



HAL
open science

Patrimoine industriel numérique 3D : Reconstruction de la Forge d'Arthez-d'Asson

Virginie Rosato, Paul François, Florent Laroche

► **To cite this version:**

Virginie Rosato, Paul François, Florent Laroche. Patrimoine industriel numérique 3D : Reconstruction de la Forge d'Arthez-d'Asson. Patrimoine industriel, 2020. hal-03018275

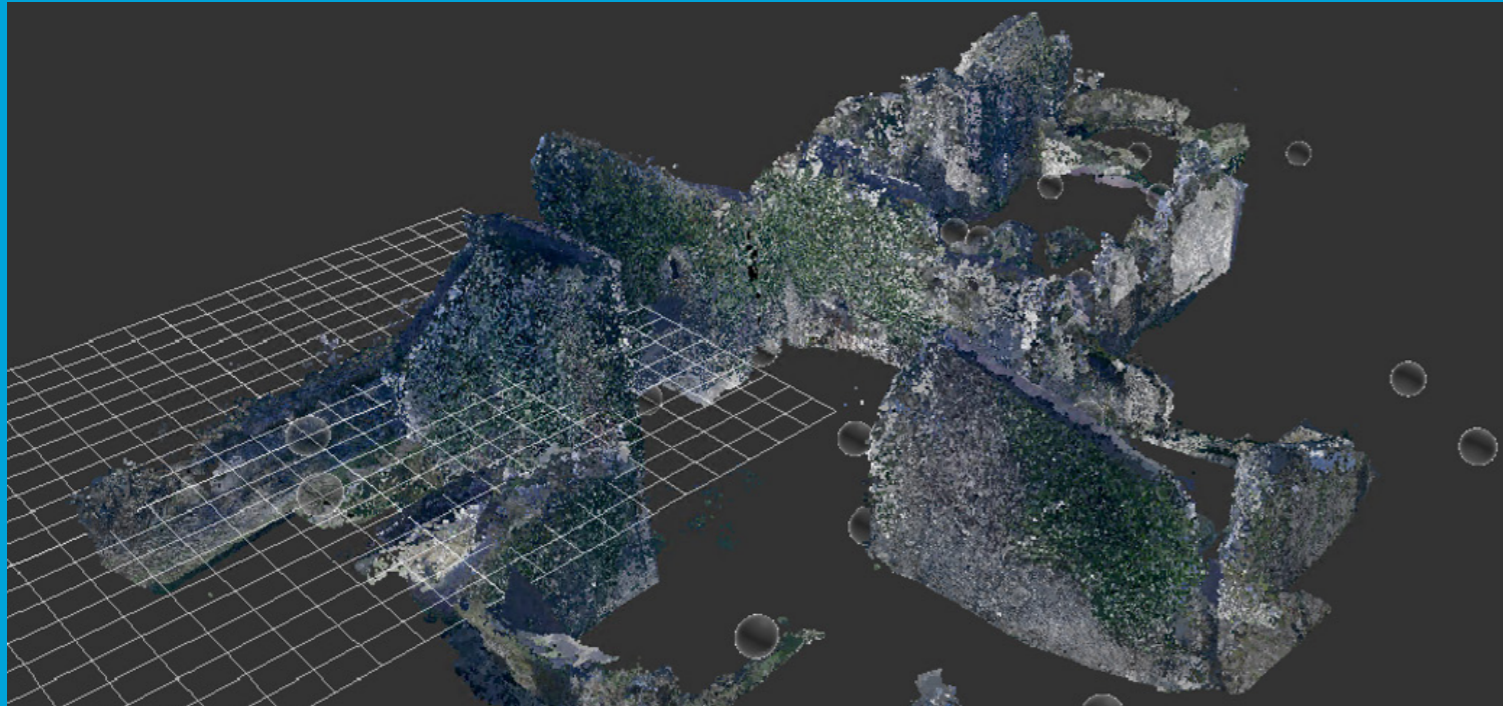
HAL Id: hal-03018275

<https://hal.science/hal-03018275v1>

Submitted on 22 Nov 2020

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

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



PATRIMOINE INDUSTRIEL NUMÉRIQUE 3D

RECONSTRUCTION DE LA FORGE D'ARTHEZ-D'ASSON

NUAGE DE POINTS 3D ISSU DE LA NUMÉRISATION LASER : VUE GLOBALE DU SITE LS2N-ECN

La forge d'Arthez-d'Asson, située dans le territoire de la Communauté des communes du Pays de Nay (Pyrénées Atlantiques et Hautes Pyrénées) présente aujourd'hui encore de belles élévations, menacées toutefois d'effondrement. Le site est la propriété privée de l'actuel ministère de la Transition écologique et solidaire, relevant d'une concession d'exploitation hydroélectrique déléguée au groupe Engie via la S.H.E.M (Société Hydroélectrique du Midi). Il est reconnu depuis près de trente ans, par l'association Fer et Savoir-faire qui milite pour la préservation et transmission de l'histoire du site, comme l'un des lieux majeurs dans la fondation de l'économie industrielle du Pays de Nay.

