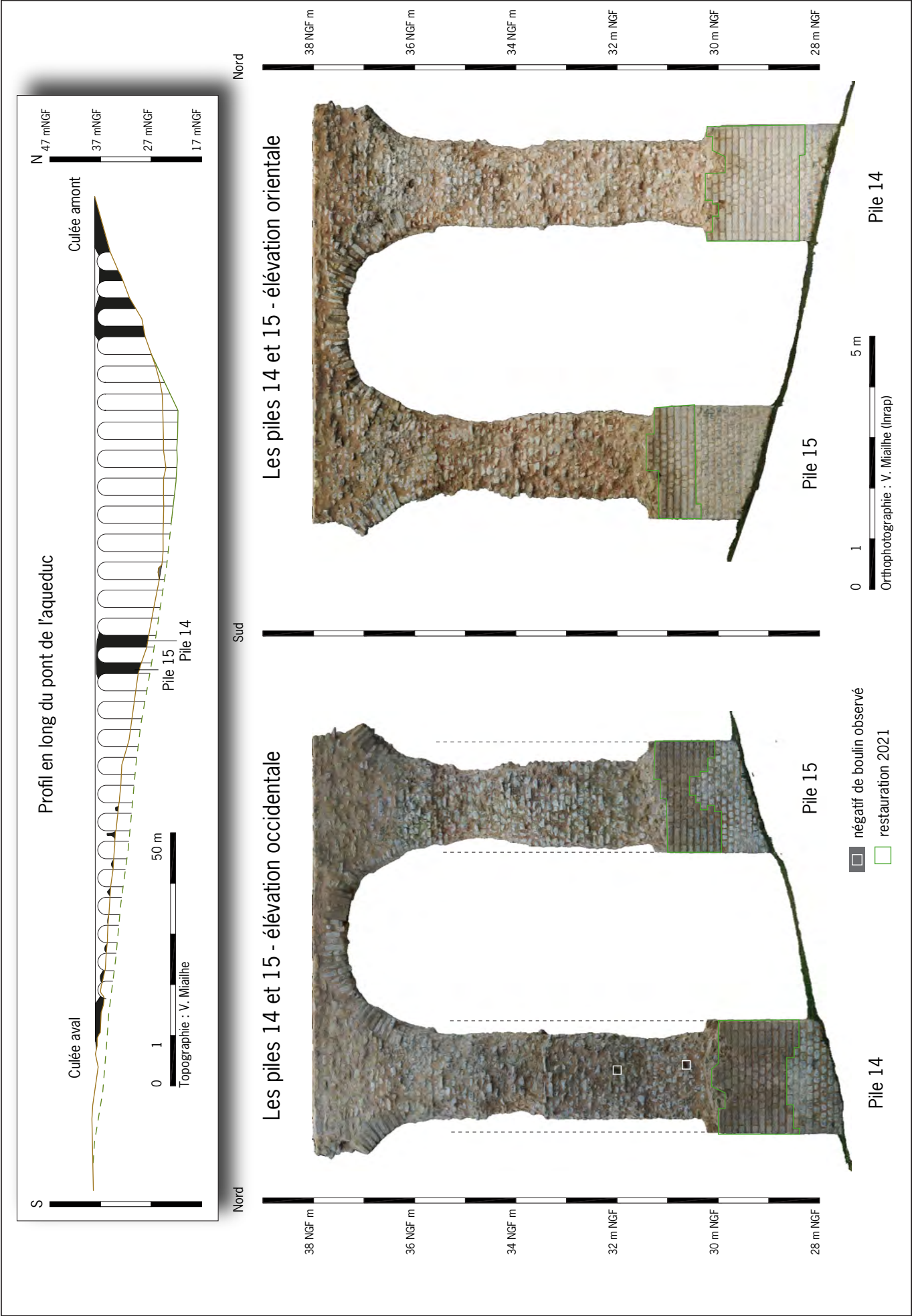


Figure 52 Élévation occidentale et orientale des piles 14 et 15, par orthophotographie. © V. Mialhe (SahCM)

Le pont est composé de deux culées, amont et aval, 148,40 m sépare les deux ouvrages ; ce qui fait un pont de 149,40 m de long⁶⁰. La culée amont a une largeur de 2,40 m et seulement de 1,90 m pour celle de l'aval mais son parement ouest n'a pas pu être dégagé, c'est donc une cote minimale. Leur longueur respective mis au jour est de 9 m et 7 m⁶¹. Les culées sont maçonnées de blocs calcaires bruts de module décimétrique liés dans un mortier de chaux rose pâle, *opus caementicium*, et parementées par un petit appareil légèrement allongé sur l'axe horizontal (module moyen 0,15x0,10 m), *opus quadratum*. L'épaisseur des joints montants et de lits est de 0,02 m. Le tablier supportant le canal est détruit sur la culée amont mais ; il est présent pour celle d'aval, à une altitude de 37.98 m NGF (fig. 54).



Figure 54 Tablier de la culée aval issue du modèle 3D, vue vers l'ouest. © V. Mialhe (SahCM)

Une série de 27 arches en plein cintre, munie de 26 piles, permet le franchissement du vallon (fig. 55 et 56). Les piles sont de section quadrangulaire, le côté le plus long étant perpendiculaire à l'axe du pont, leur dimension varie selon leur emplacement dans le vallon. Les piles P1 à P3 ont une base de 2,30 x 2 m alors que les piles P14 et P15 font 2,60 x 2,25 m de côté. La

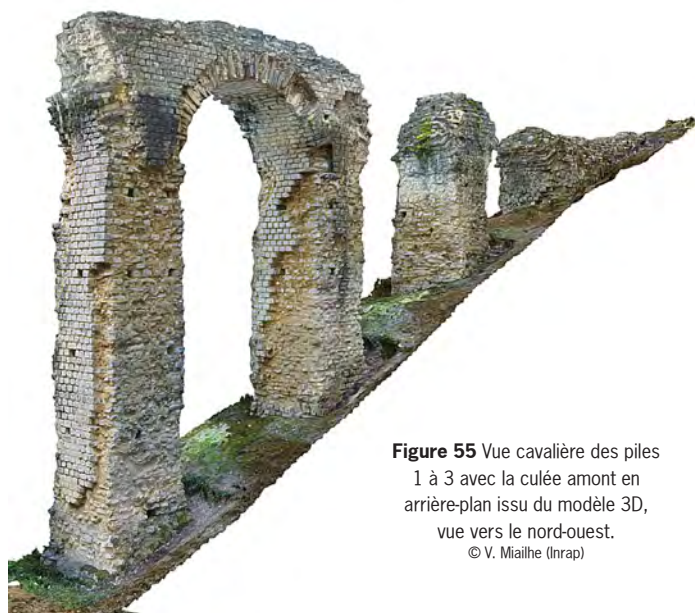


Figure 55 Vue cavalière des piles 1 à 3 avec la culée amont en arrière-plan issu du modèle 3D, vue vers le nord-ouest. © V. Mialhe (Inrap)

hauteur de la pile joue sur les dimensions de son socle, plus la pile est haute, plus sa base est large. Cette règle ne s'applique pas à la distance d'écartement entre chaque pile qui est de 3,30 m sauf pour la pile P1 avec la culée amont où cet espacement est de 3,40 m. Tout comme les culées, la maçonnerie des piles est de même facture sauf pour les angles. Le chaînage d'angle sur les piles est construit avec un appareil allongé non uniforme ; la longueur des éléments variant de 0,18 m à 0,48 m. Les faces prises dans la fourrure sont grossièrement dégrossies et dressés pour les faces visibles. L'appareil formant les arches est allongé. L'arc est composé d'une cinquantaine de claveaux en grand appareil par section en façade. Leur épaisseur moyenne est de 0,08 m au niveau de l'intrados et de 0,10 m sur la partie de l'extrados, d'une longueur d'environ 0,50 m. L'extrados reprend un montage en lits horizontaux. Seuls deux arcs subsistent, entre les piles P2-3 et P14-15. Le diamètre des arcs varie entre 3,35 m et 3,50 m ; culée amont et P14-15 ayant le rayon le plus élevé.



Figure 56 Vue cavalière des piles 21, 15 et 14 issu du modèle 3D, vue vers le nord-ouest. © V. Mialhe (SahCM)

60. La longueur d'un pont se calcule par la distance entre les deux culées + 1 m.

61. Une estimation de 13 m est probable.

Par l'analyse du micro-reliefs, la présence d'autres piles est visible sur la partie aval du pont. Entre la pile P21 et la culée aval, cinq arases affleurent le sol et une autre en amont de la pile P21. Il est difficile d'estimer l'état de conservation des piles mais, en 2010, un sondage manuel d'un mètre de profondeur, à l'extrémité nord-est de la culée aval, a mis au jour le départ de l'arc sans pour autant atteindre la base de son sommier (fig. 57). De plus, le profil en travers du terrain dans ce secteur du site, dessine un cordon dans l'axe du pont qui doit vraisemblablement correspondre aux niveaux d'effondrement de ce dernier. Ces deux éléments laissent présager une élévation de plusieurs mètres pour ces dernières piles, idem dans le fond du vallon ou un épais remblai, de 3 m, a été apporté lors de la construction du golf. La présence de négatifs d'échafaudage s'observe sur les quatre faces des piles P1, P2 et P3 par des trous de boulin de section carrée (0,20 x 0,20 m) et sur au moins 0,30 m de profondeur. La disparition importante du parement et de la fourrure sur les piles P14, P15 et P21 ne permet pas de les visualiser. Un linteau peut être marqué par la mise en place d'un bloc allongé de 0,30 m de long sans être systématique. Sur les faces externes, les trous de boulin fonctionnent par paire, sans avoir un espacement régulier. La face interne présente un seul trou de boulin par étage et ce dernier est centré sur l'axe de la pile. Mais l'arrachement du parement sur les bords peut masquer la présence d'opes complémentaires. Les faces internes peuvent accueillir deux opes de plus sur les extrémités. Les plateaux sont donc maintenus par au moins six boulins, voire dix, sur chaque pile et étagés tous les 1,3 à 1,4 m. Chaque niveau est raccordé avec la pile voisine, d'où la présence de deux boulins sur les côtés de l'ouvrage d'art pour renforcer les plateaux. Aucune présence de négatif de boulin à partir de l'arc et sur la mise en place du vau. Ce dernier devait être posé sur le dernier étage de l'échafaudage.

Le tablier est visible sur les arcs des piles P2-3 et P14-15 ainsi que sur la culée aval, les cotes altimétriques de ces trois zones sont respectivement de 38,05 m NGF, 38,01 m NGF et 37,97 m NGF. Le pourcentage de pente du tablier n'est pas très significatif, c'est surtout lors de la construction du *specus* qu'il va être défini avec précision. Mais l'analyse de ces données altimétriques reflètent un travail préparatoire soigné des ingénieurs romains dans le calcul de la pente.

Concernant le canal, peu d'éléments ont résisté au temps. Si la construction du pont est homogène et a été réalisée lors de la phase I, le canal, lui, a subi des transformations au cours du fonctionnement de l'aqueduc. Entre la phase I et II, il a dû être modifié pour recevoir le nouveau débit, plus important. Ces transformations s'observent sur le terrain avec la construction d'un nouveau tracé comprenant une section plus grande, en parallèle au canal de la phase I. Cette transformation doit se retrouver sur le pont. La pose du *specus* de la phase II, sur le tablier, est un chantier relativement simple à accomplir. Les systèmes pour stopper ou détourner l'écoulement de l'eau sont positionnées en amont du pont et ils ont été observés lors la fouille de 2010⁶² (fig. 48). La destruction totale du canal de la phase I a été probablement nécessaire. Hélas, il ne reste rien de ces deux phases. Le seul élément de sa présence se situe sur l'arche des piles P2-3 par une maçonnerie longue de 3,5 m, posée sur le tablier et matérialisant le *specus*. Au sujet de cette maçonnerie, il faut rester prudent. Lors de la restauration dans les années 80, une restitution a été créée pour donner un sens à l'ouvrage auprès du public. Même si le choix des matériaux est conforme à la période antique, elle est tout de même le fruit d'une interprétation. Elle se distingue facilement car elle repose sur un voile géotextile (fig. 58). Sous le géotextile, un résidu de maçonnerie est apparent, deux piédroits, d'une vingtaine de centimètres de haut et de large,



Figure 57 Départ de l'arche sur la culée aval, vue vers l'ouest. © V. Mialthe (SahCM)



Figure 58 Restauration du conduit posée sur un géotextile et dessous, ancienne maçonnerie pouvant correspondre au canal de la phase III, vue vers le sud. © V. Mialthe (SahCM)

62. Hillairet 2013 - Synthèse – Les aqueducs de Saintes, 2013, p. 44, SahCM.



Figure 59 Négatif d'empreinte sur le tablier de la culée aval. © V. Mialhe (SahCM)

sont en appui sur le tablier. La maçonnerie est composée d'éclats calcaires liés par un mortier de chaux jaunâtre de granulométrie grossière avec des nodules de chaux. Le *specus* est formé par un enduit de béton de tuileaux de 0,01 m d'épaisseur, un profil évasé à fond plat de 0,25 m de large. S'agit-il de la phase III ? Sa facture ressemble à une reprise de tronçon attribuée à la phase III, observé « chez Goron⁶³ » à Fontcouverte.

Un autre élément très fragmentaire pouvant être attribué au canal se situe sur la culée aval. Une couche de béton calcaire sur 0,02 à 0,03 m d'épaisseur est plaquée sur l'arase de la culée. L'utilisation de ce matériau caractérise la construction de la phase II. La surface couverte reste faible, 1,30 m de long sur 0,50 m de large, mais un négatif formant un angle droit se dessine (fig. 59). S'agit-il d'une empreinte de bloc ?

L'utilisation de blocs monolithes pour réaliser le

canal est courante dans la phase II et ces éléments lapidaires ont pu être observés aux sources de Vénérand et du Douhet ainsi que dans le Vallon de la Tonne. S'agit-il d'un dernier témoin de la phase II ? Difficile de l'affirmer mais la fouille des remblais au pied des piles peut y répondre. Ces niveaux de destructions sont susceptibles de recueillir des indices sur le canal.

4.2.2. La partie souterraine

Le tunnel du Plantis des Neuf Puits est un ouvrage connu dans le paysage saintais car on peut y accéder de deux façons : en aval du tunnel par la galerie située au « Bois de la Tonne », et, en amont, par un puits (Pu1), dégagé au XIX^e siècle. Enfant de Fontcouverte, j'ai moi-même exploré ce tunnel par ces deux ouvertures mais très vite stoppé par les comblements des puits. C'est par ces deux entrées que les premières opérations archéologiques ont été menées par la SahCM. En 2009, les fouilles au « Bois de la Tonne⁶⁴ » ont permis de mettre en évidence plusieurs phases de construction et notamment, des travaux en sous-œuvre à l'intérieur de la galerie marquant les phases I et II. Sur la partie amont, la SahCM a fouillé un tronçon du tunnel à partir du puits dégagé, situé dans le Golf de la ville de Saintes. Puis en 2009, elle s'est lancée dans la fouille du puits Pu3, mettant au jour une nouvelle section, celle de Torregrossa (fig. 60). D'autres opérations de fouille des puits (Pu12 et Pu13) se situant dans la partie aval du tunnel, ont été lancées en 2010.

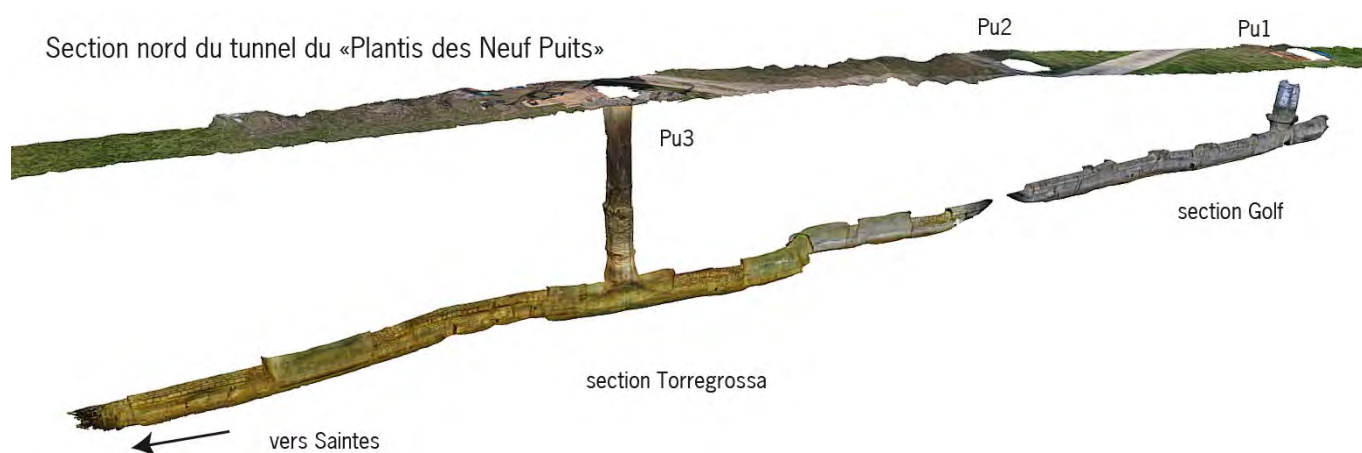


Figure 60 Vue cavalière de la section nord du tunnel du « Plantis des Neuf Puits » issu de la photogrammétrie. © V. Mialhe (SahCM)

63. Hillairet J.-L. 2010 - Rapport de sondage archéologique 2010-3, *Les trois aqueducs de Saintes, commune de Fontcouverte, Chez Goron*, SahCM.

64. Hillairet J.-L. 2009 - Rapport de sondage archéologique 2009, *Premier et deuxième aqueducs de Saintes, commune de Fontcouverte, Le Bois de La Tonne*, SahCM.

4.2.2.1. Les puits (*putei*)

La construction du tunnel du « Plantis des Neuf Puits » a nécessité la création d'une série de puits⁶⁵ dont le nombre est estimé à treize⁶⁶. Sur les 500 m de galerie, seul sept puits sont connus (Pu1 à Pu6, Pu12 et Pu13) et leur ouverture varie entre 1,30 et 1,40 m. Le puits a plusieurs fonctions : un accès à la galerie, à creuser plus rapidement le tunnel en multipliant les équipes, à évacuer les remblais, à ventiler le conduit, à la maintenance mais surtout, à améliorer la précision du tracé. Sur l'ensemble du tracé, la linéarité de la galerie n'est pas parfaite, une légère inflexion de 16 m vers le sud se dessine au niveau de Pu5 (annexe 10). De même, on retrouve des erreurs d'alignement dans certaines sections⁶⁷ tels que des courbures, des tracés sinueux voire, une chicane dans la section S3 (fig. 61). Ces imprécisions d'implantation, réalisée avec une *groma*, ne se retrouvent pas sur les autres tunnels connus de l'aqueduc. Les observations menées à « La Foucherie » et « Les Fontaines », sur la commune du Douhet, montrent un tracé rectiligne malgré une longueur plus importante (annexe 6). Retenons que ces tunnels correspondent au deuxième état, plus tardif ; et marquent ainsi une différence dans le soin apporté à ces mesures, par rapport à celui des agrimenseurs du I^{er} siècle. Ces approximations d'arpentages ne sont pas les seules distinctions en registrées entre les deux phases de construction ; on peut en observer aussi dans la forme des puits. Le tunnel du « Plantis des Neuf Puits » présente une alternance de formes circulaires (5) ou quadrangulaire (2), voire proche du carré ; alors que la forme quadrangulaire est la seule représentée sur la commune du Douhet. De même, l'espacement entre chaque puits est sensiblement constant avec comme unité de référence un *actus*, tandis qu'au Douhet, les espacements sont inégaux, voire, plus rapprochés au sud de « La Foucherie », pouvant atteindre jusqu'à un *demi-actus* (annexe 6).

Les puits Pu1 et Pu3, de section proche du carré (1,38 x 1,42 m), sont maçonnés, en *opus mixte*, jusqu'au substrat calcaire⁶⁸ et les maçonneries des quatre parois sont chaînées. La partie rocheuse apparaissant à -4,50 m de profondeur pour Pu1 et -7 m pour Pu3, présente une section circulaire, variant de 1,50 m à 1,80 m de diamètre. L'appareillage des parties maçonnées se compose de différents modules, moyen et grand appareil, de blocs calcaires grossièrement dressés sur la face du parement, sur

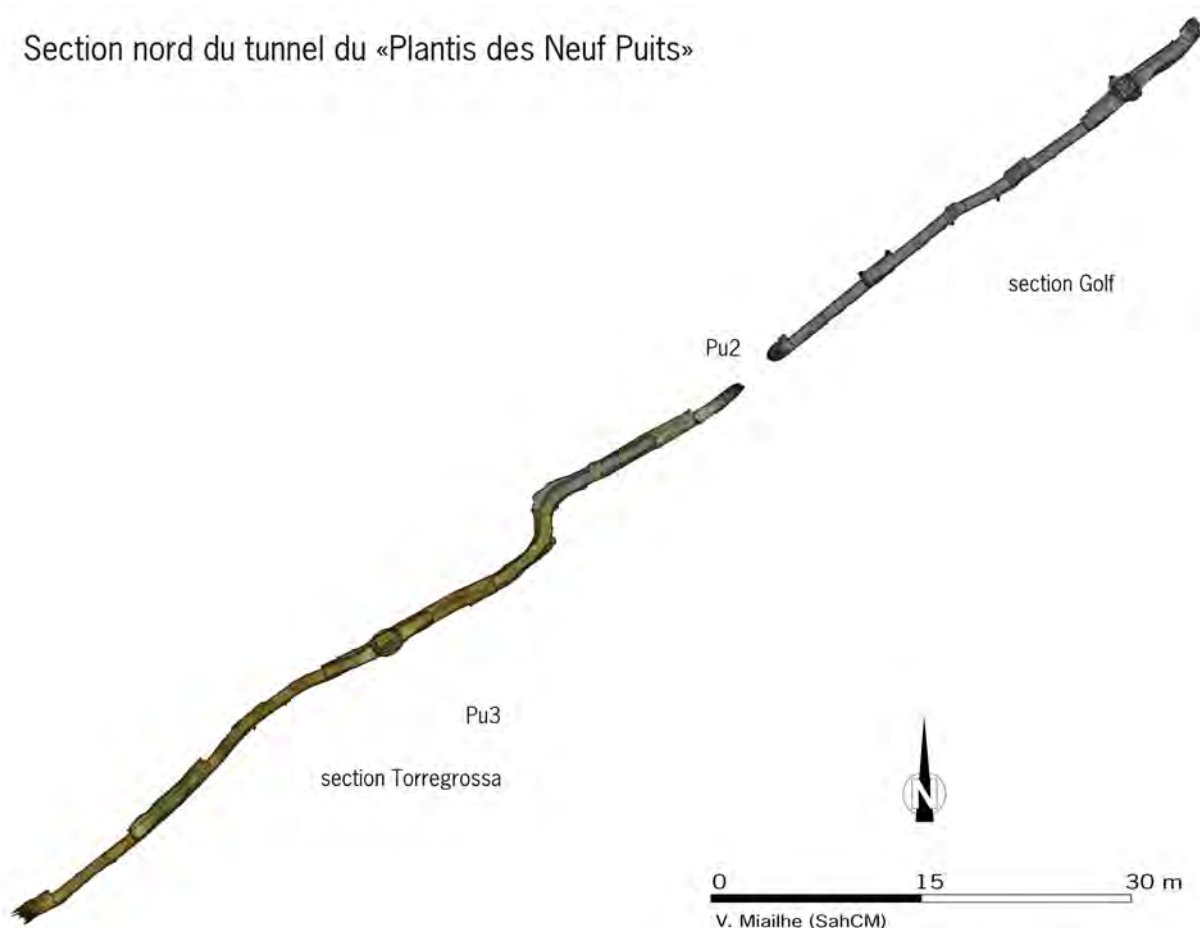


Figure 61 Les inflexions du tracé de la section nord du tunnel du « Plantis des Neuf Puits » issu de la photogrammétrie. © V. Miaillhe (SahCM)

65. Les puits sont numérotés de 1 à n, en partant de l'amont. La lecture et la numérotation se fait dans le sens du courant.

66. La longueur du tunnel est proche de 500 m et l'espacement entre les puits varie entre 31 et 35 m, soit environ un *actus*.

67. Pour l'étude, une section est une distance délimitée par les puits. La galerie souterraine comprend quatorze sections ; le Golf et Torregrossa formant les sections S1 à S4, en partant de l'amont.

68. Calcaire coniacien

0,15 m de hauteur, alternant avec un niveau de terre cuite sur 0,04 m d’épaisseur, toutes les 4 à 5 assises. L’ensemble est lié par un mortier de chaux grisâtre et très induré. Les joints de lit sont fins alors que les montants sont plus épais. Des séries de trous de boulin sont visibles sur au moins deux niveaux dans le puits Pu3 à la neuvième et seizième assise. Pour des raisons de sécurité et d’accessibilité⁶⁹, aucun calepinage n’a été fait sur l’élévation du conduit des deux puits. La végétation et la calcite empêchent une bonne lecture de l’élévation de la maçonnerie. La hauteur des puits jusqu’au fond du conduit est de 8,70 m pour Pu1 et de 14,60 m, pour Pu3.

4.2.2.2. Le tunnel de la phase I

L’analyse du bâti a permis de mettre au jour la méthodologie de construction et les évolutions du tunnel à travers le temps (fig. 62 à 71), de définir des unités stratigraphiques (cf. inventaire US) et de déterminer un phasage représenter sous la forme d’un diagramme stratigraphique (annexe 12).

Une fois les puits verticaux réalisés et interrompus à la bonne altitude, les tunneliers creusaient horizontalement, dans deux directions diamétralement opposées, pour former la galerie. Pour chaque puits, deux équipes avançaient, à l’aide de pics ou de ciseaux/marteau (fig. 72), et finissaient par rejoindre les équipes du puits voisin. Avec treize puits et deux ouvertures, le tunnel du Plantis des Neuf Puits pouvait accueillir 28 équipes de tunneliers en même temps. La pente était contrôlée à l’aide du chorobate. Les matériaux extraits étaient remontés et pouvaient servir notamment dans la fabrication de la chaux ou employés dans la fourrure de la maçonnerie. Le travail du tunnelier ne permet sans doute pas d’extraire des blocs aussi propres à l’emploi que celui des carriers. L’observation des traces d’outils et la chicane observée dans la section S3, sont des indicateurs pour comprendre la technique de creusement du sous-sol. Cet arrêt soudain, faisant suite à une erreur de projection, est positionné à la base de la galerie (fig. 73), il montre que le creusement se fait de bas en haut. Toutefois, on observe une technique inversée dans le tunnel Les Fontaines, appartenant à la phase II. Il serait imprudent de définir un marqueur chronologique sur cette simple observation. Les deux techniques peuvent être utilisées sur un même ouvrage et caractériser plutôt le choix préférentiel du tunnelier.

Le profil en travers de la galerie semble correspondre à celui d’un trou de serrure, fond plat et plein cintre au sommet, avec des parois verticales (fig. 63). Les diaclases argileuses ou le *substratum* rocheux (US 1000 et 2000) de qualité médiocre, sont purgés et comblés par une maçonnerie. A l’instar de l’étude menée dans le Bois de la Tonne, deux phases de construction sont bien marquées. Les unités stratigraphiques et le diagramme stratigraphique sont présentés en annexe (cf. Inventaire_Us et annexe 12 diagramme). Aucune fouille n’a été réalisée lors de l’étude de bâti, seul le nettoyage du conduit, par des sondages de 0,30 x 0,30 m, ont été opérés pour déterminer l’altimétrie de celui-ci.



Figure 62 Dimension des deux sections. © V. Miallhe (SahCM)

69. La descente dans la galerie souterraine se fait à l’aide du cage métallique et grillagée. Pour des raisons de sécurité, la cage ne peut être considérée comme un lieu de travail, donc les relevés ne sont pas envisageables.

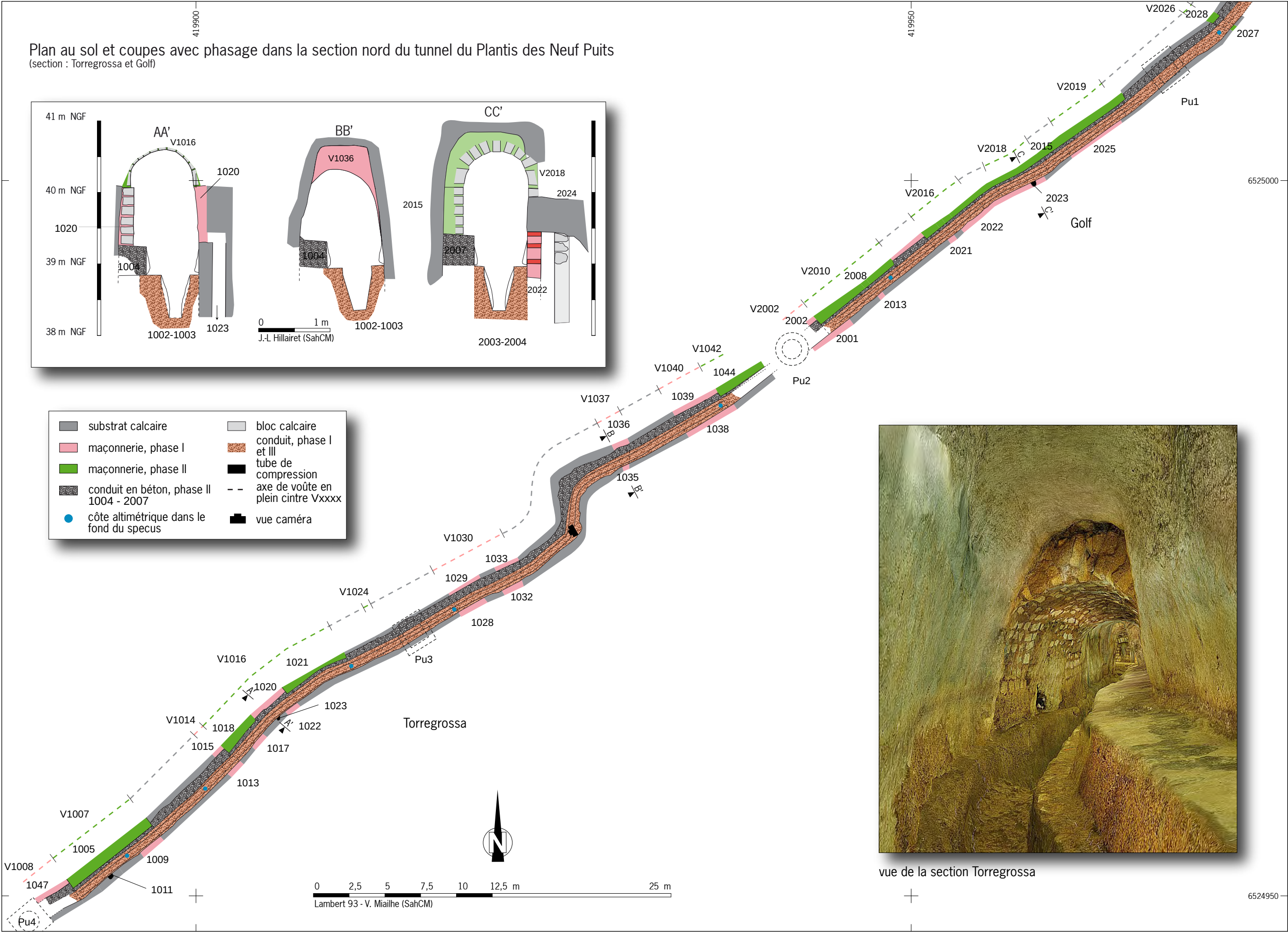


Figure 63 Plan au sol et coupes et phasage des sections souterraines du Golf et de Torregrossa. © V. Mialhe (SahCM)

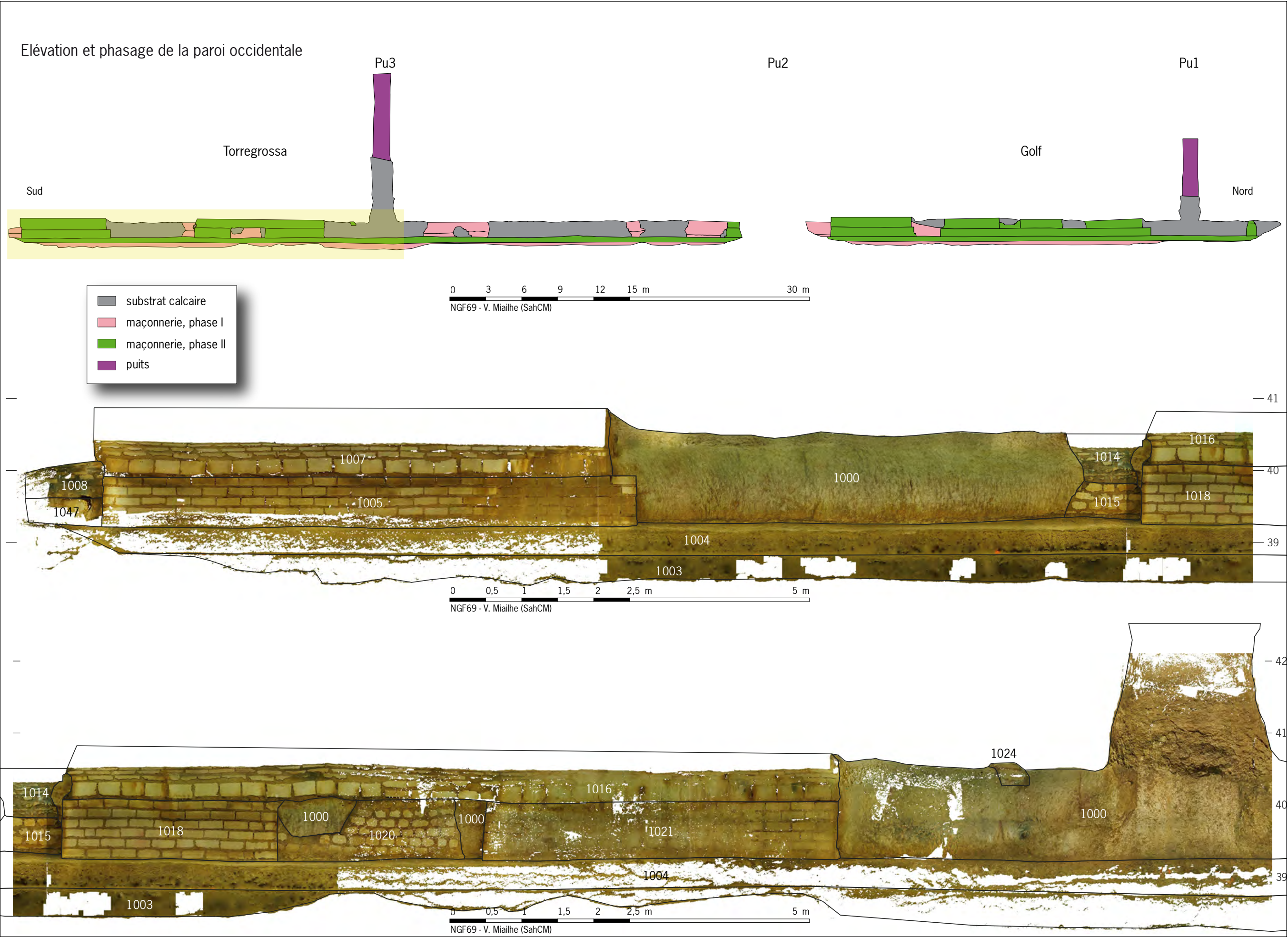


Figure 64 Élévation par nuage dense et phasage de la paroi occidentale des sections souterraines du Golf et de Torregrossa, zone 1. © V. Mialhe (SahCM)

