
Le Pont de Pierre de Charlieu (Loire). Archéologie d'un ouvrage d'art : construction et évolution architecturale

The Stone Bridge Charlieu (Loire): construction and architectural evolution

Marc Guyon



Édition électronique

URL : <http://journals.openedition.org/racf/2138>
ISSN : 1951-6207

Éditeur

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

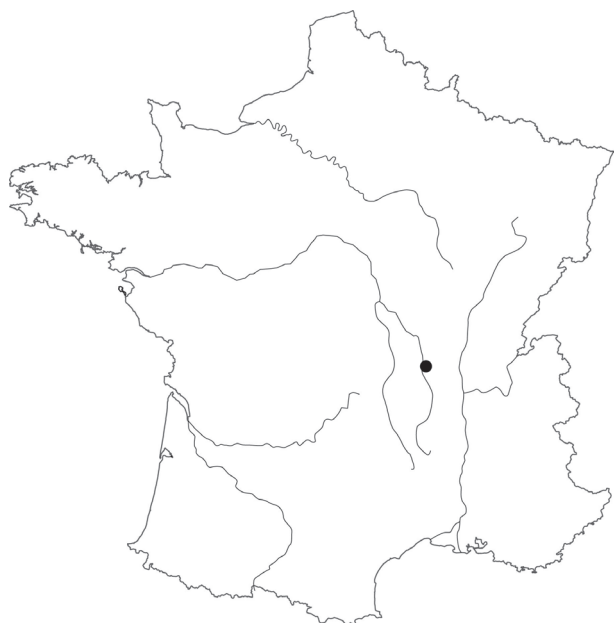
Référence électronique

Marc Guyon, « Le Pont de Pierre de Charlieu (Loire). Archéologie d'un ouvrage d'art : construction et évolution architecturale », *Revue archéologique du Centre de la France* [En ligne], Tome 53 | 2014, mis en ligne le 15 avril 2015, consulté le 19 avril 2019. URL : <http://journals.openedition.org/racf/2138>



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

Marc GUYON*



**Le Pont de Pierre de Charlieu (Loire).
Archéologie d'un ouvrage d'art :
construction et évolution architectu-
rale**

*THE STONE BRIDGE CHARLIEU
(LOIRE): CONSTRUCTION AND AR-
CHITECTURAL EVOLUTION*

Mots-clés : Charlieu, Sornin, pont, bas Moyen Âge, construction, radier, fondation, armature métallique.

Keywords: Charlieu, Sornin, bridge, Late Middle Age, construction, raft, foundation, metal frame.

*. Archéologue subaquatique, Chargé d'opération et de recherche, Inrap - Rhône-Alpes, 12 rue Louis Maggiorini, 69500 Bron, marc.guyon@inrap.fr

Pour citer cet article, utiliser la référence électronique :

Marc Guyon, Le Pont de Pierre de Charlieu (Loire). Archéologie d'un ouvrage d'art : construction et évolution architecturale, *Revue Archéologique du Centre de la France* [En ligne], Tome 53 | 2014, mis en ligne le 15 avril 2015, consulté le 17 juin 2015.
URL : <http://racf.revues.org/2138>

Résumé : En 2011, une opération d'archéologie préventive, suite à une prescription émise par l'État (DRAC Rhône-Alpes), a permis d'accroître nos connaissances sur le Pont de Pierre de Charlieu (Loire), en saisissant l'opportunité des travaux de réparation de l'ouvrage par le conseil général de la Loire.

Ce pont en pierre, qui permet de franchir la rivière " le Sornin " affluent de la Loire, est situé au sud de l'agglomération de Charlieu.

Aucune synthèse ne fait état des passages ayant existé sur la commune de Charlieu.

La connaissance de ce pont à travers les textes est plutôt maigre. On ne connaît pas sa date de construction. Seul un terrier évoque déjà sa présence en 1432. Un texte mentionne qu'il est en réparation en 1733. En 1861, son tablier est élargi en amont. En 1938, les trois piles sud sont renforcées.

À l'heure actuelle, où souvent les vestiges de ponts se trouvent détruits par les pelles mécaniques sans que personne ne puisse intervenir, l'investigation archéologique a permis d'apporter des données conséquentes sur la connaissance de ce pont.

D'après les marchés de construction, ce type de fondation est bien connu à partir du xv^e s., mais il reste très mal documenté archéologiquement.

Cette étude inédite permet de mettre en lumière l'organisation d'un radier général et d'une fondation d'une des piles remontant au xv^e s.

Abstract: *In 2011, a preventive archeology operations, following a prescription issued by the State (DRAC Rhône-Alpes), has increased our knowledge of this bridge, seizing the opportunity to repair the item by the conseil général de la Loire.*

This stone bridge, which can cross the "le Sornin" River, is located south of the town of Charlieu.

No summary does not indicate passages which existed in the town of Charlieu.

Knowledge of the bridge through the texts is rather thin. We do not know the date of construction. Only a terrier already evokes his presence in 1432. Text mentions that it is being repaired in 1733. In 1861, her apron was extended upstream. In 1938, the three southern piers are strengthened.

At present, where often the remains of bridges are destroyed by excavators and nobody can intervene, the archaeological investigation has to make substantial data on the knowledge of this bridge.

According to construction contracts, this type of foundation is well known from the fifteenth century, but it remains poorly documented archaeologically.

This unique study shed light on the organization of a general raft and a foundation of piles dating back to the fifteenth century.

INTRODUCTION

1. LE CADRE DE L'ÉTUDE

1.1. CONTEXTE

GÉOHYDROMORPHOLOGIQUE

1.2. RAPPEL HISTORIQUE DE CHARLIEU

1.3. L'OUVRAGE AVANT

L'OPÉRATION ARCHÉOLOGIQUE

1.4. PROTOCOLE ET MÉTHODOLOGIE

2. DESCRIPTION DE L'OUVRAGE D'ART

2.1. ÉLÉMENTS DE CONSTRUCTION

2.2. LES MATÉRIAUX EMPLOYÉS

DANS LA CONSTRUCTION

DES PARTIES AÉRIENNES

2.3. LES MARQUES LAPIDAIRES

2.4. LES TRAVAUX DE CONSOLIDATION

DE LA PILE P4

3. LA CHRONOLOGIE DE L'OUVRAGE D'ART

CONCLUSION

■ BIBLIOGRAPHIE

INTRODUCTION

Lors de travaux effectués sur des ponts encore en usage, l'intervention révèle des vestiges archéologiques encore en place. Peu d'opérations archéologiques sont mises en œuvre sur ces sites lors de consolidations de piles ou de réfection de tablier*¹. À l'heure actuelle, bien des vestiges de ponts se sont retrouvés détruits par les pelles mécaniques sans que personne ne puisse intervenir.

L'étude qui va suivre montre la méthode à l'occasion d'une opération archéologique sur un ouvrage d'art. Le type d'étude peut être simplifié dès lors que l'on respecte un protocole correctement appliqué.

Aucune synthèse ne fait état des passages ayant existé sur la commune de Charlieu.

On ne connaît pas la date de construction du Pont de Pierre, mais il est mentionné pour la première fois dans un terrier du xv^e s.².

Avertissement : S'agissant d'un ouvrage d'art, composé de plusieurs piles et arches, la numérotation prend son origine en rive gauche (Fig. 1).

1. LE CADRE DE L'ÉTUDE

“ Le Pont de Pierre ”³ permet à la route départementale n° 4 d'accéder par le sud à l'agglomération de Charlieu (Fig. 2). En décembre 2003, Il a été considéré comme potentiellement dangereux pour la circulation au vu d'une inspection réalisée suite à la crue du Sornin. Le conseil général de la Loire, alors gestionnaire de cet ouvrage d'art, avait choisi de déclasser cette portion d'infrastructure routière d'une centaine de mètres de longueur, et d'en déléguer la gestion à la commune de Charlieu. Au préalable, le conseil général de la Loire devait remettre en état ce tronçon routier. Cet ouvrage d'art est inscrit à l'inventaire supplémentaire des monuments historiques depuis le 8 août 1938.

Suite au dépôt du dossier de réparation de ce pont à la DRAC Rhône-Alpes, le service régional de l'Archéologie de Rhône-Alpes a prescrit une étude archéologique préalable en 2011, alliant à la fois archéologie du bâti et sondages. Une équipe d'archéologues de l'Inrap a effectué cette opération, en plusieurs phases, en fonction de l'avancement des travaux de réfection de l'ouvrage. L'opération archéologique s'est intercalée entre la démolition de l'élargissement amont de la chaussée et les travaux qui avaient pour but de lui redonner son apparence primitive par un remplacement quasi général du parement* et une consolidation de la fondation de la pile P4.

L'intervention archéologique avait pour objectif de collecter tous les éléments permettant de restituer l'historique du pont, dans sa partie d'élévation masquée par le doublage effectué au xix^e s., ainsi que par des investigations conduites au pied de la pile P4 moins remaniée. Ces données, complétées par des analyses réalisées sur d'éventuels pieux de

1. Les mots suivis d'un astérisque marquent un terme technique et renvoient au glossaire.

2. Terrier de Ronzeria (reg. in-8° de 56 fol., 1370-1432) série 1E des archives départementale de la Loire, 1E-DEM-4287.

3. Coordonnées géographiques RGF93/Lambert-93 x : 790677 y : 6562483.

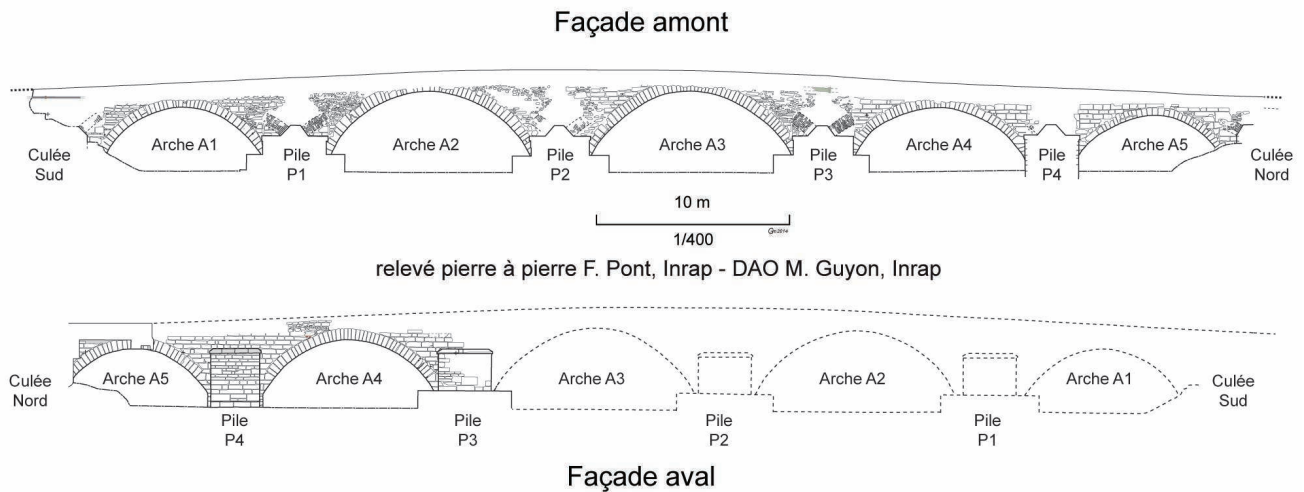


Fig. 1 : Élévation pierre à pierre de la façade amont et aval (relevé pierre à pierre F. Pont, Inrap - DAO M. Guyon, Inrap).

bois, devaient permettre la confrontation des sources écrites et iconographiques sur cet ouvrage avec la réalité archéologique. C'est ainsi qu'un relevé pierre à pierre de toute la façade amont a été réalisé après démolition de l'élargissement effectué en 1861. Pour la façade aval, seule la partie nord de l'ouvrage a été dessinée de l'arche A4 jusqu'à la culée* nord. Des contraintes techniques n'ont pas permis de dessiner plus d'éléments sur cette partie aval, ce qui, d'ailleurs, n'était pas prévu au cahier des charges. Toutes les faces de la pile P4, y compris sa fondation, ont été dessinées. L'ensemble des palplanches* délimitant le radier général* de l'ouvrage a été lui aussi documenté, dans la limite des parties visibles et non restaurées lors de l'intervention. Une documentation exhaustive des marques lapidaires a été produite.

1.1. Contexte géohydromorphologique

Ce pont est situé à l'extrémité orientale de la plaine de la Loire à l'interface entre le bassin de Roanne-Digoin et le Beaujolais à l'Est ainsi que le Brionnais au Nord. Il permet de franchir la rivière " le Sornin ", au niveau d'un secteur stable. Ce secteur se caractérise par une largeur de l'espace alluvial plus faible. Cet emplacement est favorable à la traversée du Sornin contrairement aux secteurs à l'amont et à l'aval de Charlieu beaucoup plus plats et larges. Des modifications majeures dans la morphodynamique du Sornin sont visibles depuis 250 ans. Il s'agit sans doute d'un forçage d'origine anthropique.