En effet, Émile Pujolle dans son article intitulé « Mines et ferreries de la Vallée de l'Ouzom¹ », exposait l'organisation fonctionnelle des premières activités sidérurgiques sur le territoire. Le site de la forge d'Arthez-d'Asson est aujourd'hui réduit à l'état de ruines et très peu considéré par les habitants. Toutefois, plusieurs actions ont été engagées autour de ce berceau de la production du fer depuis 2012, date de la prise de compétence en matière de patrimoine par la Communauté de communes du Pays de Nay. Parmi ces opérations, au-delà de la conservation des vestiges, une reconstruction 3D de l'existant permettra également une simulation du fonctionnement mécanique de la forge comme elle se présentait à l'époque de son utilisation. Ainsi, compte tenu de son expertise nationale reconnue, une collaboration avec le LS2N - Laboratoire des Sciences du Numérique de Nantes - s'est mise en place. La communication présentée ici fait état des premières recherches menées tant sur le terrain qu'en archéologie industrielle numérique.

Florent LAROCHE

Ingénieur-Docteur HDR, maître de conférences Laboratoire LS2N (UMR CNRS 6004), École Centrale de Nantes, France

Virginie ROSATO

Chargée d'étude patrimoine, Service Tourisme-Patrimoine - Communauté des communes du Pays de Nay

Paul FRANÇOIS

Architecte-Ingénieur Laboratoire LS2N (UMR CNRS 6004), École Centrale de Nantes, France

CONTEXTE DES TRAVAUX DE RECHERCHE

Notre fédération de recherche www.epotec.fr a pour objectif de réaliser des projets scientifiques en « Archéologie Industrielle Avancée ». Les travaux visent à allier compréhension de l'histoire et sauvegarde du patrimoine industriel et technique via l'ensemble des outils des sciences pour l'ingénieur. En effet, notre hypothèse de travail est qu'un objet industriel le reste, quelle que soit son contexte historique, contemporain ou passé. L'objet peut être un produit manufacturé diffusé à grande échelle, un objet artisanal unique, une machine ou un outil ayant servi à sa conception ou sa fabrication, voire une usine complète associée à un processus industriel. Dans tous les cas, les outils des sciences pour l'ingénieur contemporain peuvent être utilisés à des fins de capitalisation, conservation et valorisation de notre patrimoine technique.

L'avancée des nouvelles technologies depuis près de dix ans a permis de mettre au point de nouveaux outils alliés au numérique avec l'objectif de reconstruire et sauvegarder des objets. Les sites patrimoniaux et musées sont devenus des laboratoires de recherche au service de l'avancée des technologies numériques. Aujourd'hui, l'utilisation et le développement de ces outils offrent, à la fois aux chercheurs et au public, une nouveauté au sens de la connaissance de ce patrimoine et de l'impact visuel. Ce sont de nouvelles expériences qui s'offrent.

La modélisation 3D, en raison du processus de recherche pluridisciplinaire qu'elle implique, renforce la connaissance des sites et des techniques de l'industrie, la compréhension de leur histoire en termes de développement topographique et bâti et la compréhension des procédés. Cette connaissance qui se base sur les traces patrimoniales (du vestige à l'usine en fonctionnement) interroge naturellement l'importance grandissante de ces nouvelles méthodes dans le processus de patrimonialisation et de valorisation. Vu comme un danger pour certains, parce qu'alibi possible de la destruction physique, la modélisation et la valorisation numérique (tout particulièrement la 3D mais également les systèmes d'information géographiques ou la mise en œuvre des bases de données relationnelles) peuvent au contraire apparaître comme un des éléments nécessaires de la connaissance et de l'explication, à l'heure du web et de la réalité virtuelle.