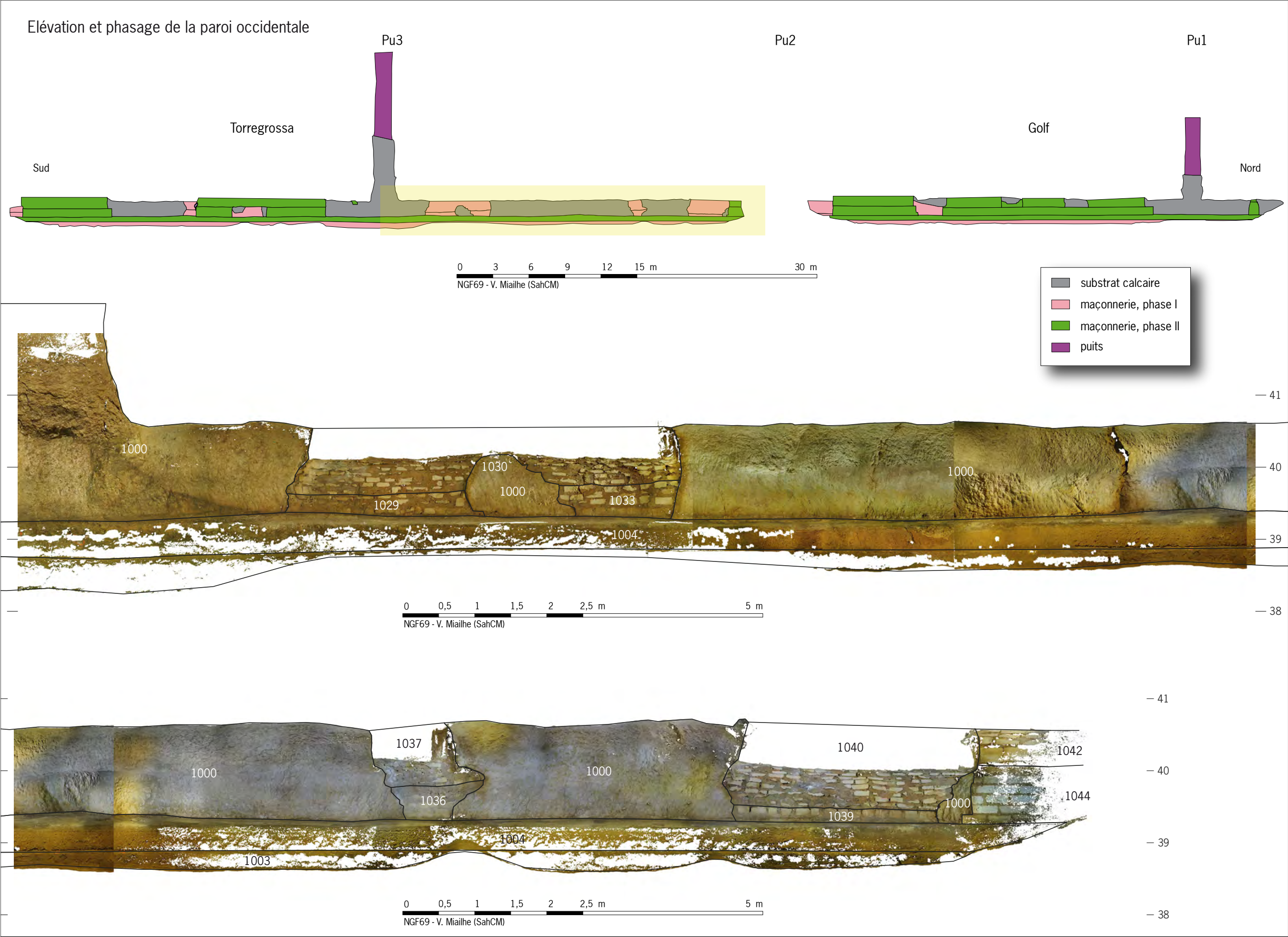


Figure 65 Élévation par nuage dense et phasage de la paroi occidentale des sections souterraines du Golf et de Torregrossa, zone 2. © V. Mialhe (SahCM)



Figure 66 Élévation par nuage dense et phasage de la paroi occidentale des sections souterraines du Golf et de Torregrossa, zone 3. © V. Mialhe (SahCM)

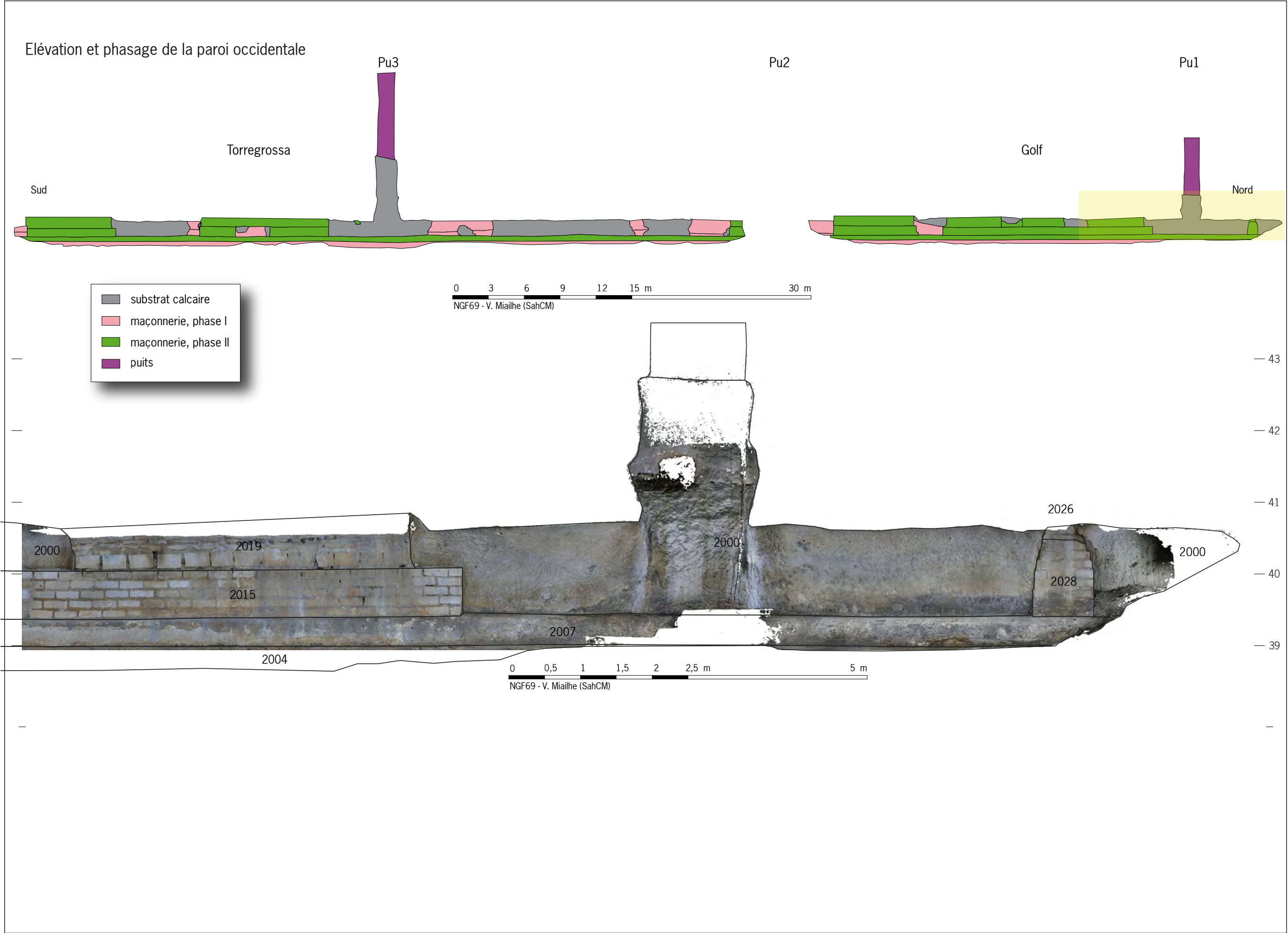


Figure 67 Élévation par nuage dense et phasage de la paroi occidentale des sections souterraines du Golf et de Torregrossa, zone 4. © V. Mialhe (SahCM)

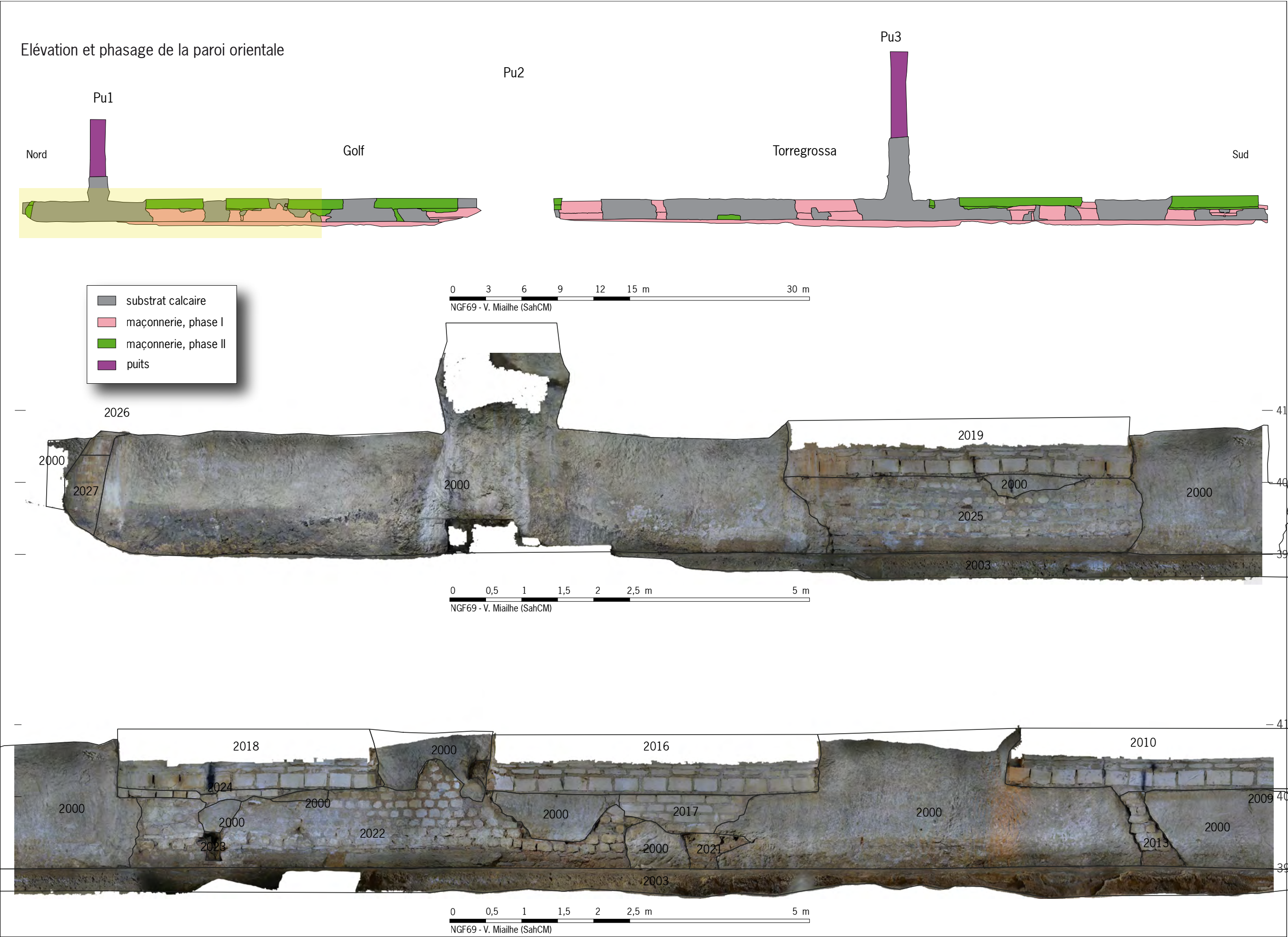


Figure 68 Élévation par nuage dense et phasage de la paroi orientale des sections souterraines du Golf et de Torregrossa, zone 1. © V. Mialhe (SahCM)

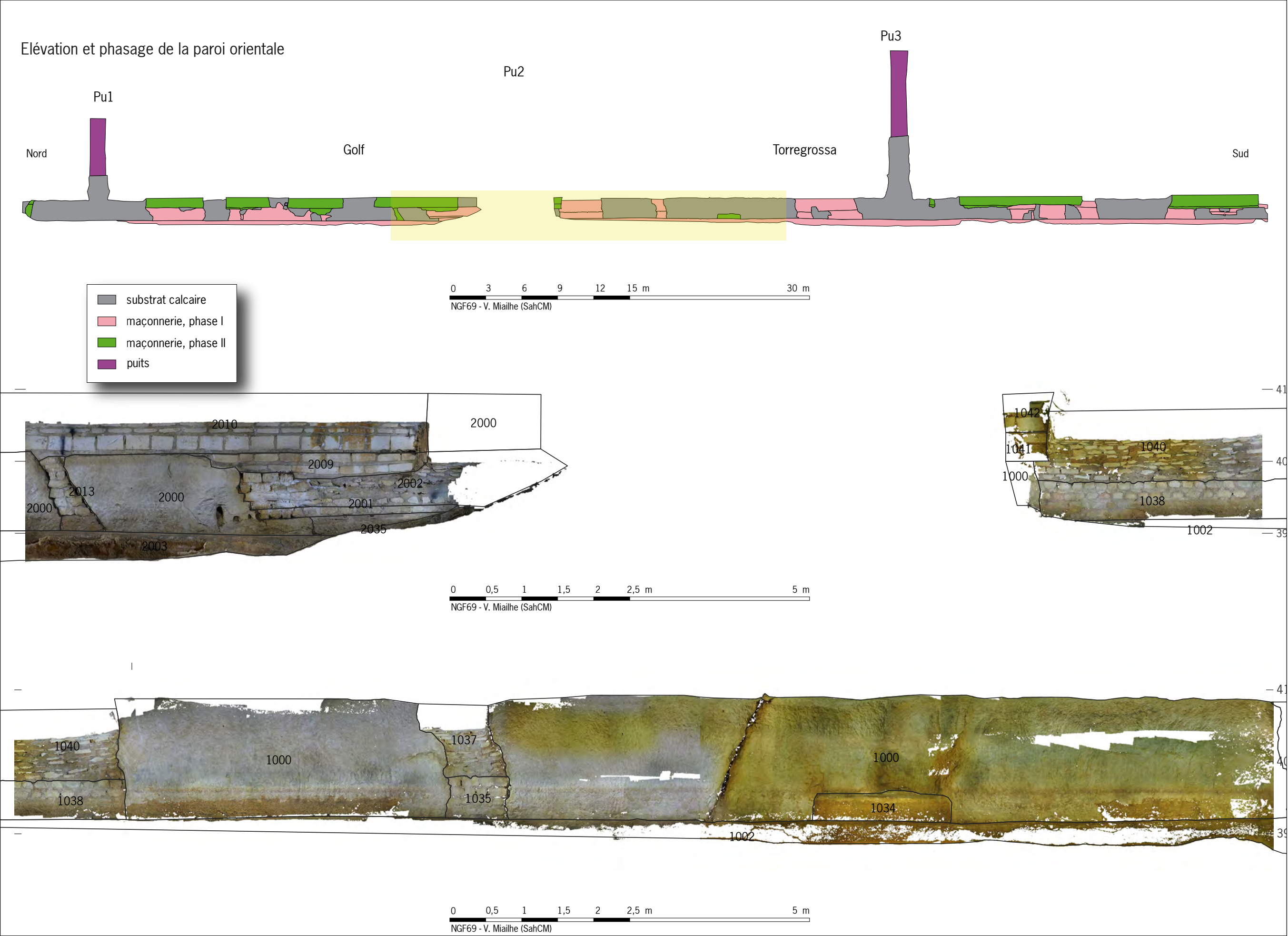


Figure 69 Élévation par nuage dense et phasage de la paroi orientale des sections souterraines du Golf et de Torregrossa, zone 2. © V. Mialhe (SahCM)

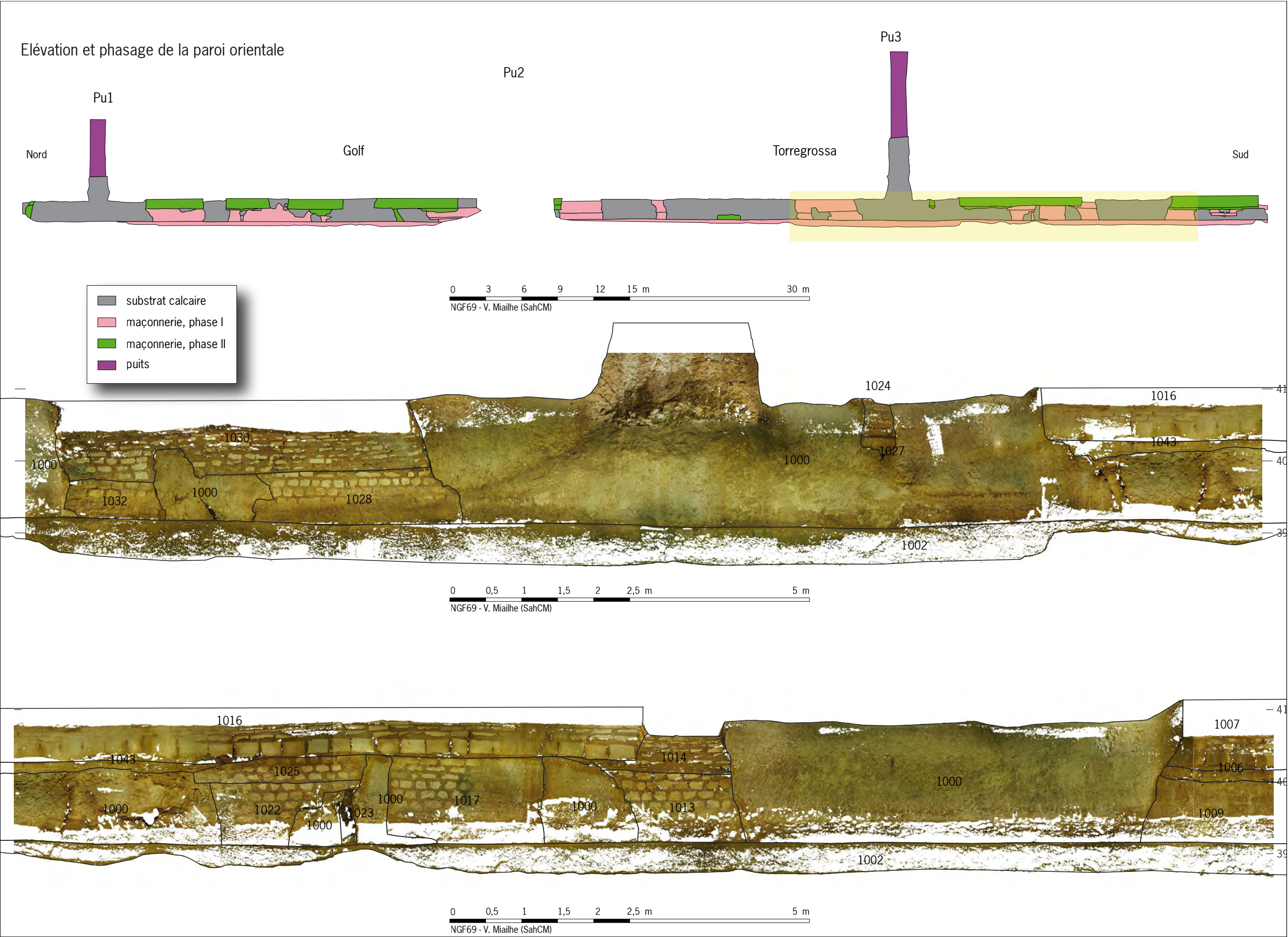


Figure 70 Élévation par nuage dense et phasage de la paroi orientale des sections souterraines du Golf et de Torregrossa, zone 3. © V. Mialhe (SahCM)

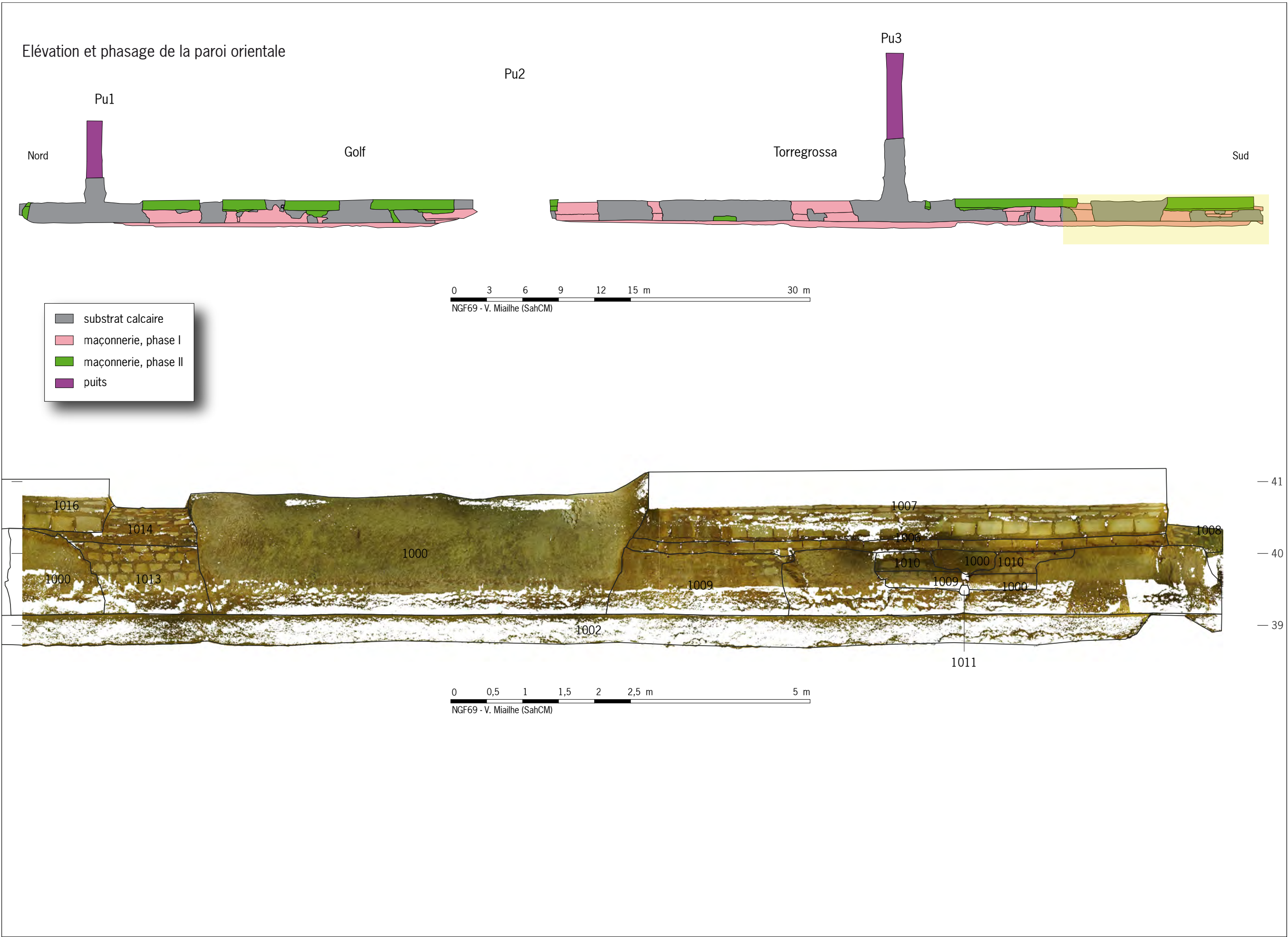


Figure 71 Élévation par nuage dense et phasage de la paroi orientale des sections souterraines du Golf et de Torregrossa, zone 4. © V. Mialhe (SahCM)



Figure 72 Trace d'outils sur la paroi. © V. Mialhe (SahCM)



Figure 73 Chicane dans le tunnel de Torregrossa et marquage de l'arrêt des tunneliers, vue vers le nord. © V. Mialhe (SahCM)

Les piédroits

Les piédroits sont bâtis en premier, de part et d'autre de la paroi, selon la qualité du *substratum* mais le tunnel peut présenter des portions uniquement rocheuses, sans maçonnerie. Ces maçonneries sont généralement en *opus vittatum* (US 1009 1013 1015 1017 1020 1022 1032 1036 1039 2003 2004 2013 2014) avec des moellons en calcaire dressés sur la face du parement et bruts sur les faces de joint. L'espace des joints fins à épais, variant de 0,02 à 0,06 m d'épaisseur, est comblé par un mortier de chaux grossier avec du micro gravier (fig. 74), de couleur rose et très induré. Cet appareillage est plus présent dans le tunnel de Torregrossa - section S3 et S4 - mais cet agencement peut être couplé par un *opus mixtum* (US 1028 1029 1033 1046 2014 2022 2025 2035). Ce changement se produit dans des contextes bien particuliers, visible de deux manières. On peut l'observer sur certaine partie sommitale des piédroits des voûtes, par une assise de moellons allongés, afin de mettre à niveau les paires de sommiers (US 1028 1029 1033), ou bien, par une assise de briques (ou de teguale)(module variant de 0,15 à 0,30 m de long et moins de 0,05 m d'épaisseur) intercalée entre une rangée de moellons (US 2014 2022 2025 2035), qualifié d'*opus mixte*. Cependant, l'assise de TCA ne se retrouve pas sur la totalité de l'élévation du mur, elle se localise dans les parties basses des maçonneries et peut s'arrêter dans la longueur comme cela a pu être observé sur le mur 2022 (fig. 75). S'agit-il d'une réfection entre la phase I et II ou un manque de matériaux lors de la construction ? Le dépôt important de calcite sur une trentaine de centimètres de haut et situé à la base de ces maçonneries, lié au fonctionnement de l'aqueduc à la phase II, contribue à une mauvaise lecture des élévations. La présence d'assise de TCA n'est pas à exclure sur les unités stratigraphiques citées précédemment dans la catégorie *vittatum*. L'*opus incertum* est présent (Us 2021) mais s'explique par les dimensions très petites de la maçonnerie, comblant une excavation dans la roche de forme patatoïde.



Figure 74 Prélèvement des mortiers des maçonneries, à gauche la phase II et à droite la phase I. © V. Mialhe (SahCM)



Figure 75 Assise de TCA sur la partie basse de la maçonnerie 2022. © V. Mialhe (SahCM)



Figure 76 Exemple de la mise en forme des voûtes (V2002) lors de la phase I, vue vers le sud. © V. Mialhe (SahCM)



Figure 77 Exemple de la mise en forme des arcs de bouchage de diaclasses (V1037) lors de la phase I, vue vers le sud-ouest. © V. Mialhe (SahCM)



Figure 78 Négatif d'une planche du coffrage de la voûte 1014 lors de la phase I, vue vers le sud-ouest. © V. Mialhe (SahCM)



Figure 79 Négatifs de planches sur le pourtour de la voûte. © V. Mialhe (SahCM)

Les voûtes

Le toit du tunnel se présente de deux façons : soit c'est le rocher creusé, lui-même, soit c'est une voûte en berceau maçonnée, en appui sur des piédroits appareillés ou sur la roche, ou bien un mixte des deux. Au moins six voûtes (V 1008 1014 1030 1037 1040 2002) encore conservées dans la zone d'étude ; la phase II a pu en détruire. Elles sont toutes en arc plein cintre surbaissé ou légèrement rampant comme la voûte 1030, de 1,30 à 1,35 m de diamètre et 0,50 m de haut (fig. 63). Elles sont conçues en *opus vittatum*, exclusivement composées de moellons calcaires dressés sur la face de l'intrados, liées par un mortier de chaux identique aux piédroits. Elles peuvent être munies d'une clé ou non (fig. 76 et 77).

Les claveaux sont de formes trapézoïdales de 0,09 m de large dans l'intrados et environ 0,13 m sur l'extrados ; leur nombre varie (au moins une vingtaine) ainsi que leur dimension (cf. *inventaire_US*). Leur épaisseur est similaire à celle des claveaux qui constituent les arches du pont. La pose des voûtes a été réalisée à l'aide d'un banchage installé sur un vau. A titre d'exemple, onze négatifs de planches en bois sont encore visibles pour la voûte 1014, large de 0,13 à 0,18 m et longue de 1,10 m (fig. 78). Les planches ne sont pas jointes, la charge à partir de l'extrados fait apparaître des bourrelets de mortier au niveau des interstices. La voûte 1008 est liées aux piédroits 1000, 1005 et 1007, V1014 avec 1013 et 1015, V 030 avec 1000, 1028, 1029, 1032 et 1033, V1037 avec 1035 et 1036, V1040 avec 1038 et 1039 et la dernière V2002 avec 2001 et 2012. La jonction entre sommier et voûte est marquée par un petit ressaut débordant des piédroits de quelques centimètres et des négatifs de planches sont présents sur un plan horizontal (fig. 79). La faible largeur des ressauts laisse à penser que les vau ne portent pas sur ces derniers.

Le specus

Le canal est la dernière étape de construction. Sa description a été rendue plus délicate du fait de plusieurs éléments : l'encroûtement et le comblement du specus (fig. 80) ; la pose du canal de la phase II sur son piédroit droit⁷⁰ et les précautions à prendre sur les vestiges du fait du classement au titre des Monuments Historiques. L'ensemble de ces contraintes a fortement limité sa documentation. Cependant, lors de l'opération au « Bois de la Tonne », l'équipe de fouille a pu réaliser un petit sondage manuel dans la banquette du canal de la phase II. Cette intervention a mis au jour l'agencement du front occidental du tunnel lors de la phase I (fig. 81), ainsi, il est possible d'ébaucher un schéma d'édification du canal de cette première phase. Son élaboration ne diffère pas des sections que l'on retrouve le long du tracé, le canal de la phase I est maçonné. Il est constitué de deux murets latéraux, de 0,30 m de large⁷¹ et de 0,85 m de haut, dont 0,50 m d'épaisseur pour la semelle de fondation. Les faces internes des murets sont enduites par un béton de tuileaux (*opus signinum*) pour assurer l'étanchéité mais cet aménagement est à rattacher au dernier état de fonctionnement de l'aqueduc ; le *specus* n'a jamais été coupé. La section dessine une forme trapézoïdale, large de 0,15 m à sa base et de 0,40 m sur sa partie supérieure sur une hauteur de 0,60 m. Le piédroit gauche (US 1002 2003) est en appui, ou lié, dans la maçonnerie décrite précédemment, ou bien, plaqué sur le rocher ; l'épaisseur

70. L'orientation se fait dans le sens de l'écoulement de l'eau.

71. Indication fournie par l'opération du Bois de la Tonne.



Figure 80 Le canal de la phase I, vue vers le sud. © V. Mialhe (SahCM)

réelle de ce piédroit n'est pas connue. Son binôme (US 1003 2004) reprend la description faite au « Bois de la Tonne ». Entre ce muret et la paroi rocheuse, un vide d'une quarantaine de centimètres de large a été noté. Il sert d'espace de circulation pouvant s'inscrire dans la maintenance du réseau hydraulique et d'évacuation, en cas de trop plein. Ce trop-plein est dirigé vers la sortie du tunnel, au « Bois de la Tonne » ; il a pu être observé dans le mur clôturant la galerie ou dans le réseau karstique, par le biais de diaclases reprises à cet effet.

Trois éléments (US 1011 1023 2023) ont été enregistrées sur la paroi orientale du tunnel sur la section S2 et S4 (fig. 82). Pour J.-L. Hillairet, le rôle de ces structures tubulaires verticales (0,25 m de diamètre), installées dans les diaclases, est d'empêcher les remontées d'eau grâce à la compression de l'air, prisonnier dans le tube. On en dénombre au moins trois, dont deux insérées dans les maçonneries de la phase I (1009 et 2022) et dans le substrat.

Le tunnel à la phase II

Le captage sur les sources du Douhet et de Vénérand conduit à augmenter le volume d'eau de l'aqueduc, ces deux résurgences réunies ont un débit supérieur à celles de Fontcouverte. Il est donc nécessaire d'agrandir le *specus* de l'ancien tracé partant de Fontcouverte. Pour les sections en tranchée couverte, un nouveau canal est construit en parallèle de l'ancien, une solution simple et peu dispendieuse. Mais qu'en est-il pour les sections aériennes et souterraines ? Construire un nouveau pont ou tunnel est coûteux et long à réaliser, on reprend donc l'existant. Si la partie aérienne est simple dans sa réalisation, la partie souterraine est à la fois plus délicate et technique, les modifications s'inscrivent dans un travail en sous-œuvre.

La section du *specus* passe de 0,10/0,16 m² (fig. 83) à 0,32/0,37 m² (fig. 84), elle doit s'étendre en largeur et en hauteur. L'espace exigu du tunnel offre peu de solution, on ne peut élargir le canal que vers l'ouest, dans l'espace de circulation de la phase I. En hauteur, c'est plus délicat, en raison des voûtes surbaissées de la phase I, le plafond est bas. La suppression de l'espace de circulation et un plafond bas empêchent les déplacements à l'intérieur du tunnel, il est donc nécessaire de surélever le voûtement du tunnel. Certaines voûtes de la phase I vont être détruites ou en partie bûchées (fig. 85 et 86), pour être remplacées par des nouvelles, plus cintrées et plus étroites. Cette reprise se retrouve aussi sur les parois rocheuses (fig. 87).