Le Sornin est une rivière d'environ 53 km de longueur qui prend sa source dans le Haut Beaujolais en plusieurs points, Sornin d'Aigueperse, à Saint-Bonnet (Saint-Bonnet-des-Bruyères), Sornin de Saint-Igny et Sornin de Propières (Mont Saint-Rigaud 1 009 m et Mont Bonnet 1 001 m). Il conflue avec la Loire au sud de Pouilly-sous-Charlieu.

Avec un bassin versant d'environ 520 km², ses principaux affluents sont le Bézo (30 km de linéaire) à l'amont de Charlieu en rive droite qui prend sa source aux Bassets sur la commune de Saint-Christophe-en-Brionnais (Saône-et-Loire), le Botoret (23 km de linéaire), le Mussy (18 km de linéaire).

La nature géologique du sous-sol est caractérisée par des terrains primaires en amont du bassin versant de type granitique. Au niveau des hautes vallées, on trouve des formations de remplissages sédimentaires d'alluvions récentes et des colluvions de versants. En aval, ce sont des terrains sédimentaires (colluvions tertiaires et quaternaires sur socle calcaire). Un milieu karstique, localisé en rive droite du Sornin, est aussi présent.

Le bassin du Sornin présente un régime pluvial avec une période d'eaux moyennes à hautes de novembre à mai et une période d'étiage marquée durant les mois de juillet à septembre. Les débits de pointe pour une période de retour centennale sont de l'ordre de 1m³/s/km² dans la partie amont du bassin pour atteindre 0,35 m³/s/km² au niveau de la confluence avec la Loire. Les crues sont essentiellement constituées dans les monts du Beaujolais avec une montée des eaux généralement rapide (quelques

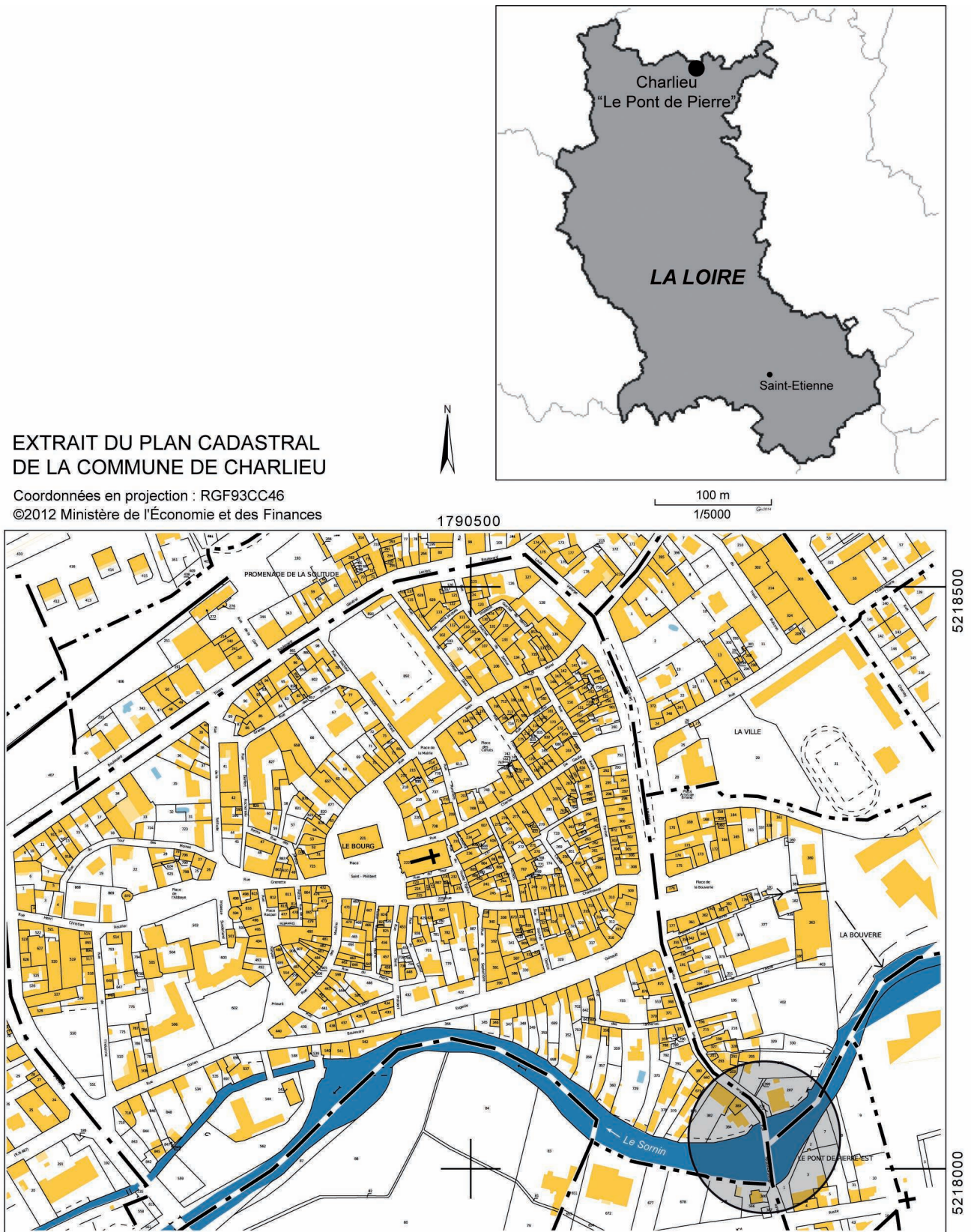


Fig. 2 : Localisation de l'opération sur fond de plan cadastral (1/5 000).

heures). Les crues historiques les plus importantes connues sont celles du 09 juillet 1882 (251 m³/s estimé à Charlieu), d'octobre 1893 (238 m³/s estimé à Charlieu), 16 octobre 1907, 1951, avril 1983, novembre 1996 et avril 1998 sur lesquelles la modélisation des zones inondables s'est appuyée, enfin celle du 02 décembre 2003 (180 m³/s estimé à Charlieu soit une période de retour de 50 ans) et celle du 17 avril 2005 (160 m³/s estimé à Charlieu). Le secteur est en zone inondable sur la rive droite mais le site d'implantation du pont semble se situer au niveau d'un resserrement (un gué naturel ou construit ?) du lit majeur à l'échelle de la vallée autour de Charlieu.

La pente du profil longitudinal du cours d'eau varie en fonction des substrats rencontrés. Sur la partie amont, dans le département du Rhône, le Sornin sur 15 km présente un caractère montagneux avec un régime torrentiel et des pentes importantes, dans le département de la Saône-et-Loire, la pente est d'environ 0,5 % sur un linéaire de 20 km. Dans le département de la Loire, il coule dans une plaine alluvionnaire avec des pentes inférieures à 0,2 % sur un linéaire d'environ 20 km. Sur cette section aval qui nous concerne, la faible pente entre autres favorise la mise en place d'un style fluvial méandri-forme (dissipation de l'énergie) dans un lit majeur contraint par différentes séries d'aménagements hydrauliques (seuil, barrage, dérivation, digue, urbanisation, etc.).

Une analyse diachronique des cartes topographiques actuelles et de 1849, d'État-major, de Cassini (1750), indique, même si les précisions sont différentes, que la dynamique méandri-forme du cours d'eau semble s'exprimer entre 1750 et 1849, intervalle pendant lequel de profonds changements morphologiques sont observables (notamment sur le secteur de la confluence avec la Loire). La situation actuelle contraste avec celle de la carte d'État-major et semble se caractériser par une tendance à une chenalisation unique actuelle et la persistance du style méandri-forme.

Ces différents documents illustrent en outre la pérennité du tracé immédiatement à l'amont et à l'aval du pont (actions anthropiques), objet du suivi, même si les secteurs de la Douze (à l'amont) ou au niveau du château de Tigny (à l'aval) sont très dynamiques. Pour ce dernier, une retenue semble exister sur le document de 1750.

Le secteur du suivi, l'emplacement du Pont, se trouve, au moins pour la rive gauche en zone inondable comme le montre la carte actuelle du PPRNPI

de la commune de Charlieu⁴. Une étude géologique (BOULLER *et al.* 1990) indique que depuis l'amont de la confluence avec le Bezo sous une couverture de 3 m d'argiles, les alluvions d'une épaisseur variant de 2 à 3 m, reposent sur les argiles compactes du Tertiaire.

1.2. Rappel historique de Charlieu

L'histoire de Charlieu débute réellement avec la naissance de son abbaye bénédictine fondée vers 872, rattachée à Cluny en 932, réduite en prieuré vers l'an 1000 et rattachée au Mâconnais jusqu'au XIX^e s. Cité importante au Moyen Âge, elle abrite sous l'ancien régime de nombreuses communautés religieuses : bénédictins, franciscains, capucins, ursulines, religieuses hospitalières. Son église et sa paroisse dédiées à Saint-Philibert datent de la première moitié du XIII^e s. Après un déclin, à partir du XV^e s., la ville se développe grâce à l'implantation de l'industrie de la soierie au début du XIX^e s. Au milieu du XX^e s., cette industrie recule et fait place à de nouvelles activités.

1.3. L'ouvrage avant l'opération archéologique

Avant l'intervention archéologique, l'élargissement du tablier, côté amont, a été détruit. Ce dernier était construit en briques rouges pour la partie bandeau* des arches et en moellons pour le mur de tête amont. Les voûtes de cet élargissement étaient en "anse de panier surbaissée" (Fig. 3). Les matériaux utilisés dans cette construction sont *a priori* de production locale, aussi bien en remploi qu'en extraction.

Lors de l'enlèvement de cet élargissement, les travaux ont mis au jour la date de 1757 inscrite au sommet de la première arche en rive gauche, façade amont. Dans le lit de la rivière, un radier général empierré est délimité en amont et aval par des pieux et des poutres. Les trois premières piles, en partant de la rive gauche, sont enserrées par des semelles de béton qui reposent sur le radier général. La première pile, côté rive droite, en est dépourvue.

4. http://www.loire.gouv.fr/IMG/pdf/plan3_zonage_charlieu_cle683b7d.pdf



Fig. 3 : Façade amont du pont avant la démolition de l'élargissement vue depuis la rive gauche (cliché : Lespinasse, privé).

1.4. Protocole et méthodologie

L'opération devait répondre à une prescription déclinée en quatre points.

- un relevé pierre à pierre, dans son ensemble, de la façade amont nouvellement dégagée ;
- prélèvements de matériaux à des fins de datation et de détermination de provenance géologique ;
- une surveillance des travaux de consolidation de la pile P4 lors de l'affouillement de cette dernière avec relevés et documentations exhaustives ;
- une recherche de toute trace de gué, de radier ou de dispositif ayant servi à la construction du pont.

Suivant ce cahier des charges émis par le service régional de l'Archéologie Rhône-Alpes, l'ensemble des objectifs n'a pas été totalement atteint du fait des travaux déjà commencés. L'opération s'est découpée en deux périodes d'intervention.

Lors de la première intervention du 24 août 2011 au 2 septembre 2011, concernant la portion comprise de la culée sud à la pile P3, les travaux d'enrochement étaient déjà réalisés. De ce fait, la surveillance de travaux concernant le creusement des bèches* pour la mise en place des enrochements n'a pas été possible. La réfection du radier sous l'arche A2 était, elle aussi, déjà terminée. La réfection du parement de la façade aval, de la culée sud à l'arche A2, était en partie commencée et nous était interdite pour des raisons de sécurité, au regard de la co-activité.

Lors de la deuxième intervention du 30 novembre 2011 au 13 décembre 2011, concernant la portion allant de la pile P3 à la culée nord, il n'a pas été possible le suivi des travaux d'enrochement. Ces travaux déjà réalisés lors de notre arrivée sur le terrain, rendaient impossible la réalisation de sondages aux pieds de chacun des avant-becs* et arrière-becs* des piles.

Les relevés de façades ont été effectués depuis des échafaudages. Au préalable, un rapide net-

toyage de celles-ci ainsi qu'un léger déjointsage a été organisé. La façade amont a été relevée au 1/50 dans son intégralité ainsi qu'une partie de la façade aval, de la culée nord à la pile 3. Ce travail de relevé de terrain a permis la numérisation des façades.

Pour le relevé du comblement interne de l'ouvrage, un carroyage*, d'une trame de 1 m de long pour 0,50 m de hauteur, a été installé sur son tympan. Il a été rattaché au système de relevé en pierre à pierre de la façade amont. Sa prise de vue numérique a permis d'en réaliser une mosaïque photographique.