Cette thématique a été initiée dès 1998 par le professeur Michel Cotte et Samuel Deniaud, puis par la suite la collaboration avec le professeur Alain Bernard et les maîtres de conférences Florent Laroche et Jean-Louis Kerouanton. Une première étude de synthèse

est publiée dans la revue du CILAC en 2005². Depuis, de nombreuses études ont été menées par notre fédération de recherche www.epotec.fr et ont été relatées dans la revue du CILAC : la reconstitution virtuelle de la machine à laver le sel de Batz-sur-Mer³, une visite patrimoniale de a machine à vapeur Sulzer de Finlayson à Tampere⁴, et une étude des forges de Paimpont⁵.

Cette approche trouve un prolongement aujourd'hui dans le projet ReSeed⁶ (Rétro-conception Sémantique d'objets patrimoniaux Digitaux), soutenu par l'Agence Nationale de la Recherche (ANR). Le principe des missions de recherche en lien avec ReSeed est d'inscrire le patrimoine dans une société de l'information et de la communication, en vue d'obtenir une digitalisation des objets, physique (sous la forme d'un modèle numérique 3D) et sémantique (sous la forme de l'ensemble de la documentation nécessaire à l'interprétation de l'objet). La finalité de ce travail réside dans l'obtention d'un outil capable de favoriser la compréhension de maquettes numériques tridimensionnelles d'objets patrimoniaux et de sites industriels. La technologie du projet national ReSeed est illustrée par plusieurs cas d'études en cours : le Pic du Midi dans les Hautes-Pyrénées et une collection nationale d'instruments astronomiques. Les résultats sont innovants et donneront lieu à une publication lorsque le programme se terminera en 2021.

Quelle est la démarche mise en œuvre pour atteindre cet objectif ? Et comment mettre en valeur un patrimoine historique et industriel, tel que celui de la forge d'Arthez-d'Asson, où il ne reste plus que des élévations de murs ?

La Communauté de communes du Pays de Nay a sollicité l'appui du Laboratoire des Sciences Numériques de Nantes de l'École Centrale de Nantes pour mettre en valeur les vestiges en danger de la forge. L'étude ainsi menée implique une transversalité des champs d'investigations. Elle combine une capitalisation des données historiques et scientifiques, qu'il s'agisse d'informations relevant de l'histoire, de la géographie, de l'hydrographie ou encore de technique. L'objectif est d'aboutir à une restitution fidèle et cohérente du site analysé.

En effet, la reconstruction 3D doit mettre en avant une représentation détaillée du lieu et de ses abords immédiats pouvant avoir une incidence sur le site principal. Elle prévoit l'intégration de données schématiques représentant les éléments constitutifs des vestiges, soit une simulation architecturale et organisationnelle des parties restantes et/ou disparues tout en projetant une hypothèse forte du fonctionnement technique et mécanique.

1. *Bulletin des Amis de Nay et de la Batbielle*, n° 19, 2000

2. M. Cotte, S. Deniaud, « CAO et patrimoine : perspectives innovantes », *L'Archéologie industrielle en France*, n°46, 2005.

3. F. Laroche et al, « Les outils du virtuel : la mécanisation du lavage du sel à Batz-sur-Mer au XX^e siècle », *L'Archéologie Industrielle en France*, n°51, 2008.

4. J.-L. Kerouanton, F. Laroche, « Une visite patrimoniale en Finlande : La machine à vapeur Sulzer de Finlayson à Tampere », *L'Archéologie Industrielle en France*, n°57, 2015.

5. F. Laroche, « Les Forges de Paimpont en Réalité Augmentée : des sources historiques à la modélisation industrielle systémique », *Patrimoine industriel*, n°70, 2017.

6. www.reseed.fr



PHOTO DE LA
NUMÉRISATION LASER
SUR SITE
LS2N-ECN

De cette manière, une découverte physique du lieu est nécessaire ainsi que l'analyse de l'ensemble des ressources documentaires existantes : articles, ouvrages, plans du cadastre napoléonien, cadastre actuel, diagnostics architectural et sanitaire.

L'équipe, qui s'est déplacée en mars 2019, a procédé à un relevé lasergrammétrique. Posé sur un trépied, un dispositif tournant envoie un laser dans une direction et mesure le temps qu'il faut au laser pour lui revenir. Cette durée permet d'estimer la position du point d'impact par rapport au dispositif. En répétant cette opération dans toutes les directions, on obtient un nuage de points et une représentation numérique à l'échelle du site.

Pour cela, il est nécessaire de positionner le dispositif à différents endroits du site afin d'obtenir un balayage le plus large et le plus complet possible. Le cas de la forge d'Arthez-d'Asson représente une vingtaine de points de relevés.