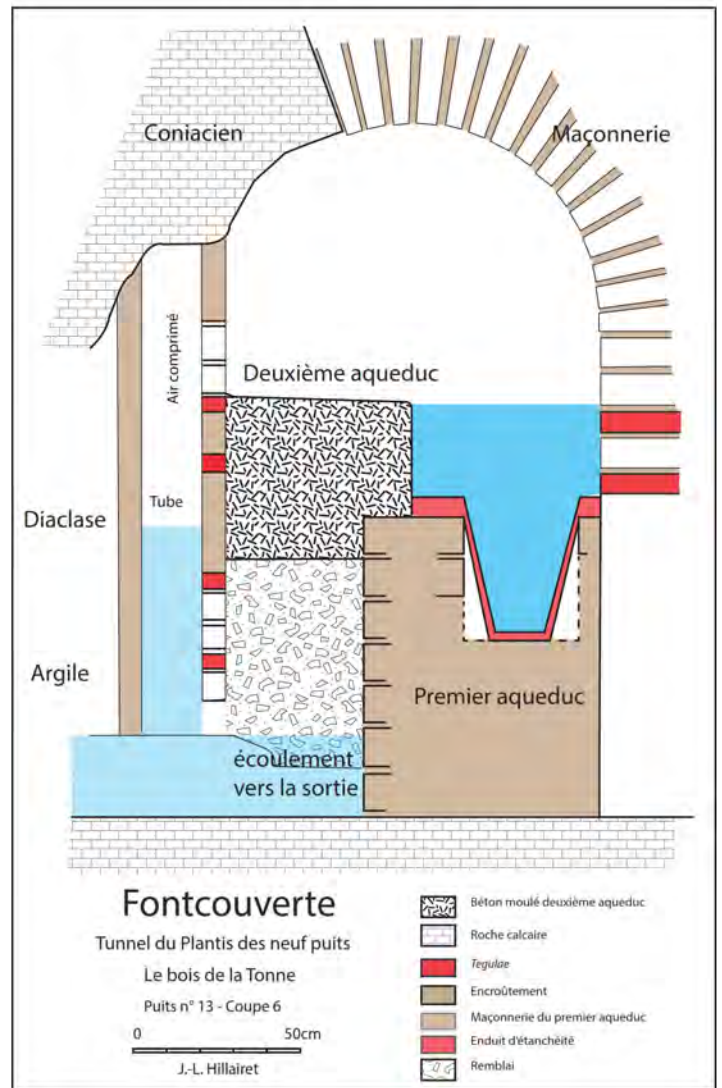


Figure 81 Coupe du conduit dans la section du « Bois de la tonne ». © J.-L. Hillairet (SahCM)



Figure 82 Conduit d'évacuation 1011, vue vers l'est.
© V. Mialhe (SahCM)

Figure 83 Le conduit et la voûte lors de la phase I (section Torregrossa), vue vers le sud.

© V. Mialhe (SahCM)



Figure 84 Le conduit et la nouvelle voûte de la phase II (section Torregrossa), vue vers le sud.

© V. Mialhe (SahCM)



Figure 85 Arrachement de la voûte 1010 pour la mise en place de la voûte 1007 de la phase II (section Torregrossa), vue vers le sud.

© V. Mialhe (SahCM)



Figure 86 Bûchage de la voûte 1010 pour la mise en place de la voûte 1007 lors de la phase II (section Torregrossa), vue vers l'est.

© V. Mialhe (SahCM)

Figure 87 Bûchage de la paroi rocheuse pour surélever le conduit, section Torregrossa.

© V. Mialhe (SahCM)



Les piédroits

Le nouveau canal va s'étendre vers l'ouest de 0,20 m avec 0,50 m de maçonnerie pour former le piédroit droit (US 1004 2007). Ce dernier est un béton de chaux coulé dans un coffrage en bois. Sa facture ne diffère pas du tracé de la phase II si ce n'est qu'il n'y a pas de piédroit gauche, le front de taille oriental du tunnel en fait office. Le profil du nouveau specus reprend l'ancien, tronconique inversé, plus celui de la phase II, soit une ouverture supérieure comprise entre 0,55 à 0,60 m de large, sur 1 m de profondeur (fig. 63).

Sur les piédroits droits (US 1004 2007) reposent les nouvelles maçonneries (US 1005 1018 1020 1044 2008 2015 2028) et à l'opposé (US 1006 1021 1041 1043 2009 2013 2017 2024) de la phase II. Toutes ces maçonneries correspondent aux sommiers des neuf voûtes (US 1007 1016 1024 1042 2010 2016 2018 2020 2026) de la phase II. Mis à part les maçonneries 2013 (comblement d'une diaclase), leur appareillage est identique, un *opus quadratum isodome* en appareil calcaire (module moyen de 0,33 x 0,10 m) équerri sur la face visible (fig. 88). Les joints, lissés au doigt, sont épais, de 0,02 à 0,04 m pour les lits et de 0,04 à 0,06 m pour les montants, en mortier de chaux orangé, avec des micro-éléments de calcaire et de micro-graviers. Les chaînages d'angle en besace alternent panneresse/boutisse. De module moyen, les panneresses mesurent 0,25 x 0,35 m et les boutisses, 0,10 x 0,20 m. Elles peuvent être débordantes (fig. 89), ou non.



Figure 88 Orthophotographie de l'appareillage en *opus quadratum* de l'unité architecturale 2015.

© V. Mialhe (SahCM)

Figure 89 Vue 3D du chaînage d'angle de l'unité architecturale 2015.

© V. Mialhe (SahCM)



Les voûtes

Sur les neuf voûtes, seules deux se présentent un arc en anse de panier (V 1024 2026)⁷² (correspondant à un colmatage de petites diaclases) et les autres sont en plein cintre (V 1007 1016 1042 2010 2016 2018 2020) (fig. 90). Pour les voûtes en plein cintre, les sommiers occidentaux sont tous issus de la phase II, alors que sur la paroi opposée, les sommiers de la phase I peuvent être réemployés. Les correspondances sont les suivantes : la voûte 1007 prend appui sur 1005 et 1006, V1016 avec 1000, 1014, 1017, 1018, 1020, 1021, 1025 et 1043, V1042 avec 1041 et 1044, V2010 avec 2000, 2008 et 2013, V2016 avec 2000, 2015 et 2017, V2018 avec 2000, 2015, 2022 et 2024 et V2019 avec 2000, 2015 et 2025. L'agencement est composé de blocs équarris sur la face de chant et les faces de joints. Les voûtes sont munies de part et d'autre d'une assise de voussoir, posée sur les piédroits. Les blocs du voussoir de base, de module cubique sur une quinzaine de centimètres de haut, présentent sur la face de chant un arrondi marquant le départ de l'arc du plein cintre (fig. 91). Une petite exception à ce schéma se situe sur la voûte 1016, dans sa partie centrale et à l'ouest, où les voussoirs de base sont remplacés par deux assises, chacune étant munie de quatre blocs allongés (une réparation ou un profil de la galerie difficile à adapter sur toute la longueur de 10 m, la voûte en berceau 1016 étant la plus longue) (fig. 92). La suite de l'appareillage est typique de la phase II, un *opus quadratum*. La pose du berceau est identique à la phase I, un vau et des planches servent à la construction de l'arc, la présence de négatifs de planches⁷³ (fig. 93 et 94) est visible sur l'intrados par des joints débordants à la base des sommiers (fig. 95). L'arc, de 0,80 m de diamètre sur 0,45 m de haut, se compose de six claveaux (fig. 96) et d'une clef de voûtes, voire de deux pour la voûte 1016 (sa longueur et sa sinuosité peuvent en être la cause). Une fois l'arc de l'intrados mis en place, un mortier est coulé entre les blocs et la paroi rocheuse. Le montage se fait en partant du sud en remontant vers le nord, sauf pour la voûte 2016 qui se fait dans les deux sens et les voûtes 2018 et 2019, constituées depuis le nord. Le surcreusement dans la roche marque ce schéma de construction (fig. 97). Les voûtes en anse de panier (V 1024 2026) comblent des petites diaclases sur une courte portée, respectivement de 0,35 m et 0,60 m de long, et ne sont pas perpendiculaires à l'axe du tunnel. La voûte 1024 comporte huit claveaux, une clé et deux sommiers munis chacun de deux assises de blocs allongés incrustés dans le rocher. La voûte 2026, compte douze claveaux, dont quatre à l'ouest, et une clé, un piédroit droit (2028) débordant et pour l'autre, pris dans le rocher (2027), montés tous les deux en *opus quadratum*.

Il faut souligner la qualité du travail et le soin apporté des maçons et des tailleurs de pierre lors de cette phase de construction ; c'est le point qui la distingue le plus de la phase I.



Figure 90 Voûte 2010, vers le sud.
© V. Mialhe (SahCM)



Figure 91 Courbure du bloc sommier de la voûte 1007, posé sur la maçonnerie 1005, vue vers le sud. © V. Mialhe (SahCM)



Figure 92 Changement d'appareillage dans les sommiers de la voûte 1016, vue vers le nord.
© V. Mialhe (SahCM)

72. Elles correspondent à un bouchage de petites diaclase, ne dépassant pas le mètre de long.

73. Sur la voûte 1007 des mesures ont montré des planches de 1,30 de long sur 0,25 m de large



Figure 93 Négatif de planche du coffrage pour la construction de la voûte 1007. © V. Mialhe (SahCM)



Figure 94 Négatif de planche correspondant à la base du vau, sous les sommiers de la voûte 1007. © V. Mialhe (SahCM)



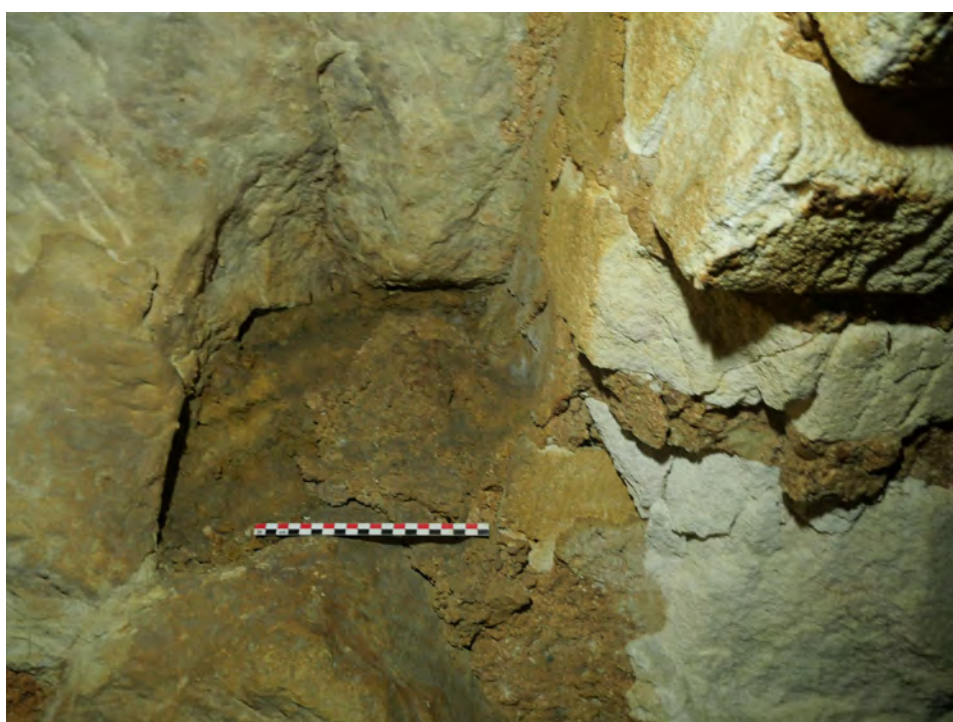
Figure 95 Joint débordant à la base du sommier de la voûte 1007. © V. Mialhe (SahCM)



Figure 96 Claveaux constituant la voûte 1007, vue vers le sud. © V. Mialhe (SahCM)

Figure 97 Creusement du plafond rocheux pour la mise en place la voûte 2016.

© V. Mialhe (SahCM)



5. Données techniques

5.1. Les matériaux

L'extraction des roches calcaires, notamment du Turonien et du Coniacien, ont servi à la fabrication de la chaux mais pas à façonner de la pierre de taille, pourtant de bonne qualité pour la construction. Les analyses menées par Jacques Gaillard⁷⁴ montrent une provenance venant des carrières de Crazannes malgré les nombreuses carrières qui jalonnent le long du tracé. Mais il faut rester prudent sur cette première analyse. Seulement cinq prélèvements ont été réalisés et, uniquement sur des éléments de pierres de taille appartenant à la phase II. D'autres prélèvements sont à envisager sur l'ensemble du tracé et sur des éléments de construction plus modestes, tels que les matériaux de blocage et l'appareillage. Aucun prélèvement de ce type n'a été fait lors de notre intervention.

5.2. La pente

L'eau de l'aqueduc coule par gravité. Il est donc nécessaire d'avoir une pente et celle-ci doit être régulière et constante tout le long du tracé. Une pente trop forte augmente l'usure de l'ouvrage et, à l'inverse, favorise le développement des micro-organismes du fait d'une stagnation de l'eau, la rendant impropre à la consommation. D'après Pline, elle ne doit pas être inférieure à 0,20 m soit une pente de 0,02 %. Mais ceci relève de la théorie, il est difficile de maintenir une pente constante sur l'ensemble du tracé notamment à cause du relief nécessitant des aménagements régulateurs (bassin de décantation, chute, siphon...). Les erreurs de mesures sont à prendre aussi en considération ainsi que les appareils utilisés (niveau de chantier, tachéomètre, GNSS...) pouvant avoir des ordres de précision éloignée et de l'imprécision dans leur étalonnage. Il est donc préférable de calculer la pente par section entre chaque ouvrage et avec le même outil de mesure.

Pour l'aqueduc de *Mediolanum*, la topométrie a été réalisée à différents points au cours de ces vingt dernières années et pas forcément avec les mêmes d'outils de mesure. Les travaux de J.-L. Hillairet fournissent des valeurs de pente à la fois par opération et globales, selon les phases de construction. La phase I donne une pente moyenne de 0,26 mm/m, références altimétriques prises « Chez Goron » à Fontcouverte, à 100 m de la source de la Font-Morillon, et à la « rue Griffon » à Saintes. Pour la phase II, la pente moyenne est de 0,42 mm/m, en prenant en compte la source la plus éloignée, celle de « Grand-Font » au Douhet.

Pour cette étude, les repères altimétriques du *specus* se situent uniquement dans la partie souterraine. Comme il a été décrit dans le chapitre 4.2.1, il ne reste plus rien du canal sur le pont, le pourcentage de pente ne peut être calculé qu'à partir du tablier du pont et n'apporte peu d'intérêt. Sept références altimétriques ont été prises à l'intérieur du tunnel, deux dans la section du Golf et les cinq autres, pour la section Torregrossa. Pour la section du golf, les valeurs mesurées ont été prises à chaque extrémité de cette section, l'altitude du fond du *specus* est de 38,43 m NGF, pour la partie amont, et 38,395 m NGF, en aval. La portée est de 27,66 m, soit une pente de 1,26 mm/m. Dans la continuité, cinq mesures, pour la section suivante, ont été faites en partant de l'amont : 38,15 - 38,141 - 38,142 - 38,158 et 38,132 m NGF. Sur ces cinq valeurs, la quatrième altitude se présente comme une anomalie, elle devrait être plus basse que la précédente ce qui n'est pas le cas. Si on fait abstraction de cette mesure⁷⁵, les données altimétriques sont cohérentes et dessinent une pente de 0,33 mm/m sur une distance de 27,66 m. Mais dans l'absolu, en comparant les valeurs des deux sections souterraines, le profil du conduit montre une rupture de pente importante de 0,245 m, sur une distance de 17 m. Cette incohérence altimétrique pourrait être mis sur le compte de nos propres levés et pourtant, ils coïncident avec ceux de 2010⁷⁶. Ou bien, cet écart altimétrique est bien réel, ce qui en soit est possible. Mais dans ce cas, un bassin de décantation doit se situer au niveau du Pu2, afin de corriger la rupture de pente. La fouille de ce puits pourra répondre à cette interrogation.

74. Prélèvements issus du bassin carré, claveau de voûte et dalle de couverture au Bois de la Tonne, dalle de couverture et *specus* à l'Avoinnerie. Analyses réalisées par microscopie électronique, de l'Université de La Rochelle.

75. L'erreur provient peut-être de la prise de mesure ou bien, l'étroitesse du sondage manuel de 0,30 x 0,30 m, n'a pas permis de dégager correctement le fond du *specus*.

76. À noter que la campagne 2010 n'a jamais dégagé le fond du *specus*, le rapprochement altimétrique se base sur l'arase du conduit de la phase II, sur la partie occidentale.

5.3. Le débit de l'aqueduc

Il est bien difficile de déterminer le débit de l'aqueduc car il dépend essentiellement de celui des sources ; les chiffres recueillis jusqu'alors sont donc à prendre avec prudence et les valeurs annoncées par Jean-Louis Hillairet correspondent à une estimation liée à la surface verticale du *specus*. La formule utilisée est celle de Bazin, prenant en compte la vitesse, le rayon hydraulique et la pente de l'écoulement, en ajoutant un coefficient de rugosité. Celui-ci est de 0,16 correspondant au début de son utilisation sans dépôt de calcite ; ce facteur augmente en fonction de l'encrassement du réseau. Le volume d'eau proposé pour la première phase est compris entre 2 800 et 3 400 m³/j et jusqu'à 24 000 m³/j pour la phase II, soit une capacité maximum de 24 millions de litres par jour.

5.4. État sanitaire

Ce qui surprend le visiteur quand on rentre dans le tunnel du Plantis des Neuf Puits, c'est son aspect, l'impression de découvrir un ouvrage neuf. De façon générale, le tunnel est mieux conservé que la partie aérienne et cela se comprend. En général, les ponts sont fragiles et il est surprenant, après plus de deux mille ans, d'avoir encore en élévation quelques éléments de cet ouvrage. Les aléas climatiques, naturels (tremblement de terre) et humains (spoliation des matériaux) ont fortement contribué à sa destruction. Mais l'état sanitaire du tunnel est à surveiller aussi. Lors de l'étude, on a pu observer des défauts structurels tels que le décollement des maçonneries sur les parois (**fig. 98**), des claveaux fissurés, l'effritement du *specus* et de certaines maçonneries. Ce sont autant de facteurs marquant son usure. Il est donc conseillé de mettre en place des témoins afin de vérifier la structure de l'ouvrage souterrain permettant de connaître son évolution dans les prochaines décennies.



Figure 98 Le détachement de la maçonnerie 2013, scellant une diaclase, vue vers le sud-est. © V. Miaillhe (SahCM)

6. Conclusion

Ces quatre années de campagne menées sur une section de l'aqueduc de *Mediolanum* ont permis de documenter sur le plan topographique et archéologique, par une étude de bâti effectuée en 2024, deux ouvrages d'art, l'un aérien, le « pont des Arcs », et l'autre, souterrain, le tunnel du « Plantis des Neuf Puits ».

Ce qui n'était au départ qu'une prestation topographique destinée à accompagner la restauration du pont, s'est progressivement transformé en un programme de documentation globale, associant relevés tridimensionnels, expérimentation méthodologique, pédagogique et analyse architecturale.

La modélisation numérique du « pont des Arcs », par l'Inrap (2020 et 2021), a constitué un premier jalon. Si cette opération n'a pas débouché immédiatement sur une étude de bâti, elle a démontré l'intérêt scientifique et patrimonial d'une documentation 3D exhaustive. La poursuite des relevés sur la culée aval, les piles conservées et les sections souterraines du tunnel du « Plantis des Neuf Puits », s'est imposée comme une suite logique. Elle a été portée par la SahCM, suivant une dynamique bénévole et collaborative.

La campagne triennale (2021 à 2023), menée en partenariat avec le lycée de Sillac, à conjuguer exigence scientifique et dimension pédagogique. Elle a permis de relever près de 380 mètres linéaires d'ouvrage, dans un contexte particulièrement contraignant mêlant espace aérien restauré et galeries souterraines étroites, accessibles uniquement par deux puits verticaux. L'expérience acquise a conduit à l'élaboration progressive d'un protocole photogrammétrique adapté aux milieux confinés, tout en offrant l'opportunité de comparer de manière critique, photogrammétrie et lasergrammétrie.

Les résultats montrent que, si la lasergrammétrie statique se révèle rapide et fiable sur le plan géométrique, la photogrammétrie demeure plus performante pour la restitution fine des parements et la production d'orthophotographies exploitables en archéologie du bâti. Les écarts métriques observés entre les deux méthodes restent faibles, confirmant la pertinence scientifique des modèles produits.

Au-delà de la dimension technique, voire technologique, cette opération illustre l'intérêt d'une approche intégrée :

- patrimoniale, par la conservation numérique pérenne d'un monument partiellement inaccessible ;
- scientifique, par la constitution d'un corpus métrique précis servant de base à l'étude architecturale menée en 2024 ;
- pédagogique, par l'implication active d'étudiants formés aux technologies contemporaines du relevé ;
- culturelle, enfin, par l'ouverture vers des restitutions immersives destinées au grand public.

L'étude archéologique a mis en évidence la maîtrise des ingénieurs romains d'une part, à cartographier le territoire pour localiser les sources pouvant amener, par gravité, l'eau à la ville, et d'autre part, à s'adapter, par l'édification de nombreux ouvrages d'art, aux contraintes environnementales. Confrontés à un vallon sec, large de 200 m, et une butte, culminant à 55 m NGF, ils ont privilégié une solution technique ambitieuse et rationnelle en perçant un tunnel de 500 m de long, celui du « Plantis des Neuf Puits », et en construisant un pont, le « pont des Arcs », plutôt qu'un long contournement de 2100 m. Ce choix, parfaitement réalisé, traduit une volonté de maîtrise du tracé, de réduction des « pertes de charge » et d'optimisation du parcours hydraulique.

L'étude architecturale distingue clairement au moins deux grandes phases de construction. La phase I, attribuable à l'époque augustéenne, se caractérise par une homogénéité constructive :

- Un pont de 27 arches en plein cintre, en appareil d'*opus vittatum* pour le parement et d'*opus caementicium* pour le blocage,
- Treize puits de section circulaire ;
- Une galerie au profil en trou de serrure, voûtes en berceau surbaissé en *opus vittatum*, avec un *specus* maçonné à l'aide de deux piédroits. Les diaclases sont systématiquement bouchées par une maçonnerie en *opus incertum*.

L'ensemble révèle une mise en œuvre efficace, adaptée aux contraintes géologiques locales, bien que marquée par certaines imprécisions d'implantation dans le tracé du tunnel.

La phase II, consécutive au captage des sources du Douhet et de Vénérand, correspond à une transformation profonde de l'ouvrage afin d'augmenter significativement le débit de l'aqueduc. Cette phase se distingue par :

- l'élargissement et la surélévation du *specus* (passage de 0,16 m² à 0,32 m²) en béton coulé, par une technique de coffrage,
- la reprise en sous-œuvre des maçonneries souterraines,
- un creusement du plafond de la galerie pour insérer les nouvelles voûtes,
- la reconstruction des voûtes avec un appareil en *opus quadratum* isodome de grande qualité,
- un soin accru dans la taille et l'assemblage des blocs de pierre calcaire,
- la reprise de certains puits passant à une section quadrangulaire ; cette hypothèse devant être confirmée.

Ce second état témoigne d'une maîtrise technique supérieure et d'une organisation de chantier particulièrement aboutie. Les données de terrain confirment cette lecture. Les variations de pente observées dans la partie souterraine - malgré une incohérente et laissant place à plusieurs hypothèses - restent globalement compatibles avec les valeurs connues pour l'aqueduc. L'augmentation spectaculaire du débit estimé, pouvant atteindre jusqu'à 24 millions de litres par jour, traduit l'ampleur de l'investissement consenti pour répondre aux besoins croissants de la ville.

Une dernière phase est identifiable, correspondant plutôt à des travaux de maintenance. On peut l'observer sur le haut de la troisième arche du pont, grâce aux restes d'un canal maçonné.

Enfin, si la partie aérienne du pont est aujourd'hui très lacunaire, le tunnel présente un état de conservation remarquable. Son apparente « fraîcheur » masque toutefois des fragilités qui justifient une surveillance attentive.

Hélas, la datation des deux grandes phases reste encore floue. Mais elle pourrait se préciser par des prélèvements de mortier, la présence de charbon de bois a été observée dans certains secteurs du tunnel notamment au puits Pu13.

Ainsi, un projet initialement limité à la production d'orthophotographies s'est transformé en une véritable opération de recherche appliquée. La modélisation tridimensionnelle du pont et du tunnel ne constitue pas une fin en soi, mais un outil au service de la compréhension historique et de la transmission du patrimoine antique. L'étude illustre non seulement l'ingéniosité des bâtisseurs romains quant à leur maîtrise de l'adaptation au relief, mais aussi leur capacité à transformer un ouvrage existant, répondant à de nouvelles exigences hydrauliques, dans le cadre d'une évolution démographique de *Mediolanum*.

7. Bibliographie

BOURIGNON F.-M. – *Recherches topographiques, historiques, militaires et critiques sur les antiquités gauloises et romaines de la province de Saintonge*, Saintes, Imprimerie J.-A. Meaume, AN IX (1801), p. 131-150.

BORLENGHI A., COQUIDÉ C. (dir.). – *Les aqueducs romains de Lyon et d'ailleurs : nouveaux repères*, Gallia, Archéologie des Gaules, 80.1, Paris, CNRS éditions, 2023, 475 p.

BRIAND J. – *Histoire de l'église santone et aunisienne, depuis son origine jusqu'à nos jours*, t.2, La Rochelle, 1843, p. 295-296.

CLOUET M. – L'aqueduc gallo-romain de Saintes, in : *Revue de Saintonge et d'Aunis*, XLVI-XLVII, Saintes 1936-1941, p. 268-279 ; 314-325 et 341-352 et in : *Revue de Saintonge et d'Aunis*, XLVIII, Saintes, 1941, p. 1-11.

CLOUET J. – L'aqueduc gallo-romain de Saintes, in : *Revue de la Société d'études folkloriques du Centre-Ouest*, t. XVIII, 3e liv. -, n° 122, mai - juin 1984, p. 187-196.

CLOUET J. – L'aqueduc gallo-romain de Saintes, in : *Revue de la Société d'études folkloriques du Centre-Ouest*, t. XIX, 2e liv. mars-avril 1985, p. 57-75.

DANGIBEAUD Ch. – SAINTES- L'aqueduc de Saintes à travers la prairie, in : *Recueil des actes de la commission des arts et monuments historiques*, 1886, t. VIII, p. 337-339.

GAURIER L. – Relevés des vestiges du pont «des Arcs», in : *Recueil de la commission des arts et monuments historiques*, Saintes, 1902-1904, 1. XVI, p. 365-371.

GISSENGER B. – *Vallon de la Berlingue, rapport de diagnostic archéologique*, Service départemental de l'archéologie, CG17, Saintes, 2010.

HILLAIRET J.-L. – *Aqueducs de Saintes – Fontaine gallo-romaine de «La Grand-Font» du Douhet*, D.F.S. de sondage, 1994, Saintes, 62 p.

HILLAIRET J.-L. – *Aqueducs de Saintes – Rapport de prospection archéologique 2003/2004*, Saintes, 2004, 62 p.

HILLAIRET J.-L. – Recherches sur l'aqueduc gallo-romain de Saintes, groupe terrain, prospection sur l'aqueduc, in : *Bulletin* N°30 – Ouvrage collectif, Société d'archéologie et d'histoire de la Charente-Maritime, Saintes, 2003, p. 35-42.

HILLAIRET J.-L. – Recherches sur l'aqueduc gallo-romain de Saintes, groupe terrain, prospection et fouille, in : *Bulletin* N°31 – Ouvrage collectif, Société d'archéologie et d'his-

toire de la Charente-Maritime, Saintes, 2004, p. 29-39.

HILLAIRET J.-L. – *Aqueducs de Saintes – «Les Fontaines» – Puits AK 228*, Rapport de sondage archéologique, Saintes, 2004, 17 p. 395

HILLAIRET J.-L. – Recherches sur l'aqueduc gallo-romain de Saintes, groupe terrain, prospection et fouille, in : *Bulletin* N°32 – Ouvrage collectif, Société d'archéologie et d'histoire de la Charente-Maritime, Saintes, 2005, p. 27-44.

HILLAIRET J.-L. – *Aqueducs de Saintes – Commune du Douhet, secteurs : «La Foucherie» ; «La combe des champs»*, Rapport de sondage archéologique, Saintes, 2004, 36 p.

HILLAIRET J.-L. – *Aqueducs de Saintes – Commune du Douhet, «La Grand-Font»*, Rapport de fouille archéologique programmée, Saintes, 2005, 41 p.

HILLAIRET J.-L. – *Aqueducs de Saintes – Commune du Douhet, «L'Avoinerie»*, Rapport de sondage archéologique, Saintes, 2005, 22 p.

HILLAIRET J.-L. – *Aqueducs de Saintes – Commune du Douhet, «La Grand-Font»*, Rapport de fouille archéologique programmée, Saintes, 2006, 58 p.

HILLAIRET J.-L. – Recherches sur l'aqueduc gallo-romain de Saintes, groupe terrain, fouille programmée de «La Grand-Font» in : *Bulletin* N°33 – Ouvrage collectif, Société d'archéologie et d'histoire de la Charente-Maritime, Saintes, 2006, p. 33-52.

HILLAIRET J.-L. – Recherches sur l'aqueduc gallo-romain de Saintes, groupe terrain, prospection et fouille, in : *Bulletin* N°34 – Ouvrage collectif, Société d'archéologie et d'histoire de la Charente-Maritime, Saintes, 2007, p. 31-50.

HILLAIRET J.-L. – *Aqueducs de Saintes – Commune du Douhet, «La Grand-Font»*, Rapport de fouille archéologique programmée, Saintes, 2007, 41 p.

HILLAIRET J.-L. – *Synthèse des travaux archéologiques sur les aqueducs de Saintes*. 2003/2007, Volume 1 et 2, Saintes, 2008.

HILLAIRET J.-L. – Saintes, la cité des Santons et ses aqueducs, in : *Les Cahiers de l'aqueduc* N°1 – Ouvrage collectif, Société d'archéologie et d'histoire de la Charente-Maritime, Saintes, 2008, p. 47-74.

HILLAIRET J.-L. – *Aqueducs de Saintes – Commune de Fontcouverte, «Le Bois de la Tonne»*, Rapport de fouille archéologique programmée, Saintes, 2009, 45 p.

HILLAIRET J.-L. – *Aqueducs de Saintes – Commune de Fontcouverte*, «La Font de l'Echalle», Rapport de sondage archéologique, Saintes, 2010-1, 17 p.

HILLAIRET J.-L. – *Aqueducs de Saintes – Commune de Saintes*, rue «Griffon», Rapport d'observation archéologique, Saintes, 2010-2, 8 p.

HILLAIRET J.-L. – *Aqueducs de Saintes – Commune de Fontcouverte*, «Chez Goron», Rapport de sondage archéologique, Saintes, 2010-3, 28 p.

HILLAIRET J.-L. – *Aqueducs de Saintes – Commune de Fontcouverte*, La culée amont du pont aqueduc de «Hautmont», Rapport de sondage archéologique, Saintes, 2010-4, 30 p.

HILLAIRET J.-L. – *Aqueducs de Saintes – Commune de Fontcouverte*, «Le bourg», Rapport de sondage archéologique, Saintes, 2010-5, 14 p.

HILLAIRET J.-L. – *Aqueducs de Saintes – Commune de Saintes*, «Le Plantis du Bourg», Rapport de sondage archéologique, Saintes, 2010-7, 24 p.

HILLAIRET J.-L. – Recherches sur l'aqueduc gallo-romain de Saintes, groupe terrain, prospection et fouille, in : *Bulletin* N°35 – Ouvrage collectif, Société d'archéologie et d'histoire de la Charente-Maritime, Saintes, 2008, p. 41-58

HILLAIRET J.-L. – Recherches sur l'aqueduc gallo-romain de Saintes, groupe terrain, prospection et fouille, in : *Bulletin* N°35 – Ouvrage collectif, Société d'archéologie et d'histoire de la Charente-Maritime, Saintes, 2009, p. 41-67

HILLAIRET J.-L. – Recherches sur l'aqueduc gallo-romain de Saintes, groupe terrain, prospection et fouille, in : *Bulletin* N°37 – Ouvrage collectif, Société d'archéologie et d'histoire de la Charente-Maritime, Saintes, 2010, p. 45-82.

HILLAIRET J.-L. – Recherches sur l'aqueduc gallo-romain de Saintes, groupe terrain, Le Baptistère oublié, in : *Bulletin* N°38 – Ouvrage collectif, Société d'archéologie et d'histoire de la Charente-Maritime, Saintes, 2011, p. 103-116

HILLAIRET J.-L. – Un archéologue saintais oublié (Léon Triou), in : *Bulletin* N°38 – Ouvrage collectif, Société d'archéologie et d'histoire de la Charente-Maritime, Saintes, 2011, p. 49 - 60.

HILLAIRET J.-L. – Les aqueducs de Saintes : la source de «La Grand-Font», in : *Aquitania Supplément n° 21 - L'eau : usages, risques et représentations dans le Sud-Ouest de la Gaule et le Nord de la péninsule Ibérique, de la fin de l'âge du fer à l'Antiquité tardive*. Fédération Aquitania, Bordeaux, 2012, p. 477-491.

HILLAIRET J.-L. – Recherches sur l'aqueduc gallo-romain de Saintes, in : *Bulletin* N°39 – Ouvrage collectif, Société d'archéologie et d'histoire de la Charente-Maritime, Saintes, 2012, p. 57-70 («La Font Morillon») et p. 71-78 (Vénérand) .

HILLAIRET J.-L. – Recherches sur l'aqueduc gallo-romain de Saintes, Source de «La Font-Morillon», in : *Bulletin* N°40 – Ouvrage collectif, Société d'archéologie et d'histoire de la Charente-Maritime, Saintes, 2013, p. 63-73.

HILLAIRET J.-L. – Recherches sur l'aqueduc gallo-romain de Saintes, Le Douhet, «Les Avécots», le système en siphon, le troisième aqueduc, in : *Bulletin* N°41 – Ouvrage collectif, Société d'archéologie et d'histoire de la Charente-Maritime, Saintes, 2014, p. 99-120.

HILLAIRET J.-L. – Recherches sur l'aqueduc gallo-romain de Saintes, Les thermes romains, in : *Bulletin* N°42 – Ouvrage collectif, Société d'archéologie et d'histoire de la Charente-Maritime, Saintes, 2015, p. 79-89.

HILLAIRET J.-L. – *Les aqueducs de Saintes au fil de l'eau*, Saintes, 2017, 189 p.