Les marques lapidaires ont été reproduites directement à l'aide d'un calque et d'un crayon gras et topographiées. Les traces d'outils ont été photographiées numériquement en lumière rasante, à l'aide d'un projecteur électrique, permettant de révéler au mieux ces traces.

Le radier général (palplanches et demi-moises*) a été relevé numériquement en plan à l'aide d'un décimètre et d'un fil à plomb. Au final, sous la forme d'une mosaïque photographique, le travail numérisé a permis une restitution graphique.

Quant aux relevés de la pile P4, un carroyage d'une trame de 1 m² a été installé sur les piédroits* nord et sud en incluant l'avant-bec et l'arrière-bec, afin d'obtenir une mosaïque photographique. Chaque angle des carrés formant ce carroyage était matérialisé par un repère. Un relevé de ces repères, au théodolite, a permis de donner un cadre aux prises de vues numériques. À terme, la numérisation a permis d'en restituer l'élévation.

Le relevé en plan des degrés de fondation de la pile P4 a été réalisé suivant la même méthode décrite pour celui du radier général.

2. DESCRIPTION DE L'OUVRAGE D'ART

Avant sa réfection de 2011, l'ouvrage était constitué de cinq arches maçonnées surbaissées, d'ouverture variant de 7,25 à 10,35 m, reposant sur quatre piles et supportant deux tabliers maçonnés accolés. Le tablier d'origine présente 4,85 m de largeur et est situé en partie aval. Contre celui-ci, en amont, un second tablier de 1,50 m de large a été ajouté en 1861 afin d'élargir l'ensemble de l'ouvrage.

L'ouvrage primitif est construit essentiellement en moellons de moyen appareil*. Il enjambe la rivière du Sornin sur une longueur approximative de 65 m (Fig. 4). Il est composé de cinq arches en arc de cercle, peu surbaissées, d'ouverture variable, et de quatre piles d'épaisseurs variables. Toutes les

piles possèdent un avant-bec triangulaire surmonté d'un chaperon*. Les arrière-becs sont à talon rectangulaire. La largeur de son tablier est de 4,85 m. La hauteur maximale au niveau de la pile P2 entre la chaussée et la surface du radier général de fondation est de 5,30 m. Le pont a été visiblement plusieurs fois remanié comme le révèlent le remplacement de voussoirs*, les réfections de parement et le rajout d'enduits à divers endroits.

2.1. Éléments de construction

2.1.1. Les piles

Elles sont de forme rectangulaire et d'une surface voisine de 13,3 m² à 15,7 m². Aucune observation archéologique n'est possible sur les piles P1, P2 et P3 qui ont été ceinturées par 0,80 m à 1 m de béton coulé à l'intérieur d'un caisson de bois en 1938. Seule la pile P4 a fait l'objet d'une documentation détaillée avant sa consolidation par un couronnement en béton sur palfeuilles* (cf. *infra*, Les travaux de consolidation de la pile P4) (Fig. 5).

2.1.2. Les avant-becs

De forme triangulaire et d'une surface voisine de 3,5 m² à 4,5 m², ils sont chaînés aux piles. La pointe présente une ouverture de 60°. Les avant-becs sont tous surmontés d'un chaperon à 165° et d'un bloc monolithique de forme prismatique droit à base trapézoïdale (Fig. 6) qui permettait d'assurer l'assise des voûtes en brique de l'élargissement de 1861. Sur l'ouvrage primitif, les avant-becs devaient monter jusqu'au parapet et, de fait, créer un refuge pour la circulation piétonne (cf. *infra*, Les travaux de consolidation de la pile P4) (Fig. 7).

2.1.3. Les arrière-becs

À talons rectangulaires, ils sont peu chaînés aux piles et sont surmontés d'un chaperon (Fig. 8). Leurs parements aval présentent une inclinaison de 110° de la base au sommet. Dans l'ouvrage primitif, ces derniers n'existaient pas. Ils ont été construits en même temps que le radier général (cf. *infra*, Observation de l'arrière-bec) (Fig. 9).



Fig. 4 : Façade amont du pont primitif avant la réfection du parement, vue depuis la rive gauche (cliché : Roussel, Inrap).



Fig. 6 : Avant-bec de la pile P2 (cliché : Guyon, Inrap).

Largeur des piles			
Pile P1	Pile P2	Pile P3	Pile P4
3,28 m	3,01 m	3,11 m	2,78 m

Fig. 5 : Tableau des largeurs des piles.

Longueur des avant-becs			
Pile P1	Pile P2	Pile P3	Pile P4
2,76 m	2,72 m	2,56 m	2,50 m

Fig. 7 : Tableau des longueurs des avant-becs.



Fig. 8 : Arrière-bec de la pile P2 (cliché : Guyon, Inrap).



Fig. 10 : Vue du radier général au niveau de l'arche A3 (cliché : Guyon, Inrap).

Largeur des arrière-becs			
Pile P1	Pile P2	Pile P3	Pile P4
2,60 m	2,75 m	2,75 m	2,55 m

Fig. 9 : Tableau des largeurs des arrière-becs.

2.1.4. Le radier général

Ce radier habituellement immergé est, de ce fait, rendu invisible à un œil non expérimenté. La restauration du pont a donc permis aux archéologues d'en saisir ses moindres détails (Fig. 10). Ce radier a été étudié à différents endroits et notamment en amont au niveau de l'arche A1, A3, A4, A5 et des avant-becs des piles P1 et P4, soit sur un total de 35,60 m linéaire. Dans sa partie aval, l'étude s'est portée au niveau des arches A3, A4 et A5 et de l'arrière-bec* de la pile P4 soit sur un total de 20,90 m linéaire (cf. *infra*, Organisation du radier général) (Fig. 11).

2.1.5. Les arches

Au nombre de cinq, elles sont en arc de cercle (Fig. 12).

Malgré une façade amont très abîmée, surtout au niveau des tympans des piles depuis l'engravement de 1861 pour l'élargissement du tablier, on observe des voûtes soulignées par des bandeaux extradossés* d'environ 0,50 m de largeur. La courbure de

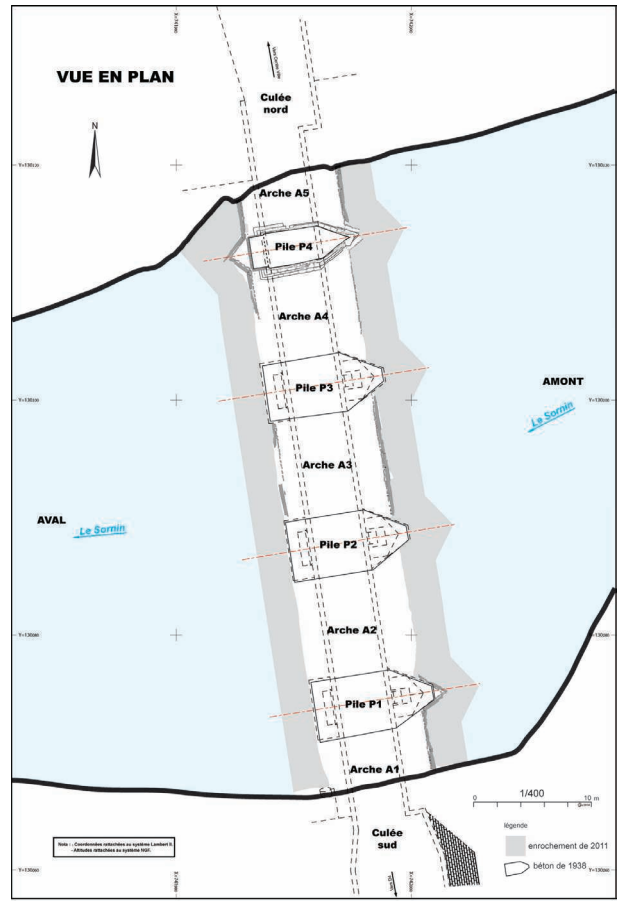


Fig. 11 : Plan du radier général (levé topographique Saadi, Inrap - relevés et DAO M. Guyon, Inrap).

Ouverture des arches				
Arche A1	Arche A2	Arche A3	Arche A4	Arche A5
9,00 m	11,30 m	11,30 m	10,00 m	8,50 m

Fig. 12 : Tableau des ouvertures des arches.

l'arc de cercle est plus ou moins irrégulière sur les arches A3, A4 et A5. Cela tendrait à dire que les arches A1 et A2 sont plus récentes, car probablement refaites postérieurement aux arches A3, A4 et A5. D'ailleurs, les arches A1 et A2 sont les seules à posséder des marques lapidaires sur leurs voussoirs. Cependant, quatre blocs de parement du tympan* de l'arche A5 présentent chacun une marque lapidaire, qui peut traduire une réfection du parement à la même période. Le constat est le même pour la façade aval. La naissance des voûtes n'est visible qu'au niveau de la pile P4, les autres sont noyées dans le béton de couronnement des piles effectué en 1938.

On peut différencier au moins trois types d'appareillage. Le premier est en grand appareil* pour les tympans des arches A4 et A5 et partiellement pour l'arche A3. Cette dernière arche présente un type de maçonnerie en petit appareil* en périphérie des engravements de 1861. Il en est de même pour le tympan de l'arche A2 qui est totalement maçonné en petit appareil. Quant à l'arche A1, son tympan est maçonné en moyen appareil, sauf au niveau des naissances de voûte, tout comme pour l'arche A2. Ces différents types d'appareillage sont probablement le reflet de trois états de réfection ou de reconstruction.

Il est à noter qu'un bloc taillé en U, qualifié d'exutoire, est disposé en saillie au travers de la façade aval au-dessus de la pile P2. Placé sur la même ligne d'axe joignant l'extrados du bandeau de l'arche A2 à l'arche A3, il ne semble pas être fonctionnel mais plutôt décoratif du fait de son emplacement et de son unicité.

2.1.6. Les culées

La culée sud constitue le point d'ancrage du pont sur la rive gauche du Sornin. À cette extrémité, l'entablement* du pont est beaucoup plus large que le tablier. Un perré* vient protéger le talus dans la partie amont de la culée. En tête de culée est présent un bloc prismatique identique à ceux installés en couronnement des avant-becs ; il en est de même pour la culée nord en rive droite. Le perré nord, au

contraire du sud, est complètement enfoui dans la berge actuelle et ne permet aucune observation. En partie aval, les deux culées ont été parasitées par des aménagements modernes.

2.1.7. La chaussée et les parapets

Un niveau de goudron est installé sur un ancien niveau de circulation composé de galets formant une sorte de calade. La chaussée suit un profil légèrement convexe atteignant son point le plus haut au niveau de la pile P2. La chaussée, en limite de parapet, est bordée de plusieurs bouteroues* dont certaines ont été remplacées au fil du temps par des moellons de béton.

Les parapets étaient déjà déposés lors de l'intervention. Grâce à un habitant voisin, à proximité immédiate du pont, des clichés photographiques existent de cette dépose. Le bahut* des parapets est bombé et le fût* est constitué de trois assises maçonnées en grand appareil. Des trous pour faciliter l'écoulement des eaux pluviales de la chaussée existaient au travers des parapets.

2.2. Les matériaux employés

dans la construction des parties aériennes

La réfection du parement du pont a permis de saisir l'opportunité d'observer son comblement interne sur une épaisseur d'environ 2,70 m au niveau du tympan amont de la pile P1.

2.2.1. Description stratigraphique du comblement de la pile P1

Réalisée après enlèvement du tympan de la pile P1, la stratigraphie se décompose en dix unités (Fig. 13). Les US 1 et 2 représentent le niveau actuel de la voirie constituée d'un revêtement bitumineux. En dessous, l'US 3 est un revêtement de sol en galets et pierres formant une calade d'une vingtaine de centimètres d'épaisseur. Ce système de revêtement de sol est vraisemblablement mis en œuvre lors de la période de construction du radier général ou en 1861 lors de l'élargissement du tablier en amont. Les US 4, 5 et 6 sont les différentes couches d'installation de la voirie. L'US 6 est un niveau de mortier consolidé de teinte rose qui serait assimilé à un niveau dit de "propreté" ; l'US 5 est un niveau de mortier non consolidé de teinte grise dit de "réa-

gréage ” et l’US 4 est un niveau de mortier non consolidé de teinte rose-beige qui serait un niveau dit de “ stabilisation ”. L’US 7 composée de blocs calcaires liés à un mortier blanc-gris consolidé fait référence à un niveau de “ chape ”. L’US 8 est un niveau composé de blocs de calcaire jaune, matériaux de rebut lors de la construction de l’ouvrage, liés à un mortier de teinte rose apparenté à un remblai de comblement des murs de tête amont et aval de l’ouvrage. L’US 9 est composée de blocs calcaires de galets et de quelques fragments de brique. Le liant est de teinte lie de vin dont la composition soulève une interrogation. Il reste envisagé que sa nature soit rapportée à une fonction d’étanchéité. Celle-ci permet d’être imperméable aux infiltrations d’eaux pluviales vers l’intérieur des piles et interdit la remontée d’humidité par capillarité des eaux de la rivière vers la partie supérieure de l’ouvrage. Cette membrane d’étanchéité joue *a priori* encore bien son rôle car, lors des épisodes pluvieux, on pouvait observer le rejet des eaux d’infiltration, ruisselant des voûtes, à ce même niveau. L’US 10 est un niveau composé de blocs et de galets liés à un mortier de teinte rose et est le remblai de comblement de la pile.