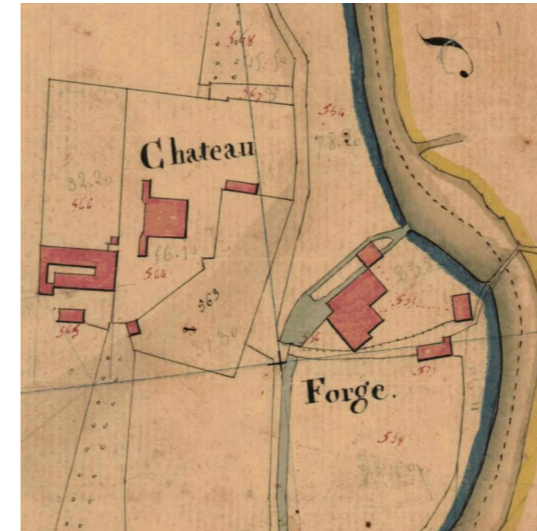
Les données ayant un poids assez important, l'équipe s'est d'abord concentrée sur les murs, en opérant un tri des points du nuage. Dans un premier temps, il n'était pas pertinent de prendre en compte le sol puisque seule une mission archéologique pourrait mettre en évidence les niveaux de sol correspondant à la phase d'usage du bâtiment.

Un comparatif entre les captures d'écran du nuage de points et des photos a été présenté avec le constat d'un résultat assez satisfaisant (voir les figures).

COMMENT EST BÂTI ET S'ORGANISE CE SITE ?

Tout d'abord, d'un point de vue géographique, la forge dite *Saint Paul* faisait partie d'un réseau sidérurgique installé sur la Vallée de l'Ouzom. Celui-ci était principalement composé de « constructions de bas-fourneaux constitués de meules de terre glaise permettant de mêler en un agrégat unique de minerai et de charbon de bois aussi connu sous le nom de réduction directe »⁷.

Le fer est travaillé au marteau, technique qui permet de débarrasser la matière de la présence de scories. Dans un premier temps, effectuée par la simple main et force de l'homme, les évolutions techniques de la Renaissance portées par les maîtres de forges vont permettre l'utilisation de nouvelles sources d'énergie comme l'eau. La forge, connue aussi sous le nom de son propriétaire *d'Angosse*, illustre donc bien ce procédé puisque le mailh était actionné par une roue à aube alimentée en eau par un canal de dérivation de l'Ouzom.



À gauche :
EXTRAIT DU CADASTRE
NAPOLÉONNIEN - 1826

À droite :
EXTRAIT DU REGISTRE
CADASTRAL - 2019

En bas :
ILLUSTRATION
L'ENCYCLOPÉDIE DE
DIDEROT ET D'ALEMBERT

Si l'on regarde d'un peu plus près, les deux extraits cadastraux nous donnent une idée de l'organisation bâtie du site de la forge. La comparaison entre le registre actuel et le cadastre napoléonien donne à voir, au-dessus du site de production, le château avec ses jardins en terrasses. On constate qu'en 1826 les écuries telles qu'on les perçoit aujourd'hui, n'existent pas encore. En revanche, on trouve un autre petit bâtiment au nord des jardins mais dont on ne connaît pas la fonction (peut-être les premières écuries ?) et qui aujourd'hui n'a pas laissé de trace.

L'observation du site dans sa globalité nous laisse voir que le bâtiment principal est bien matérialisé, même s'il semble manquer sur le cadastre actuel l'extrémité au-dessus du canal. De plus, la construction n'est visualisée que sous la forme de ruines. Les deux autres, situées à l'ouest de la parcelle, ne sont plus, si ce n'est le pignon gauche de la structure la plus à l'ouest en bordure de l'Ouzom.

Si l'on en croit le plan de 1826, le canal d'amené était alors divisé en deux : sa partie sud, longeant directement le bâtiment principal des forges, alimentait à la fois les trompes et le mailh, tandis que sa partie nord, aujourd'hui disparue sous les aménagements hydrauliques du XX^e siècle, alimentait en énergie hydraulique le bâtiment du martinet toujours bien conservé.

Des trompes hydrauliques, qui forment le cœur du dispositif « à la Catalane » en créant le souffle, on ne conserve aujourd'hui que les deux orifices. Il est probable qu'à l'origine il s'agissait de deux canalisations en bois et non en pierre comme on peut le voir sur d'autres exemples. *L'Encyclopédie* de Diderot et D'Alembert donne une illustration de ce type de mécanisme.