HILLAIRET J.-L. – Les aqueducs antiques de *Mediolanum* (Saintes), Le tunnel 7 du «Plantis des Neuf Puits», in : *La Lettre d'Archéaunis – Bulletin de l'association des archéologues de l'Aunis*, n°54 – 2021-1et 2, p. 17- 49.

HILLAIRET J.-L. – Recherches sur l'aqueduc gallo-romain de Saintes, Restitution hypothétique des thermes romains de Saint-Saloine à Saintes, in : *Bulletin* N°48 – Ouvrage collectif, Société d'archéologie et d'histoire de la Charente-Maritime, Saintes, 2021, p. 75-91.

DANGIBEAUD Ch. – SAINTES - L'aqueduc de Saintes à travers la prairie, in : *Recueil des actes de la commission des arts et monuments historiques*, 1886, t. VIII, p. 337-339.

LANDREAU G. – *Rue de l'assomption, Pons*, 2020, Rapport de fouille, Inrap.

LA SAUVAGÈRE F. Le Royer de – Recherches sur les ruines de Saintes et de ses environs, in : *Recueil d'antiquités dans les Gaules*, 1770, p. 36, pl.

LESSON R.-P. – *Fastes historiques, archéologiques et biographiques de la Saintonge et d'Aunis*, Rochefort, Imprimerie F. Thèze (Proust-Branday), 1842 et 1845, 2 t.

Les cahiers de l'aqueduc, *L'aqueduc de Saintes, mémoire et recherches*, n° 1 à 4, Société d'archéologie et d'histoire de la Charente-Maritime, Saintes, 2008, 2010, 2012 et 2014.

MASSE C. - *Recueil des plans de Saintonge* (cf. SUIRE Y.)

MAURIN L. – *Saintes antique, des origines à la fin du VI^e siècle après Jésus-Christ*, Société d'archéologie et d'histoire de la Charente-Maritime, Saintes, 1978, 528 p. (aqueduc : p. 100-105).

MAURIN L. – *Carte archéologique de la Gaule, La Charente-Maritime 17/1* -Paris, 1999, 364 p.

MAURIN L. et al., *Carte archéologique de la Gaule, Saintes 17/2*, 2007, 440 p.

MAURIN L., BOUET A., HIRIAT E., LANDREAU G., SIREX C. et D. TARDY D. Saintes/*Mediolanum*, cité des Santons et Bordeaux/ *Burdigala*, cité des Bituriges Vivisques : destins croisés, in : *Gallia*, 72-1, 2015, p. 53-77.

MIAILHE V. – *Levé topographique au Vallon des Arcs* – Rapport 2010, SahCM, Saintes, 18 p.

MICHAUD A. – Nouvelles données sur les aqueducs antiques de Saintes, in : *Revue de la Saintonge et de l'Aunis*, Fédération des Sociétés savantes de la Charente-Maritime, La Rochelle, 1991, t. 24, p. 26-27.

NIBODEAU J.-P. – *Saint-Rémy – Montlouis, Saintes*, rapport de diagnostic, Saintes, Inrap, 2006.

SUIRE Y. – *Oléron, Rochefort, la Charente et la Saintonge vers 1700. Cartes, plans et mémoires de Claude Masse, ingénieur du roi*, Éditions du Centre vendéen de recherches historiques, La Roche-sur-Yon, 2024, 544 p.

TRANOY L. – *Mediolanum Santonum*, Saintes : de la fondation jusqu'à l'époque julio-claudienne, in : RUIZ de ARBULO J. (dir.), *Simulacra Romae : Roma y las capitales provinciales del Occidente Europeo. Estudios Arqueológicos*, Reunión celebrada en Tarragona, los días 12, 13, y 14 de diciembre del 2002, Tarragona, El Mèdol, 2004, p. 223-237.

TRIOU A. – L'aqueduc gallo-romain, in : *Revue de Saintonge et d'Aunis*, nouvelle série, Saintes, 1953, p. 21-32 ; 1956, p. 246-262 ; 1957, p. 347-356.

TRIOU A. – Les aqueducs gallo-romains de Saintes, in : *Gallia*, tome XXVI, Paris, 1968, fasc. 1, p. 119-144.

VINET E. – *L'Antiquité de Saintes et de Barbezieux*, Bordeaux, 1568.

8. Annexes

8.1. Autorisation de Monsieur Torregrossa

AUTORISATION DE FOUILLE DU PROPRIETAIRE

Je soussigné(e) M^r TORREGROSSA Christian
Demeurant à 6 ROUTE de MONTPESE 17100 FONTCOUVERTE
Propriétaire de VERGERS des NEUF Puits
(vso FONTCOUVERTE)
Situé(e) au lieu-dit Les Neuf Puits
Cadastre de Fontcouverte - section AM Parcelle(s) 256 à 264, 287 et 288
Commune Fontcouverte Département 17
Autorise Monsieur Mialhe Vincent

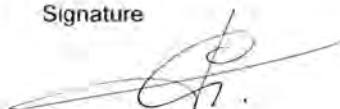
A effectuer des travaux de fouille et de recherche archéologique dans ledit gisement.
Ces travaux consistent à une photogrammétrie d'une section de l'aqueduc (galerie souterraine)
sous le verger.

Je dégage ma responsabilité en cas d'accidents qui pourraient survenir au cours de ces travaux.

Cette autorisation est valable jusqu'à l'achèvement des travaux

Fait à Fontcouverte le 14/11/2010

Signature



8.2. Autorisation de Monsieur Drapron

AUTORISATION DE FOUILLE DU PROPRIETAIRE

Je soussigné(e)..... Bruno DRAPRON, Maire.....

Demeurant à..... Hôtel de Ville - Square André Maudet - 17100 SAINTES.....

Propriétaire de..... Golf de la ville de Saintes.....

Situé(e) au lieu-dit..... Les Arcs Sud.....

Cadastre de..... Fontcouverte - section AM..... Parcelle(s)..... 292.....

Commune..... Fontcouverte..... Département..... 17.....

Autorise..... Monsieur Mialhe Vincent.....

A effectuer des travaux de fouille et de recherche archéologique dans ledit gisement.
Ces travaux consistent à une photogrammétrie d'une section de l'aqueduc (galerie souterraine et
culée aval) dans le golf.

**Je dégage ma responsabilité en cas d'accidents qui pourraient survenir au cours de
ces travaux.**

Cette autorisation est valable jusqu'à l'achèvement des travaux

Fait à..... Saintes..... le 20 NOV. 2020

Signature

8.3. Tableau des écarts entre la photogrammétrie et la tachéométrie

Point de contrôle du pont amont (2020)				
cible	Error_(m)	X_error	Y_error	Z_error
1	0.007282	0.006870	-0.000914	-0.002236
2	0.002317	0.001415	-0.001793	-0.000389
3	0.005611	0.000579	-0.001439	0.005393
4	0.004265	0.004025	-0.000538	-0.001305
5	0.002963	0.001825	0.002188	0.000810
6	0.004635	-0.002999	0.001480	0.003208
7	0.003477	0.002148	-0.002504	-0.001097
8	0.002664	-0.001133	-0.001654	0.001754
9	0.003173	0.002443	0.001855	-0.000811
10	0.004824	0.004179	0.001175	0.002105
12	0.008093	-0.005578	-0.002424	-0.005339
14	0.003067	-0.000163	-0.002932	-0.000885
15	0.002126	-0.000584	-0.000917	0.001828
16	0.012918	0.007666	-0.000865	0.010361
17	0.004143	-0.000127	0.001976	0.003639
18	0.004358	0.002319	0.001276	0.003463
19	0.005745	0.002287	0.004344	0.002984
21	0.000503	0.000339	-0.000278	0.000247
22	0.002730	0.001380	-0.000946	0.002158
23	0.003832	0.000824	0.002224	0.003010
25	0.007647	0.000549	-0.003986	-0.006503
26	0.011442	0.005148	-0.007721	-0.006693
27	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
28	0.045210	-0.041032	0.015072	-0.011541
29	0.003533	0.002490	-0.002132	-0.001317
30	0.007805	0.007670	0.000325	-0.001406
31	0.002884	0.001860	-0.001183	-0.001860
32	0.005357	-0.002964	-0.004216	-0.001461
33	0.004292	-0.000571	0.000364	-0.004238
34	0.001909	-0.001640	-0.000898	0.000382
35	0.001814	-0.000992	-0.000789	-0.001298
36	0.011239	0.005396	-0.009623	-0.002144
37	0.007603	0.004226	-0.004343	-0.004592
38	0.003385	0.000269	0.001988	-0.002727
39	0.003333	-0.001834	-0.002660	-0.000816
40	0.003275	-0.002286	0.001891	-0.001388
41	0.010161	-0.009926	0.001312	-0.001729
42	0.006471	-0.002598	0.005898	-0.000578
44	0.009099	-0.006697	0.005798	0.002079
45	0.006803	-0.004950	0.001460	-0.004432
46	0.006788	-0.006130	-0.002280	0.001817
47	0.003090	-0.001249	-0.000665	-0.002746
49	0.005636	-0.004106	-0.001167	-0.003680
50	0.004158	-0.003674	0.000578	0.001860
51	0.018270	-0.013346	-0.010387	0.006914
52	0.003984	0.003776	0.001051	0.000716
53	0.022949	0.019676	0.011010	-0.004281
54	0.018310	0.012522	0.013158	-0.002303
55	0.003102	-0.001033	-0.002925	-0.000063
56	0.006405	-0.004714	0.003351	-0.002753
57	0.016413	-0.015255	-0.005293	0.002941
58	0.003237	0.001971	-0.001478	0.002099

cible	Error_(m)	X_error	Y_error	Z_error
211206.1	0.010483	-0.001083	-0.008330	-0.006272
211206.2	0.015523	0.013069	0.003777	0.007476
211206.3	0.025569	-0.021120	0.006781	-0.012718
211206.4	0.017947	0.011086	-0.008670	0.011136
211206.5	0.014072	-0.002058	0.008807	-0.010781
211206.6	0.016279	0.006952	-0.008338	0.012131
211206.7	0.009139	-0.006847	0.005974	-0.000972
B.2	0.012050	0.010235	0.005671	-0.002879
B.3	0.005036	-0.000325	0.001470	-0.004806
B.4	0.014184	0.005575	-0.010707	-0.007446
B.5	0.002784	0.001020	0.000577	-0.002525
B.6	0.004489	0.002194	0.000442	-0.003891
B.7	0.006206	-0.002922	-0.002806	0.004702
B.8	0.005464	-0.002227	0.001293	0.004819
B.9	0.008346	-0.005766	0.004688	0.003799
B.10	0.011136	-0.009393	0.005434	0.002503
B.11	0.019186	0.006745	-0.015019	0.009850
B.12	0.004514	-0.004457	-0.000639	0.000319
B.14	0.017976	-0.013322	-0.009790	-0.007058
B.15	0.006451	-0.006368	0.000774	0.000685
B.16	0.011078	-0.008479	0.005023	0.005059
B.17	0.004333	0.000759	0.004063	0.001303
B.18	0.003742	-0.003514	-0.000190	0.001270
B.19	0.008743	0.007631	0.003038	0.002996
B.20	0.004284	-0.000517	0.004225	-0.000490
B.21	0.003696	-0.001227	-0.000563	0.003440
B.22	0.016032	0.003513	0.008334	-0.013238
B.24	0.004450	-0.001500	-0.003601	0.002142
B.25	0.004876	0.003554	-0.000357	0.003319
B.26	0.009330	0.008721	0.002846	-0.001703
B.27	0.008378	0.008324	-0.000542	0.000780
Total error	0.008139	0.005311	0.004251	0.004468
Point de contrôle du tunnel du Golf (2023)				
C.1	0.009570	0.009274	-0.001044	0.002120
C.2	0.015542	-0.011865	-0.007955	0.006123
C.4	0.004508	-0.003672	0.002522	-0.000692
C.5	0.009881	0.004912	-0.004018	-0.007574
C.6	0.011550	-0.009582	0.002900	0.005759
C.7	0.006725	0.000663	-0.003564	0.005664
C.8	0.007186	0.006217	0.003317	0.001411
C.9	0.009102	0.007009	-0.000302	0.005798
C.10	0.009478	0.002909	0.008123	-0.003924
C.11	0.005280	0.002388	-0.004325	-0.001861
C.12	0.010264	-0.004356	-0.005878	0.007199
C.13	0.004997	-0.001062	0.000431	-0.004864
C.14	0.014167	-0.008485	0.007259	-0.008719
C.16	0.009923	-0.005280	-0.001135	-0.008325
C.17	0.012151	-0.010349	0.005239	-0.003620
C.19	0.011611	-0.006722	-0.007606	0.005637
C.22	0.024071	0.007240	0.021595	0.007790
C.23	0.011462	0.009964	-0.004578	-0.003340
C.25	0.012782	0.011890	0.001340	-0.004496

cible	Error_(m)	X_error	Y_error	Z_error
C.26	0.008861	-0.005347	-0.005479	0.004461
C.27	0.009510	0.006905	0.002577	-0.006010
C.29	0.003604	-0.003449	-0.000194	0.001027
C.30	0.014152	-0.009625	-0.006925	-0.007724
C.31	0.006882	0.004542	-0.001406	-0.004975
C.32	0.009680	0.006329	0.006757	0.002824
C.34	0.007997	0.007675	0.001253	0.001863
C.35	0.015442	-0.001400	-0.014859	-0.003963
C.37	0.008216	-0.000092	0.003539	0.007414
C.38	0.013337	-0.009200	-0.007588	0.005969
C.39	0.003027	-0.002358	0.001497	0.001165
C.40	0.008172	-0.006778	0.000573	0.004528
C.41	0.061409	0.038326	0.018236	-0.044380
C.42	0.007485	-0.005660	-0.004790	-0.001026
C.43	0.001203	-0.000825	-0.000618	0.000621
C.44	0.007532	-0.005552	-0.004300	0.002724
C.50	0.007826	-0.004110	-0.005692	0.003457
C.52	0.016218	0.011263	0.008209	0.008295
C.53	0.007878	-0.002750	-0.005783	-0.004589
C.55	0.005024	0.001468	0.000277	0.004797
C.56	0.045712	-0.037733	-0.025764	0.001417
C.57	0.001994	0.000137	0.000986	0.001728
C.58	0.011810	0.007348	0.008246	0.004183
C.60	0.004165	-0.000454	0.003017	0.002835
C.61	0.010141	-0.000444	0.006622	0.007668
L.1	0.010573	0.003423	0.008488	0.005294
L.2	0.004943	0.001720	-0.003501	0.003036
Total error	0.015037	0.010045	0.007621	0.008194
Point de contrôle du tunnel du Torregrossa (2021)				
2	0.006366	-0.002915	0.000279	-0.005652
2	0.017881	-0.004211	0.017328	0.001317
3	0.011467	0.009379	0.003231	-0.005753
4	0.009022	-0.007845	0.003349	-0.002939
4	0.006087	0.003115	0.004325	-0.002940
5	0.007123	0.005745	-0.002903	-0.003051
6	0.006741	-0.006114	0.002831	0.000213
7	0.007115	-0.000027	-0.005038	0.005024
8	0.023214	-0.009853	0.020698	0.003659
8	0.011191	-0.001712	-0.005000	0.009865
9	0.007715	-0.004268	-0.006210	0.001655
10	0.011375	0.010624	0.003367	-0.002277
10	0.004905	0.002091	0.001097	0.004299
11	0.004387	0.001330	0.002957	0.002954
12	0.013535	0.011003	-0.003069	-0.007260
13	0.010743	0.009107	-0.003488	0.004508
14	0.008664	-0.003890	-0.002927	0.007167
14	0.024380	0.008051	-0.005590	-0.022323
15	0.013611	-0.002157	-0.012390	-0.005205
16	0.015353	0.012755	-0.007563	-0.003978
17	0.013326	0.001415	-0.012518	0.004345
18	0.027440	0.008695	-0.025752	0.003765
19	0.014928	0.003536	-0.005791	-0.013297
20	0.029976	0.005919	-0.027680	0.009866
21	0.010190	-0.001851	0.000992	0.009971
22	0.019110	-0.015885	0.006853	0.008118
22	0.018055	0.005478	-0.015144	-0.008164

cible	Error_(m)	X_error	Y_error	Z_error
23	0.006171	-0.002743	-0.003441	-0.004326
24	0.031535	-0.023359	0.007925	-0.019646
24	0.025965	0.014827	-0.020017	0.007325
25	0.027754	0.021086	-0.002017	-0.017933
26	0.013862	0.006964	-0.011843	0.001845
27	0.034506	0.019370	0.018680	-0.021599
28	0.018335	0.014409	-0.006693	0.009153
29	0.037887	0.012781	-0.010116	0.034201
30	0.026357	-0.004865	0.015389	-0.020838
30	0.032285	-0.006453	0.003911	-0.031390
32	0.020327	0.017549	-0.004617	-0.009160
33	0.023379	0.011581	-0.002144	0.020195
34	0.056610	0.015570	0.004288	-0.054257
35	0.042640	0.001870	-0.022146	0.036390
35	0.070458	-0.018868	-0.017265	0.065652
36	0.029952	-0.008702	-0.017028	0.023054
36	0.062952	-0.024645	-0.035766	0.045567
37	0.030795	-0.007805	0.026183	0.014206
37	0.034063	-0.030009	-0.006883	0.014573
41	0.023892	0.020811	-0.008451	0.008142
42	0.011704	0.000127	0.004869	0.010643
43.1	0.023803	0.023146	-0.004064	0.003786
44.1	0.003178	0.000518	0.002862	-0.001280
44.1	0.027281	0.023936	-0.013071	-0.000676
46	0.011022	-0.010967	0.000915	0.000616
47	0.012902	-0.007098	-0.010765	0.000449
47	0.003307	-0.002968	0.000041	-0.001458
48	0.007994	0.003511	-0.003030	-0.006511
49	0.011518	-0.010288	-0.003501	0.003816
51	0.006942	-0.002790	-0.003608	-0.005234
51	0.018512	-0.016540	0.007165	-0.004217
52	0.023696	0.018354	0.014898	-0.001632
53	0.045502	-0.041987	-0.016932	-0.004561
54.1	0.021971	-0.001058	0.010583	0.019225
57	0.009884	0.009624	-0.002095	-0.000828
57	0.002419	-0.000186	0.001983	-0.001372
58	0.017526	-0.007222	0.009805	-0.012604
59	0.005710	0.004928	-0.002614	-0.001220
59	0.015897	-0.012923	0.008502	0.003663
61	0.011174	0.001488	0.008901	-0.006589
61	0.009669	-0.000513	0.005957	-0.007599
62	0.021425	0.020633	-0.002667	-0.005121
63	0.011571	-0.008613	-0.005637	-0.005286
64	0.014051	0.012792	-0.004689	0.003435
65	0.008045	-0.005689	0.002925	0.004879
65	0.007491	0.004963	-0.004832	0.002852
66	0.009248	0.001805	-0.003213	0.008482
67	0.009815	-0.009105	0.003016	0.002081
68	0.006186	0.003854	-0.000715	0.004786
69	0.019179	-0.009842	0.010931	-0.012308
71	0.017397	0.004776	0.008241	-0.014557
73	0.143095	0.085652	0.099997	-0.056038
75	0.008879	-0.004658	0.000748	-0.007522
77	0.018533	-0.015037	0.003639	-0.010203
2001	0.010898	-0.001159	0.010821	0.000577
2002	0.009365	0.002988	-0.006962	0.005505

cible	Error_(m)	X_error	Y_error	Z_error
2003	0.016875	0.015235	-0.006400	0.003421
2004	0.027179	0.010417	-0.023892	0.007702
2005	0.233929	-0.121189	0.200089	0.000658
2006	0.068531	-0.009942	-0.067794	0.001300
2007	0.026893	0.011368	0.000895	0.024356
2007	0.015547	0.006167	-0.009598	-0.010561
2009	0.081302	0.054481	0.059698	0.008833
2010	0.011862	-0.005461	0.007231	0.007654
2011	0.012232	0.009303	0.006882	-0.003964
2012	0.007360	0.006773	0.002535	0.001370
2013	0.009538	-0.007713	-0.003687	0.004230
2014	0.004256	0.003014	0.002974	0.000432
3000	0.040375	0.030233	0.026412	-0.004301
3001	0.050740	0.033821	-0.036842	-0.008566
3002	0.040441	-0.033158	-0.023135	0.000894
3003	0.040667	-0.028912	0.027800	-0.006716
3004	0.041735	-0.006388	0.019622	-0.036276
3005	0.028159	0.005926	-0.002906	0.027374
3006	0.029749	-0.001522	-0.010954	0.027617
C.45	0.010070	-0.009896	-0.001453	0.001174
R.1	0.018846	0.009642	0.004176	-0.015646
S.19	0.015912	-0.002059	-0.013733	0.007769
S.19	0.036478	0.027257	-0.017909	0.016341
V.1	0.017636	0.009140	0.011026	-0.010292
V.2	0.018764	0.008162	-0.015344	-0.007073
V.3	0.031025	-0.004682	0.011407	0.028470
V.4	0.018241	-0.012619	-0.007087	-0.011104
s.13	0.005533	-0.000058	-0.003937	-0.003888
s.15	0.003231	-0.002965	-0.001219	0.000403
s.17	0.005055	0.000116	0.003099	-0.003992
s.21	0.012484	-0.008512	0.006364	-0.006548
s.50	0.011853	-0.011135	0.004026	-0.000546
Total error	0.026680	0.015797	0.016939	0.013241
Point de contrôle du terrain et du pont aval (2022)				
211206.1	0.010483	-0.001083	-0.008330	-0.006272
211206.2	0.015523	0.013069	0.003777	0.007476
211206.3	0.025569	-0.021120	0.006781	-0.012718
211206.4	0.017947	0.011086	-0.008670	0.011136
211206.5	0.014072	-0.002058	0.008807	-0.010781
211206.6	0.016279	0.006952	-0.008338	0.012131
211206.7	0.009139	-0.006847	0.005974	-0.000972
211231.1	0.005852	0.001503	-0.001661	0.005407
211231.2	0.016531	-0.010741	0.001760	-0.012443
211231.3	0.045242	0.029306	-0.008187	0.033481
211231.4	0.040279	-0.023847	0.008022	-0.031455
211231.5	0.012193	0.006665	-0.002470	0.009907
211231.6	0.005551	-0.001664	0.002899	-0.004432
211231.7	0.001783	-0.000550	-0.001539	-0.000714
211231.8	0.001376	-0.000672	0.001175	0.000248
220102.1	0.009420	-0.006511	0.002799	0.006205
220102.2	0.013092	0.003003	-0.008376	-0.009604
220102.3	0.017702	0.009020	-0.015008	-0.002607
220102.4	0.022139	-0.005512	0.020584	0.006006
220102.5	0.010967	-0.008934	-0.001208	-0.006245
220102.6	0.009669	0.007714	-0.003677	0.004523
220102.7	0.020215	0.004917	0.016251	0.010972

cible	Error_(m)	X_error	Y_error	Z_error
220102.8	0.015113	-0.003697	-0.011365	-0.009250
A.1	0.006389	-0.001961	-0.005893	0.001498
A.2	0.004783	-0.002379	-0.004048	-0.000909
A.3	0.002153	0.000356	0.001971	-0.000790
A.4	0.003594	0.001710	0.002297	0.002172
A.5	0.009629	0.004042	0.008020	-0.003473
A.6	0.003300	-0.001768	-0.002346	0.001503
C.1_1	0.013601	-0.010780	-0.006432	-0.005235
C.1_2	0.008218	-0.003492	0.000280	0.007434
C.1_2	0.008218	-0.003492	0.000280	0.007434
C.1_3	0.006299	0.002172	-0.004825	0.003418
C.1_3	0.006299	0.002172	-0.004825	0.003418
C.1_4	0.008978	-0.007831	0.003114	-0.003095
C.1_4	0.008978	-0.007831	0.003114	-0.003095
C.1_5	0.005636	0.003580	0.000750	-0.004288
C.1_5	0.005636	0.003580	0.000750	-0.004288
C.1_6	0.007781	0.001112	-0.007223	-0.002671
C.1_6	0.007781	0.001112	-0.007223	-0.002671
C.1_7	0.010462	0.005714	0.008696	-0.001083
C.1_7	0.010462	0.005714	0.008696	-0.001083
C.1_8	0.004870	0.002351	-0.002865	-0.003161
C.1_8	0.004870	0.002351	-0.002865	-0.003161
C.12	0.005401	-0.003605	0.002073	0.003446
C.14	0.008150	-0.007938	-0.001057	-0.001510
C.15	0.020355	-0.020100	0.002938	-0.001286
C.16	0.016597	0.012040	-0.010865	0.003527
C.18	0.017605	0.012111	0.011477	-0.005617
Total error	0.0174	0.014	0.008	0.010

8.4. Rapport du recalage des stations avec le scanner Trimble X7



Votre nom
Votre titre
Nom de l'entreprise
Site web de l'entreprise



Rapport de recalage

Fontcouverte

jeudi 2 mars 2023

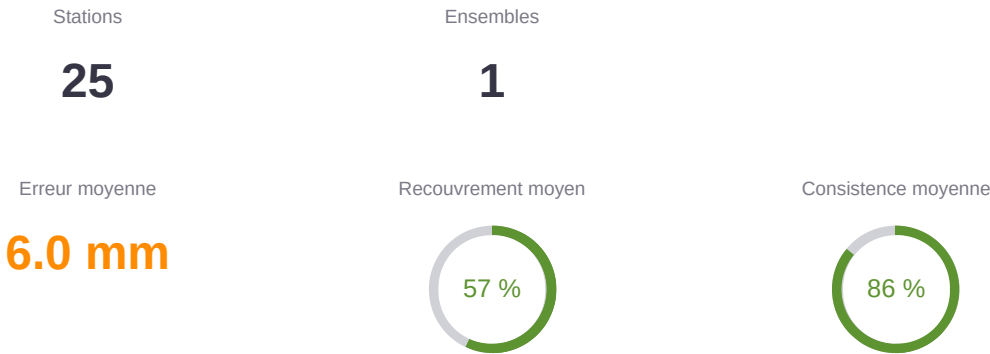


25 Stations



1 Ensemble

Résumé du projet



Résumé de recalage

Ensemble 2	25 Stations	6.0 mm Erreur moyenne	57 % Recouvrement moyen	86 % Consistance moyenne	Station de référence : 1
------------	-------------	-----------------------	-------------------------	--------------------------	--------------------------

Nom de station	Liens	Erreur moyenne (mm)	Recouvrement moyen (%)	Consistance moyenne (%)
1	4	3.8 mm	47 %	81 %
2	3	3.5 mm	43 %	100 %
3	3	6.3 mm	27 %	92 %
4	5	7.3 mm	36 %	71 %
5	5	7.5 mm	35 %	78 %
6	8	3.3 mm	43 %	86 %
7	8	4.7 mm	66 %	100 %
8	7	4.9 mm	67 %	100 %
9	5	6.3 mm	64 %	100 %
10	11	4.5 mm	70 %	100 %
11	13	5.2 mm	70 %	97 %
12	14	6.5 mm	66 %	100 %
13	13	5.6 mm	67 %	100 %
14	12	4.6 mm	73 %	100 %
15	11	3.9 mm	80 %	100 %
16	11	3.9 mm	82 %	100 %
17	11	4.4 mm	78 %	100 %
18	10	3.8 mm	77 %	100 %
19	10	5.5 mm	73 %	96 %
20	8	4.2 mm	79 %	100 %
21	9	11.5 mm	72 %	100 %
22	4	8.3 mm	34 %	42 %
23	4	7.3 mm	29 %	28 %
24	4	7.7 mm	29 %	36 %
25	3	16.4 mm	23 %	41 %

Recalage détaillé

Ensemble 2	25 Stations	6.0 mm Erreur moyenne	57 % Recouvrement moyen	86 % Consistance moyenne	Station de référence : 1
1	4 Liens	3.8 mm Erreur moyenne	47 % Recouvrement moyen	81 % Consistance moyenne	
	Stations liées	Erreur (mm)	Recouvrement (%)	Consistance (%)	Distance (m)
	2	3.9 mm	44 %	100 %	7.879 m
	3	5.6 mm	28 %	100 %	3.420 m
	4	3.2 mm	61 %	46 %	3.406 m
	5	2.7 mm	57 %	77 %	4.128 m
2	3 Liens	3.5 mm Erreur moyenne	43 % Recouvrement moyen	100 % Consistance moyenne	
	Stations liées	Erreur (mm)	Recouvrement (%)	Consistance (%)	Distance (m)
	1	3.9 mm	44 %	100 %	7.879 m
	4	3.7 mm	48 %	100 %	4.925 m
	5	2.8 mm	38 %	100 %	5.061 m
3	3 Liens	6.3 mm Erreur moyenne	27 % Recouvrement moyen	92 % Consistance moyenne	
	Stations liées	Erreur (mm)	Recouvrement (%)	Consistance (%)	Distance (m)
	1	5.6 mm	28 %	100 %	3.420 m
	4	5.5 mm	25 %	77 %	1.784 m
	5	7.8 mm	28 %	100 %	2.052 m
4	5 Liens	7.3 mm Erreur moyenne	36 % Recouvrement moyen	71 % Consistance moyenne	
	Stations liées	Erreur (mm)	Recouvrement (%)	Consistance (%)	Distance (m)
	1	3.2 mm	61 %	46 %	3.406 m
	2	3.7 mm	48 %	100 %	4.925 m
	3	5.5 mm	25 %	77 %	1.784 m
	5	5.4 mm	36 %	100 %	3.677 m
	23	18.7 mm	11 %	31 %	5.232 m
5	5 Liens	7.5 mm Erreur moyenne	35 % Recouvrement moyen	78 % Consistance moyenne	
	Stations liées	Erreur (mm)	Recouvrement (%)	Consistance (%)	Distance (m)
	1	2.7 mm	57 %	77 %	4.128 m
	2	2.8 mm	38 %	100 %	5.061 m
	3	7.8 mm	28 %	100 %	2.052 m
	4	5.4 mm	36 %	100 %	3.677 m
	25	19.1 mm	17 %	11 %	2.653 m
6	8 Liens	3.3 mm Erreur moyenne	43 % Recouvrement moyen	86 % Consistance moyenne	

	Stations liées	Erreur (mm)	Recouvrement (%)	Consistance (%)	Distance (m)
	7	1.5 mm	49 %	100 %	2.059 m
	8	2.7 mm	42 %	100 %	4.300 m
	10	2.0 mm	57 %	100 %	2.990 m
	11	2.9 mm	51 %	100 %	6.037 m
	12	4.5 mm	43 %	100 %	8.335 m
	22	1.8 mm	43 %	30 %	1.656 m
	23	3.0 mm	32 %	61 %	3.293 m
	24	8.1 mm	26 %	100 %	5.102 m
7	8 Liens	4.7 mm Erreur moyenne	66 % Recouvrement moyen	100 % Consistance moyenne	
	Stations liées	Erreur (mm)	Recouvrement (%)	Consistance (%)	Distance (m)
	6	1.5 mm	49 %	100 %	2.059 m
	8	1.3 mm	82 %	100 %	2.281 m
	9	2.1 mm	80 %	100 %	3.640 m
	10	2.7 mm	83 %	100 %	4.853 m
	11	4.0 mm	77 %	100 %	7.965 m
	12	6.3 mm	66 %	100 %	10.281 m
	13	8.6 mm	52 %	100 %	12.493 m
	14	11.4 mm	42 %	100 %	14.543 m
8	7 Liens	4.9 mm Erreur moyenne	67 % Recouvrement moyen	100 % Consistance moyenne	
	Stations liées	Erreur (mm)	Recouvrement (%)	Consistance (%)	Distance (m)
	6	2.7 mm	42 %	100 %	4.300 m
	7	1.3 mm	82 %	100 %	2.281 m
	9	1.3 mm	81 %	100 %	1.408 m
	10	4.1 mm	80 %	100 %	7.128 m
	11	5.3 mm	74 %	100 %	10.243 m
	12	8.2 mm	62 %	100 %	12.560 m
	13	11.7 mm	47 %	100 %	14.773 m
9	5 Liens	6.3 mm Erreur moyenne	64 % Recouvrement moyen	100 % Consistance moyenne	
	Stations liées	Erreur (mm)	Recouvrement (%)	Consistance (%)	Distance (m)
	7	2.1 mm	80 %	100 %	3.640 m
	8	1.3 mm	81 %	100 %	1.408 m
	10	6.7 mm	64 %	100 %	8.491 m
	11	8.5 mm	53 %	100 %	11.598 m
	12	13.1 mm	42 %	100 %	13.910 m
10	11 Liens	4.5 mm Erreur moyenne	70 % Recouvrement moyen	100 % Consistance moyenne	

	Stations liées	Erreur (mm)	Recouvrement (%)	Consistance (%)	Distance (m)
	6	2.0 mm	57 %	100 %	2.990 m
	7	2.7 mm	83 %	100 %	4.853 m
	8	4.1 mm	80 %	100 %	7.128 m
	9	6.7 mm	64 %	100 %	8.491 m
	11	1.4 mm	88 %	100 %	3.118 m
	12	2.0 mm	85 %	100 %	5.439 m
	13	3.1 mm	80 %	100 %	7.656 m
	14	4.2 mm	72 %	100 %	9.712 m
	15	5.8 mm	59 %	100 %	12.303 m
	16	6.9 mm	56 %	100 %	14.426 m
	17	10.5 mm	49 %	100 %	16.881 m
11	13 Liens	5.2 mm Erreur moyenne	70 % Recouvrement moyen	97 % Consistance moyenne	
	Stations liées	Erreur (mm)	Recouvrement (%)	Consistance (%)	Distance (m)
	6	2.9 mm	51 %	100 %	6.037 m
	7	4.0 mm	77 %	100 %	7.965 m
	8	5.3 mm	74 %	100 %	10.243 m
	9	8.5 mm	53 %	100 %	11.598 m
	10	1.4 mm	88 %	100 %	3.118 m
	12	1.3 mm	89 %	100 %	2.322 m
	13	1.9 mm	89 %	100 %	4.539 m
	14	2.8 mm	86 %	100 %	6.596 m
	15	4.3 mm	76 %	100 %	9.193 m
	16	5.4 mm	73 %	100 %	11.313 m
	17	7.5 mm	64 %	100 %	13.765 m
	18	8.1 mm	51 %	100 %	16.139 m
	19	13.8 mm	41 %	64 %	19.206 m
12	14 Liens	6.5 mm Erreur moyenne	66 % Recouvrement moyen	100 % Consistance moyenne	
	Stations liées	Erreur (mm)	Recouvrement (%)	Consistance (%)	Distance (m)
	6	4.5 mm	43 %	100 %	8.335 m
	7	6.3 mm	66 %	100 %	10.281 m
	8	8.2 mm	62 %	100 %	12.560 m
	9	13.1 mm	42 %	100 %	13.910 m
	10	2.0 mm	85 %	100 %	5.439 m
	11	1.3 mm	89 %	100 %	2.322 m
	13	1.4 mm	89 %	100 %	2.218 m
	14	2.0 mm	88 %	100 %	4.275 m
	15	3.3 mm	82 %	100 %	6.877 m
	16	4.2 mm	78 %	100 %	8.994 m
	17	5.8 mm	65 %	100 %	11.444 m
	18	6.6 mm	54 %	100 %	13.818 m
	19	11.3 mm	45 %	100 %	16.885 m
	21	21.1 mm	40 %	100 %	20.885 m
13	13 Liens	5.6 mm Erreur moyenne	67 % Recouvrement moyen	100 % Consistance moyenne	