2.2.2. Provenance des pierres de parement

Des prélèvements de pierres de l’ouvrage ont été réalisés afin de connaître la nature de pierres employées dans la construction du pont et d’en localiser la provenance (Fig. 14).

Les prélèvements G3, G4 et G5 à proximité de la pile P1 sont tous les trois des échantillons de calcaire. Cette pierre constitue l’essentiel des monuments et divers ouvrages d’art de la ville de Charlieu. Il s’agit d’un calcaire à entroques de l’Aalénien (J 1a)⁵, dont un bon nombre de carrières sont répertoriées sur les communes de Saint-Denis-de-Cabannes et Mézilly toutes proches l’une de l’autre, à environ 5 km au nord-est de Charlieu. Ne serait-il pas probable que ce matériau brut ou les pierres déjà taillées aient été acheminés par barge sur les petites rivières du Sornin et du Botoret ?

Les prélèvements G1 et G2, de part et d’autre de P4, sont deux échantillons très différents des précé-

dents, assez faciles à identifier, en calcaire blanc à *Pseudopecten Aequivalvis* du sommet du Pliensbachien (L6). Le Pliensbachien regroupe des calcaires marneux (L5) et au-dessus, un assez épais niveau de marnes, surmontées du calcaire à *Pseudopecten* qui nous intéresse.

Étant donné la dureté de ce calcaire, il est compréhensible qu’il ait servi de pierre de taille dans la région.

Pour ces prélèvements, G1 et G2, deux sites sont candidats pour l’origine du site d’extraction.

Le premier pourrait être un ensemble de deux carrières au lieu-dit “ Rougefer ” au sud-est de Mézilly. Mais l’affleurement apparaissant sur la carte géologique au 1/50 000 est du Toarcien (L 7-8), et il faudrait supposer qu’il existait à la base des marnes de cet étage un affleurement du sommet de L 6, exploité très localement et ponctuellement.

Le deuxième site est un ensemble de deux carrières dans du L 5-6 (Pliensbachien indifférencié), situées au lieu-dit “ les Beluzes ”, à l’entrée est de Pouilly-sous-Charlieu, à 5 km au sud-ouest de Charlieu. Ce deuxième site est un candidat beaucoup plus sérieux quant à l’origine de ces pierres de parement de réfection.

2.3. Les marques lapidaires

2.3.1. Les traces d’outils

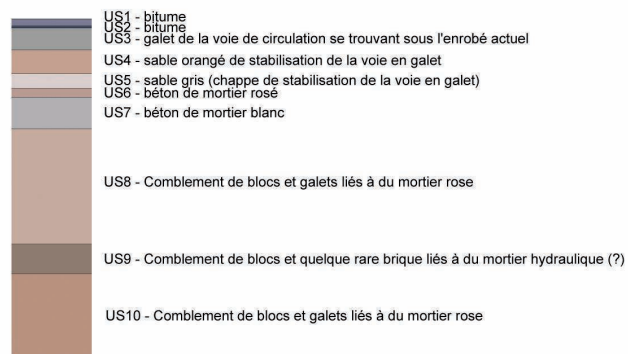
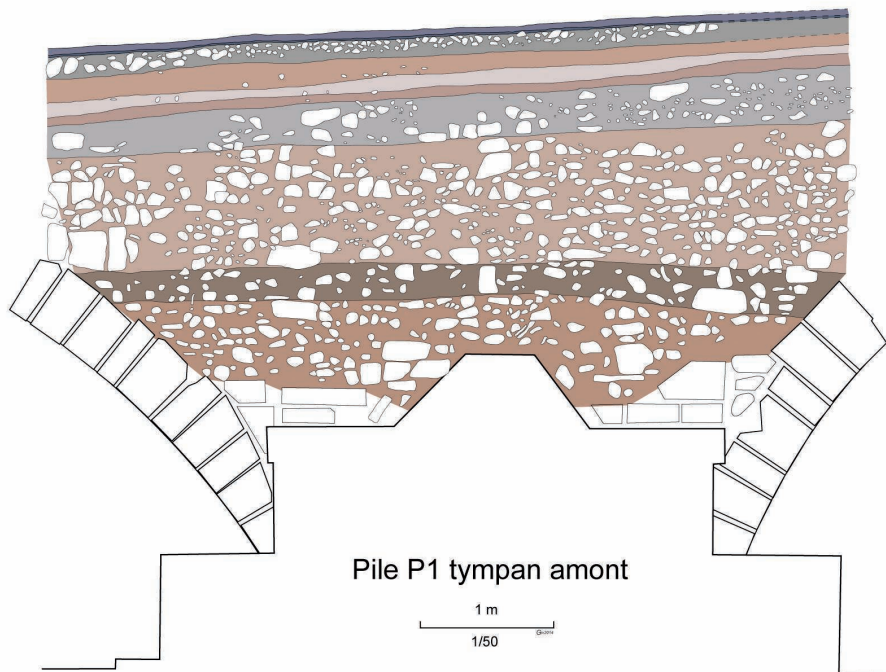
Relativement peu observable en façade, un bon nombre de traces d’outils reste visible sur cet ouvrage, essentiellement sous les voûtes et sur les vousoirs des bandeaux. Au moins quatre outils sont répertoriés. La gradine*, la laye* que l’on retrouve fréquemment, la broche*, mais aussi des traces de pic laissées sur la face de certains blocs de pierre lors de leur ébauche.

Certains blocs semblent provenir de remplois et ont été retaillés. Peut-être faisaient-ils partie d’une maçonnerie à bossages en premier emploi. On peut distinctement observer sur le pourtour de certaines pierres des traces de ciselure.

2.3.2. Les signes lapidaires

Communément appelés “ marque de tâcheron ”, l’étude de ces signes lapidaires se nomme la glyptographie*. Une typologie a été constituée par

5. Dans la légende de la carte géologique : <http://www.geoportail.gouv.fr/donnee/154/cartes-geologiques>.



(relevés et DAO : Guyon, Inrap)

Fig. 13 : Relevé stratigraphique de l'ouvrage au niveau du tympan amont de la pile P1 (relevés et DAO : Guyon, Inrap).

N° de prélèvement	Localisation dans l'ouvrage
G1	bandeau amont de l'arche A5
G2	voûte de l'arche A5
G3	bandeau amont de l'arche A1
G4	bandeau amont de l'arche A2
G5	bandeau amont de l'arche A1

Fig. 14 : Tableau de localisation des prélèvements.

Jean-Louis Van Belle du Centre International de Recherches Glyptographiques en Belgique⁶.

De formes diverses, on peut noter au moins trois groupes de signes présents sur le Pont de Pierre de Charlieu. Les formes géométriques, représentés par treize signes différents (Fig. 15), les traits, représentés par douze signes différents (Fig. 16) et les idéogrammes, représentés par neuf signes différents (Fig. 17). Ces signes lapidaires sont situés essentiellement sur l'intrados* des pierres constituant la voûte de l'arche A1, sur les voussoirs formant les bandeaux des arches A1 et A2 en face amont et aval, et sur la façade amont de l'arche A5. Au total, 86 signes lapidaires ont été relevés sur l'ouvrage représentés par 51 % d'idéogrammes, 35 % de formes géométriques et 12 % de traits.

Tous ces signes ont généralement une fonction double. Soit identitaires, signe d'authentification du tailleur de pierre ou de l'atelier de taille pour être rémunéré au nombre de pierres qu'il aura taillées ; soit utilitaires qui permet le placement des pierres dans l'ouvrage.

Dans le cas présent, c'est plutôt la fonction identitaire qui domine.

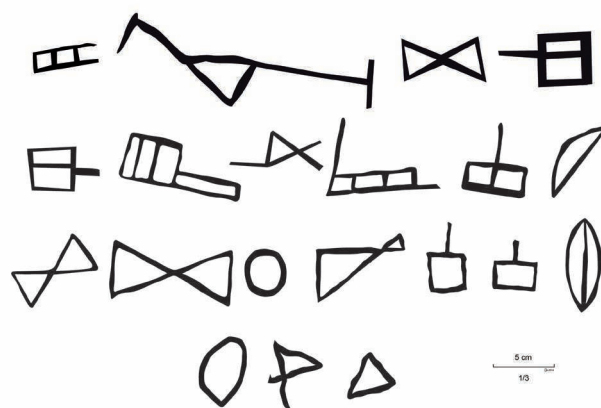
2.3.3. Des repères altimétriques ?

Sur les chaperons des avant-becs des piles P1, P3 et P4 est gravée une flèche verticale dirigée vers le bas, pointant l'arrête inférieure du chaperon, et surmontée d'indications alphanumériques encadrées. Les inscriptions des avant-becs des piles P1 (Fig. 18a) et P3 (Fig. 18b) sont similaires mais *a priori* différentes de celle gravée sur l'avant-bec de la pile P4 (Fig. 18c) (Fig. 19).

Il y a une grande probabilité que ces repères soient des altitudes de référence mais aucun lien avec les différentes parties du pont n'a été possible. À quoi correspondent ces gravures ? La question est posée.

2.3.4. Les reliefs lapidaires

La présence de deux blocs présentant des reliefs de forme demi-sphérique, d'environ 0,15 m de diamètre, suscite un questionnement. Le premier se trouve à peu près à mi-hauteur de l'arrière-bec de la pile P1 sur le parement de l'arche A1. Un seul



relevé et DAO : Guyon, Inrap

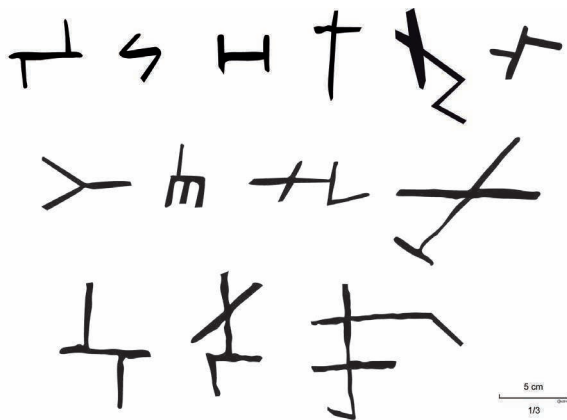
Fig. 15 : Signes lapidaires de forme géométrique (relevé, DAO et clichés : Guyon, Inrap).

relief est encore présent sur ce bloc mais il semble qu'un second relief de même nature a été raboté sur sa partie droite (Fig. 20). Le second bloc se trouve au milieu du tympan de la pile P1 au-dessus de l'arrière-bec. Blocs de remplissage, simple décor ou repère topographique, lors de la construction de l'édifice ? Aucune interprétation n'est possible actuellement.

2.3.5. Une date gravée sur l'un des voussoirs du bandeau de l'arche A1

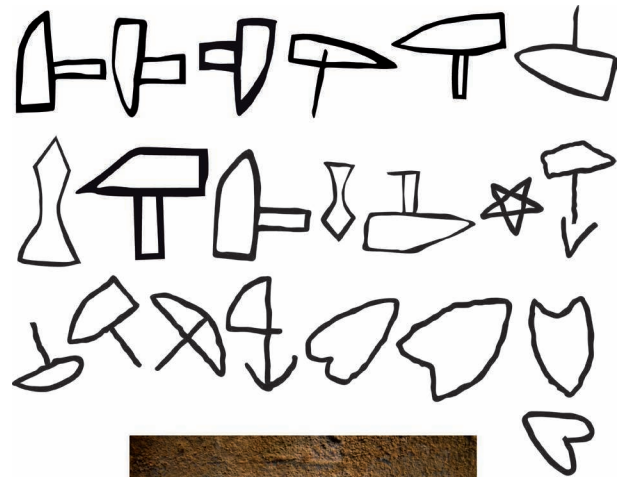
Lors de la démolition de l'ouvrage d'élargissement du tablier de 1861 en façade amont, une inscription numérique est apparue sur le bandeau de l'arche A1. La date 1757 est gravée sur le voussoir de clé de voûte (Fig. 21). Pendant sa restauration, ce voussoir a été supprimé. Il a fait l'objet d'un prélèvement et fait partie du mobilier archéologique inventorié. Ce voussoir est sûrement le seul témoin d'une réfection de cette arche. L'étude archivistique, associée à cette opération, n'a malheureusement pas trouvé d'acte se rapportant à des travaux pour cette date.