À terme, le résultat définitif de cet outil doit permettre à la fois d'avoir une connaissance plus approfondie de ce site afin de pouvoir proposer une vulgarisation ludique et pédagogique à destination des publics.

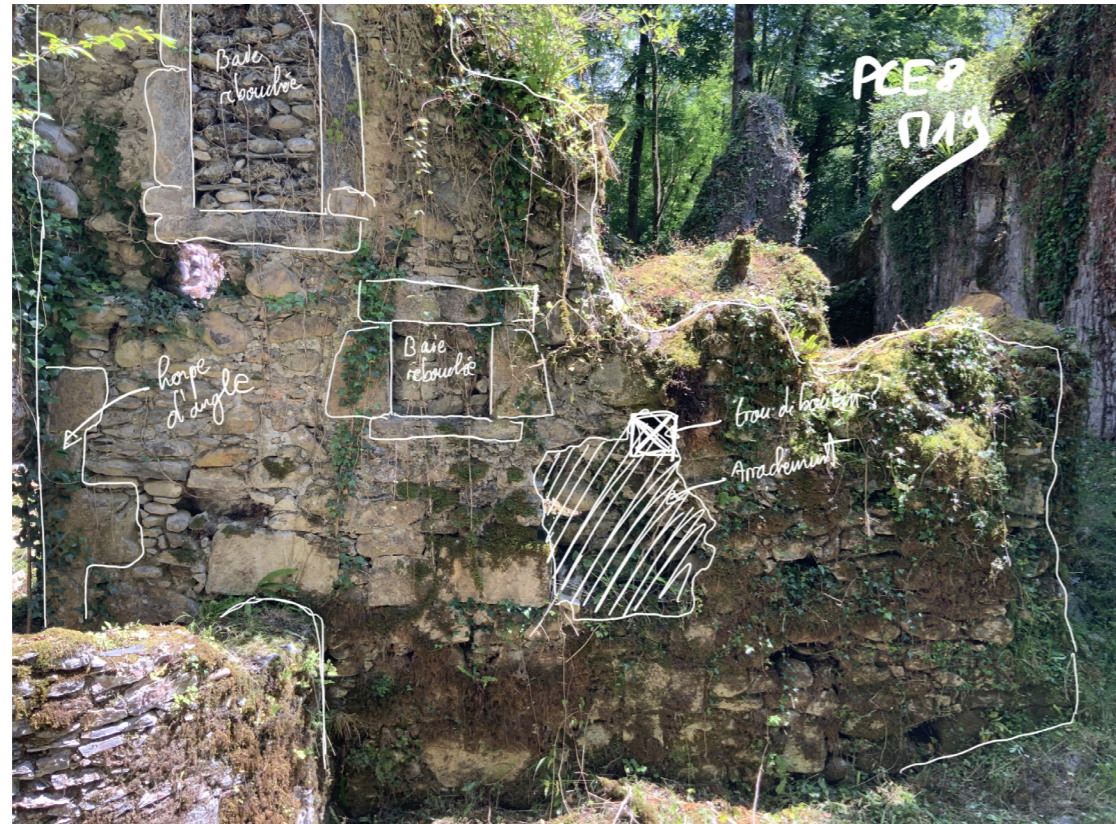
LE PROJET SUR ARTHEZ-D'ASSON

L'état actuel du site ne permet pas une ouverture publique à la visite. La Communauté de communes du Pays de Nay souhaitait donc imaginer un outil de valorisation pertinent afin d'écarter tout risque d'accident et de permettre une cohabitation intelligente avec le concessionnaire exploitant. À partir de là, la restitution virtuelle du réel et d'une hypothèse de ce que put être le site de la forge d'Arthez-d'Asson, semble être une solution judicieuse.

La forge d'Arthez-d'Asson est aussi dite « forge à la catalane », car elle est issue du même procédé d'exploitation initialement importé par les Espagnols dans le massif pyrénéen. On peut retrouver d'autres appellations dans les textes comme la « ferrari ou ferrière » qui désignent l'action directe de transformation du minerai de fer en métal. Cette méthode est une spécificité des territoires de montagne qui alimentait les flux commerciaux. C'est ce fonctionnement, au-delà de l'architecture, que nous allons tenter de reproduire afin d'en clarifier la connaissance.

Pour obtenir ce résultat de numérisation 3D, la première action est de pouvoir construire une maquette numérique du lieu. Il s'agit d'analyser l'organisation technique et humaine de l'implantation bâtie. L'observation d'après différents points de vue et supports est la clé pour l'obtention d'une simulation par ordinateur la plus aboutie possible.