Stations liées	Erreur (mm)	Recouvrement (%)	Consistance (%)	Distance (m)
7	8.6 mm	52 %	100 %	12.493 m
8	11.7 mm	47 %	100 %	14.773 m
10	3.1 mm	80 %	100 %	7.656 m
11	1.9 mm	89 %	100 %	4.539 m
12	1.4 mm	89 %	100 %	2.218 m
14	1.3 mm	88 %	100 %	2.058 m
15	2.0 mm	84 %	100 %	4.665 m
16	2.6 mm	82 %	100 %	6.778 m
17	3.4 mm	67 %	100 %	9.227 m
18	3.6 mm	58 %	100 %	11.600 m
19	7.2 mm	49 %	100 %	14.667 m
20	7.9 mm	44 %	100 %	17.078 m
21	18.7 mm	43 %	100 %	18.669 m

14 12 Liens 4.6 mm Erreur moyenne 73 % Recouvrement moyen 100 % Consistance moyenne

Stations liées	Erreur (mm)	Recouvrement (%)	Consistance (%)	Distance (m)
7	11.4 mm	42 %	100 %	14.543 m
10	4.2 mm	72 %	100 %	9.712 m
11	2.8 mm	86 %	100 %	6.596 m
12	2.0 mm	88 %	100 %	4.275 m
13	1.3 mm	88 %	100 %	2.058 m
15	1.5 mm	86 %	100 %	2.611 m
16	1.9 mm	86 %	100 %	4.720 m
17	2.6 mm	75 %	100 %	7.169 m
18	3.0 mm	69 %	100 %	9.545 m
19	4.9 mm	64 %	100 %	12.613 m
20	5.4 mm	62 %	100 %	15.025 m
21	14.4 mm	61 %	100 %	16.618 m

15 11 Liens 3.9 mm Erreur moyenne 80 % Recouvrement moyen 100 % Consistance moyenne

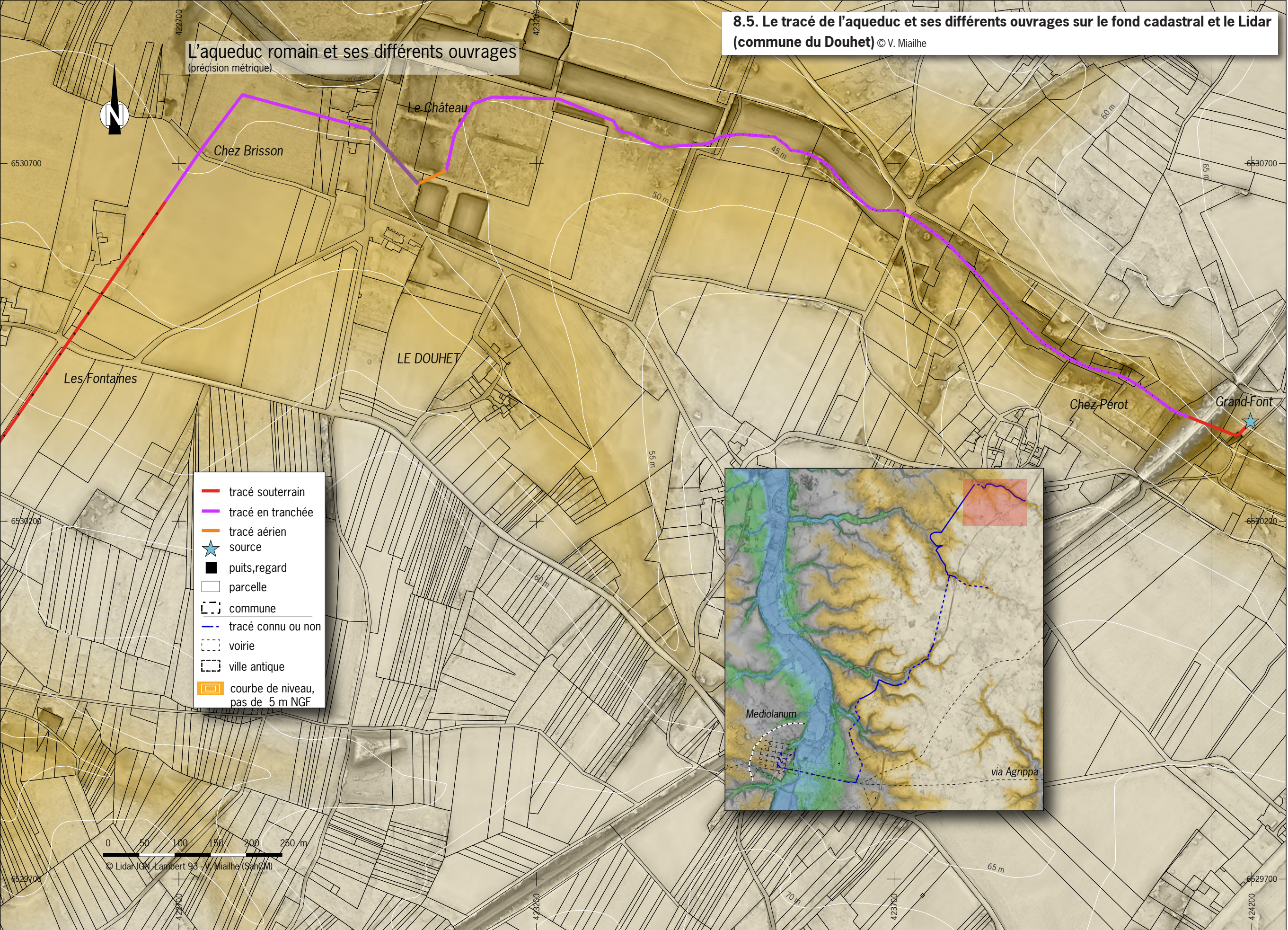
Stations liées	Erreur (mm)	Recouvrement (%)	Consistance (%)	Distance (m)
10	5.8 mm	59 %	100 %	12.303 m
11	4.3 mm	76 %	100 %	9.193 m
12	3.3 mm	82 %	100 %	6.877 m
13	2.0 mm	84 %	100 %	4.665 m
14	1.5 mm	86 %	100 %	2.611 m
16	1.1 mm	89 %	100 %	2.127 m
17	1.9 mm	85 %	100 %	4.591 m
18	2.6 mm	82 %	100 %	6.973 m
19	4.2 mm	81 %	100 %	10.042 m
20	5.0 mm	78 %	100 %	12.458 m
21	11.3 mm	73 %	100 %	14.056 m

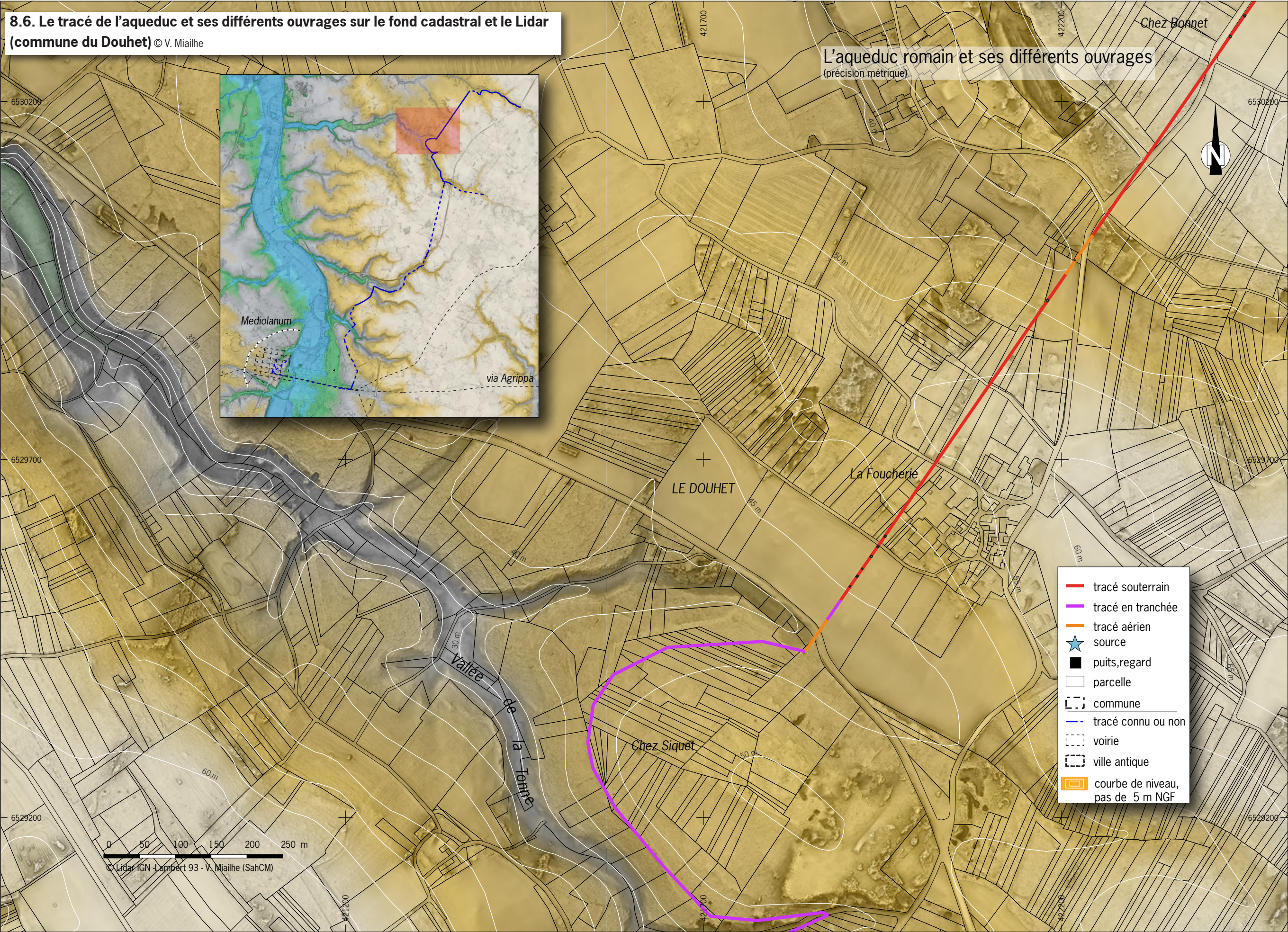
16 11 Liens 3.9 mm Erreur moyenne 82 % Recouvrement moyen 100 % Consistance moyenne

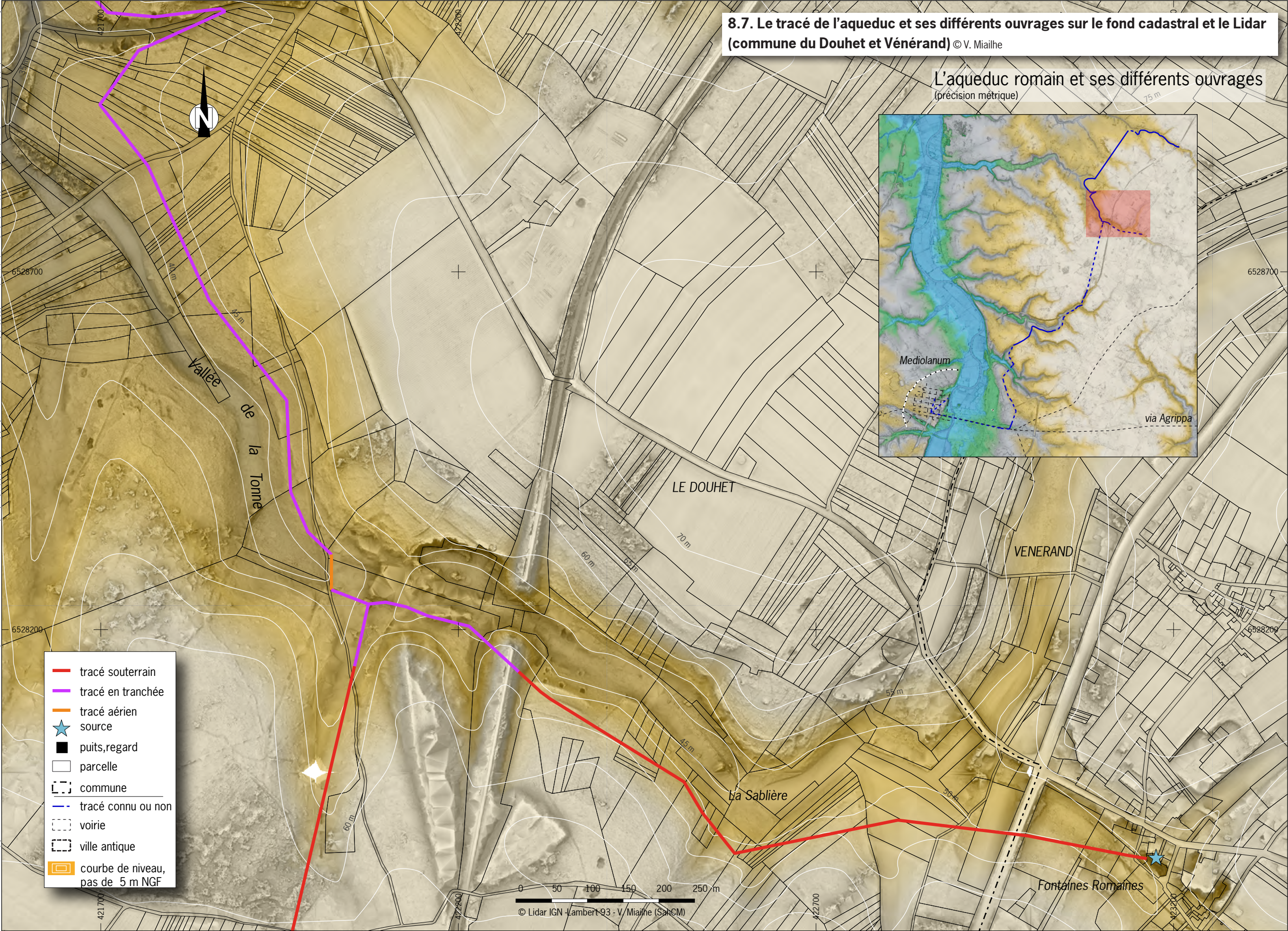
	Stations liées	Erreur (mm)	Recouvrement (%)	Consistance (%)	Distance (m)
	10	6.9 mm	56 %	100 %	14.426 m
	11	5.4 mm	73 %	100 %	11.313 m
	12	4.2 mm	78 %	100 %	8.994 m
	13	2.6 mm	82 %	100 %	6.778 m
	14	1.9 mm	86 %	100 %	4.720 m
	15	1.1 mm	89 %	100 %	2.127 m
	17	1.3 mm	88 %	100 %	2.465 m
	18	1.9 mm	89 %	100 %	4.848 m
	19	3.2 mm	90 %	100 %	7.916 m
	20	4.1 mm	88 %	100 %	10.332 m
	21	10.6 mm	83 %	100 %	11.931 m
17	11 Liens	4.4 mm Erreur moyenne	78 % Recouvrement moyen	100 % Consistance moyenne	
	Stations liées	Erreur (mm)	Recouvrement (%)	Consistance (%)	Distance (m)
	10	10.5 mm	49 %	100 %	16.881 m
	11	7.5 mm	64 %	100 %	13.765 m
	12	5.8 mm	65 %	100 %	11.444 m
	13	3.4 mm	67 %	100 %	9.227 m
	14	2.6 mm	75 %	100 %	7.169 m
	15	1.9 mm	85 %	100 %	4.591 m
	16	1.3 mm	88 %	100 %	2.465 m
	18	1.1 mm	91 %	100 %	2.383 m
	19	2.1 mm	93 %	100 %	5.451 m
	20	3.1 mm	93 %	100 %	7.867 m
	21	9.6 mm	90 %	100 %	9.466 m
18	10 Liens	3.8 mm Erreur moyenne	77 % Recouvrement moyen	100 % Consistance moyenne	
	Stations liées	Erreur (mm)	Recouvrement (%)	Consistance (%)	Distance (m)
	11	8.1 mm	51 %	100 %	16.139 m
	12	6.6 mm	54 %	100 %	13.818 m
	13	3.6 mm	58 %	100 %	11.600 m
	14	3.0 mm	69 %	100 %	9.545 m
	15	2.6 mm	82 %	100 %	6.973 m
	16	1.9 mm	89 %	100 %	4.848 m
	17	1.1 mm	91 %	100 %	2.383 m
	19	1.3 mm	93 %	100 %	3.070 m
	20	2.1 mm	94 %	100 %	5.485 m
	21	7.9 mm	89 %	100 %	7.084 m
19	10 Liens	5.5 mm Erreur moyenne	73 % Recouvrement moyen	96 % Consistance moyenne	

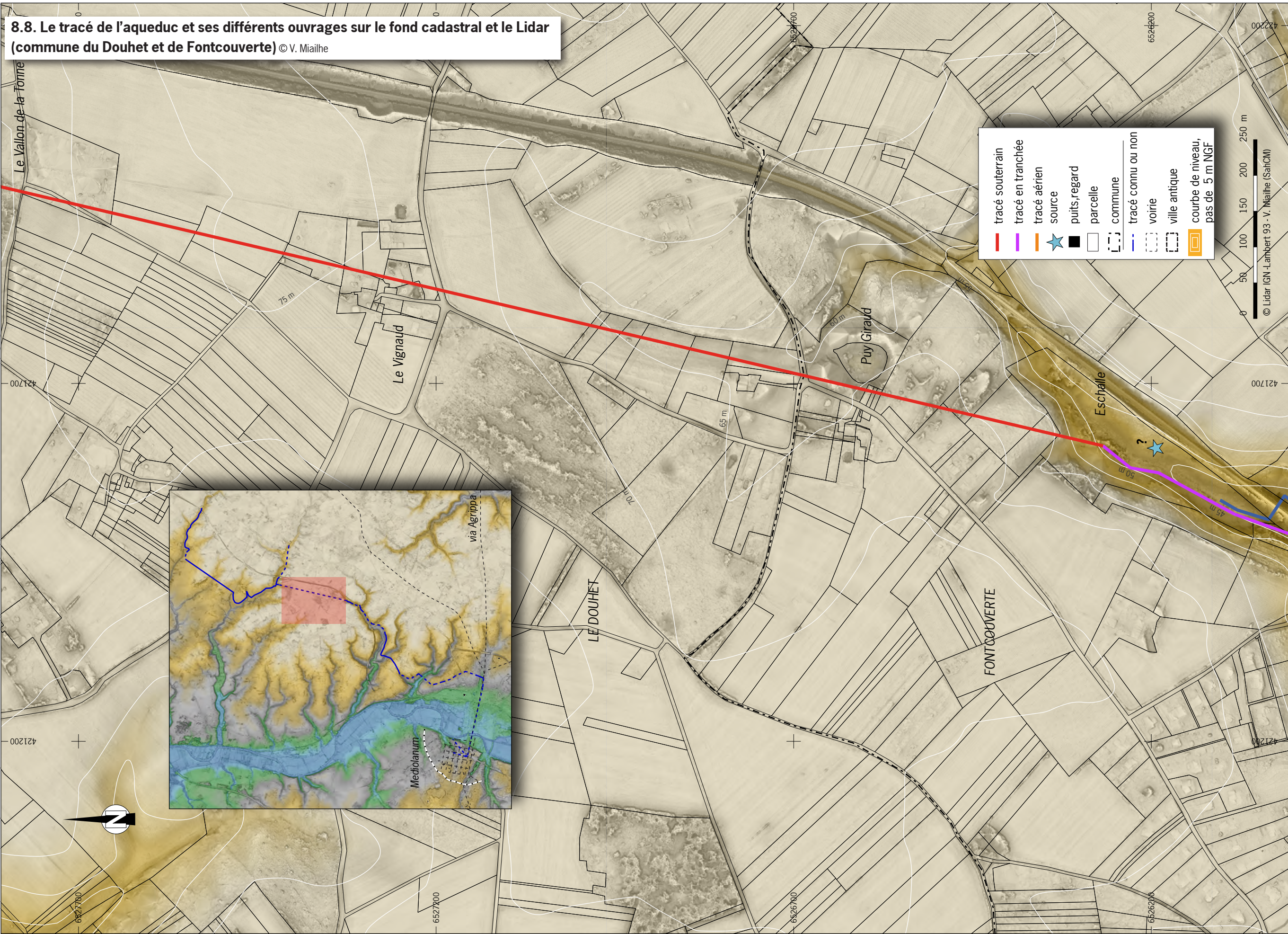
	Stations liées	Erreur (mm)	Recouvrement (%)	Consistance (%)	Distance (m)
	11	13.8 mm	41 %	64 %	19.206 m
	12	11.3 mm	45 %	100 %	16.885 m
	13	7.2 mm	49 %	100 %	14.667 m
	14	4.9 mm	64 %	100 %	12.613 m
	15	4.2 mm	81 %	100 %	10.042 m
	16	3.2 mm	90 %	100 %	7.916 m
	17	2.1 mm	93 %	100 %	5.451 m
	18	1.3 mm	93 %	100 %	3.070 m
	20	1.2 mm	91 %	100 %	2.417 m
	21	5.6 mm	88 %	100 %	4.018 m
20	8 Liens	4.2 mm Erreur moyenne	79 % Recouvrement moyen	100 % Consistance moyenne	
	Stations liées	Erreur (mm)	Recouvrement (%)	Consistance (%)	Distance (m)
	13	7.9 mm	44 %	100 %	17.078 m
	14	5.4 mm	62 %	100 %	15.025 m
	15	5.0 mm	78 %	100 %	12.458 m
	16	4.1 mm	88 %	100 %	10.332 m
	17	3.1 mm	93 %	100 %	7.867 m
	18	2.1 mm	94 %	100 %	5.485 m
	19	1.2 mm	91 %	100 %	2.417 m
	21	4.7 mm	82 %	100 %	1.607 m
21	9 Liens	11.5 mm Erreur moyenne	72 % Recouvrement moyen	100 % Consistance moyenne	
	Stations liées	Erreur (mm)	Recouvrement (%)	Consistance (%)	Distance (m)
	12	21.1 mm	40 %	100 %	20.885 m
	13	18.7 mm	43 %	100 %	18.669 m
	14	14.4 mm	61 %	100 %	16.618 m
	15	11.3 mm	73 %	100 %	14.056 m
	16	10.6 mm	83 %	100 %	11.931 m
	17	9.6 mm	90 %	100 %	9.466 m
	18	7.9 mm	89 %	100 %	7.084 m
	19	5.6 mm	88 %	100 %	4.018 m
	20	4.7 mm	82 %	100 %	1.607 m
22	4 Liens	8.3 mm Erreur moyenne	34 % Recouvrement moyen	42 % Consistance moyenne	
	Stations liées	Erreur (mm)	Recouvrement (%)	Consistance (%)	Distance (m)
	6	1.8 mm	43 %	30 %	1.656 m
	23	3.2 mm	38 %	13 %	1.638 m
	24	8.0 mm	28 %	25 %	3.447 m
	25	20.1 mm	26 %	100 %	5.306 m
23	4 Liens	7.3 mm Erreur moyenne	29 % Recouvrement moyen	28 % Consistance moyenne	
	Stations liées	Erreur (mm)	Recouvrement (%)	Consistance (%)	Distance (m)
	4	18.7 mm	11 %	31 %	5.232 m
	6	3.0 mm	32 %	61 %	3.293 m
	22	3.2 mm	38 %	13 %	1.638 m
	24	4.5 mm	37 %	6 %	1.810 m
24	4 Liens	7.7 mm Erreur moyenne	29 % Recouvrement moyen	36 % Consistance moyenne	

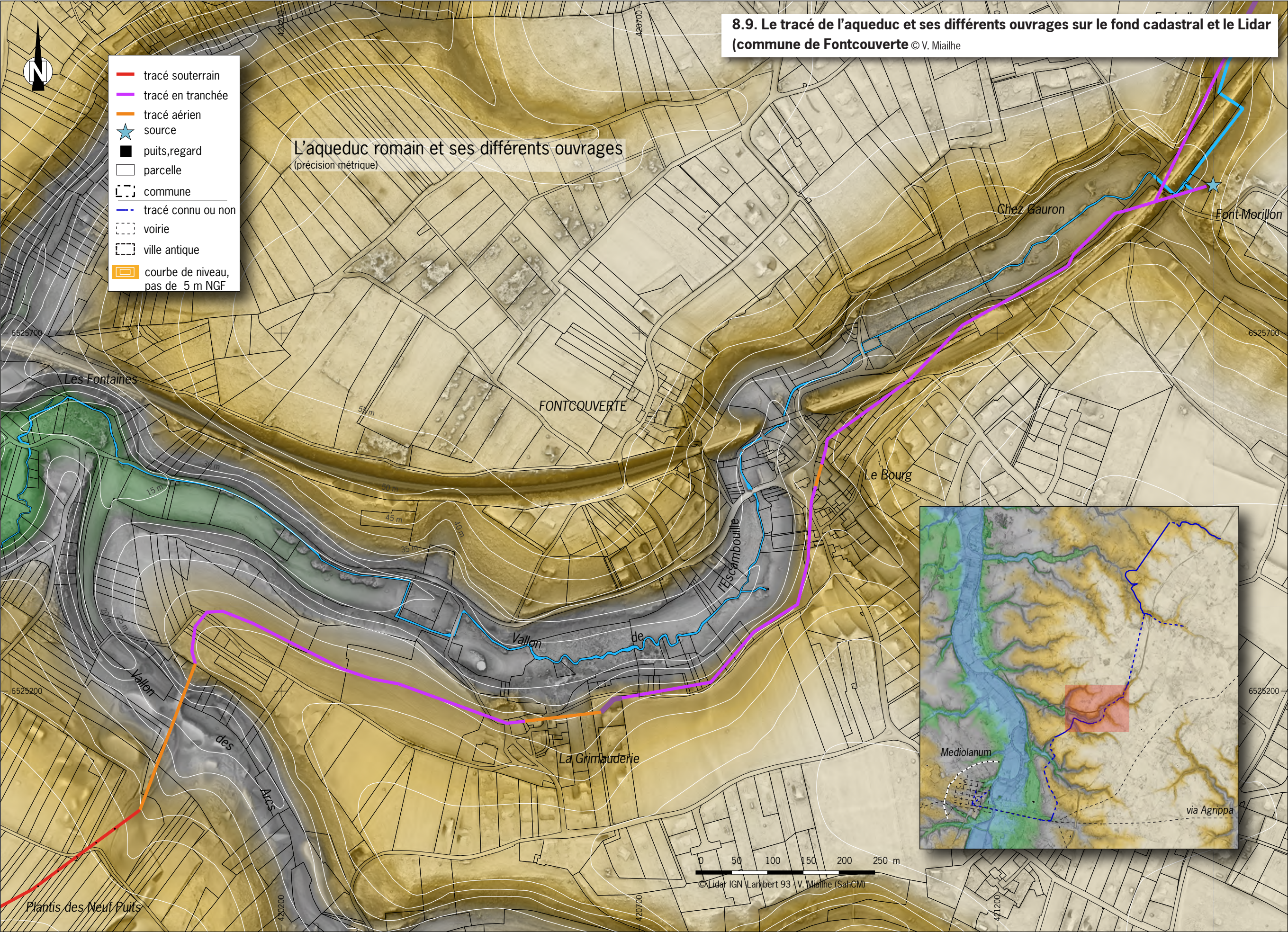
	25	10.0 mm	27 %	12 %	1.859 m		
25	3 Liens	16.4 mm	Erreur moyenne	23 %	Recouvrement moyen	41 %	Consistance moyenne
	Stations liées	Erreur (mm)	Recouvrement (%)	Consistance (%)	Distance (m)		
	5	19.1 mm	17 %	11 %	2.653 m		
	22	20.1 mm	26 %	100 %	5.306 m		
	24	10.0 mm	27 %	12 %	1.859 m		