6. <http://www.cirg.be/>



relevé et DAO : Guyon, Inrap

Fig. 16 : Signes lapidaires de forme trait (relevé, DAO et clichés : Guyon, Inrap).



relevé et DAO : Guyon, Inrap

Fig. 17 : Signes lapidaires de forme idéogramme (relevé, DAO et clichés : Guyon, Inrap).

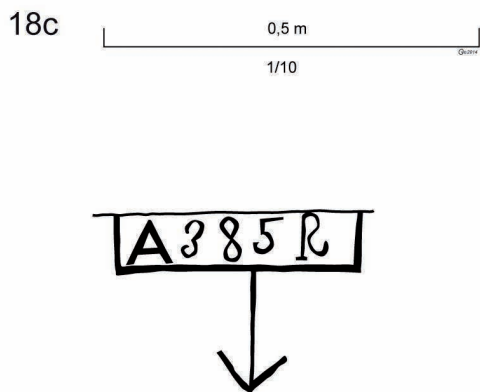
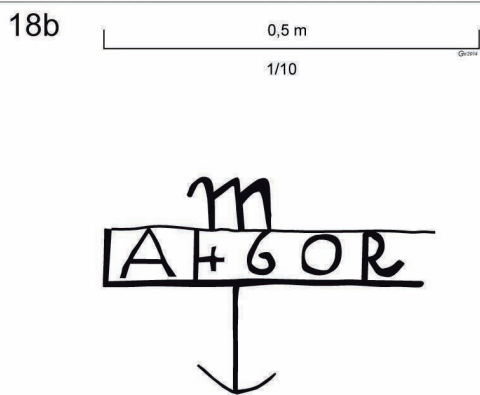
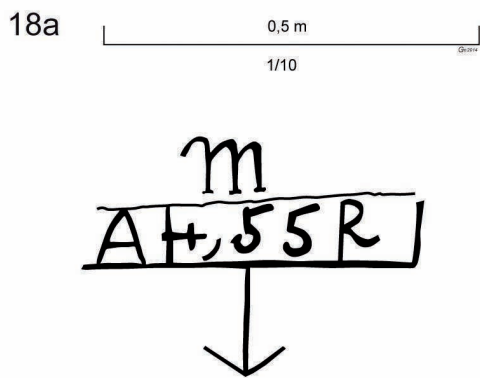
2.4. Les travaux de consolidation de la pile P4

Ces travaux ont permis de comprendre l'organisation du radier général et de documenter la fondation de cette pile. Elle restait la seule à avoir été épargnée, alors que les piles P1, P2 et P3 avaient été consolidées par une ceinture de béton en 1938.

Ces travaux de confortement, réalisés fin 2011, ont consisté à installer des palfeuilles métalliques ceinturant la pile avant de couler du béton à l'intérieur de ce batardeau* (Fig. 22). Ce batardeau de palfeuilles a été installé à un mètre de distance des piédroits de la pile. Pour ce faire, une tranchée a été effectuée tout autour de la pile P4. Cela a été l'occasion, outre de documenter archéologiquement la fondation de cette pile, d'échantillonner du bois et du métal pour dater certaines parties de l'ouvrage.

3.4.1. Organisation du radier général (Fig. 23)

Il est composé de trois niveaux. Il se présente en partie supérieure sous la forme d'une calade de galets de 0,15 m d'épaisseur. Ce premier niveau est maçonné sur une dalle de mortier de 0,20 m d'épaisseur. Ce second palier repose sur un gravier alluvial grossier d'au moins 0,45 m d'épaisseur avec parfois quelques gros blocs ; ces derniers semblent provenir d'une partie effondrée d'élévation ancienne du pont qui aurait été laissée là et ensevelis lors de la construction du radier général. *A priori* le tout repose sur des blocs constituant une sorte de dallage ; cette observation n'a pas pu être vérifiée car la largeur de la tranchée de consolidation de la pile P4 ne le permettait pas. Seule la stratigraphie en propose la réflexion. Cet ensemble est contenu à l'intérieur d'un rideau de palplanches plantées verticalement (Fig. 24) dans le



relevé et DAO : Guyon, Inrap

Fig. 18 : Repères altimétriques (relevé, DAO et clichés : Guyon, Inrap).

localisation	inscription	proposition de traduction
avant-bec pile P1	m <u> A + ,55 R </u> ↓	[m]esure [A]litude [+ ,55] [R]éférence
avant-bec pile P3	m <u> A + 60 R </u> ↓	[m]esure [A]litude [+ 60] [R]éférence
avant-bec pile P4	<u> A 385 R </u> ↓	[A]litude [385] [R]éférence

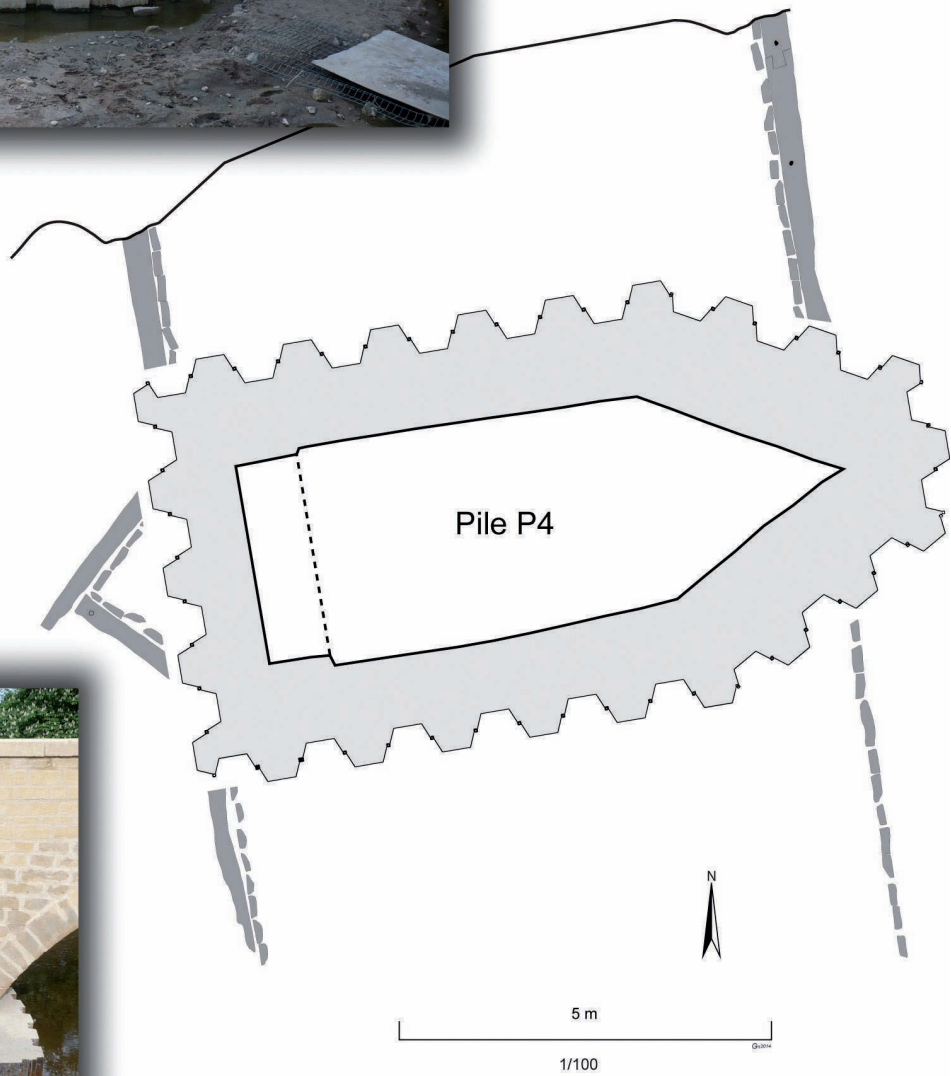
Fig. 19 : Tableau de proposition de traduction des repères altimétriques.



Fig. 20 : Détail du relief lapidaire au niveau de l'arrière-bec de la pile P1 (cliché : Guyon, Inrap).

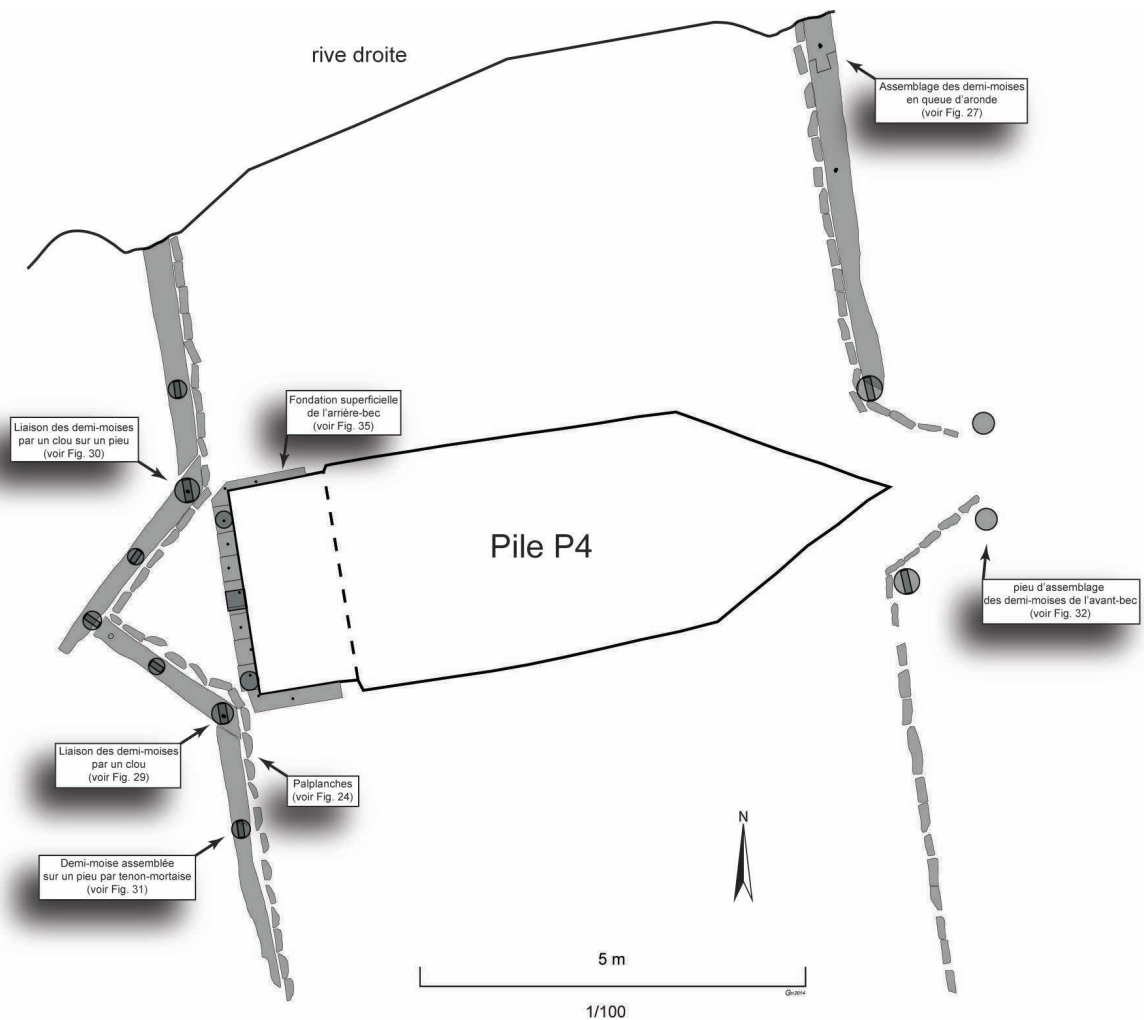


Fig. 21 : Date gravée sur la clé de voûte amont de l'arche A1 *in situ* (cliché : Guyon, Inrap).



clichés : Chopelin, Privé - DAO M. Guyon, Inrap

Fig. 22 : Consolidation en béton de la pile P4, fin 2011 (clichés : Chopelin, Privé - DAO M. Guyon, Inrap).



relevé et DAO M. Guyon, Inrap

Fig. 23 : Plan du radier général autour de la pile P4 (relevé et DAO M. Guyon, Inrap).

lit de la rivière. Les palplanches ont pour dimensions environ 0,30 m de large pour une épaisseur moyenne de 0,10 m. Les palplanches observées ont des longueurs comprises entre 0,50 m et 1,60 m (Fig. 25). Les palplanches sont armées de lardoire* à leurs extrémités distales (Fig. 26). Ces lardoires sont en fer forgé, à deux branches* triangulaires soudées sur une culasse* massive (GUYON 2000 : 28). Ce rideau de palplanches est ceinturé par des demi-moises en chêne, d'une largeur avoisinant 0,30 m, assemblées en queue d'aronde (Fig. 27) au droit du centre des voûtes. Ces demi-moises sont assemblées à demi-bois croisé en partie amont des avant-becs et partie aval des arrière-becs (Fig. 28). L'assemblage

de ces demi-moises au niveau des jonctions arche/pile se fait à demi-bois oblique (Fig. 29). Cette dernière jonction est aussi assemblée à enfourchement simple sur un pieu vertical possédant un tenon en partie sommitale et traversé par un clou de 0,45 m de long servant de verrou à l'assemblage (Fig. 30). Les demi-moises reposent sur des pieux plantés verticalement dans le lit de la rivière. Elles sont assemblées à tenon-mortaise ordinaire non traversant (Fig. 31). La mortaise a pour dimensions 0,36 m par 0,13 m pour une profondeur de 0,19 m. Les pieux sont espacés les uns des autres d'environ 1 m à 1,30 m selon leurs emplacements. Ils sont renforcés, à leur pointe, d'un sabot* métallique à quatre branches. Même s'il



Cliché : Guyon, Inrap

Fig. 24 : Palplanches *in situ* (cliché : Guyon, Inrap).