⁷ Norbert Larrouy, *Arthez-d'Asson, Fer et Charbon*, Editions Marrimpouey, 1989.



L'équipe de l'École Centrale de Nantes au cours de sa mission a utilisé les différents plans et schémas pour réaliser une hypothèse de restitution des trompes hydrauliques en partie basée sur la maquette de l'Association Fer et savoir-faire, réalisée par Émile Pujolle.

La couverture végétale ayant un impact sur la restitution 3D, une seconde visite sur site fut nécessaire. Le responsable du projet, Paul François, doctorant dans notre équipe, et son stagiaire Rémy Maige, ont procédé à un relevé photogrammétrique ainsi qu'à une couverture photographique du corps principal durant le mois de juin 2019. La photogrammétrie est un procédé de relevé différent : des photos d'un même objet prises depuis plusieurs points de vue permettent à l'ordinateur de calculer la représentation 3D de l'objet. Cette seconde mission a permis d'entreprendre une première numérotation des murs et des espaces, préalable à toute analyse archéologique des vestiges. Une analyse fine des murs - sans toutefois prétendre à toute intervention archéologique - a permis de mieux comprendre les relations qu'ils ont entre eux : quel mur a été construit avant, comment et pourquoi des désordres sont apparus et quels indices permettent d'imaginer la présence de planchers. Cette première étape permet d'imaginer une véritable mission d'archéologie industrielle permettant de lever les questions qui restent en suspens sur le fonctionnement architectural et technique de ces forges.

La compilation des connaissances liées aux savoir-faire trouvées dans les archives et auprès des experts locaux, est intégrée dans la base de données grâce à un modèle de connaissance adapté au concept de cartels virtuels (août 2019).

Outre le fonctionnement technique de la forge que reste-t-il des autres espaces de l'exploitation ? Le diagnostic sanitaire réalisé en 2017 a confirmé que la construction date des XVII^e et XVIII^e siècles, la composition est principalement constituée de galets du gave et de moellons en pierre grise dure. Au niveau des ruines, il ne reste aucune toiture à ce jour, on décèle tout de même la préservation d'un ou deux pignons qui permettent d'estimer la hauteur de cette première. Toutefois pour connaître la mesure réelle des élévations, il faudra attendre la confortation des murs et des sondages relevant la strate du sol primaire. Sur le corps principal cela va concerner l'extrémité nord du site, soit le « Martinet et l'espace de logement » en bordure de canal. Pour les dépendances, il s'agit du bâtiment le plus près de l'Ouzom et du mur latéral gauche. En revanche, en ce qui concerne la composition de ces toitures disparues, nous ne sommes, à ce jour, pas en mesure de l'évaluer.

Alors que les vestiges détruits et la végétation limitent fortement la compréhension de l'espace, même pour le visiteur averti, décrivons une visite imaginaire des forges, depuis l'Ouzom en remontant le canal.



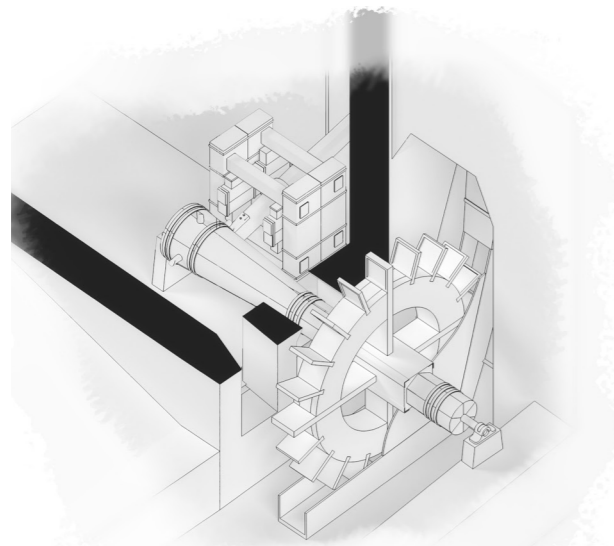
Accueillis sur les bords de la rivière par une habitation dont subsistent une partie des élévations, nous remontons les deux canaux de fuite de la forge en direction de l'entrée principale. À notre droite, un premier bâtiment abrite au rez-de-chaussée le martinet : les imposants blocs de pierre qui maintenaient le mécanisme sont toujours visibles tandis que le bâtiment lui-même est construit sur une voûte que l'on distingue encore et qui permettait au canal de fuite de la forge (celui le plus au sud) de passer. Une pente douce mène à l'étage du bâtiment du martinet : les vestiges des cheminées ainsi que les fenêtres (dont le bouchage tardif trahit un changement de destination au cours du temps) indiquent un logement. Les latrines, auxquelles on accède par l'extérieur, forment une extension semi-circulaire à ce bâtiment, au-dessus du canal des forges.