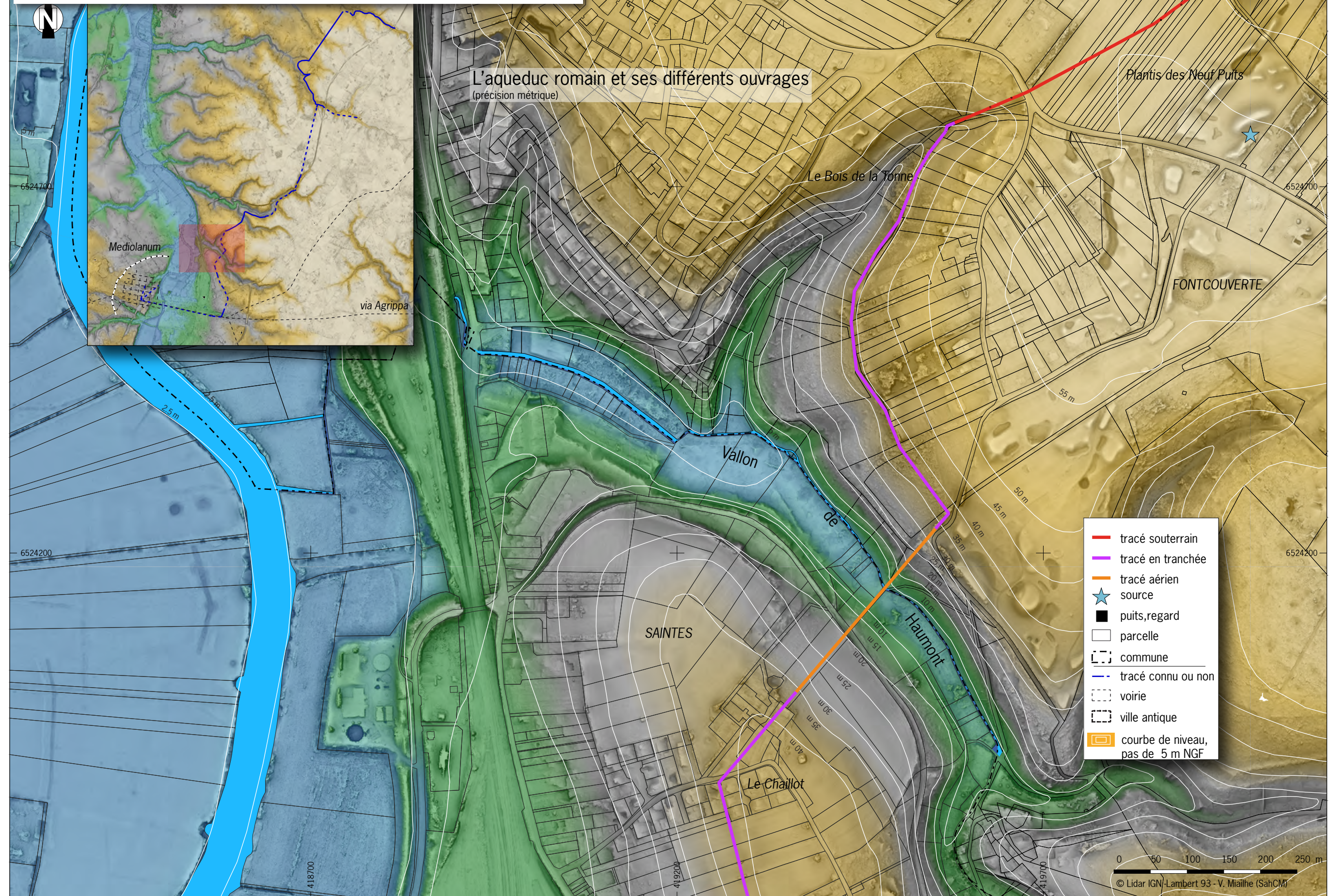


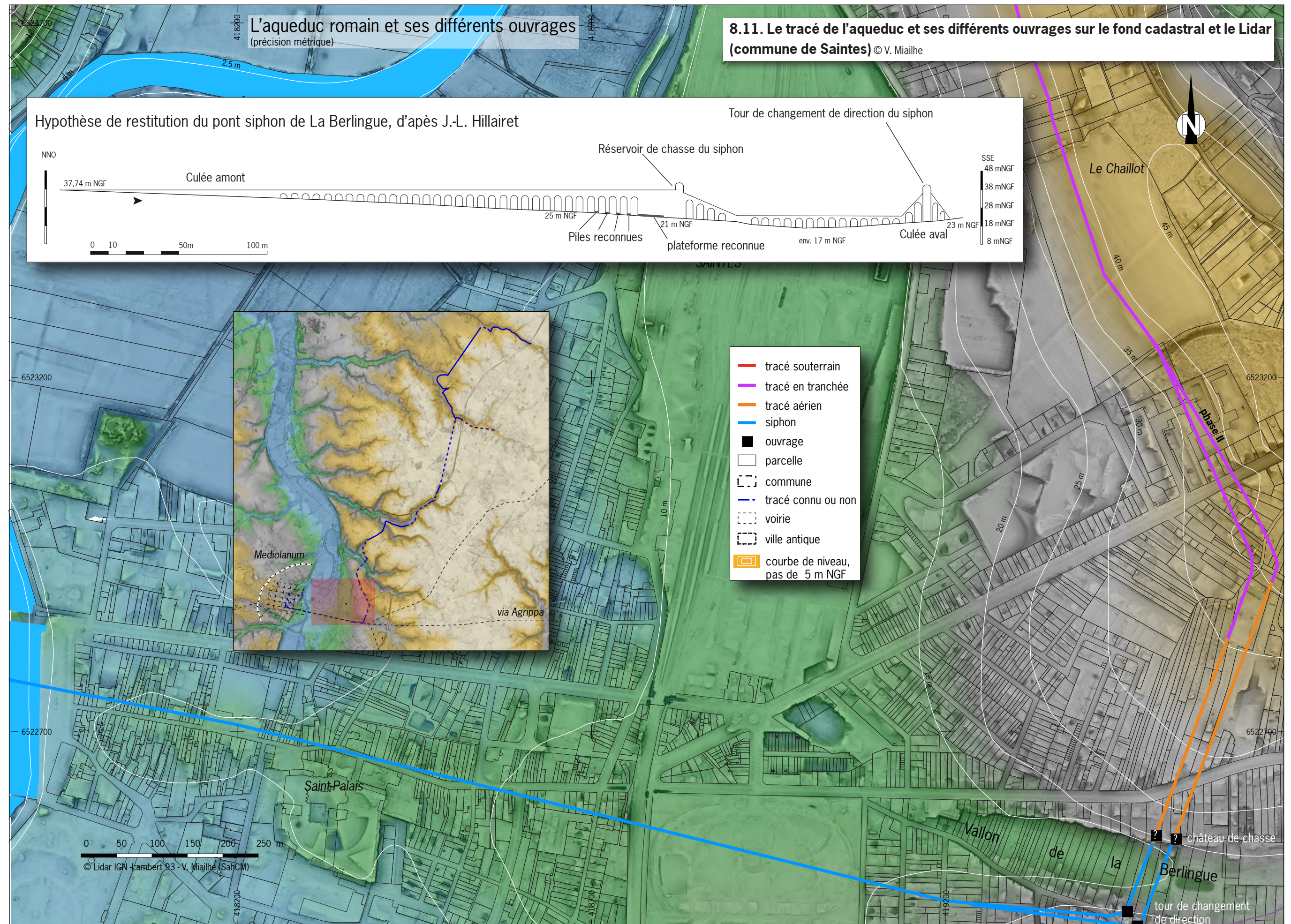




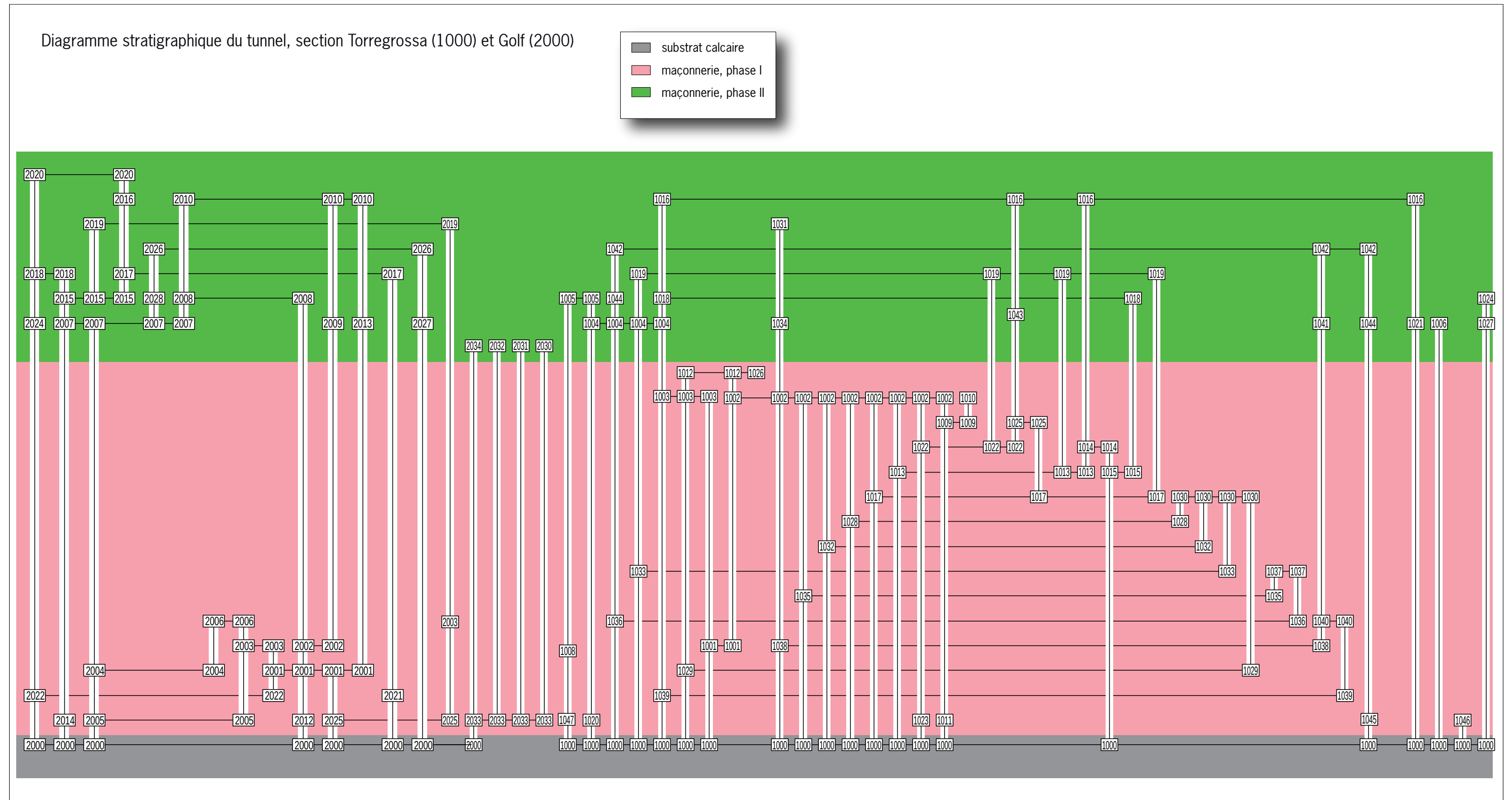


8.10. Le tracé de l'aqueduc et ses différents ouvrages sur le fond cadastral et le Lidar (commune de Fontcouverte et de Saintes) © V. Mialhe





8.12. Diagramme stratigraphique du tunnel © L. Hericotte



9. Liste des figures

Figure 1 Localisation de l'intervention et du tracé de l'aqueduc sur la carte IGN au 1/25000.

© V. Mialhe (SahCM)

Figure 2 Localisation de l'intervention et des vestiges de l'aqueduc sur le cadastre.

© V. Mialhe (SahCM)

Figure 3 Les cinq piles et la culée amont du pont des Arcs après la restauration, vue vers le nord-ouest.

© V. Mialhe (SahCM)

Figure 4 Calendrier des interventions entre 2020 et 2023.

© V. Mialhe (SahCM)

Figure 5 Plan des campagnes topographiques de 2010 et de 2012 sur le pont des Arcs et le tunnel des Plantis des Neuf Puits.

© V. Mialhe (SahCM)

Figure 6 Plan de *Mediolanum* à la période du Haut-Empire.

© V. Mialhe (SahCM)

Figure 7 Réseau routier autour de Mediolanum à la période du Haut-Empire.

© J.-L. Hillairet (SahCM)

Figure 8 Élévation et plan au sol de l'arc Germanicus.

© V. Mialhe (SahCM)

Figure 9 Relief et réseau hydrographique, avec les sources, autour de Saintes d'après les données Lidar.

© V. Mialhe (SahCM)

Figure 10 Tracé de l'aqueduc et la localisation de ses sources sur la carte géologique du BRGM.

© V. Mialhe (SahCM)

Figure 11 Coupe géologique de Saintes.

© B. Bourgueil (SahCM)

Figure 12 Conduit de l'aqueduc de la phase I, à gauche en partant de la Font-Morillon et à droite de l'Eschalle.

© B. Bourgueil (SahCM)

Figure 13 Gravure de C. Chastillon (1560-1616) publiée par J. Boisseau en 1641.

Figure 14 Extrait d'un plan de C. Masse, de 1714.

Figure 15 Plan de F.-F. de La Sauvagère, de 1770.

Figure 16 Plan de l'Abbé Gaurier, de 1904.

Figure 17 Extrait d'un plan de 1832, auteur inconnu. © M. Rouyer-Guillet

Figure 18 Tracé général de l'aqueduc avec ses différents ouvrages sur la carte IGN de 1/25000 et le Lidar.

© V. Mialhe (SahCM)

Figure 19 Les entrées pour accéder au tunnel du « Plantis des Neuf Puits », à gauche chez Mr. Torregrossa et à droite dans le Golf.

© J.-L. Monget (SahCM)

Figure 20 La section de chez Mr. Torregrossa, du tunnel du « Plantis des Neuf Puits », vue vers le sud. © R. Charrier (SahCM)

Figure 21 Échafaudage des piles 1 à 3, vue vers le nord-

ouest.

© V. Mialhe (SahCM)

Figure 22 Échafaudage des piles 14 à 15, vue vers le sud-ouest.

© V. Mialhe (SahCM)

Figure 23 Exemple de la création de masque sur les clichés afin d'obtenir un nuage dense propre.

© V. Mialhe (SahCM)

Figure 24 Mise en place du tachéomètre par un étudiant de la campagne 2021, section Torregrossa.

© J.-L. Monget (SahCM)

Figure 25 Mise en place du canevas polygonal par les étudiants de la campagne 2023, section Golf.

© V. Mialhe (SahCM)

Figure 26 Méthodologie de la mise en place des points géodésiques à l'intérieur du tunnel et prise de vue photographique du conduit du puits.

© V. Mialhe (SahCM)

Figure 27 Erreur d'alignement lié à un chevauchement en dessous de 75%.

© V. Mialhe (SahCM)

Figure 28 Erreur dans la balance des blancs en raison de deux sources lumineuses aux températures de couleurs différentes. © V. Mialhe (SahCM)

Figure 29 Protocole de prise de photos dans le tunnel pour les levés photogrammétriques.

© V. Mialhe (SahCM)

Figure 30 Répartition des cibles géodésiques pour la photogrammétrie, à l'intérieur du conduit du Golf.

© V. Mialhe (SahCM)

Figure 31 Scanners lasers utilisés lors des opérations lasergrammétriques dans le tunnel, à gauche le Trimble X7, en haut à droite le Leica C10 et en bas à droite le Leica BLK2GO. © V. Mialhe (SahCM)

Figure 32 Le positionnement des stations lors de la lasergrammétrie avec le Trimble X7. © V. Mialhe (SahCM)

Figure 33 Comparaison des nuages denses à l'intérieur du tunnel, à gauche la photogrammétrie et à droite la lasergrammétrie. © V. Mialhe (SahCM)

Figure 34 Comparaison des nuages denses, en haut la photogrammétrie et en bas la lasergrammétrie. © V. Mialhe (SahCM)

Figure 35 Comparaison des écarts mesurés maximum entre la lasergrammétrie (en rouge) et la photogrammétrie (en bleu) dans la section du Golf. © V. Mialhe (SahCM)

Figure 36 Comparaison des écarts mesurés entre le scanner statique Trimble X7 (en gris) et dynamique le Leica BLK2GO (en jaune). © V. Mialhe (SahCM)

Figure 37 Localisation des quatre sources de l'aqueduc sur le fond Lidar de l'IGN. © V. Mialhe (SahCM)

Figure 38 Interprétation du tracé de l'aqueduc en fonction

des données cadastrales et du Lidar d'IGN. © V. Mialhe (SahCM)

Figure 39 Profil en long et plan de la source de la « Grand-Font » par photogrammétrie. © V. Mialhe (SahCM)

Figure 40 Tunnel au lieu-dit « la Foucherie », vue vers le nord.

© J.-L. Hillairet (SahCM)

Figure 41 Source de Vénérand au lieu-dit « Fontaines Romaines » et son lavoir XVIII^e siècle, vue vers le nord-ouest.

© J.-L. Hillairet (SahCM)

Figure 42 Source de la « Font-Morillon » à Fontcouverte d'après une modélisation par photogrammétrie, vue vers le nord-est.

© V. Mialhe (SahCM)

Figure 43 Restitution du pont de Haumont d'après Claude Masse, en 1714.

© Vincennes

Figure 44 Coupes des deux canaux maçonnés, la phase II à gauche et la phase I à droite, situés à la « Grimauderie ».

© J.-L. Hillairet et V. Mialhe (SahCM)

Figure 45 Dernier état du conduit, pouvant être attribué à la phase III, « chez Gauron ». © J.-L. Hillairet (SahCM)

Figure 46 Coupe de la galerie des « Fontaines ».

© J.-L. Hillairet et V. Mialhe (SahCM)

Figure 47 Bassin de décantation au « Vallon de la Tonne », jonction des canaux provenant de la source du Douhet et de Vénérand à l'entrée du tunnel, orthophotographie issue d'une photogrammétrie.

© V. Mialhe (SahCM)

Figure 48 Le canal avant le pont des Arcs, vue vers le sud.

© J.-L. Hillairet (SahCM)

Figure 49 Élévation orientale de la culée amont et des piles 1 à 3, par orthophotographie. © V. Mialhe (SahCM)

Figure 50 Élévation occidentale de la culée amont et des piles 1 à 3, par orthophotographie. © V. Mialhe (SahCM)

Figure 51 Élévation interne de la culée amont et des piles 1 à 3, par orthophotographie. © V. Mialhe (SahCM)

Figure 52 Élévation occidentale et orientale des piles 14 et 15, par orthophotographie. © V. Mialhe (SahCM)

Figure 53 Élévation interne des piles 14 et 15, par orthophotographie. © V. Mialhe (SahCM)

Figure 54 Tablier de la culée aval issu du modèle 3D, vue vers l'ouest. © V. Mialhe (SahCM)

Figure 55 Vue cavalière des piles 1 à 3 avec la culée amont en arrière-plan issu du modèle 3D, vue vers le nord-ouest.

© V. Mialhe (Inrap)

Figure 56 Vue cavalière des piles 21, 15 et 14 issu du modèle 3D, vue vers le nord-ouest. © V. Mialhe (SahCM)

Figure 57 Départ de l'arche sur la culée aval, vue vers l'ouest. © V. Mialhe (SahCM)

Figure 58 Restauration du conduit posée sur un géotextile et dessous, ancienne maçonnerie pouvant correspondre au canal de la phase III, vue vers le sud. © V. Mialhe (SahCM)

Figure 59 Négatif d'empreinte sur le tablier de la culée aval. © V. Mialhe (SahCM)

Figure 60 Vue cavalière de la section nord du tunnel du « Plantis des Neuf Puits » issu de la photogrammétrie. © V. Mialhe (SahCM)

Figure 61 Les inflexions du tracé de la section nord du tunnel du « Plantis des Neuf Puits » issu de la photogrammétrie. © V. Mialhe (SahCM)

Figure 62 Dimension des deux sections. © V. Mialhe (SahCM)

Figure 63 Plan au sol et coupes et phasage des sections souterraines du Golf et de Torregrossa. © V. Mialhe (SahCM)

Figure 64 Élévation par nuage dense et phasage de la paroi occidentale des sections souterraines du Golf et de Torregrossa, zone 1. © V. Mialhe (SahCM)

Figure 65 Élévation par nuage dense et phasage de la paroi occidentale des sections souterraines du Golf et de Torregrossa, zone 2. © V. Mialhe (SahCM)

Figure 66 Élévation par nuage dense et phasage de la paroi occidentale des sections souterraines du Golf et de Torregrossa, zone 3. © V. Mialhe (SahCM)

Figure 67 Élévation par nuage dense et phasage de la paroi occidentale des sections souterraines du Golf et de Torregrossa, zone 4. © V. Mialhe (SahCM)

Figure 68 Élévation par nuage dense et phasage de la paroi orientale des sections souterraines du Golf et de Torregrossa, zone 1. © V. Mialhe (SahCM)

Figure 69 Élévation par nuage dense et phasage de la paroi orientale des sections souterraines du Golf et de Torregrossa, zone 2. © V. Mialhe (SahCM)

Figure 70 Élévation par nuage dense et phasage de la paroi orientale des sections souterraines du Golf et de Torregrossa, zone 3. © V. Mialhe (SahCM)

Figure 71 Élévation par nuage dense et phasage de la paroi orientale des sections souterraines du Golf et de Torregrossa, zone 4. © V. Mialhe (SahCM)

Figure 72 Trace d'outils sur la paroi. © V. Mialhe (SahCM)

Figure 73 Chicane dans le tunnel de Torregrossa et marquage de l'arrêt des tunneliers, vue vers le nord. © V. Mialhe (SahCM)

Figure 74 Prélèvement des mortiers des maçonneries, à gauche la phase II et à droite la phase I. © V. Mialhe (SahCM)

Figure 75 Assise de TCA sur la partie basse de la maçonnerie 2022.

© V. Mialhe (SahCM)

Figure 76 Exemple de la mise en forme des voûtes (V2002) lors de la phase I, vue vers le sud. © V. Mialhe (SahCM)

Figure 77 Exemple de la mise en forme des arcs de bouchage de diaclases (V1037) lors de la phase I, vue vers le sud-ouest. © V. Mialhe (SahCM)

Figure 78 Négatif d'une planche du coffrage de la voûte 1014 lors de la phase I, vue vers le sud-ouest. © V. Mialhe (SahCM)

Figure 79 Négatifs de planches sur le pourtour de la voûte. © V. Mialhe (SahCM)

Figure 80 Le canal de la phase I, vue vers le sud. © V. Mialhe (SahCM)

Figure 81 Coupe du conduit dans la section du « Bois de la tonne ». © J.-L. Hillairet (SahCM)

Figure 82 Conduit d'évacuation 1011, vue vers l'est. © V. Mialhe (SahCM)

Figure 83 Le conduit et la voûte lors de la phase I (section

Torregrossa), vue vers le sud.

© V. Mialhe (SahCM)

Figure 84 Le conduit et la nouvelle voûte de la phase II

(section Torregrossa), vue vers le sud.

© V. Mialhe (SahCM)

Figure 85 Arrachement de la voûte 1010 pour la mise

en place de la voûte 1007 de la phase II (section

Torregrossa), vue vers le sud.

© V. Mialhe (SahCM)

Figure 86 Bûchage de la voûte 1010 pour la mise en

place de la voûte 1007 lors de la phase II (section

Torregrossa), vue vers l'est.

© V. Mialhe (SahCM)

Figure 87 Bûchage de la paroi rocheuse pour

surélever le conduit, section Torregrossa.

© V. Mialhe (SahCM)

Figure 88 Orthophotographie de l'appareillage en

opus quadratum de l'unité architecturale 2015.

© V. Mialhe (SahCM)

Figure 89 Vue 3D du chaînage d'angle de l'unité

architecturale 2015.

© V. Mialhe (SahCM)

Figure 90 Voûte 2010, vers le sud.

© V. Mialhe (SahCM)

Figure 91 Courbure du bloc sommier de la voûte

1007, posé sur la maçonnerie 1005, vue vers le sud.

© V. Mialhe (SahCM)

Figure 92 Changement d'appareillage dans les

sommiers de la voûte 1016, vue vers le nord.

© V. Mialhe (SahCM)

Figure 93 Négatif de planche du coffrage pour la

construction de la voûte 1007. © V. Mialhe (SahCM)

Figure 94 Négatif de planche correspondant à la base

du vau, sous les sommiers de la voûte 1007. © V.

Mialhe (SahCM)

Figure 95 Joint débordant à la base du sommier de la

voûte 1007.

© V. Mialhe (SahCM)

Figure 96 Claveaux constituant la voûte 1007, vue

vers le sud.

© V. Mialhe (SahCM)

Figure 97 Creusement du plafond rocheux pour la

mise en place la voûte 2016.

© V. Mialhe (SahCM)

Figure 98 Le détachement de la maçonnerie 2013,

scellant une diaclase, vue vers le sud-est. © V. Mialhe

(SahCM)

10. Inventaires techniques

10.1. Inventaire des unités stratigraphiques dans le tunnel

US	Interprétation	Phase	Type	Description	Auteur
1000	Rocher naturel.		formation coniacienne	Calcaire froid blanc avec la présence de diaclases naturelles. Présence de traces d'outils liés au creusement et à l'aménagement de l'aqueduc.	LH
1001	Specus de l'aqueduc.	I	couche construite ; construction	Il est matérialisé par les pieds droits 1002 et 1003. De forme triangulaire, il mesure 0,40 m à l'ouverture, 0,15 m au fond sur 0,60 m de haut. La base est recouverte d'un enduit de tuileau hydraulique rosé très induré.	LH
1002	Piédroit gauche (est) du specus 1001.	I		Opus en petit appareil, vertical, régulier, homogène. Il est composé de petits moellons non équarris recouverts par une couche de mortier de tuileau lissé, très induré, lissé en surface contenant de micro éléments de calcaire. Mesurant 0,20 m de large et présent sur toute la longueur de la section étudiée, il s'installe contre le rocher naturel 1000. Il est synchrone avec le piédroit 1003. Il participe à la construction du specus 1001.	LH
1003	Piédroit droit (ouest) du specus 1001.	I	couche construite ; construction	Opus en petit appareil, vertical, régulier, homogène. Il est composé de petits moellons non équarris recouverts par une couche de mortier de tuileau lissé, très induré, lissé en surface contenant de micro éléments de calcaire. Mesurant 0,70 m de large à l'extrémité Sud et présent sur toute la longueur de la section étudiée, il s'installe contre le rocher naturel 1000. Il est recouvert par la maçonnerie du second état 1004, il n'est visible que sur 0,20 m de large sur l'ensemble du tracé. Il est synchrone avec le piédroit 1002. Il participe à la construction du specus 1001. Sa construction doit se faire par l'installation d'un coffrage en bois dans lequel est coulé le mortier mélangé à de petits moellons de calcaire.	LH
1004	Piédroit droit (ouest) du second specus	II	couche construite ; construction	Construction sous forme d'un coffrage par section, longitudinale dans lequel est coulé un béton de chaux orangée mélangé à des déchets de tailles centimétriques. Au point topo 6, la maçonnerie mesure 0,25 m de large sur 0,36 m de haut. Sa construction élargit considérablement la largeur du specus. Il mesure 0,70 m de large à l'ouverture et 0,15 m au niveau du specus. Sur le piédroit 1003 du premier état, il est surmonté du piedroit 1005.	LH
1005	Piédroit droit (ouest) de la voûte 1007.	II	couche construite ; construction	Opus quadratum isodome en grand appareil, vertical, régulier, homogène. Il est construit sur cinq assises régulières disposées en quinconces sur 0,70 m de haut et 0,32 m de profondeur. Il est composé de blocs de calcaire équarris sur les faces de parement et les faces de joints. Les blocs mesurent entre 0,32 et 0,34 m de large sur une hauteur d'assise constante de 0,10 m de haut. Les blocs sont séparés par des joints épais de 0,02 m pour les joints montants et 0,03 m pour les joints de lits en mortier de chaux orangé contenant de micro éléments de calcaire et de micro graviers. Les joints ont probablement été lissés au doigt. Certains blocs présentent des traces d'outils. Des négatifs de banchage liés à la construction de la voûte 1007 sont visibles au sommet du pied droit. Des chaînages d'angle en panerresse boutisse en parement externe matérialisent les extrémités de la maçonnerie. Installé sur la maçonnerie du second état 1004, il supporte la voûte 1007, il est synchrone avec le pied droit 1006.	LH
1006	Pied droit Est de la voûte 1007.	II	couche construite ; construction	Mode de construction identique au pied droit 1005 mais conservée que sur une voûte deux assises sur 0,10 m à 0,20 m de haut. Le pied droit repose directement contre le rocher naturel 1000. Au contact du pied droit et de la première assise de la voûte 1007, mise en place d'un épais boudin de mortier de chaux épais de 0,05 m destiné à rétablir l'horizontalité en vue de la construction de la voûte.	LH
1007	Voûte en plein cintre.	II	couche construite ; construction	Opus en plein cintre, en grand appareil, régulier, homogène composé exclusivement de blocs de calcaire équarris sur la face de chant et les faces de joints. Ils sont liés par des joints épais, talochés en mortier de chaux orangé, très induré de la même nature que les maçonneries 1005 et 1006. Dans l'ensemble, la construction est très homogène et très soignée. La voûte se compose de deux sommiers, de trois assises de claveaux et d'une assise en clé de voûte. Elle est bâtie à l'aide d'un coffrage de planches de bois d'environ 1,30 m de long sur 0,25 m de large. Le sens de construction se fait du sud vers le nord. Les premières planches sont disposées au sommet des pieds droits 1005 et 1006. Les suivantes sont installées sous la forme d'un plein cintre pour la pose des claveaux. Il est possible d'imaginer l'installation d'un vau pour cette étape mais aucune trace d'un tel aménagement n'est visible. Dans un second temps, les blocs sont disposés pour former l'intrados de la voûte et un mortier est ensuite coulé entre les blocs, maintenu par le coffrage. Des traces de bourrelets débordants de mortier sont visibles sur l'intrados preuve que les planches n'étaient pas parfaitement jointives et qu'il y avait un espace entre celles-ci. Des blocs faisant office de sommiers sont présents à la base de la voûte. Ils présentent une face légèrement arrondie annonçant la forme du plein cintre. Sur la façade nord, l'assise de clé de voûte est légèrement desaxée vers l'est. Elle témoigne d'une seconde étape de construction de l'ensemble de la voûte. Les blocs visibles sur la façade nord montrent une forme trapezoidale. Ils mesurent 0,09 m de large sur l'intrados et 0,20 m au niveau de l'extrados sur 0,38 m de haut. Un colmatage de mortier de 0,15 à 0,20 m vient s'intercaler entre l'extrados et le rocher naturel 1000, probablement retailé pour la construction de la voûte. Il a été remarqué que les voûtes du second état sont plus hautes mais avec une portée moins large que les voûtes du premier état.	LH
1008	Voûte en arc surbaissé.	I	couche construite ; construction	Opus vittatum en arc surbaissé, régulier, homogène, composé exclusivement de blocs de calcaire équarris sur la face de l'intrados. L'épaisse couche de tarte empêche toute lecture architecturale. Les intrados s'appuient et bûchent directement le rocher calcaire. L'intrados côté Ouest repose sur une altimétrie plus haute que l'intrados Est. La portée de la voûte mesure 1,35 m de large sur 1,30 m de profondeur. Cette voûte fait partie de la phase du I et sert d'appui aux constructions 1005 et 1007. Les blocs utilisés sont plus petits que les blocs de la voûte 1007 du second état. Ils sont séparés par des joints épais en mortier de chaux très grossier rosé fortement chargé en micro graviers de rivière. Dans l'ensemble, l'appareillage est plus grossier.	LH

1009	Piédroit gauche (est) de la voûte 1010.	I	couche construite ; construction	Opus vittatum en moyen appareil, vertical, régulier. Construit sur deux assises sur 0,40 m de haut, il est composé exclusivement de moellons grossièrement équarris sur la face de parement et non équarris sur les faces de joints. Les blocs sont séparés par des joints de lits et montants épais en mortier de chaux très induré, rosé très fortement chargé en graviers de rivière. Il est en partie recouvert par le premier état de calcite 1012. En appui contre le rocher naturel 1000, il semble servir d'appui au piédroit 1002 ainsi qu'au départ de voûte 1010. Il semble venir s'appuyer contre le trou de béliet 1011. Cette maçonnerie peut correspondre à un colmatage d'une diaclase.	LH
1010	Départ de voûte.	I	couche construite ; construction	Opus quadratum en grand appareil, horizontal, irrégulier. Conservé sur une à deux assises, il est composé de moellons non équarris sur les différentes faces visibles. Grossièrement disposés en quinconces, ils sont séparés par des joints de lits et montants épais en mortier de chaux grossier, rosé très fortement chargé en petits graviers de rivière millimétriques. Le mortier est identique à celui observé dans la voûte 1008. Le départ de voûte est conservé sur 1,10 m de long du Nord au sud sur 0,10 à 0,20 m de haut. Le rocher naturel 1000 est taillé de sorte à recevoir cette maçonnerie. Elle sert, également, de base pour la construction de l'intrados Est de la voûte 1007 du II.	LH
1011	Trou de béliet.	I	couche construite ; construction	Trou de béliet aménagé directement dans l'épaisseur du rocher naturel 1000. Il est consécutif à la construction du pied droit 1009. Le rocher a été bûché vers l'Est pour la construction de ce trou de béliet. le piédroit 1009 vient colmater l'espace bûché ne laissant qu'une ouverture de 0,12 m de large au maximum sur 0,36 m de haut.	LH
1012	Niveau de calcite.	II	formation naturelle ; action naturelle	Niveau de calcite visible sur les pieds droits 1009 et 1002. Il est visible sur l'ensemble des maçonneries.	LH
1013	Piédroit gauche (est) de la voûte 1014.	I	couche construite ; construction	Opus vittatum en moyen appareil, vertical, régulier, homogène. Il est construit sur cinq assises et composé exclusivement de moellons de calcaire grossièrement équarris sur la face visible et non équarris sur les faces de joints. Les assises sont disposées en quinconces. Elles sont séparées entre elles par des joints de lit et montant épais de 0,02 à 0,04 m pour les joints de lits et de 0,04 à 0,06 m pour les joints montants. Les joints sont en mortier de chaux, grossiers, très indurés rosé contenant de micro graviers. Cette construction sert d'appui au piédroit 1002 ainsi qu'à la voûte 1014. Elle est recouverte à la base par le second niveau de calcite 1019 et creusée dans le niveau de rocher naturel 1000. Au sommet de la maçonnerie, il y a la présence d'un négatif de banchage lié à la construction de la voûte 1014. Mesuré sur 1,15 m de large et sur 1,10 m de haut, il est synchrone avec le piédroit 1015.	LH
1014	Voûte en arc surbaissé.	I	couche construite ; construction	Opus vittatum en moyen appareil, régulier, homogène. La voûte se compose exclusivement de blocs de calcaire sur les façades et dans l'intrados. Les blocs sont séparés par des joints grossiers débordants en mortier de chaux très induré, rosé contenant de très nombreux micro graviers de rivière. Il s'agit du résultat d'un banchage en bois installé pour la pose de la voûte. Onze négatifs de planches ont pu être observés. Les planches mesuraient entre 0,13 et 0,18 m de large sur 1,10 m de long. Il est équivalent au mortier présent dans les pieds droits 1013 et 1015. L'effet d'un enduit lissé sur les blocs est lié au banchage. L'intrados se compose de 19 travées dont 18 claveaux et une clé de voûte sur une profondeur de cinq assises. L'ensemble est assez homogène. L'encaissant semble avoir été creusé pour la construction de l'extrados. Le tas de charge à l'extrémité ouest se caractérise par un colmatage à l'argile entre la voûte 1014 et le rocher 1000. En appui sur les piédroits 1013 et 1015, elle sert d'appui à la voûte du second état 1016. A noter que la base de l'intrados est plus haute que la base de l'intrados ouest.	LH
1015	Piédroit droit (ouest) de la voûte 1014.	I	couche construite ; construction	Opus vittatum en moyen appareil, vertical, régulier, homogène. Il est construit sur quatre assises et composé exclusivement de moellons de calcaire grossièrement équarris sur la face visible et non équarris sur les faces de joints. Certains éléments présentent des traces d'outils. Les assises sont disposées en quinconces. Elles sont séparées entre elles par des joints de lit et montant épais de 0,02 à 0,04 m pour les joints de lits et de 0,04 à 0,06 m pour les joints montants. Les joints sont en mortier de chaux, grossiers, très indurés rosé contenant de micro graviers. Cette construction sert d'appui à la voûte 1014 ainsi qu'à la maçonnerie du second état 1018. il est synchrone avec le pied droit 1013. Il est construit directement dans le rocher naturel 1000.	LH
1016	Voûte en plein cintre.	II	couche construite ; construction	Opus en plein cintre, en grand appareil, régulier, homogène composé exclusivement de blocs de calcaire équarris sur la face de chant et les faces de joints. Ils sont liés par des joints épais, talochés en mortier de chaux brun, très induré de la même nature que les maçonneries 1005 et 1006. Dans l'ensemble, la construction est très homogène et très soignée. La voûte se compose de deux sommiers, de trois assises de claveaux et d'une assise en clé de voûte. Elle est bâtie à l'aide d'un coffrage de planches de bois d'environ 1,30 m de long sur 0,25 m de large. Le sens de construction se fait du sud vers le nord. Les suivantes sont installées sous la forme d'un plein cintre pour la pose des claveaux. Il est possible d'imaginer l'installation d'un vau pour cette étape mais aucune trace d'un tel aménagement n'est visible. Dans un second temps, les blocs sont disposés pour former l'intrados de la voûte et un mortier est ensuite coulé entre la roche et les blocs, maintenus par le coffrage. Des traces de bourrelets débordants de mortier sont visibles sur l'intrados preuve que les planches n'étaient pas parfaitement jointives et qu'il y avait un espace entre celles-ci. Des blocs faisant office de sommiers sont présents à la base de la voûte. Ils présentent une face légèrement arrondie annonçant la forme du plein cintre. L'assise de la clé de voûte est simple jusqu'à 4,82 m à compter de la façade sud puis elle est doublée jusqu'à l'extrémité nNord. Cette différence est liée à un changement d'appareillage au niveau de l'intrados ouest. Au lieu d'avoir un bloc monolithique de 0,20 m de haut, l'assise de pose est remplacée par deux blocs inférieurs à 0,10 m d'où la nécessité de doubler la clé du fait de la différence de hauteur entre l'intrados ouest et l'intrados est. Ce changement est visible au niveau d'un virage. Ce qui peut s'expliquer par la difficulté des bâtisseurs à s'adapter au profil de la galerie. Du sud vers le nord, la voûte se compose de six claveaux et d'une clé de voûte et à partir du changement d'appareil, elle se compose de huit claveaux. Dans cette section de la voûte, certains joints sont vifs au sommet de l'intrados (pt topo 27). Les blocs visibles sur la façade Nord montrent une forme trapézoïdale. Ils mesurent 0,09 m de large sur l'intrados et 0,20 m au niveau de l'extrados sur 0,38 m de haut. Un colmatage de mortier de 0,15 à 0,20 m vient s'intercaler entre l'extrados et le rocher naturel 1000, retaillé pour la construction de la voûte. Il a été remarqué que les voûtes du second état sont plus hautes mais avec une portée moins large que les voûtes du premier état. Elle présente les mêmes caractéristiques architecturales que la voûte 1007. Elle s'installe contre le rocher naturel 1000 ainsi que sur les maçonneries du premier état 1020 et 1025 ainsi que sur les maçonneries du second état 1018 et 1021.	LH