Cliché : Lavier, CNRS-Lams

Fig. 25 : Palplanches après extraction (cliché : Lavier, CNRS-Lams).



clichés : Guyon, Inrap et Lavier, CNRS-Lams
DAO : Pelletier-Bioul, Inrap

Fig. 26 : Palplanche et lardoire n° PAL09 (clichés : Guyon, Inrap et Lavier, CNRS-Lams - DAO : Pelletier-Bioul, Inrap).



Fig. 27 : Détail de l'assemblage à queue d'aronde des demi-moises amont du radier au niveau de l'arche A3 (cliché : Guyon, Inrap).



Fig. 28 : Arrière-bec de la pile P4 avant les travaux (cliché : Guyon, Inrap).



Fig. 29 : Détail de la liaison des demi-moises par un clou (cliché : Guyon, Inrap).



Fig. 30 : Détail du clou de liaison des demi-moises sur un pieu, vue depuis l'intérieur du radier (cliché : Guyon, Inrap).



Fig. 31 : Détail de l'assemblage à tenon-mortaise d'une demi-moïse sur un pieu, vue en coupe (cliché : Guyon, Inrap).

n'a pas été permis de récupérer un pilot* complet, l'un des pieux extraits possédait l'empreinte de cette armature métallique. L'empreinte laissée en négatif et la trace des clous de fixation de ce dernier sur son extrémité distale (Fig. 32) permettent d'en donner sa typologie. Ce sabot doit ressembler à un type à quatre branches (GUYON 2000 : 21-35) de 0,04 m de largeur soudées sur une culasse massive de 0,04 m de côté pour une hauteur avoisinant 0,40 m. Il est fixé à la pointe du pieu avec deux clous par branche.

Ce radier a fait l'objet de plusieurs prélèvements de bois pour une étude en archéodendrométrie afin de connaître l'essence des arbres employés, leur provenance et bien sûr la datation d'abattage de ces arbres⁷ (Fig. 33).

Les bois employés dans la fondation de ce radier sont en chêne. Leur provenance est probablement issue des forêts du sud bourguignon mais sans pouvoir l'assurer, le référentiel pour Charlieu étant très pauvre pour cette période. Les arbres ont été coupés pendant l'hiver 1732-1733 avec une mise en œuvre dans les mois suivants soit au cours de l'année 1733.

Des éléments métalliques et notamment une lardoire et un clou d'assemblage des demi-moïses ont fait l'objet d'une étude métallurgique⁸. Cette étude a eu pour objectif d'étudier la qualité de la matière et de ses états structuraux, de déterminer le mode de réduction et de donner leur signature chimique.

La lardoire est constituée par des branches d'acier doux martelé/forgé en pointe et soudées à une culasse en acier doux forgé en forme de pointe. D'une structure avec ségrégation importante en phosphore, elle compte de nombreuses inclusions dans la culasse. Les inclusions, riches en oxyde de chrome et vanadium, traduisent un procédé de réduction indirecte par haut fourneau.

Le clou est contemporain des fers de la lardoire et issu vraisemblablement d'un procédé de réduction en haut fourneau.

Ces deux analyses métallurgiques confirment que les lardoires et les clous sont contemporains ou postérieurs au ^{xvi}e s., car la réduction en haut fourneau n'est attestée qu'à partir du ^{xvi}e s. en France⁹.

7. <http://umr-lams.fr/>

8. <http://www.emtt.fr/archeometallurgie>.

9. Communication orale d'Emmanuel Dransart, EMTT.



Fig. 32 : Détail de la pointe du pieu avec traces du négatif du sabot métallique (cliché : Guyon, Inrap).

n° de prélèvement	dimensions		dénomination	localisation
	longueur	largeur - épaisseur		
PAL1	0,80	0,29 x 0,11 m	palplanche	arrière-bec pile P4
PAL2	0,81	0,32 x 0,10 m	palplanche	arrière-bec pile P4
PAL3	1,13	0,33 x 0,11 m	palplanche	arrière-bec pile P4
PAL4	0,53	0,24 x 0,12 m	palplanche	arrière-bec pile P4
PAL5	1,04	0,24 x 0,09 m	palplanche	arrière-bec pile P4
PAL6	1,45	0,34 x 0,11 m	palplanche	avant-bec pile P4
PAL7	1,35	0,31 x 0,11 m	palplanche	avant-bec pile P4
PAL8	1,48	0,30 x 0,10 m	palplanche	avant-bec pile P4
PAL9	1,61	0,26 x 0,10 m	palplanche	avant-bec pile P4
PAL10	1,63	0,32 x 0,10 m	palplanche	avant-bec pile P4
PAL11	1,56	0,33 x 0,10 m	palplanche	avant-bec pile P4
PAL12	1,33	0,31 x 0,10 m	palplanche	avant-bec pile P4
PAL13	0,92	0,32 x 0,11 m	palplanche	arrière-bec pile P4
PAL14	0,98	0,32 x 0,10 m	palplanche	arrière-bec pile P4
PAL15	1,10	0,34 x 0,11 m	palplanche	avant-bec pile P4
Prél-1	0,32	0,26 m	demi-moise	arrière-bec pile P4
Prél-2	0,31	0,25 m	demi-moise	arrière-bec pile P4
Prél-3		diamètre 0,32 m	pieu	arrière-bec pile P4
Prél-9	1,79	0,28 x 0,25 m	pieu	avant-bec pile P4

Fig. 33 : Tableau des prélèvements dendrochronologique du radier général.



Fig. 34 : Arrière-bec de la pile P4 (cliché : Lavier, CNRS-Lams).

2.4.2. Observation de l'arrière-bec

Cet arrière-bec en talon n'est que partiellement chaîné à la pile, ce qui plaide en faveur d'une construction postérieure à la pile (Fig. 34). Cette observation est faite aussi sur les autres arrière-becs de l'ouvrage. Il repose sur une fondation superficielle* (Fig. 35). Cette fondation est constituée d'un pilotis* de pieux dont trois sont visibles en coupe. Ils ont pour dimensions 0,24 m de diamètre pour le pieu sud, 0,22 m de diamètre pour le pieu nord et 0,25 m de côté pour le pieu central, qui est le seul à être équarri. Ils sont surmontés d'au moins deux racinaux d'environ 3 m pour longueur et d'une section rectangulaire de 0,34 m par 0,11 m pour le racinaux est, et de 0,26 m par 0,12 m pour le racinaux ouest. Un plancher composé de dix planches vient constituer la plate-forme* clouée sur les racinaux. Les planches sud et nord mesurent respectivement 1,26 m et 1,24 m de longueur pour une épaisseur de 0,09 m à 0,10 m et une largeur de 0,32 m et 0,33 m. Elles ont à peu près toutes les mêmes dimensions sauf la cinquième planche, en partant du sud, qui présente une largeur de 0,08 m. Cette plate-forme permet de recevoir l'appui de l'arrière-bec. Elle est débordante de 0,25 m à l'ouest, de 0,20 m au sud et de 0,10 m au nord.

Cette fondation superficielle est construite en même temps que le radier général, soit au cours de l'année 1733, comme le montrent les datations dendrochronologiques (Fig. 36). Les bois employés sont en chêne et ont la même provenance que ceux du radier général.

2.4.3. Observation de la pile

L'élévation d'un pont est toujours très compliquée à dater. Maintes fois réparé, seules les fondations et quelques parties en élévation sont visiblement d'origine.

2.4.4. La fondation

En ce qui concerne la fondation de la pile P4 (Fig. 37), la plus au nord de l'ouvrage côté Charlieu, elle est en gros appareil à degrés (Fig. 38). L'empatement* des degrés est de 0,90 m à son maximum visible au niveau du piedroit sud-ouest (Fig. 39).

Concernant cet empatement à degrés, il est dit dans les manuels de construction du XVIII^e s. au XX^e s. (BARBEROT 1947 : 26-27 ; CLAUDEL et LARROQUE 1920 : 815-817 ; RAMÉE 1881 : 137-140),

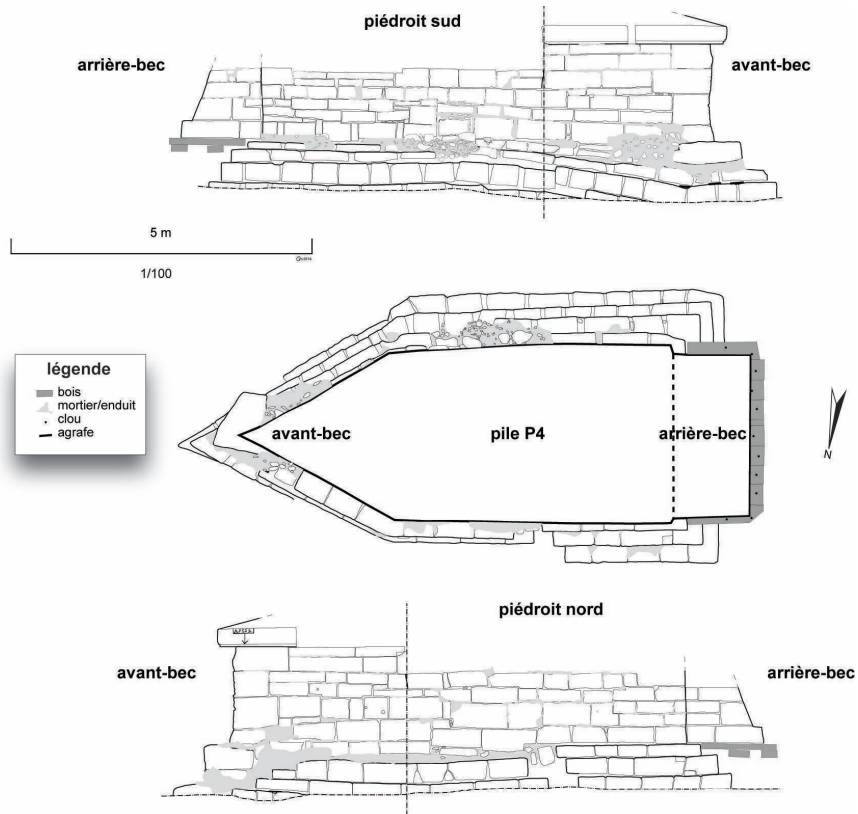


photo M. Guyon, Inrap

Fig. 35 : Fondation superficielle de l'arrière-bec de la pile P4 (cliché : Guyon, Inrap).

n° de prélèvement	dénomination	localisation
Prél-4	plate-forme	arrière-bec pile P4
Prél-5	plate-forme	arrière-bec pile P4
Prél-6	plate-forme	arrière-bec pile P4
Prél-7	plate-forme	arrière-bec pile P4
Prél-8	racineau	arrière-bec pile P4
Prél-12	racineau	arrière-bec pile P4
Prél-14	plate-forme	arrière-bec pile P4

Fig. 36 : Tableau des prélèvements dendrochronologique de l'arrière-bec de la pile P4.



relevés et DAO M. Guyon, Inrap

Fig. 37 : Plan et élévation partielle de la pile P4.