Avançons encore vers le corps principal, à notre gauche, un bâtiment tout en longueur longeait la voie d'accès : sa destination n'est pas claire mais les fenêtres laissent penser à un logement construit au-dessus d'un espace de stockage ou d'une écurie. On distingue encore les trous des solives du plancher. À notre droite, un autre bâtiment est venu s'attacher au corps des forges mais son état de délabrement avancé ne permet pas de comprendre sa destination. Alors que nous sommes faces à l'élégante porte principale de la forge, avec sa forme en

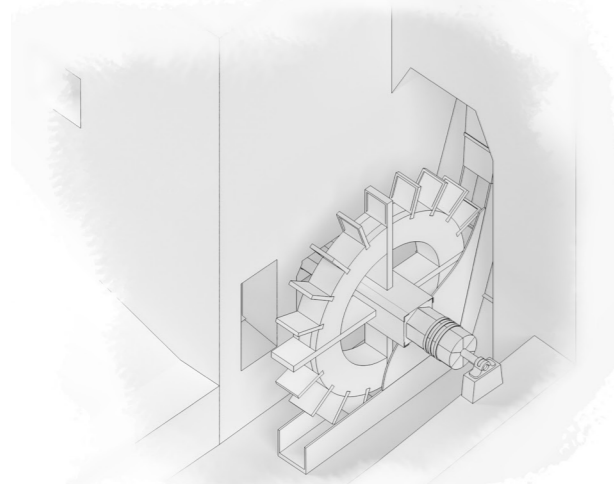
anse de panier, sur notre droite descend un chemin en pente vers le canal de fuite.

Entrons dans la forge : les pignons conservés permettent de restituer le faitage du toit à plus de dix mètres de hauteur ce qui donne une idée de la taille de cet espace et de la charpente qui devait le recouvrir, sans support intermédiaire. À droite, la chute lourde et régulière du mailh entraîné par une roue à aube occupait probablement toute l'attention. L'axe de la roue traverse le mur nord de cet espace tandis qu'une petite porte permettait d'avoir accès à la roue elle-même : la chute d'eau, toujours bien conservée, permettait d'entraîner la roue dans son bassin dont les remous ont entraîné l'usure prématurée des murs, toujours bien visible aujourd'hui.

De nos jours, un mur attire toujours l'attention : sa qualité de construction dénote avec le reste de la forge, et les pierres rougies par la chaleur indiquent qu'il s'agissait du foyer de la forge, objet de toutes les attentions. Un percement dans ce mur nous invite à regarder de l'autre côté : l'espace réduit sous deux dalles encore conservées, percées d'orifices rectangulaires, indique la présence des deux trompes qui permettaient de forcer l'oxygène grâce à la chute de l'eau (par un effet nommé *Venturi*) dans une boîte de bois et de l'injecter ensuite dans le foyer. Aujourd'hui, il ne subsiste rien de ce système, et le canal par lequel l'eau s'évacuait après avoir chuté dans les trompes n'est pas visible.



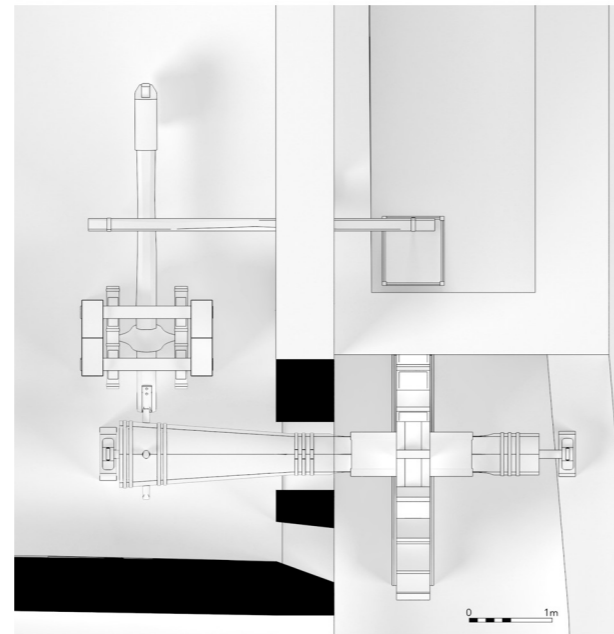
Hypothèse de restitution de l'ensemble de la roue et du mailh