1017	Piédroit gauche (est) du départ de voûte 1025.	I	couche construite ; construction	Opus vittatum en moyen appareil, vertical, régulier, homogène. Il est construit sur six assises et composé exclusivement de moellons de calcaire grossièrement équarris sur la face visible et non équarris sur les faces de joints. Les assises sont disposées en quinconces. Elles sont séparées entre elles par des joints de lit et montant épais de 0,02 à 0,04 m pour les joints de lits et de 0,04 à 0,06 m pour les joints montants. Les joints sont en mortier de chaux, grossiers, très indurés rosé contenant de micro graviers Cette construction sert d'appui au piédroit 1002 ainsi qu'au départ de voûte 1025. Elle est creusée dans le niveau de rocher naturel 1000. Il est recouvert par le niveau de calcite du second état 1019.	LH
1018	Piédroit droit (ouest) de la voûte 1016.	II		Opus quadratum isodome en grand appareil, vertical, régulier, homogène. Il est construit sur six assises régulières disposées en quinconces sur 0,80 m de haut et 0,32 m de profondeur. Il est composé de blocs de calcaire équarris sur les faces de parement et les faces de joints. Les blocs mesurent entre 0,32 et 0,34 m de large sur une hauteur d'assise constante de 0,10 m de haut. Les blocs sont séparés par des joints épais de 0,02 m pour les joints montants et 0,03 m pour les joints de lits en mortier de chaux orangé contenant de micro éléments de calcaire et de micro graviers. Les joints ont probablement été lissés au doigt. Certains blocs présentent des traces d'outils. Des négatifs de banchage liés à la construction de la voûte 1016 sont visibles au sommet du piédroit. Des chaînages d'angle en panneresse boutisse en parement externe matérialisent les extrémités de la maçonnerie. Ces chaînages sont débordant de 0,15 m par rapport au départ de voûte 1016. L'extrémité sud en panneresse boutisse présentent des blocs plus irréguliers avec un léger chanfrein pour s'appuyer contre le calcaire 1000 dans la partie haute et contre la maçonnerie du premier état 1020 en partie basse. Les panneresses mesurent 0,23 à 0,34 m de large de bas en haut et les boutisses de 0,11 à 0,20 m de bas en haut. Ce chaînage peut s'expliquer dans le souci de laisser une aire de circulation suffisante au sommet du trottoir 1004. C'est la seule interruption de ce type observée sur la section 1.	LH
1019	Niveau de calcite.	II	formation naturelle ; action naturelle	Niveau de calcite visible sur les maçonneries 1004, 1013 et 1017. Il participe au fonctionnement du II.	LH
1020	Piédroit droit (ouest) d'une voûte.	I	couche construite ; construction	Opus vittatum en moyen appareil, vertical, régulier, homogène. Il est construit sur six assises et composé exclusivement de moellons de calcaire grossièrement équarris sur la face visible et non équarris sur les faces de joints. Les assises sont disposées en quinconces. Elles sont séparées entre elles par des joints de lit et montant épais de 0,02 à 0,04 m et de 0,04 à 0,06 m pour les joints montants. Les joints sont en mortier de chaux, grossiers, très indurés rosé contenant de micro graviers. Cette maçonnerie devait supporter une voûte disparue (détruite lors de la phase II). Cette maçonnerie sert d'appui au pied droit 1004 ainsi qu'à la voûte 1016. La maçonnerie 1018 vient également en appui contre le rocher naturel 1000.	LH
1021	Piédroit droit (ouest) de la voûte 1016.	II	couche construite ; construction	Opus quadratum isodome en grand appareil, vertical, régulier, homogène. Il est construit sur cinq assises régulières disposées en quinconces sur 0,70 m de haut et 0,32 m de profondeur. Il est composé de blocs de calcaire équarris sur les faces de parement et les faces de joints. Les blocs mesurent entre 0,32 et 0,34 m de large sur une hauteur d'assise constante de 0,10 m de haut. Les blocs sont séparés par des joints épais de 0,02 m pour les joints montants et 0,03 m pour les joints de lits en mortier de chaux orangé contenant de micro éléments de calcaire et de micro graviers. Les joints ont probablement été lissés au doigt. Certains blocs présentent des traces d'outils. Des négatifs de banchage liés à la construction de la voûte 1016 sont visibles au sommet du pied droit. Présence d'une semelle débordante de 0,06 m pour la construction de la voûte 1016 et la pose des planches de banchages. La construction est présente jusqu'à l'extrémité Nord de la galerie. Une forte concentration de calcaire à sa surface empêche une lecture précise de l'appareillage. Dans l'ensemble, elle est légèrement rentrante et arrondie.	LH
1022	Piédroit gauche (est) du départ de voûte 1025.	I	couche construite ; construction	Opus vittatum en moyen appareil, vertical, régulier, homogène. Il est construit sur six assises et composé exclusivement de moellons de calcaire grossièrement équarris sur la face visible et non équarris sur les faces de joints. Les assises sont disposées en quinconces. Elles sont séparées entre elles par des joints de lit et montant épais de 0,02 à 0,04 m pour les joints de lits et de 0,04 à 0,06 m pour les joints montants. Les joints sont en mortier de chaux, grossiers, très indurés rosé contenant de micro graviers Cette construction sert d'appui au pied droit 1002 ainsi qu'au départ de voûte 1025. Elle est creusée dans le niveau de rocher naturel 1000. Il est recouvert par le niveau de calcite du second état 1019.	LH
1023	Trou de béliet	I		Trou de béliet aménagé directement dans l'épaisseur du rocher naturel 1000. Il est consécutif à la construction du pied droit 1022. Le rocher a été bûché vers l'Est pour la construction de ce trou de béliet. Le pied droit 1022 vient colmater l'espace bûché ne laissant qu'une ouverture de 0,12 m de large au maximum sur 0,36 m de haut.	LH
1024	Voûte en anse de panier.	II	couche construite ; construction	Opus en anse de panier, régulier, homogène. La voûte est construite sur neuf claveaux composés de blocs monolithes de calcaire équarris sur la face de parement. Les blocs sont liés par un mortier de chaux très induré brun foncé contenant de fins graviers. La nature du mortier laisse à penser qu'il s'agit d'une construction liée à la phase II. Elle s'installe dans le rocher naturel 1000. Elle repose sur le piédroit 1027.	LH
1025	Départ de voûte.	I	couche construite ; construction	Opus vittatum en moyen appareil, vertical, irrégulier, homogène. Départ construit sur trois assises régulières et composé de moellons irréguliers grossièrement équarris sur la face de parement. Les éléments sont séparés par des joints épais en mortier de chaux rosé très induré contenant de nombreux graviers. Les joints sont lisses, preuve d'un banchage. Mortier typique du premier état. Une partie de l'intrados a complètement disparu à l'Ouest. Il repose à l'Est sur les maçonneries 1017 et 1022. Il a probablement été récupéré et détruit lors de la construction de la voûte 1016.	LH
1026	Idem 1012.	I			LH
1027	Piédroit de la voûte 1024.	II	couche construite ; construction	Opus quadratum en grand appareil, vertical, régulier, homogène. Construit sur quatre assises, il se compose de blocs de calcaire équarris sur les faces de parements et les faces de joints. Les blocs sont séparés entre eux par des joints de lits et montants épais en mortier de chaux brun, très induré, débordants sur les blocs. Présence d'un banchage pour la pose de la maçonnerie et en préparation de la voûte 1024. Elle est installée directement dans le rocher naturel 1000. Le creusement est d'environ 0,50 m de large et des demi blocs sont installés entre le parement et le rocher naturel. Elle supporte la voûte 1024.	LH

1028	Piédroit gauche (est) partie sud de la voûte 1030.	I	couche construite ; construction	Opus mixte composé d'un opus vittatum sur trois assises et d'une assise en opus quadratum sur la dernière. La base est recouverte par la couche de calcite 1031 liée au second état. L'opus vittatum est construit à l'aide de moellons grossièrement équarris sur la face de parement et non équarris sur les faces de joints. Les éléments sont séparés entre eux par des joints de lits et montants épais en mortier de chaux rosé fortement chargé en micro éléments de graviers. Les assises de cet opus sont disposées en quinconces. Les joints sont légèrement débordants. L'opus quadratum est composé de blocs rectangulaires de 0,33 m de long sur 0,07 m de haut. Ces blocs sont grossièrement équarris. Les joints sont épais, irréguliers et probablement repris lors de la seconde phase. Elle est débordante de 0,04 m par rapport à la base de la voûte 1030 liée à l'installation des planches de banchages horizontales. La maçonnerie sert de base à la construction de la voûte 1030 mais ainsi qu'au piédroit 1002. Il est synchrone avec le pied droit 1029. Dans l'ensemble, la maçonnerie mesure 0,80 m de haut.	LH
1029	Pied droit Ouest partie Sud de la voûte 1030.	I	couche construite ; construction	Opus mixte composé d'un opus vittatum sur les deux premières assises et d'une assise en opus quadratum sur la troisième. La base est recouverte par la couche de calcite 1031 liée au second état. L'opus vittatum est construit à l'aide de moellons grossièrement équarris sur la face de parement et non équarris sur les faces de joints. Les éléments sont séparés entre eux par des joints de lits et montants épais en mortier de chaux rosé fortement chargé en micro éléments de graviers. Les assises de cet opus sont disposées en quinconces. Les joints sont légèrement débordants. L'opus quadratum est composé de dalles rectangulaires de 0,33 m de long sur 0,07 m de haut. Ces dalles sont grossièrement équarrées. Les joints sont épais, irréguliers et probablement repris lors de la seconde phase. L'ensemble a probablement été rejointoyé lors de la seconde phase où quelques négatifs de poutres sont encore visibles. La base est partiellement recouverte par la construction de la maçonnerie 1004. Le ressaut débordant est beaucoup moins marqué que sur le piédroit 1028. Cette maçonnerie est antérieure au pied droit 1003 ainsi qu'à la maçonnerie 1004 et à la voûte 1030. Il est installé directement dans le calcaire 1000.	LH
1030	Voûte irrégulière	I	couche construite ; paroi / mur	Voûte irrégulière construite en plein cintre dans la partie sud et en arc rampant au nord Cette différence est liée à la différence d'appareillage des pieds droits. Il y a une interruption dans la partie médiane de l'intrados ouest. La voûte est bâtie sur 14 claveaux sans assise de clé de voûte. La construction est assez hétérogène, elle est composée de blocs de calcaire en moyen appareil équarris sur la face visible. Les autres faces ne sont pas visibles du fait de l'épaisseur des joints. Ces derniers sont en mortier de chaux épais très induré, rosé contenant des micro éléments de graviers de rivière. Quelques négatifs de planches sont encore visibles, témoins d'un banchage lors de la construction. La présence de quelques joints à reflux indiquent une hétérogénéité dans la disposition des planches. Le rocher naturel a probablement été sur creusé de 0,65 m de haut pour permettre la construction de l'extrados de la voûte. Un bourrage de mortier de quelques centimètres mélangé à des moellons de calcaire ont été appliqué au contact du rocher naturel. La portée mesure 1,20 m de large sur 0,50 m de haut. La façade sud en plein cintre est recouverte d'une épaisse couche de tarte empêchant toute description précise. Dans l'ensemble, la voûte est construite sur 11 claveaux trapézoïdaux de 0,09 m de large dans l'intrados et environ 0,13 m sur l'extrados. La façade nord en arc rampant est composée de 10 claveaux trapézoïdaux identiques à ceux de la façade sud. Dans l'ensemble, les blocs des façades sont séparés entre eux par un joint vif à fin colmaté par du mortier de construction brun orange.	LH
1031	Niveau de calcite.		formation naturelle ; action naturelle	Niveau de calcite visible sur les pieds droits 1028 et 1032. Il recouvre une partie de la maçonnerie 1004. Il participe au fonctionnement du ll.	LH
1032	Piédroit gauche (est) dans la partie nord de la voûte 1030.	I	couche construite ; paroi / mur	Opus vittatum en moyen appareil, vertical, régulier, homogène. Construit sur cinq assises, il se compose de moellons bruts grossièrement équarris sur la face visible et non équarris sur les faces de lits et montants. Les moellons sont séparés entre eux par des joints épais en mortier de chaux rose très induré contenant de micro éléments et micro graviers de rivière en très nombreuses quantité. En support de la voûte 1030, il est recouvert dans la partie basse par la calcite 1031. Il est le prolongement du pied droit 1028 et le pendant de la maçonnerie 1033. Il sert d'appui en piédroit 1002. Il s'installe dans le calcaire 1000. Il a été observé sur 0,80 m de haut.	LH
1033	Piédroit droit (ouest) dans la partie nord de la voûte 1030.	I	couche construite ; paroi / mur	Opus quadratum en moyen et grand appareil, vertical, irrégulier, peu observé. Construit sur quatre assises et composé exclusivement de blocs équarris de calcaire sur la face de parement et certains sur les faces de joints. Les blocs sont séparés entre eux par des joints de lits et montants épais en mortier de chaux très induré hydraulique rosé contenant de nombreux petits graviers de rivière. Installé dans le calcaire, il sert d'appui à la maçonnerie 1004 du second état ainsi qu'à la voûte 1030. Il est le pendant du piédroit 1032. Dans la continuité nord de la maçonnerie 1029. Il mesure 0,50 m de haut.	LH
1034	Banquette maçonnée à l'est lors de la seconde phase.	II	couche construite ; construction	Banquette de forme irrégulière directement construite sous forme de coffrage et composé de béton de tulle blancâtre très induré. Banquette située à l'angle est du premier coude en appui contre le rocher naturel 1000 et repose directement sur le piédroit 1002. Lors de la construction originelle de l'aqueduc, il y a eu décalage dans le tracé entre les deux équipes chargées de creuser, d'où une chicane pour relier les deux galeries. La partie est de l'encaissant porte les traces du changement de direction. La cavité arrondie est un vestige du changement de cap. Lors de la seconde phase de l'aqueduc et de la réhausse, les bâtisseurs ont été gênés par cette cavité. Ils ont donc décidé de construire cette maçonnerie surplombant le pied droit 1002 et parallèle à la maçonnerie occidentale 1004. Il est recouvert par le second niveau de calcite 1031. Il mesure 1,80 m de long sur 0,15 à 0,40 m de large sur 0,35 m de haut.	LH
1035	Piédroit gauche (est) de la voûte 1037.	I	couche construite ; paroi / mur	Opus vittatum en moyen appareil, vertical, régulier, réglé, homogène. Le pied droit est construit sur quatre assises, il est composé de moellons grossièrement équarris sur la face visible et non équarris sur faces de lits et montants. Les blocs sont séparés entre eux par des joints de lits et montants épais qui ont pratiquement disparu par endroit. Le peu visible indique un mortier de chaux rosé induré. Ce mortier hydraulique contient de très nombreux petits graviers de rivière. La nature du mortier laisse à penser qu'il s'agit d'une construction du premier état. La majorité de la maçonnerie est recouverte par une épaisse couche de tarte, installé dans le rocher naturel 1000, le pied droit mesure 0,85 m de large sur 0,90 m de haut. Il supporte la voûte 1037 et sert d'appui au pied droit 1002. Il est le pendant du piédroit 1036.	LH

1036	Piédroit droit (ouest) de la voûte 1037.	I	couche construite ; construction	Opus vitatum en moyen appareil, vertical, régulier, réglé et homogène. Construit sur quatre assises, le pied droit se compose de blocs de calcaire équarris sur la face de parement. L'intégralité de la maçonnerie est recouverte par du tarte laissant à peine deviner la nature du mortier. Il est identique à celui observé sur le pied droit 1035. Installé dans le rocher naturel 1000, il sert de support à la voûte 1037 ainsi qu'à la maçonnerie du second état 1004. Il est le pendant du pied droit 1035. Il mesure 0,70 m large sur 0,50 m de haut. L'extrémité sommitale Nord est plus large de 0,40 m en support de la voûte. Cette excroissance vient combler une faiblesse dans l'encaissant naturel. Les piédroits 1035 et 1036 ne se répondent pas en vis à vis, il y a un décalage d'environ 0,80 m vers le Nord entre les deux pieds droits. Ce décalage a des conséquences sur l'architecture de la voûte 1037.	LH
1037	Voûte en arc rampant du premier état.	I	couche construite ; paroi / mur	Voûte irrégulière, homogène dans son appareillage construite sur 18 claveaux. L'appareil est plus soigné dans la partie ouest de l'intrados. Les blocs sont mieux appareillés dans la partie ouest que dans la partie est. Les modules occidentaux sont plus homogènes et mieux équarris. A l'est, la maçonnerie est plus hétérogène. Elle est composée de petits blocs de différents modules grossièrement équarris voire pas du tout sur les façades Sud et Nord. Construite sur 0,70 à 0,80 m de large sur trois à quatre assises dans l'embrasure. Les éléments sont séparés entre eux par des joints de lits et montants épais. Les joints sont identiques à ceux des pieds droits 1035 et 1036. Le décalage entre les pieds droits a pour conséquence une déformation de la voûte. Celle-ci n'est pas parfaitement perpendiculaire à l'axe du specus et donne cette impression d'arc rampant. Elle est recouverte d'une épaisse couche de tarte. Sur la façade Nord, les blocs sont séparés par des joints vifs. De forme trapézoïdale, ils mesurent 0,09 à 0,13 m de large de bas en haut sur 0,26 m de haut. L'appareillage est assez soigné. A l'image de la voûte 1030, l'encaissant est sur creusé de 0,60 m de haut pour la construction de l'extrados. L'espace est comblé par de l'argile brune mélangés à de gros moellons. Ce principe de sur creusement a été observé sur deux autres voûtes du premier état. La voûte repose sur les piédroits 1035 et 1036.	LH
1038	Piédroit gauche (est) de la voûte 1040.	I	couche construite ; paroi / mur	Mode de construction identique au pied droit 1028. Construit sur quatre assises, il se compose de trois assises en opus vitatum en moyen appareil et une assise sommitale en opus quadratum en grand appareil. Présence d'une semelle débordante de 0,04 m de large pour recevoir les planches destinées à recevoir la voûte 1040. Les blocs sont espacés par des joints de lits et montants épais, comblés par un mortier de chaux induré rosé, très induré contenant de très nombreux graviers de rivière. Il sert d'appui au pied droit 1002 ainsi qu'à la voûte 1040. Il est creusé dans le rocher naturel 1000. Il est recouvert par le second niveau de calcite 1031. Une partie de la maçonnerie a été rejointoyée lors de la seconde phase de construction, matérialisé par une différence de mortier. Mesuré sur 0,70 m de haut, il est le pendant du piédroit 1039.	LH
1039	Piédroit droit (ouest) de la voûte 1040.	I	couche construite ; paroi / mur	Opus vitatum en moyen appareil, vertical, homogène. La construction n'est visible que sur deux assises irrégulières. Elle se compose de blocs de calcaire grossièrement équarris sur la face visible et la face de joint. L'assise supérieure au contact de la voûte 1040 est composée de blocs rectangulaires de 0,30 m de long posé à plat. Les joints de lits sont fins à peu épais alors que les joints montants sont très épais. Ils sont colmatés par un mortier de chaux identique à celui observé dans le piédroit 1038 et la voûte 1040. Il a été observé sur 0,30 m de haut. Installé dans l'encaissant naturel 1000, il sert d'appui aux maçonneries 1003 et 1004 ainsi qu'à la voûte 1040.	LH
1040	Voûte en arc rampant du premier état.	I	couche construite ; construction	Voûte régulière construite sur 16 claveaux sur toute la longueur, elle se compose de blocs équarris sur la face de parement et la face de lit et très grossièrement sur la face montante. Les blocs sont séparés entre eux par des joints de lits et montants épais, débordants, liés à un banchage. Des négatifs de planches sont encore visibles par endroits. A l'image des piédroits 1038 et 1039, il s'agit d'un mortier de tuelleau très induré contenant de très nombreux graviers de rivière. La construction est assez soignée. L'angle est plus ouvert au niveau de l'intrados est pour venir s'appuyer sur le pied droit 1039. La face nord est soignée. Les claveaux sont disposés de manière homogène et régulière. Au contraire de la voûte 1037, les blocs ne sont pas trapézoïdaux mais rectangulaires. Ils mesurent 0,08 à 0,09 m de large. Ils sont séparés par des joints épais de 0,03 à 0,04 m d'épaisseur, comblé par le même mortier de tuelleau que celui utilisé dans l'intrados. Même technique de sur creusement au sommet de l'extrados de 0,50 m de profondeur comblé par de l'argile brune et des gros moellons. La portée mesure 1,20 m de large sur 0,50 m de haut. Elle sert d'appui aux différentes maçonneries (1041, 1042 et 1044) au nord liées à la phase II.	LH
1041	Piédroit gauche (est) partie sud de la voûte 1042.	II	couche construite ; paroi / mur	Opus quadratum en grand appareil, vertical, régulier, réglé, homogène. Construit sur deux assises en support de la voûte 1042, le pied droit se compose de blocs rectangulaires de 0,28 à 0,33 m de large sur 0,10 m de haut. L'assise de base a été bûchée dans sa face montante pour pouvoir s'intégrer dans le creusement. Les blocs sont séparés par des joints épais en mortier de tuelleau rose contenant des modiles de calcaire et des graviers de rivière. La maçonnerie s'appuie contre la voûte 1040 et sert de support à la voûte 1042. L'ensemble mesure 0,33 m de large sur 0,35 m de haut. Il est équivalent au piédroit 1043.	LH
1042	Voûte en plein cintre à l'extrémité Nord de la section.	II	couche construite ; construction	Opus en plein cintre, en grand appareil, vertical, régulier, homogène. Construite sur six assises en claveaux et une assises en clé de voûte, l'ensemble repose sur des sommiers légèrement arrondis marquant le début de l'intrados. Ces modules disposés sur une seule assise sont réguliers. Ils mesurent 0,33 m de large sur 0,20 m de haut. Ils sont séparés par des joints montants épais en mortier de chaux brun très induré contenant des nodules de calcaire et quelques petits graviers millimétriques. Les joints sont grossiers, talochés et mis en place grâce à un système de banchage. Quelques négatifs de planches sont encore visibles. Dans l'intrados, les blocs sont homogènes et mesurent 0,33 m de long sur 0,10 m de large. Ils sont équarris sur la face visible ainsi que sur les faces de joints. Ils sont séparés par des joints épais. Dans l'ensemble, la construction est soignée et homogène. Elle repose sur les piédroits 1041 et 1044. A l'est, une partie large de 0,90 m repose directement sur le calcaire. Elle présente les mêmes caractéristiques que la voûte 1007.	LH
1043	Piédroit gauche (est) de la voûte 1016.	II	couche construite ; construction	Construit sur une assise, le piédroit est composé de blocs rectangulaires de calcaire équarris sur la face visible ainsi que sur les faces de joints. Les blocs mesurent 0,33 m de long sur 0,10 m large. Ils sont séparés par des des joints de lit épais et des joints montants fins. Ils sont comblés par un mortier de chaux très induré brun lissé. Installé dans le rocher naturel 1000, il sert d'appui à la voûte 1016 et équivalent au pied droit 1018. L'ensemble mesure 4,3 m de large sur 0,15 m de haut. Il repose sur la voûte du premier état 1025.	VM
1044	Piédroit droit (ouest) de la voûte 1042.	II	couche construite ; construction	Opus quadratum isodome en grand appareil, vertical, régulier et homogène. Construit sur six assises, disposées en quinconces, le pied droit se compose de blocs rectangulaires de 0,33 m de long sur 0,10 m de large. Ils sont équarris sur toute les faces. L'espace entre les blocs est colmaté par des joints montants fins et des joints de lit épais en mortier de chaux brun induré, lissés au doigt. Le pied droit mesure au maximum 0,80 m au Sud. La partie nord est recouverte par des remblais d'abandon du puits Pu2. Il repose sur la maçonnerie 1004 et sert d'appui à la voûte 1042.	LH

1045	Maçonnerie à l'extrémité nord du conduit.	I	couche construite ; construction	Opus vittatum en moyen appareil composé de moellons non équarris. La maçonnerie est partiellement visible du fait du recouvrement par les remblais d'abandon. L'arase a été rejointoyée lors de la seconde phase de construction. La maçonnerie devait supporter une voûte disparue.	LH
1046	Maçonnerie générale du puits d'accès à la galerie.	I	couche construite ; construction	Opus mixtum, vertical, régulier et homogène. Assisées de bas en haut, les quatre parois sont chaînées entre elles. De forme carré, les parois mesurent 1,30 m du nord au sud. Les assises se composent de moellons de différents modules en moyen et grand appareil. Alternance d'assises en calcaire de 0,15 m de haut et d'assise de TCA épaisse de 0,04 m. Les éléments sont séparés entre eux par des joints de lit fins et des joints montants épais comblés par un mortier de chaux grisâtre très induré. Présence de deux trous de boulin au niveau de la neuvième assise et deux autres au niveau de la seizième. Ils répondent aux trous de boudins visibles à la même altimétrie sur la façade ouest. Ils semblent correspondre à la pose d'un échafaudage. L'ensemble mesure 2,80 m de haut.	LH
1047	Piédroit droit (ouest) de la voûte 1008.	I	couche construite ; construction	Construction illisible en raison de la calcite (forte concentration de stalagmites stalagmites). Cette maçonnerie correspond au piédroit de la voûte 1008.	VM
2000	Rocher naturel.	I	formation naturelle ; action naturelle	Calcaire froid blanc avec la présence de diaclases naturelles. Présence de traces d'outils liés au creusement et à l'aménagement de l'aqueduc.	LH
2001	Piédroit gauche (est) de la voûte 2002.	I	couche construite ; construction	Opus quadratum en isodome moyen appareil, vertical, régulier et homogène. Construit sur une assise, le piédroit se compose exclusivement de blocs de calcaire équarris sur la face de parement et non équarris sur la face de joint. Ils sont espacés par des joints de lits et montants fins. La maçonnerie est recouverte par un mortier de béton hydraulique beige. Les assises sont construites sous forme d'un banchage de bois. Des bourrelets de débordement sont encore visibles. Il sert d'appui au pied droit 2003. Il est surmonté de la voûte 2002. Présence de TCA à la base 2035.	LH
2002	Voûte en plein cintre.	I	couche construite ; construction	Opus quadratum en isodome parfait, en plein cintre, régulier et homogène. La voûte est composée exclusivement de dalles monolithes de calcaire équarries rectangulaires posées de chant. Les blocs sont équarris sur la face visible. La face visible du parement Nord indique que la face de joint des dalles sont grossièrement équarries. Au niveau de l'intrados, les blocs sont séparés par des joints épais de 0,02 m comblés par du mortier de béton hydraulique beige très induré, appliqué en banchage. Par endroit, le mortier a totalement disparu. Les blocs mesurent 0,52 m de long sur 0,06 à 0,08 m de large et 0,15 à 0,20 m de profondeur. La construction est soignée et homogène. L'extrados se compose de moellons non équarris liés dans un mortier très induré. La voûte repose sur le piédroit 2001 et 2012. La portée mesure 1,30 m de large sur 0,50 m de haut.	LH
2003	Piédroit gauche (est) du specus 2005.	I	couche construite ; construction	Opus vittatum en moyen appareil, vertical, régulier et homogène. Il se compose de petits moellons noyés dans une masse de mortier hydraulique de tuileau rosé, très induré, contenant de micro fragments de TCA. Il s'appuie contre le rocher naturel. Par endroit, la maçonnerie se décolle du rocher. Il s'appuie contre le pied droit 2035 et synchrone avec le pied droit 2004. Il mesure 0,20 m de large sur 0,25 m de haut. Il est recouvert par le niveau de calcite 2006.	LH
2004	Piédroit droit (ouest) du specus 2005.	I	couche construite ; construction	Opus vittatum en moyen appareil, vertical, régulier et homogène. Il se compose de petits moellons noyés dans une masse de mortier hydraulique de tuileau rosé, très induré, contenant de micro fragments de TCA. Il s'appuie contre le rocher naturel. Par endroit, la maçonnerie se décolle du rocher. Il est synchrone avec le piédroit 2003. Il est surmonté de la maçonnerie 2007. Il mesure 0,15 m de large sur 0,25 m de haut. Il est recouvert par le niveau de calcite 2006.	LH
2005	Specus de l'aqueduc.	I		Il est matérialisé par les pieds droits 2003 et 2004. De forme triangulaire, il mesure 0,35 m à l'ouverture, 0,15 m au fond sur 0,60 m de haut. La base est recouverte d'un enduit de tuileau hydraulique rosé très induré. Il est recouvert par le niveau de calcite 2006 et s'installe dans le rocher naturel 2000.	LH
2006	Niveau de calcite.	I	formation naturelle ; action naturelle	Niveau de calcite visible sur les pieds droits 2003 et 2004. Il est visible sur l'ensemble des maçonneries. Il participe au fonctionnement du I.	LH
2007	Maçonnerie liée au second état.	II	couche construite ; construction	Construction sous forme d'un coffrage par section, longitudinale dans lequel est coulé un béton de chaux orangée mélangé à des déchets de tailles centimétriques. Il mesure 0,70 m de large à l'ouverture et 0,15 m au niveau du specus. Elle est postérieure au pied droit 2004 et elle est surmontée du piédroit 2008.	LH
2008	Piédroit droit (ouest) de la voûte 2010.	II	couche construite ; construction	Opus quadratum en isodome parfait, en grand appareil, vertical, régulier et homogène. Construit sur six assises, disposées en quinconces, le piédroit se compose exclusivement de blocs de calcaire équarris sur toutes les faces visibles. Les blocs sont séparés entre eux par des joints de lit et montant épais en mortier très induré brun. Aucune trace de banchage n'est visible, les blocs ont été disposés à la verticale et les joints ont été lissés. Présent sur toute la longueur de la section, il mesure 0,80 m de haut. Présence d'un joint de lit épais de 0,06 m au contact de l'intrados de la voûte 2010. Il s'appuie contre la voûte du premier état 2002 et repose sur la maçonnerie 2007. En appui contre 2014, il sert de base à la construction de la voûte 2010. Il est synchrone avec le piédroit 2009.	LH
2009	Piédroit gauche (est) de la voûte 2010.	II	couche construite ; construction	Opus quadratum en isodome parfait, en grand appareil, vertical, régulier et homogène. Construit sur deux assises au sud et une au nord, le pied droit se compose exclusivement de blocs de calcaire équarris sur toutes les faces visibles. Les blocs sont séparés entre eux par des joints de lit très épais (0,06 m) et montant débordants épais (0,03 m) en mortier très induré brun. Ils mesurent 0,34 m de long sur 0,08 à 0,12 m de haut du sud vers le nord. La construction est moins soignée que le piédroit 2008. Le piédroit est présent sur le premier tiers Sud de la galerie. Sur le premier état de voûte 2002 et sur la maçonnerie 2012, il sert de base à la construction de la voûte 2010. Il est synchrone avec le pied droit 2008.	LH

2010	Voûte en plein cintre.	II	couche construite ; construction	Opus quadratum en plein cintre, régulier et homogène. Construite sur neuf assises au total, la voûte se compose de deux sommiers, de six claveaux et d'une assise de clé de voûte. La voûte est construite selon la méthode d'un coffrage, présence de négatifs de planches en bois. Les sommiers (voussoirs) se composent de blocs en grand appareil légèrement angulaires, incurvés vers l'intérieur. Ils mesurent 0,31 m de large sur 0,21 m de haut et 0,20 m de profondeur. Ils sont séparés par des joints montants fins bourrés par du mortier induré brun débordant. Au contact de l'arase des piédroits 2008 et 2009 et des claveaux, présence de joints de lits très épais colmatés par le même mortier. Les claveaux se composent de blocs équarris sur les faces visibles de l'intrados. De forme trapézoïdaux, ils sont disposés de chant et en quinconces. Ils sont séparés par des joints de lits et montants épais comblés par un mortier très induré brun. La clé de voûte est bâtie à l'aide de blocs de la même nature que ceux des claveaux. En façade, elle est matérialisée par un bloc trapézoïdal de 0,30 m de haut sur 0,10 à 0,15 m de large de bas en haut et 0,10 m de profondeur. Le tas de charge de la voûte est bouché par des moellons de calcaire non équarris noyés dans une masse de mortier très induré brun. Le rocher naturel est surcreusé de 0,35 m pour l'installation de la voûte. L'ensemble de la façade est enduite et talochée par un mortier brun. Dans l'ensemble, la construction est soignée et homogène. La portée mesure 0,90 m de large sur 0,50 m de haut. La voûte repose sur les piédroits 2008 et 2009 ainsi que la possible reprise 2012. Mode de construction identique à la voûte 2016.	LH
2011	Niveau de calcite.	II	formation naturelle ; action naturelle	Niveau de calcite visible sur les maçonneries de l'état 2. Il est visible sur l'ensemble des maçonneries. Il participe au fonctionnement du I.	LH
2012	Piédroit droit (ouest) de la voûte 2002.	I	couche construite ; construction	Opus quadratum en isodome moyen appareil, vertical, régulier et homogène. Construit sur une assise, le piédroit se compose exclusivement de blocs de calcaire équarris sur la face de parement et non équarris sur la face de joint. Ils sont espacés par des joints de lits et montants fins. La maçonnerie est recouverte par le comblement du puits Pu4. Il est surmonté de la voûte 2002. Couvert par 2007.	VM
2013	Maçonnerie de colmatage d'une diaclase.	II	couche construite ; construction	Opus vittatum en moyen et grand appareil, vertical, irrégulier. Construite sur huit assises, la maçonnerie, de forme oblique, se compose de blocs en grand appareil pour l'assise de base et de blocs en moyen voire petit appareil pour les assises supérieures. Les blocs sont grossièrement équarris sur la face de parement et non équarris sur la face de joint. Les éléments sont séparés par des joints de lits épais et des joints montants fins comblés par un mortier de tuileau rouge très induré contenant de micro graviers. La maçonnerie mesure 0,35 m de large sur 1,15 m de haut. Elle repose sur le piédroit 2001 et sert d'appui à la voûte 2010. Présence d'un bourrage en mortier de 0,10 m au contact de la voûte 2010.	LH
2014	Maçonnerie du premier état.	I	couche construite ; construction	Deux types d'opus observés dans cette maçonnerie : - Opus mixtum à la base sur 0,35 m de haut, visible sur trois assises alternant TCA, moellons et TCA. Les assises en TCA se composent de dalles rectangulaires de 0,25 m de long sur 0,04 m de haut. L'assise intermédiaire est bâtie en moellons en moyen appareil grossièrement équarris sur la face de parement et non équarris sur la face de joint. - Opus vittatum en moyen appareil, vertical, régulier et homogène. Construite sur trois à cinq assises, la maçonnerie est construite en moellons non équarris sur la face de parement, la face de joint n'est pas visible. Elle mesure entre 0,40 à 0,70 m de haut du Sud au Nord. Les éléments de la maçonnerie sont recouverts par des joints de lits et montants épais, débordants. Ils sont comblés par un mortier de tuileau rosé très induré recouvert par un enduit brun lissé. La maçonnerie sert d'appui à la maçonnerie 2007 ainsi qu'aux piédroits 2008 et 2015. Dans l'ensemble, la maçonnerie mesure entre les deux piédroits, 2,10 m de long sur 0,70 m à 1 m de haut du sud au nord.	LH
2015	Piédroit droit (ouest) des voûtes 2016, 2018 et 2019.	II	couche construite ; construction	Opus quadratum en isodome, en grand appareil, vertical, régulier et homogène. Construite sur toute la longueur jusqu'au puits d'accès, elle est bâtie sur cinq assises régulières disposées en quinconces soit 0,70 m de haut. Elle se compose de blocs de calcaire rectangulaires équarris sur toutes les faces visibles. Les blocs sont séparés entre eux par des joints de lits et montants réguliers, épais de 0,03 m, comblés par un mortier de chaux induré brun. Il repose sur la maçonnerie 2007 et sert de piédroit aux voûtes 2016, 2018 et 2019 ainsi qu'à la maçonnerie de ré hausse 2020. Elle répond au piédroit 2008. Un chaînage d'angle est présent au sud. Construit sur cinq assises, il alterne panne- resse et boutisse. Les blocs en panne- resse mesurent 0,31 m de long sur 0,20 m de profondeur et 0,10 m de haut. Les boutisses mesurent 0,18 m de long sur 0,20 m de profondeur et 0,10 m de haut. Un lit de mortier est posé au contact de la maçonnerie 2007.	LH
2016	Voûte en plein cintre.	II	couche construite ; construction	Opus quadratum en plein cintre, régulier et homogène. Construite sur neuf assises au total, la voûte se compose de deux sommiers, de six claveaux et d'une assise de clé de voûte. La voûte est construite selon la méthode d'un coffrage, présence de négatifs de planches en bois. Les sommiers se composent de blocs en grand appareil légèrement angulaires, incurvés vers l'intérieur. Ils mesurent 0,12 à 0,20 m de large sur 0,26 m de haut et 0,20 m de profondeur. Ils sont séparés par des joints montants fins bourrés par du mortier induré brun débordant. Les claveaux se composent de blocs équarris sur les faces visibles de l'intrados. De forme trapézoïdaux, ils sont disposés de chant et en quinconces. Ils sont séparés par des joints de lits et montants épais comblés par un mortier très induré brun. La clé de voûte est bâtie à l'aide de blocs de la même nature que ceux des claveaux. En façade, elle est matérialisée par un bloc trapézoïdal de 0,30 m de haut sur 0,10 à 0,15 m de large de bas en haut et 0,10 m de profondeur. Sur la façade nord, la clé de voûte est légèrement désaxée par rapport à la façade sud. Ce décalage s'explique par l'irrégularité de l'assise au niveau de l'intrados. Le tas de charge de la voûte est bouché par des moellons de calcaire non équarris noyés dans une masse de mortier très induré brun. Le rocher naturel est surcreusé de 0,35 m pour l'installation de la voûte. L'ensemble de la façade est enduite et talochée par un mortier brun. Dans l'ensemble, la construction est soignée et homogène. La portée mesure 0,90 m de large sur 0,50 m de haut. La voûte repose sur la maçonnerie 2015 ainsi que sur le piédroit 2017. Elle sert d'appui à la maçonnerie 2020. Mode de construction identique à la voûte 2010.	LH