Fig. 38 : Fondation à degrés du piédroit nord de la pile P4 (cliché : Guyon, Inrap).

degrés	localisation	débord	hauteur
premier	piédroit sud-ouest	0,19 m	0,12 m
premier	piédroit nord-ouest	0,12 m	0,21 m
premier	avant-bec sud-est	0,18 m	de 0,13 à 0,24 m
premier	avant-bec nord-est	0,35 m	0,32 m
second	piédroit sud-ouest	0,26 m	0,22 m
second	piédroit nord-ouest	0,24 m	0,31 m
second	avant-bec sud-est	0,17 m	0,31 m
second	avant-bec nord-est	0,07 m	0,23 m
troisième	piédroit sud-ouest	0,18 m	0,32 m
troisième	piédroit nord-ouest	0,27 m	NC (mini 0,23 m)
troisième	avant-bec sud-est	0,14 m	NC (mini 0,14 m)
troisième	avant-bec nord-est	0,08 m	NC (mini 0,16 m)
quatrième	piédroit sud-ouest	0,23 m	NC (mini 0,12 m)

Fig. 39 : Tableau des dimensions de L'empattement des degrés.

qu'ils sont souvent négligés et sont la cause de la ruine d'un pont. Pour être utile, le débord de chaque assise ne doit pas être trop débordant car si la saillie est trop grande, le poids supérieur fait fendre l'empattement de haut en bas.

Les blocs de pierre, constituant au moins quatre degrés, sont assemblés les uns aux autres par des agrafes métalliques, d'environ 0,30 m, soudées au plomb (Fig. 40). La semelle de fondation n'a pu être observée et il n'est pas possible de savoir si elle repose directement sur un sol incompressible ou sur un pilotis de bois. En tout cas, au niveau de l'avant-bec jusqu'au premier tiers amont de la pile, la fondation s'est affaissée de 10° dans le sédiment, ce qui revient à dire que la pile n'est pas fondée sur pilotis. L'avant-bec a subi une consolidation en fondation afin de le remettre de niveau (Fig. 41). Cette consolidation a été réalisée au moment de l'élargissement de 1861 comme peuvent en témoigner les monnaies de Napoléon III retrouvées pendant la fouille.

Quelques particularités sont à remarquer sur cette fondation, notamment au niveau du piédroit nord. Au niveau du deuxième degré, une encoche est présente dans le deuxième bloc en partant de l'ouest (Fig. 42). Cette encoche située à l'aplomb de la voûte est probablement l'un des points de maintien et d'appui du cintre* qui a permis de construire l'arche A5. Une différence très nette du système de

fondation est visible au niveau central du piédroit nord (Fig. 43). Cette rupture de fondation est peut-être à mettre en relation avec une réfection.

L'agrafe métallique a fait l'objet d'une étude métallurgique¹⁰. Elle est faite d'un acier au carbone, avec une microstructure en bandes de ferrite perlite marquées (avec au moins trois lames soudées). L'acier est assez pauvre en manganèse dans les inclusions. Le procédé de réduction est direct par bas fourneau.

Le plomb a aussi fait l'objet d'une étude¹¹. Les analyses ont été menées par technologie ICP-MS (spectrométrie de masse), technique qui permet de déterminer la teneur des éléments trace présents dans le plomb fondu et le niveau de pureté de ce plomb. Les quatre éléments qui sont les plus abondants, dans cette matière plomb sont le cuivre, l'étain, le fer et un peu d'antimoine. L'absence ou la très faible proportion de bismuth tend à démontrer que nous sommes en présence d'un plomb d'avant l'époque moderne (à partir de la Renaissance). Il y a une possibilité que le plomb soit d'époque médiévale ; il faudrait le comparer avec des plombs de

10. Cf. note 8.

11. Cf. note 8.



Fig. 40 : Agrafes d'assemblage des blocs en fondation du piédroit sud de la pile P4 (cliché : Guyon, Inrap).



Fig. 41 : Consolidation de la fondation de l'avant-bec de la pile P4 (cliché : Guyon, Inrap).



Fig. 42 : Encoche dans un bloc de fondation de la pile P4 (cliché : Guyon, Inrap).



Fig. 43 : Rupture de fondation du piédroit nord de la pile P4 (cliché : Guyon, Inrap).

vitreaux et d'autres matières utilisées dans le bâtiment à cette période.

Si ce type de fondation est très bien connu à partir du xv^e s., d'après les marchés de construction, il reste archéologiquement très mal connu (MESQUI 1986 : 232-236).

2.4.5. Le batardeau

Lors de la réalisation de la tranchée pour consolider la pile P4, des bois longeant l'avant-bec, en partie sud, sont apparus. Disposés au plus profond de la fouille, ils sont matérialisés par un petit pieu

et deux vannes* posées sur chant l'une sur l'autre sans assemblage observé. La vanne supérieure présente une largeur différente de 0,10 m entre chacune des extrémités. Ses dimensions sont de 0,30 m de large à l'extrémité ouest, pour la partie centrale, 0,25 m de large et pour l'extrémité est de 0,20 m de large. Après enlèvement de cette planche, la vanne inférieure apparaît encore bien en place (Fig. 44). Le pieu du batardeau (Fig. 45) a été prélevé entièrement. Il ne possède pas d'armature métallique ce qui revient à dire à première vue qu'il serait probablement de l'époque médiévale. L'emploi d'armature métallique était très occasionnel à cette période (BOUILLET 1693 : 19). Ces éléments sont les



Fig. 44 : Planche inférieure du batardeau de la pile P4 au niveau de l'avant-bec (cliché : Guyon, Inrap).



Fig. 45 : Pieu du batardeau de la pile P4 au niveau de l'avant-bec (cliché : Guyon, Inrap).

n° de prélèvement	dimensions	dénomination	localisation
Prél-10	longueur 1,60 m largeur 0,12 m épaisseur 0,05 m	vanne	piédroit sud pile P4
Prél-11	longueur 2,36 m largeur 0,20 m ; 0,25 m et 0,30 m épaisseur 0,06 m	vanne	piédroit sud pile P4
BATARDEAU	longueur 0,88 m diamètre 0,06 m	pieu	piédroit sud pile P4

Fig. 46 : Tableau des prélèvements dendrochronologiques et des dimensions des éléments du batardeau.

vestiges d'un ancien batardeau pour la construction de la fondation.

Une étude en archéodendrométrie¹² sur les bois du batardeau a été réalisée (Fig. 46).

Elle a montré que les bois employés sont des chênes. L'analyse dendrométrique et la synchronisation des trois bois indiquent une estimation de coupe et de mise en œuvre la plus probable au cours des années 1492-1495.

2.4.6. L'avant-bec

Cet avant-bec a été reconstruit, probablement entièrement, à l'occasion de l'élargissement de 1861. Il est certain que l'avant-bec actuel n'est pas

celui d'origine. La présence de quelques blocs de parement visibles en saillie (Fig. 47), sur la partie sommitale de la façade amont, au droit de ses parements, traduit une élévation initiale beaucoup plus haute, probablement jusqu'au tablier. Cet avant-bec a été modifié en raison de l'arasement de la partie sommitale et de l'intégration du bloc monolithique, de forme prismatique droit à base trapézoïdale, pour recevoir les appuis des voûtes de 1861. On peut penser que cet avant-bec s'élevait initialement jusqu'au parapet du tablier, permettant de créer ainsi un refuge pour protéger les piétons du flux circulaire. Ce système de protection était très présent sur les ouvrages du bas Moyen Âge. Citons dans le département de la Loire, le pont de Baffie du xiv^e s. à Saint-Germain-Laval sur l'Aix (Fig. 48), le pont de la Valla du xv^e s. à Pommier sur l'Aix (Fig. 49).

12. Cf. note 7.

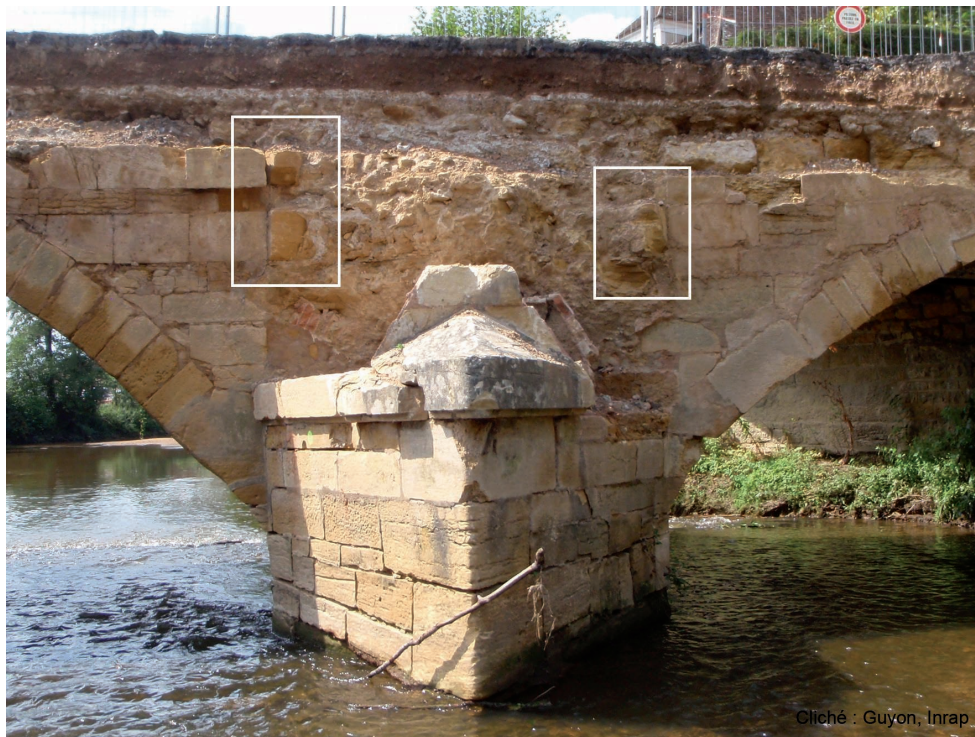


Fig. 47 : Blocs en saillies visibles de part et d'autre du tympan amont de la pile P4 (cliché : Guyon, Inrap).



Fig. 48 : Pont de Baffie du xiv^e s., à Saint-Germain-Laval (42) sur l'Aix (cliché : Guyon, Inrap).



Fig. 49 : Pont de la Valla du xv^e s., à Pommier (42) sur l'Aix (cliché : Guyon, Inrap).

3. LA CHRONOLOGIE DE L'OUVRAGE D'ART

Une étude documentaire a permis de dresser un bilan des sources disponibles afin de retracer l'histoire de cet ouvrage d'art. Quête plus ou moins difficile sur les ponts car la plupart des services des Ponts et Chaussées ont égaré leurs archives et le changement fréquent des gestionnaires d'ouvrages d'art n'a pas facilité leur classement.

Pour l'ouvrage d'art en question, la lecture des documents est souvent trompeuse, car les textes transmettent des faits autour de trois ponts, sans forcément indiquer s'il s'agit du Pont de Pierre de Charlieu (Bull. Diana 1884 : 465 ; DESEVELINGES 1856 : 297), du pont de pierre de Tigny¹³ (DUFOUR 1946 : 742) appelé aussi Pont du Diable (Fig. 50) ou du pont de Pouilly-sous-Charlieu¹⁴ (Fig. 51) ; ce pont

du xviii^e s. (*Arch. Dép. du Rhône* 1 Mi 1 R25) remplaçant le pont en bois précédent (*Arch. Dép. du Rhône* 9 C 38). Ces deux derniers ponts sont distants l'un de l'autre de 330 m et distants du pont de Pierre de Charlieu de 1 600 m.

Ce travail de recherche documentaire qui exige une connaissance de l'administration des ponts et chaussées (MICHEL 1961 : 332-334) a néanmoins permis de consulter et de retrouver des archives mentionnant ce pont en douze lieux différents possédant des fonds d'archives (GUYON 2012 : vol.1, 119-127).

Pour rappel, les éléments de batardeau de la pile P4 retrouvés pendant l'opération archéologique ont été datés par dendrochronologie* des années 1492-1495 ; or le Pont de Pierre est mentionné pour la première fois dans le terrier de Ronzeria en 1432 (Bull. Diana 1884 : 465 ; DESEVELINGES 1856 : 297).

Est-ce que le pont mentionné dans ce terrier est bien celui-ci ? Le texte ne mentionne-t-il pas un ouvrage d'art antérieur ? La question reste ouverte.

Les sources restent muettes jusqu'en 1733 où ce pont est en réparation (*Arch. Dép. du Rhône* 1 Mi 1 R25). Le pont subit, à cette date, une grande modification avec la construction du radier général venant

13. Coordonnées géographiques RGF93/Lambert 93 x : 789199 ; y : 6561865.

14. Route de Pouilly, D487, coordonnées géographiques RGF93/Lambert 93 x : 788875 ; y : 6561803.



Fig. 50 : Pont de Tigny, dit pont du Diable (cliché : Guyon, Inrap).



Fig. 51 : Pont de Pouilly-sous-Charlieu (cliché : Guyon, Inrap).

ceinturer sur toute la largeur de la rivière les fondations de l'ouvrage. Cette date est corroborée par les analyses dendrochronologiques effectuées sur les bois prélevés du radier général. C'est aussi pendant ces travaux de 1733 que les arrière-becs en talon sont édifiés ; date confirmée par les bois prélevés et analysés de l'arrière-bec de la pile P4.