Hypothèse de restitution de l'angle du bâtiment et de la roue à aubes



Emplacement de la roue dans son état actuel, numérisé



Plan de l'hypothèse de restitution

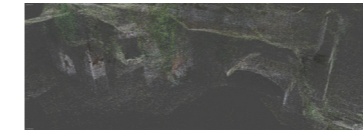
Le reste de la grande halle reste un mystère : les niveaux des sols d'origine ne sont pas conservés et la grande différence de niveau entre le nord-est et le sud-ouest de la salle laisse imaginer la présence d'escaliers. En se tournant vers le sud, nous aurions pu observer les deux grandes soutes « à charbon », ou charbonnières, accolées au bâtiment. Il subsiste aujourd'hui au centre de chacune d'elle une pyramide tronquée dont l'usage reste encore inexpliqué, alors même que la taille de ces deux salles rend leur destination incertaine au regard de la taille très limitée du foyer (de l'ordre d'un mètre carré d'emprise au sol). Après cette visite intramuros de la forge, vous pourrez prochainement en apprécier la découverte virtuelle comme si vous y étiez.

Il est important de savoir que ce travail va aussi pouvoir nourrir les documents préparatoires aux travaux de sécurisation des vestiges et de préservation pérenne. Cette numérisation sera un très bon atout pour le maître d'œuvre et les entreprises qui interviendront sur les murs. L'espoir que dans un futur proche un chantier de fouilles puisse se programmer serait une consécration du schéma de réflexion engagé il y a près de trente ans, sans compter sur la possibilité de confirmer ou d'infirmer des hypothèses en suspens.

En attendant la programmation d'un outil virtuel *in-situ* pour aider à la compréhension du site, pour les plus intrigués ou passionnés de la thématique, ils pourront se rapprocher de l'association Fer et Savoir-faire qui propose des balades commentées sur l'histoire du site et sur la fondation du village d'Arthez-d'Asson.

Restitution et immersion dans les forges d'Arthez d'Asson

Feuille de route, juin 2019



Modèle 3D de l'existant

Relevé lasergrammétrique en mars 2019
Relevé photogrammétrie et couverture photo du corps principal en juin 2019



Description archéologique des vestiges

Attribution des numéros de structure, archéologie du bâti sur l'ensemble des murs en juin 2019

Restitution des forges

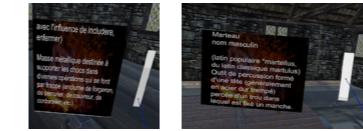
Création d'un modèle 3D restituant l'état final des forges d'Arthez d'Asson. Juillet 2019.

Conception d'une base de connaissances

Compilation de connaissances liées au savoir-faire local à partir des archives et des experts. *En cours.*

Intégration de la base et du modèle

Réalisation des liens entre connaissances et modèle, cartels virtuels. Août 2019.



Création d'outils en réalité virtuelle

Nouveaux outils permettant l'accès à des informations pour une visite didactique d'un modèle 3D. Version bêta en mai 2019.

Visite virtuelle des forges restituées

Visite autonome, didactique, grâce à un matériel HTC Vive. Décembre 2019.

FEUILLE DE ROUTE ENVISAGÉE
DU PROJET DE RESTITUTION
ET IMMERSION DANS LES FORGES
D'ARTHEZ D'ASSON

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

■ Émile Pujolle, « Mines et ferreries de la Vallée de l'Ouzom », *Bulletin des Amis de Nay et de la Batbielle*, n°19, 2000.

■ Jean-Pierre Allinne et Anca Mirela-Miron, « La forge d'Aucun, un site patrimonial », *Revue d'histoire industrielle des Pyrénées occidentales*, n°2, 2007.

■ *L'Encyclopédie de Diderot et d'Alembert - forges - deuxième section*, planche IV.

■ Sylvain Bielle, Vivien Fargette et Loïc Hentz, *Numérisation de la forge d'Arthez-d'Asson et modélisation 3D du site*, Rapport de projet INPACT, École centrale de Nantes, mars 2019.

■ Norbert Larrouy, *Arthez-d'Asson, Fer et Charbon*, Éditions Marrimpouey, 1989.

■ Stéphane Thouin, *Arthez-d'Asson, Anciennes forges - Étude diagnostic - consolidation des vestiges*, Rapport.