2017	Piédroit gauche (est) de la voûte 2016.	II	couche construite ; construction	Opus quadratum en isodome, en grand appareil, vertical, régulier et homogène. Construit sur trois à quatre assises irrégulières, le piédroit se compose de blocs de calcaire équarris de différents modules au contact de la maçonnerie 2022 au Sud. Des demi blocs taillés dans le sens de la longueur sont disposés au contact de l'encaissant 2000. Certains blocs ont été taillés de sorte à épouser le creusement fait dans le rocher naturel. Les éléments sont séparés par des joints de lits et montants réguliers épais de 0,03 m en mortier de chaux induré brun très légèrement débordants sur la face de parement. Dans l'ensemble, la construction est soignée et destinée à recevoir la voûte 2016. Elle mesure entre 0,30 et 0,50 m de haut. Présence d'un joint de lit épais de 0,06 m au contact de l'intrados de la voûte 2016.	LH
2018	Voûte en plein cintre.	II	couche construite ; construction	Opus quadratum en plein cintre, régulier et homogène. Construite sur neuf assises au total, la voûte se compose de deux sommiers, de six claveaux et d'une assise de clé de voûte. La voûte est construite selon la méthode d'un coffrage, présence de négatifs de planches en bois. Au contraire des voûtes 2016 et 2010, le rocher a été sur creusé entre 0,10 et 0,15 m de haut aux extrémités pour recevoir directement les blocs de chant. Il n'y a pas de charge. Les sommiers se composent de blocs en grand appareil légèrement angulaires, incurvés vers l'intérieur. Ils mesurent 0,12 à 0,20 m de large sur 0,26 m de haut et 0,20 m de profondeur. Ils débordent de 0,08 m par rapport aux claveaux. Ils sont séparés par des joints montants fins bourrés par du mortier induré brun débordant. Les claveaux se composent de blocs équarris sur les faces visibles de l'intrados. De forme trapézoïdaux, ils sont disposés de chant et en quinconces. Ils sont séparés par des joints de lits et montants épais comblés par un mortier très induré brun. La clé de voûte est bâtie à l'aide de blocs de la même nature que ceux des claveaux. En façade, elle est matérialisée par un bloc trapezoidal de 0,30 m de haut sur 0,10 à 0,15 m de large de bas en haut et 0,10 m de profondeur. Sur la façade nord, la clé de voûte est légèrement desaxée par rapport à la façade Sud. Ce décalage s'explique par l'irrégularité de l'assise au niveau de l'intrados. L'extrados de la voûte est bouché par des moellons de calcaire non équarris noyés dans une masse de mortier très induré brun. Le rocher naturel est surcreusé de 0,35 m pour l'installation de la voûte. L'ensemble de la façade est enduite et talochée par un mortier brun. Dans l'ensemble, la construction est soignée et homogène. La portée mesure 0,90 m de large sur 0,50 m de haut. La voûte repose sur la maçonnerie 2015. Mode de construction identique à la voûte 2019.	LH
2019	Voûte en plein cintre.	II	couche construite ; construction	Opus quadratum en plein cintre, régulier et homogène. Construite sur neuf assises au total, la voûte se compose de deux sommiers, de six claveaux et d'une assise de clé de voûte. La voûte est construite selon la méthode d'un coffrage, présence de négatifs de planches en bois. Au contraire des voûtes 2016 et 2010, le rocher a été sur creusé entre 0,10 et 0,15 m de haut aux extrémités pour recevoir directement les blocs de chant. Il n'y a pas de charge. Au contact du rocher, un mortier d'accroche en tuileau hydraulique rosé est appliqué. Les sommiers se composent de blocs en grand appareil légèrement angulaires, incurvés vers l'intérieur. Ils mesurent 0,12 à 0,20 m de large sur 0,26 m de haut et 0,20 m de profondeur. Ils débordent de 0,08 m par rapport aux claveaux. Ils sont séparés par des joints montants fins bourrés par du mortier induré brun débordant. Les claveaux se composent de blocs équarris sur les faces visibles de l'intrados. De forme trapézoïdaux, ils sont disposés de chant et en quinconces. Ils sont séparés par des joints de lits et montants épais comblés par un mortier très induré brun. La clé de voûte est bâtie à l'aide de blocs de la même nature que ceux des claveaux. En façade, elle est matérialisée par un bloc trapezoidal de 0,30 m de haut sur 0,10 à 0,15 m de large de bas en haut et 0,10 m de profondeur. Sur la façade nord, la clé de voûte est légèrement desaxée par rapport à la façade Sud. Ce décalage s'explique par l'irrégularité de l'assise au niveau de l'intrados. L'extrados de la voûte est bouché par des moellons de calcaire non équarris noyés dans une masse de mortier très induré brun. Le rocher naturel est surcreusé de 0,35 m pour l'installation de la voûte. L'ensemble de la façade est enduite et talochée par un mortier brun. Dans l'ensemble, la construction est soignée et homogène. La portée mesure 0,90 m de large sur 0,50 m de haut. La voûte repose sur la maçonnerie 2015. Mode de construction identique à la voûte 2018.	LH
2020	Maçonnerie de réhausse entre les voûtes 2016 et 2018.	II	couche construite ; construction	Opus quadratum isodome en grand appareil, vertical, régulier, en gradins et homogène. Construite sur quatre à cinq assises au contact des voûtes 2016 et 2018 et deux assises en partie centrale, la maçonnerie se compose de blocs de calcaire rectangulaires équarris sur les faces visibles. Ils mesurent 0,30 m de long sur 0,10 m de haut et 0,13 m de profondeur. Les blocs sont liés entre eux par des joints de lits et montants réguliers, épais comblés par un mortier de chaux brun induré contenant des micro galets de rivière. Un petit bourrage de cassons de calcaire est installé au contact du rocher. Elle repose sur la maçonnerie 2015 et semble être postérieure aux voûtes 2016 et 2018. Cette maçonnerie a pu être installée dans un second temps pour venir contreforter les voûtes. Dans l'ensemble, la construction est soignée et homogène. Elle mesure entre 0,30 et 0,70 m de haut.	LH
2021	Massif de bouchage du premier état.	I	couche construite ; construction	Opus incertum en petit appareil, vertical, irrégulier, hétérogène. Non assisée, la maçonnerie se compose exclusivement de moellons grossièrement équarris sur les différentes faces. Les éléments sont séparés entre eux par des joints irréguliers épais très indurés en mortier de chaux brun et béton de tuileau rosé. Cette construction est surmontée du piédroit 2017.	LH
2022	Maçonnerie orientale du premier état.	I	couche construite ; construction	Opus mixtum, vertical, régulier, homogène. Construite sur dix assises, la maçonnerie alterne moellons et TCA. Les assises en tuiles sont régulières, elles se composent de dalles rectangulaires de 0,20 à 0,35 m de long sur 0,06 m de haut. Elles sont séparées par des joints montants fins. Les assises en moellons sont construites en moellons grossièrement équarris sur les faces visibles. Les éléments sont séparés par des joints montants fins. L'alternance blocs et TCA ne se retrouve pas sur la partie sud de la maçonnerie. L'ensemble de la maçonnerie est recouverte par un béton de tuileau très induré rouge contenant des micro graviers. La maçonnerie sert d'appui au pied droit 2001 ainsi qu'à la maçonnerie 2024. Dans l'ensemble, la maçonnerie mesure entre 1 et 1,52 m de haut sur 0,25 m de profondeur.	LH
2023	Trou de bélier du premier état.	I	couche construite ; construction	Installé à sa base sur une assise de TCA, il mesure à l'ouverture 0,24 m de large sur 0,50 m de haut et 0,36 m de profondeur. Inséré dans la maçonnerie 2022. Détruit en partie notamment sur son ouverture.	LH

2024	Assise de réglage pour la pose de la voûte 2018.	II	couche construite ; construction	Opus quadratum en moyen et grand appareil, vertical, régulier et homogène. Construite sur une assise horizontale, la maçonnerie se compose de blocs de calcaire rectangulaires équarris sur les faces visibles. Les blocs mesurent entre 0,16 et 0,30 m de long sur 0,11 m de haut. Ils sont séparés par des joints de lits épais dont le mortier a disparu. A l'aplomb nord de la maçonnerie 2022. Au sud, la maçonnerie est débordante de 0,06 m. Elle sert de base à une partie de la voûte 2018.	LH
2025	Maçonnerie orientale du premier état.	I	couche construite ; construction	Opus mixtum, vertical, régulier, homogène. Construite sur douze assises, la maçonnerie alterne moellons et TCA. Les assises en tuiles sont régulières, elles se composent de dalles rectangulaires de 0,20 à 0,35 m de long sur 0,06 m de haut. Elles sont séparées par des joints montants fins. Les assises en moellons sont grossièrement équarris sur la face de parement et non équarris sur la face de joint. Les éléments sont séparés par des joints montants fins. L'ensemble de la maçonnerie est recouverte par un béton de tuileau très induré rouge contenant des micro graviers. La maçonnerie sert d'appui au piédroit 2003 ainsi qu'à la base de la voûte 2019. Dans l'ensemble, la maçonnerie mesure entre 1 et 1,52 m de haut sur 0,25 m de profondeur. Elle est débordante de 0,70 m par rapport à l'extrémité Nord de la voûte 2019. Un chaînage d'angle est présent construit sur cinq assises alternant boutisse et panneresse. Dans l'ensemble, la construction est soignée et homogène. Elle présente les mêmes caractéristiques que la maçonnerie 2022.	LH
2026	Voûte irrégulière.	II	couche construite ; constructio;	Opus quadratum, irrégulier, homogène. Construite sur douze assises d'une seule longueur elle se compose de blocs rectangulaires de calcaire sur la face de l'intrados. L'extrados n'est pas visible du fait de l'installation des moellons correspondant au tas de charge. La voûte est légèrement oblique du fait de la construction des pieds droits qui ne sont pas face à face. Les blocs mesurent 0,31 m de long sur 0,10 m de large. Ils sont espacés entre eux par des joints vifs. Le tas de charge se compose de moellons grossiers noyés dans une masse de béton de tuileau rouge très induré contenant des micro galets de rivière millimétriques. La portée mesure 0,90 m de large sur 0,30 m de haut. Elle repose sur les piédroits 2027 et 2028. Elle semble s'intégrer dans un second état de construction.	LH
2027	Piédroit gauche (est) de la voûte 2026.	II	couche construite ; construction	Opus quadratum en grand appareil, vertical, régulier et homogène. Construit sur neuf assises, le pied droit se compose de blocs de calcaire rectangulaires équarris sur la face de parement. Ils s'installent directement dans le rocher naturel 2000. Les blocs mesurent 0,40 m de long sur 0,10 m de haut. Ils sont espacés par des joints de lits épais en béton de tuileau hydraulique rouge très induré contenant des micro graviers de rivière millimétriques. Construction soignée mais légèrement oblique et recouverte par une épaisse couche de tarte rendant difficile la lecture de la maçonnerie. Synchrone du piédroit 2028, il supporte la voûte 2026.	LH
2028	Piédroit droit (ouest) de la voûte 2026.	II	couche construite ; construction	Opus quadratum isodome en grand appareil, vertical, régulier et homogène. Construit sur neuf assises, le piédroit se compose de blocs de calcaire rectangulaires équarris sur les faces visibles. Les assises sont régulières, disposées en quinconces et séparées entre elles par des joints de lits et montants épais, réguliers, comblés par un béton de tuileau rouge très induré contenant des micro galets de rivière millimétriques. Deux chaînages d'angle sont présents aux extrémités. Ils alternent boutisse panneresse au sud et l'inverse au nord. Les blocs mesurent 0,30 m de long sur 0,16 m de large et 0,10 m de haut. La maçonnerie est de forme carrée avant de retrouver une forme plus conique afin de recevoir la voûte 2026. A la base, la maçonnerie mesure 0,85 m de large et 0,55 m au sommet. La construction est soignée et repose sur la maçonnerie 2007. Elle répond au piédroit 2027.	LH
2030	Premier niveau de trous de boulins dans la maçonnerie 2033.	I	couche construite ; construction	Premier niveau de trous de boulins carrés, situés à 1,90 m par rapport à l'arase de la maçonnerie 2007. Ils sont présents sur les façades Sud, Est et Ouest. Il devait correspondre à la pose d'un échafaudage. Ils sont contemporains des autres trous de boulins. Il s'intègre dans la maçonnerie 2033.	LH
2031	Deuxième niveau de trous de boulins dans la maçonnerie 2033.	I	couche construite ; construction	Second niveau de trous de boulins rectangulaires, situés à 1,30 m au dessus des trous de boulins 2030; Ils sont présents sur les façades Sud, Est et Ouest. Il devait correspondre à la pose d'un échafaudage ou à un système de fermeture. Ils sont contemporains des autres trous de boulins. Il s'intègre dans la maçonnerie 2033.	LH
2032	Aménagement de trous de boulins.	I	couche construite ; construction	Aménagement de deux trous de boulins dans l'épaisseur de la façade Sud. De forme carré, ils mesurent 0,15 m de large sur 0,11 m de haut et 0,18 m de profondeur. Ils sont situés à 3,40 m du sommet de la trappe d'accès. Ils sont aménagés dans la maçonnerie supérieure 2033.	LH
2033	Maçonnerie inférieure du puits d'accès.	I	couche construite ; construction	Opus incertum en grand appareil composé de blocs grossièrement équarris sur la face de parement et non équarris sur la face de joint. La maçonnerie est recouverte par une épaisse couche de tarte. Un possible chaînage d'angle est visible à l'angle Sud-est. La base de la maçonnerie se situe à -4,75 m du sommet. Surmonté de la maçonnerie supérieure 2034, il est percé des trous de boulins 2030, 2031 et 2032.	LH
2034	Maçonnerie supérieure du puits d'accès.	I	couche construite ; construction	Opus mixtum et vittatum en grand appareil, vertical, régulier, homogène. Construit sur quinze assises, la maçonnerie se compose à la base de trois assises en opus mixtum et de douze assises en opus vittatum. Les moellons sont grossièrement équarris sur la face de parement et non équarris sur la face de joint. La base est située à -1,78 m par rapport à la trappe d'accès. Un chaînage d'angle est visible au Sud-est. Le recouvrement végétal empêche la lecture des joints. Deux trous de boulins sont aménagés sur la face Est à -1,13 m de la trappe. Celui présent sur la face Nord mesure 0,15 m de diamètre et 0,20 m de profondeur.	LH
2035	Maçonnerie	I	couche construite ; construction	Deux assises de TCA(remblais du puits Pu4 recouvrant le niveau), élément long de 0,50 m sur 0,08 m de haut. Sert d'assise régulatrice de la maçonnerie 2001.	VM

10.2. Inventaire des photographies (hors photogrammétrie) dans le tunnel

Photo	Secteur	Observation	vue vers	Auteur
P1414453	1	sommet de 1004		VM
P1414454	1	sommet de 1005		VM
P1414455	1	trace de doigt sur 1004		VM
P1414456	1	trace de doigt sur 1004		VM
P1414457	1	trace d'outil sur la paroi rocheuse		VM
P1414458	1	trace d'outil sur la paroi rocheuse		VM
P1414459	1	trace d'outil sur la paroi rocheuse		VM
P1414460	1	trace d'outil sur la paroi rocheuse		VM
P1414461	1	piédroit gauche 1034 du conduit de la phase II dans la chicane	NE	VM
P1414462	1	piédroit gauche 1034 du conduit de la phase II dans la chicane	NE	VM
P1414463	1	piédroit gauche 1034 du conduit de la phase II dans la chicane	Z	VM
P1414464	1	piédroit gauche 1034 du conduit de la phase II dans la chicane	Z	VM
P1414465	1	piédroit droit 1004 du conduit de la phase II dans la chicane	SO	VM
P1414466	1	piédroit droit 1004 du conduit de la phase II dans la chicane	SO	VM
P1414467	1	piédroit droit 1004 du conduit de la phase II dans la chicane	Z	VM
P1414468	1	piédroit droit 1004 du conduit de la phase II dans la chicane	Z	VM
P1414469	1	liaison du conduit 1004 de la phase II avec 1003 et 1005 au dessus	O	VM
P1414470	1	liaison du conduit 1004 de la phase II avec 1003 et 1005 au dessus	O	VM
P1414471	1	marque rouge, XVI inversé	O	VM
P1414472	1	marque rouge, XVI inversé	O	VM
P1414473	1	régulateur de pression dans la paroi, évacuation du trop plein pour éviter les surpressions (coup de bélier), 1011	E	VM
P1414474	1	régulateur de pression dans la paroi, évacuation du trop plein pour éviter les surpressions (coup de bélier), 1011	E	VM
P1414475	1	régulateur de pression dans la paroi, évacuation du trop plein pour éviter les surpressions (coup de bélier), 1011	E	VM
P1414476	1	régulateur de pression dans la paroi, évacuation du trop plein pour éviter les surpressions (coup de bélier), 1011	E	VM
P1414477	1	bûchage de la voûte calcaire de la phase I	E	VM
P1414478	1	bûchage de la voûte calcaire de la phase I	E	VM
P1414479	1	néгатif de planche pris dans le joint au départ de la voûte 1007		VM
P1414480	1	néгатif de planche pris dans le joint au départ de la voûte 1007		VM
P1414481	1	courbure des claveaux de la voûte 1007 sur le sommier 1005		VM
P1414482	1	courbure des claveaux de la voûte 1007 sur le sommier 1005		VM
P1414483	1	néгатif de planche pris dans le joint au départ de la voûte 1007		VM
P1414484	1	néгатif de planche pris dans le joint au départ de la voûte 1007		VM
P1414485	1	néгатif de planche pris dans le joint au départ de la voûte 1007		VM
P1414486	1	néгатif de planche pris dans le joint au départ de la voûte 1007		VM
P1414487	1	mortier débordant du coffrage de la voûte 1007	E	VM
P1414488	1	mortier débordant du coffrage de la voûte 1007	E	VM
P1414489	1	néгатif d'entrait du vau de la voûte 1006	E	VM
P1414490	1	néгатif d'entrait du vau de la voûte 1007	E	VM
P1414491	1	détail de claveau de 1007		VM
P1414492	1	détail de claveau de 1007		VM
P1414493	1	claveau de la voûte 1007 de la phase II	SO	VM
P1414494	1	claveau de la voûte 1007 de la phase II	SO	VM
P1414495	1	trace d'outil sur la paroi calcaire, pic ?		VM
P1414496	1	trace d'outil sur la paroi calcaire, pic ?		VM
P1414497	1	trace d'outil sur la paroi calcaire, pic ?		VM
P1414498	1	trace d'outil sur la paroi calcaire, pic ?		VM
P1414499	1	détail de négatif de planche sur la voûte 1014 de la phase I		VM
P1414500	1	détail de négatif de planche sur la voûte 1014 de la phase I		VM
P1414501	1	détail de négatif de planche sur la voûte 1014 de la phase I		VM
P1414502	1	détail de négatif de planche sur la voûte 1014 de la phase I		VM
P1414503	1	Détail de négatif de coffrage de l'intrados de la voûte 1014 de la phase I		VM
P1414504	1	Détail de négatif de coffrage de l'intrados de la voûte 1014 de la phase I		VM

Photo	Secteur	Observation	vue vers	Auteur
P1414505	1	Détail de négatif de coffrage de la voûte 1014 de la phase I	NE	VM
P1414506	1	Détail de négatif de coffrage de la voûte 1014 de la phase I	NE	VM
P1414507	1	vue générale entre 1018, 1020 et 1021 à gauche et, à droite, le départ de voûte 1017 de la phase I	NE	VM
P1414508	1	vue générale entre 1018, 1020 et 1021 à gauche et, à droite, le départ de voûte 1017 de la phase I	NE	VM
P1414509	1	régulateur de pression dans la paroi, évacuation du trop plein pour éviter les surpressions (coup de bélier)	E	VM
P1414510	1	régulateur de pression dans la paroi, évacuation du trop plein pour éviter les surpressions (coup de bélier)	E	VM
P1414511	1	voûte 1016	N	VM
P1414512	1	voûte 1016	N	VM
P1414513	1	vue générale, en amont, du départ de la chicane et de l'arc 1037	SO	VM
P1414514	1	vue générale, en amont, du départ de la chicane et de l'arc 1037	SO	VM
P1414515	1	dilatation des joints dans le piédroit droit du conduit de la phase II, entre les US 1037 et 1038		VM
P1414516	1	dilatation des joints dans le piédroit droit du conduit de la phase II, entre les US 1037 et 1038		VM
P1414517	1	dilatation des joints dans le piédroit droit du conduit de la phase II, entre les US 1037 et 1038		VM
P1414518	1	dilatation des joints dans le piédroit droit du conduit de la phase II, entre les US 1037 et 1038		VM
P1414519	1	mortier des voûtes de la phase I		VM
P1414520	1	mortier des voûtes de la phase I		VM
P1414521	1	mortier des voûtes de la phase II		VM
P1414522	1	mortier des voûtes de la phase II		VM
P1414523	1	mortier des voûtes de la phase II		VM
P1414524	1	mortier des voûtes de la phase II		VM
P1414525	1	vue générale		VM
P1414526	1	prélèvement de mortier dans la maçonnerie, phase II à gauche et phase I à droite		VM
P1414527	1	prélèvement de mortier dans la maçonnerie, phase II à gauche et phase I à droite		VM
P1414528	2	buchage de la voûte 2012 de la phase I pour positionner la voûte 2010 de la phase II	Z	VM
P1414529	2	buchage de la voûte 2012 de la phase I pour positionner la voûte 2010 de la phase II	Z	VM
P1414530	2	buchage de la voûte 2012 de la phase I pour positionner la voûte 2010 de la phase II	E	VM
P1414531	2	buchage de la voûte 2012 de la phase I pour positionner la voûte 2010 de la phase II	S	VM
P1414532	2	buchage de la voûte 2012 de la phase I pour positionner la voûte 2010 de la phase II	S	VM
P1414533	2	détail de l'assemblage de la voûte 2012 dans le substrat rocheux utilisé comme sommier	S	VM
P1414534	2	détail de l'assemblage de la voûte 2012 dans le substrat rocheux utilisé comme sommier	S	VM
P1414535	2	inscription d'amoureux des années 70 sur une pierre de taille sur la voûte 2010	E	VM
P1414536	2	inscription d'amoureux des années 70 sur une pierre de taille sur la voûte 2010	E	VM
P1414537	2	différentes inscriptions du XXe s. sur la voûte 2010	E	VM
P1414538	2	différentes inscriptions du XXe s. sur la voûte 2010	E	VM
P1414539	2	claveaux bûchés de la voûte 2002 appartenant à la phase I pour recevoir la voûte 2010 de la phase II	S	VM
P1414540	2	claveaux bûchés de la voûte 2002 appartenant à la phase I pour recevoir la voûte 2010 de la phase II	S	VM
P1414541	2	inscription sur une pierre de taille sur la voûte 2010	E	VM
P1414542	2	inscription sur une pierre de taille sur la voûte 2011	E	VM
P1414543	2	négatif de planche du coffrage de la voûte 2010 de la phase II	E	VM
P1414544	2	négatif de planche du coffrage de la voûte 2010 de la phase II	E	VM
P1414545	2	buchage de la voûte 2012 de la phase I	N	VM
P1414546	2	buchage de la voûte 2012 de la phase I	N	VM
P1414547	2	buchage de la voûte 2012 de la phase I	N	VM
P1414548	2	buchage de la voûte 2012 de la phase I	N	VM
P1414549	2	maçonnerie 2008 de la phase II en appuie sur la voûte 2002 de la phase I	NO	VM
P1414550	2	maçonnerie 2008 de la phase II en appuie sur la voûte 2002 de la phase I	NO	VM
P1414551	2	trace de planche sur l'intrados de la voûte 2002 de la phase I	O	VM
P1414552	2	trace de planche sur l'intrados de la voûte 2002 de la phase I	O	VM
P1414553	2	trace d'outil sur l'appareillage allongé	O	VM
P1414554	2	trace d'outil sur l'appareillage allongé	O	VM
P1414555	2	trace d'outil sur l'appareillage allongé	O	VM
P1414556	2	trace d'outil sur l'appareillage allongé	O	VM
P1414557	2	détail de trace d'outil sur bloc équarris	O	VM
P1414558	2	specus de la phase I	S	VM
P1414559	2	specus de la phase I	S	VM
P1414560	2	profil du specus de la phase I	S	VM

Photo	Secteur	Observation	vue vers	Auteur
P1414561	2	profil du specus de la phase I	S	VM
P1414562	2	specus de la phase II au premier plan avec son piédroit droit à droite	S	VM
P1414563	2	specus de la phase II au premier plan avec son piédroit droit à droite	S	VM
P1414564	2	specus des deux phases	S	VM
P1414565	2	specus des deux phases	S	VM
P1414566	2	état sanitaire de l'amaçonnerie 2013 qui se descelle	E	VM
P1414567	2	état sanitaire de l'amaçonnerie 2013 qui se descelle	E	VM
P1414568	2	état sanitaire de l'amaçonnerie 2013 qui se descelle	S	VM
P1414569	2	état sanitaire de l'amaçonnerie 2013 qui se descelle	S	VM
P1414570	2	trace d'outil sur la paroi rocheuse	E	VM
P1414571	2	trace d'outil sur la paroi rocheuse	E	VM
P1414572	2	détail de trace d'outil sur la paroi rocheuse	E	VM
P1414573	2	détail de trace d'outil sur la paroi rocheuse	E	VM
P1414574	2	voûte 2010 de la phase II	S	VM
P1414575	2	voûte 2010 de la phase II	S	VM
P1414576	2	ambiance	S	VM
P1414577	2	voûtes 2010 de la phase II et 2002 de la phase I, au fond	S	VM
P1414580	2	détail de construction de la maçonnerie 2014 de la phase I	O	VM
P1414581	2	détail de construction de la maçonnerie 2014 de la phase I	O	VM
P1414582	2	trace d'outil sur les claveaux de la voûte 2016 de la phase II	N	VM
P1414583	2	trace d'outil sur les claveaux de la voûte 2016 de la phase II	N	VM
P1414584	2	maçonnerie 2022 et piédroit gauche 2003 du conduit de la phase I	E	VM
P1414585	2	maçonnerie 2022 et piédroit gauche 2003 du conduit de la phase I	E	VM
P1414586	2	piédroit gauche 2003 du conduit de la phase I s'appuyant sur la maçonnerie 2022 après enlèvement de la calcite	E	VM
P1414587	2	piédroit gauche 2003 du conduit de la phase I s'appuyant sur la maçonnerie 2022 après enlèvement de la calcite	E	VM
P1414588	2	piédroit gauche 2003 du conduit de la phase I s'appuyant sur la maçonnerie 2022 après enlèvement de la calcite	Z	VM
P1414589	2	piédroit gauche 2003 du conduit de la phase I s'appuyant sur la maçonnerie 2022 après enlèvement de la calcite	Z	VM
P1414590	2	trace d'outil sur la paroi rocheuse	O	VM
P1414591	2	trace d'outil sur la paroi rocheuse	O	VM
P1414592	2	trace d'outil sur la paroi rocheuse	S	VM
P1414593	2	trace d'outil sur la paroi rocheuse	S	VM
P1414595	2	encastrement de la voûte 2016 de la phase II dans le rocher	E	VM
P1414596	2	voûte 2018, maçonneries 2015 et 2020 de la phase II	N	VM
P1414598	2	voûte 2018, maçonneries 2015 et 2020 de la phase II	N	VM
P1414599	2	voûte 2018, maçonneries 2015 et 2020 de la phase II	N	VM
P1414600	2	évacuation 2023 dans la maçonnerie 2022 de la phase I	E	VM
P1414601	2	évacuation 2023 dans la maçonnerie 2022 de la phase I	E	VM
P1414602	2	évacuation 2023 dans la maçonnerie 2022 de la phase I	E	VM
P1414603	2	évacuation 2023 dans la maçonnerie 2022 de la phase I	E	VM
P1414604	2	détail évacuation 2023	E	VM
P1414605	2	détail évacuation 2023	E	VM
P1414606	2	maçonnerie 2026 en appuie sur le rocher	SO	VM
P1414607	2	maçonnerie 2026 en appuie sur le rocher	SO	VM
P1414608	2	ambiance	S	VM
P1414609	2	ambiance	S	VM
P1414610	2	ambiance	S	VM
P1414611	2	ambiance	S	VM
P1414612	2	ambiance	S	VM
P1414613	2	ambiance	S	VM
P1414614	2	ambiance	S	VM
P1414615	2	ambiance	S	VM
P1414616	2	ambiance	S	VM
P1414617	2	ambiance	S	VM
P1414618	2	ambiance	S	VM
P1414619	2	ambiance	S	VM
P1414620	2	ambiance	S	VM

Nouvelle-Aquitaine, Charente-Maritime (17)
Fontcouverte, Vallon des Arcs et Plantis des Neuf Puits

Depuis 2003, la Société d'archéologie et d'histoire de la Charente-Maritime (SahCM) mène une étude de l'aqueduc romain de Mediolanum, aboutissant à son classement au titre des Monuments historiques. Dans le cadre d'un programme de valorisation lancé en 2009 par la Communauté d'agglomération de Saintes, une première modélisation 3D par photogrammétrie a été réalisée par l'Inrap en 2020-2021 sur la partie amont du « pont des Arcs ». Entre 2021 et 2023, la SahCM a poursuivi ces travaux topographiques sur la partie aval du pont et sur deux sections souterraines du tunnel du « Plantis des Neuf Puits », en partenariat avec le lycée de Sillac. Ces campagnes, associant étudiants en BTS de géomètre et technologies de photogrammétrie et de lasergrammétrie, ont produit une documentation riche (plans, ortho-images, modèle 3D), permettant en 2024 une étude de bâti et l'établissement d'un phasage précis de la partie souterraine.

Après la Guerre des Gaules, Mediolanum devient la capitale d'Aquitaine, dotée dès l'époque augustéenne d'un vaste programme urbain. L'existence de deux complexes thermaux (Saint-Vivien puis Saint-Saloine) nécessite un approvisionnement en eau important. La faible disponibilité en ressources hydrauliques sur la rive gauche de la Charente conduit les ingénieurs romains à capter des sources situées sur la rive droite, permettant une alimentation gravitaire. Un premier aqueduc est édifié à l'époque augustéenne à partir des sources de Font-Morillon et de Font de l'Eschalle. Au deuxième quart du I^{er} siècle apr. J.-C., l'extension urbaine entraîne le captage de deux nouvelles sources, « Grand-Font » et « Fontaines des Romains », et la modification de l'ouvrage.

Les opérations archéologiques se concentrent sur 380 m de tracé, sur la commune de Fontcouverte. L'aqueduc y franchit un vallon sec de 200 m de large et 20 m de dénivelé, puis doit traverser une butte culminant à 55 m NGF alors que son niveau est à 38 m NGF. Les ingénieurs optent pour un pont et d'un tunnel rectiligne de 500 m, ponctué de treize puits.

Le « pont des Arcs », long de 149 m, comprend deux culées et 26 piles supportant 27 arches en plein cintre ; 87 % de l'ouvrage est aujourd'hui détruit et seules six piles subsistent. La maçonnerie associe opus caementicium et appareil régulier en opus vittatum. Des trous de boulin attestent l'usage d'échafaudages.

Dans le tunnel du « Plantis des Neuf Puits », l'étude distingue au moins deux grandes phases. La phase I comprend la création des puits servant à l'extraction des déblais, à la ventilation et au contrôle du tracé. La galerie initiale, en forme de trou de serrure, comportait des piédroits en opus vittatum, un specus maçonné et un espace latéral de circulation pour l'entretien, situé à l'ouest du canal. La phase II transforme profondément l'ensemble par des travaux en sous-œuvre, afin d'adapter le canal à l'augmentation du débit (de 0,16 à 0,37 m²). Cette phase est marquée par un élargissement et une surélévation du canal, avec une construction en béton de chaux, coulé dans un coffrage, et des voûtes édifiées en opus quadratum isodome, témoignant d'une maîtrise technique accrue. Certains puits ont pu subir des modifications lors de cette phase, ou une autre, par un changement de forme, passant de circulaire à quadrangulaire.