Au cours du XIX^e s., plusieurs archives font état d'une volonté de détruire cet ouvrage (*Arch. Dép. de la Loire* 2S 626), mais c'est le choix de sa réfection et de son élargissement qui lui donneront un sursis en 1861.

Les travaux de 1861 auront pour conséquence la destruction des parties hautes des avant-becs afin de permettre l'établissement d'une assise convenable supportant la naissance des voûtes du futur tablier élargissant le pont en partie amont. Au préalable, la fondation de l'avant-bec de la pile P4 est reprise partiellement en sous-œuvre, afin d'en rétablir son affaissement et de la consolider.

En 1938, les trois premières piles, côté rive gauche, sont consolidées par une ceinture de béton coulé tout autour de chacune des piles. Cette ceinture de béton d'un mètre de largeur repose directement sur la calade de galets du radier général de 1733.

En 2011, les travaux de restauration actent la destruction de l'ouvrage réalisé en 1861 pour retrouver une façade primitive.

CONCLUSION

Les travaux de restauration du Pont de Pierre de Charlieu, qui ont duré près de huit mois, font de ce lieu un nouvel attrait touristique de la commune. Son aspect actuel ne peut être que différent de l'état d'origine (Fig. 52), puisqu'il a été restauré avec de la pierre dite de Jaumont provenant de la région de Metz.

L'intervention archéologique réalisée en 2011, pendant sa restauration, a permis d'apporter son lot d'informations sur la connaissance de cet ouvrage d'art. Des informations inédites permettent d'en dresser le bilan.

Réparé, modifié, enduit, sa lecture historique en paraissait difficile. L'opération archéologique, prescrite par le SRA, a permis de révéler les grandes phases de modification depuis sa construction qui se situerait à la fin du XV^e s. Il n'est pas impossible qu'un pont avant cette date précise ait été présent à cet emplacement comme il en est fait état dans le

terrier de Ronzeria¹⁵ en 1432, mais aucune preuve archéologique ne vient confirmer cette hypothèse.

Cette étude de bâti a permis d'accroître nos connaissances sur cet ouvrage d'art, grâce à l'opportunité des travaux de réaménagement et de réparation de l'ouvrage réalisés par le conseil général de la Loire.

Cet apport considérable d'informations concernant le Pont de Pierre de Charlieu confirme l'exigence scientifique que l'on doit avoir tant sur la saisine de ces dossiers en DRAC, les protocoles archéologiques à mettre en œuvre (de la fouille à l'enregistrement des données) et la justesse d'interprétation de cet objet technique qu'est le pont.

REMERCIEMENTS

J'aimerais souligner le fait que je n'aurais pu mener à bien cette publication sans l'assistance conjointe de l'ensemble des collaborateurs avec lesquels j'ai travaillé.

Mes remerciements vont tout d'abord à Grégoire Ayala (Ingénieur, Inrap) pour sa participation à l'opération et surtout pour son soutien dans la relecture de cette publication ; à Claude Chopelin pour sa connaissance sur l'histoire de Charlieu ; à Emmanuel Dransart (EMTT) pour son étude métallurgique ; à Daniel Gaillot pour ses conseils sur la taille de la pierre ; à Jean-Luc Joly (Assistant d'étude, Inrap) pour l'étude pétrographique ; à Catherine Lavier (IR1 LAMS - CNRS - UMR8220) pour son étude d'archéo-dendrométrie ; à Jean Mesqui (Ingénieur et chercheur) pour ses conseils sur les ouvrages d'art du Moyen Âge ; à Frédéric Pont (Assistant d'étude, Inrap) pour les relevés des façades de l'ouvrage ; à Nordine Saadi (Inrap) pour les relevés topographiques ; à Jean-Louis Van Belle pour ses conseils en glyptographie et enfin aux personnels des divers pôles archivistiques consultés. Pour ceux que j'aurai oubliés, qu'ils soient aussi remerciés.

15. Cf. note 2.



Fig. 52 : Ouvrage restauré en 2012 (cliché : Chopelin, Privé).

BIBLIOGRAPHIE

Arch. Dép. de la Loire 2S 626 - “ Pont de Charlieu sur le Sornin. - Construction : devis, procès-verbal d’expertise des terrains à acquérir, plan (1831-1832). Projet de remplacement du pont de pierre par un pont à tablier métallique : rapports des ingénieurs et agents-voyers, avant-métré des travaux, détails estimatifs, bordereau de prix, profils, élévation, dessins (1894-1913) ”.

Arch. Dép. du Rhone 9 C 38 - “ Ouvrages d’arts, ponts, ponceaux, aqueducs 1787-1790, Lyon, détail estimatif des ouvrages à faire pour réparer un pont en charpente, sur la rivière de Sornin, près de Charlieu, du 1^{er} juin 1789 ”.

Arch. Dép. du Rhône 1 Mi 1 R25 - “ 1733 - Lyon Généralité : au sujet des ouvrages et réparations à faire aux Grands Chemins de ce département - Lyon le 6 may 1733 ”.

BARBEROT 1947

Barberot E. - *Traité de constructions civiles*. 7^e édition revue et augmentée, Paris, Librairie Polytechnique Ch. Béranger.

BOUILLET *et al.* 1990

Bouiller R., Arene J., Delfour J. et Lemiere B. - *Carte géologique de la France (1/50 000), feuille de Charlieu (648)*, Orléans, Bureau de recherches géologiques et minières. Notice explicative.

BOUILLET 1693

Bouillet - *Traité des moyens de rendre les rivières navigables*, Amsterdam, Chez Pierre Mortier.

Bull. Diana 1884

Bulletin de la Diana, t. 2, mai 1881 - août 1884, Imprimerie typographique A. Huguët, Montbrison.

CLAUDEL et LAROQUE 1920

Claudel J. et Laroque L. - *Pratique de l’art de construire*. Tome 1, 7^e édition, Édition Dunod, Paris.

DSEVELINGES 1856

Desevelinges J.-B. - *Histoire de la ville de Charlieu depuis son origine jusqu’en 1789*. Imprimerie Sauzon, Roanne.

DUFOUR 1946

Dufour J.-E. - *Dictionnaire topographique du Forez et des paroisses du Lyonnais et du Beaujolais formant le département de la Loire*, Imprimerie Protat frères, Mâcon.

GUYON 2000

Guyon M. - *Les fondations des ponts en France. Sabots métalliques des pieux de fondation, de l’Antiquité à l’époque moderne*, éd. Monique Mergoïl, TM3, Montagnac, 253 p.

GUYON 2012

Guyon M. - *Rapport de prestation : Le Pont de Pierre, commune de Charlieu, département de la Loire (42), région Rhône-Alpes* (consultable au SRA Rhône-Alpes).

MESQUI 1986

Mesqui J. - *Le pont en France, avant le temps des ingénieurs*, Grand Manuel Picard, Paris.

MICHEL 1961

Michel A. - " Jean PETOT. - *Histoire de l'administration des ponts et chaussées. 1599-1815*. Paris, librairie Marcel Rivière et C^{ie}, 1958. ", *Bibliothèque de l'école des chartes*, vol. 119, n° 1, 1961, [En ligne]. URL : http://www.persee.fr/web/revues/home/prescript/article/bec_0373-6237_1961_num_119_1_461392_t1_0332_0000_000. Consulté le 21 janvier 2014

RAMÉE 1881

Ramée D. - *L'architecture et la construction pratiques*, 4^e édition, revue et augmentée, Librairie de Firmin-Didot et C^{ie}, Paris.

GLOSSAIRE**A**

ARRIÈRE-BEC : saillie de pile de pont en aval pour faciliter l'écoulement des eaux.

AVANT-BEC : éperon de forme angulaire placé à la base d'une pile de pont du côté de l'amont, pour protéger cette pile et faciliter l'écoulement de l'eau.

B

BANDEAU : sorte de plate-bande curviligne, comprise entre l'intrados et l'extrados, permettant de surligner la voûte.

BATARDEAU : construction de bois composée de planches jointives ou de palplanches, enfoncées dans le sol, formant une enceinte à l'emplacement même de la fondation à réaliser permettant de travailler au sec en exhaçant l'eau se trouvant en son intérieur.

BAHUT : couronnement de la partie supérieure du parapet.

BÊCHE : partie en fort débord horizontal d'une semelle de fondation.

BOUTEROUE : borne en pierre mis sur la chaussée d'un pont pour préserver les parapets contre la friction des roues des véhicules.

BRANCHE : partie supérieure du sabot.

BROCHE : outil à percussion. Tige en fer de section circulaire ou orthogonale. La pointe est acérée et présente une forme pyramidale à quatre faces comme celles du pic.

C

CARROYAGE : technique de quadrillage utilisée en topographie, afin de rassembler et de traiter des données en vue d'une exploitation cartographique.

CHAPERON : couronnement supérieur d'un avant-bec ou d'un arrière-bec destiné à le protéger des eaux pluviales.

CINTRE : échafaudage en charpente que l'on établit provisoirement servant de gabarit pour construire une arche en pierre.

CULASSE : partie inférieure du sabot.

CULÉE : maçonnerie, qui épaula la retombée d'une voûte, d'une arche, et en contient la poussée depuis la berge.

D

DEMI-MOISE : bois de section rectangulaire constituant le ceinturage des palplanches du radier général.

DENDROCHRONOLOGIE : étude de la croissance des arbres au cours du temps. Cette technique consiste à analyser les cernes de croissance annuelle des arbres pour reconstituer des chronologies et des variations météorologiques et climatiques du passé.

E

EMPATTEMENT : surface maximale de la fondation au sol.

ENTABLEMENT : partie se trouvant à l'extrémité d'un pont en permettant son accès.

EXTRADOS : surface convexe, extérieure, généralement cylindrique d'une voûte.

F

FONDATION SUR RADIER GÉNÉRAL : lorsque la capacité portante du fond n'est pas homogène, la mise en œuvre d'un radier général sera une alternative économique aux fondations profondes.

FONDATION SUPERFICIELLE : qui repose sur le sol ou qui n'y est que faiblement encastrée. Les charges qu'elle transmet ne sollicitent que les couches superficielles et peu profondes.

FÛT : partie inférieure du parapet.

G

GLYPTOGRAPHIE : étude des signes lapidaires de tailleurs de pierre.

GRADINE : outil utilisé pour la taille de la pierre. C'est un ciseau très effilé, muni de trois à six dents qui sert à dégrossir les parements.

GRAND APPAREIL : quand les pierres ont plus de 30 cm.

I

INTRADOS : surface concave, interne, généralement cylindrique d'une voûte.

L

LARDOIRE : armature métallique de palplanche.

LAYE : outil de tailleur de pierre. Hache à un ou deux tranchants finement dentelés permettant de dresser la pierre tendre.

M

MAÇONNERIES DE MOELLONS : maçonneries composées de blocs de pierre, bruts ou équarris, suffisamment petits pour être manipulés par un homme sans l'assistance d'un appareil de levage, et assemblés à l'aide d'un mortier.

MOISE : couple de deux pièces jumelées enserrant une file des pieux ou de palplanches.

MOYEN APPAREIL : quand les pierres sont d'un module de 20 à 30 cm.

P

PALFEUILLE : palplanche métallique servant de blindage lors d'une fouille.

PALPLANCHE : pieu de section rectangulaire employé pour le fondement d'un batardeau ou d'un radier de fondation.

PAREMENT : surface apparente d'une pierre, d'un mur.

PERRÉ : revêtement de pierres pour maintenir la terre d'un talus.

PETIT APPAREIL : quand les pierres ont une dimension inférieure à 20 cm.

PIÉDROIT : partie latérale d'une pile.

PILOT : pieu de bois, pointu et ferré par le bout, entièrement enfoncé dans le sol et destiné à porter un ouvrage fondé sous les basses eaux.

PILOTIS : ensemble de pilots battus, par rangs et par files à distance plus ou moins rapprochée les uns des autres, constituant la fondation d'un ouvrage.

PLATE-FORME : plancher horizontal permettant de recevoir les efforts transmis par les appuis.

R

RACINAUX : pièce de bois horizontale, formant la transition entre la tête des pieux de fondation et la plate-forme.

S

SABOT : armature métallique pointue, composée généralement de plusieurs branches percées et soudées sur une culasse, fixée solidement aux pieux.

T

TABLIER : partie supérieure, constituant l'ossature porteuse de la voirie.

TIRANT D'AIR : hauteur libre sous les arches de l'ouvrage.

TYMPAN : parement servant à maintenir les terres de remblai des voûtes.

V

VANNE : planche posée horizontalement et de chant constituant la paroi d'un batardeau.

VOUSSOIR : pierre de taille en forme de coin formant l'appareillage d'un arc, d'une voûte.