



**HAL**  
open science

# La réalité augmentée aux Forges de Paimpont Comment mettre en valeur le patrimoine historique et industriel des forges ?

Florent Laroche, Cédric Rajaofera-Renard

## ► To cite this version:

Florent Laroche, Cédric Rajaofera-Renard. La réalité augmentée aux Forges de Paimpont Comment mettre en valeur le patrimoine historique et industriel des forges ?. Virtual Retrospect 2013, Robert Vergnieux, Nov 2013, Pessac, France. pp.113-120. hal-01921129

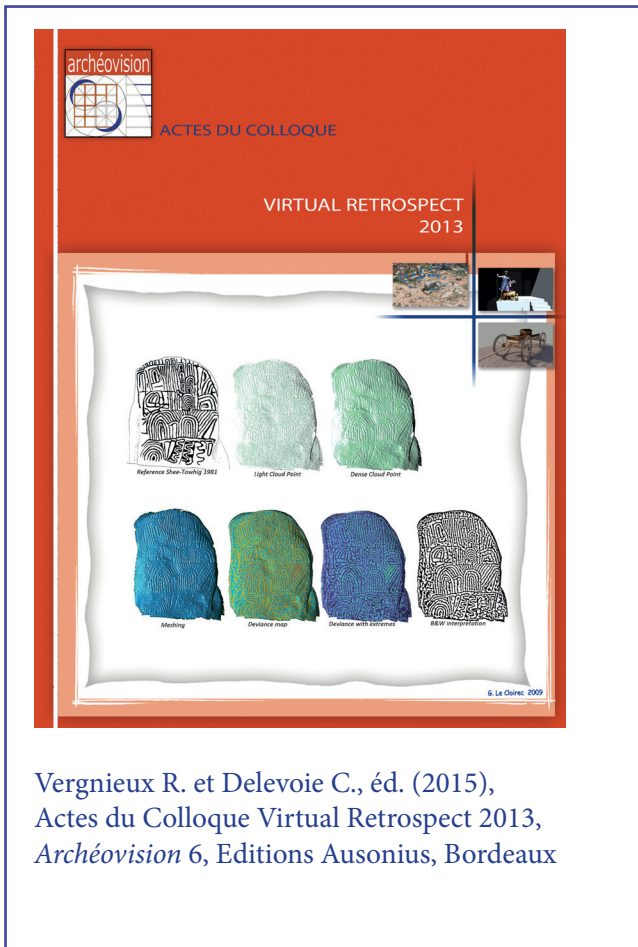
**HAL Id: hal-01921129**

**<https://hal.science/hal-01921129>**

Submitted on 13 Nov 2018

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

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



Vergnieux R. et Delevoie C., éd. (2015),  
Actes du Colloque Virtual Retrospect 2013,  
Archéovision 6, Editions Ausonius, Bordeaux

## Tiré-à-part des Actes du colloque Virtual Retrospect 2013

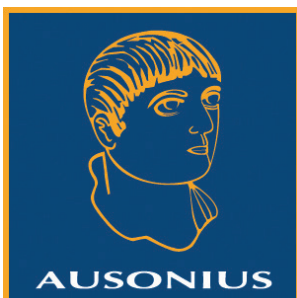
Pessac (France) 27, 28 et 29 novembre 2013



F. Laroche, C. Rajaofera-Renard  
*La réalité augmentée aux Forges de Paimpont  
Comment mettre en valeur le patrimoine historique et industriel des  
forges ?*



pp.113-120



Conditions d'utilisation :  
Utilisation du contenu de ces pages est limitée à un usage  
personnel et non commercial.  
Tout autre utilisation est soumise à une autorisation  
préalable.  
Contact : [virtual.retrospect@archeovision.cnrs.fr](mailto:virtual.retrospect@archeovision.cnrs.fr)



# La réalité augmentée aux Forges de Paimpont

## Comment mettre en valeur le patrimoine historique et industriel des forges ?

Florent Laroche  
Laboratoire IRCCyN (UMR CNRS 6597), École Centrale de Nantes, France  
[Florent.laroche@irccyn.ec-nantes.fr](mailto:Florent.laroche@irccyn.ec-nantes.fr)

Cédric Rajaofera-Renard  
École Centrale de Nantes, France  
[cedric.rajaofera-renard@centraliens-nantes.net](mailto:cedric.rajaofera-renard@centraliens-nantes.net)

**Résumé :** Ce projet traite de la réalisation d'une étude technico-scientifique d'un site industriel patrimonial ancien : les forges de Paimpont (près de Rennes, 35). L'objectif n'est pas seulement de produire de belles images du site, mais de développer un modèle 3D interactif. Aujourd'hui, il ne subsiste plus de matériel industriel sur le site ; seules quelques ruines subsistent ; il est donc relativement difficile pour un visiteur de comprendre comment les forges s'organisaient.

Afin de reconcevoir ce site, un logiciel de CAO<sup>1</sup> a été utilisé ainsi que des outils issus du domaine du jeu vidéo. Les données d'entrées furent aussi bien les sources historiques que les traces archéologiques. En complément, des maquettes physiques des bâtiments principaux ont été numérisées en 3D. À terme, les visiteurs pourront interagir avec une dalle tactile pour visiter les forges ou visiter le site sur place en utilisant de la réalité augmentée.

Tout ce processus se nomme Archéologie Industrielle Avancée car il nécessite l'usage des nouvelles technologies pour comprendre les anciens procédés industriels.

**Mots-clés :** archéologie Industrielle Avancée, Réalité augmentée, Modélisation 3D, Numérisation 3D, reverse-engineering, Patrimoine Industriel, Histoire des sciences et des techniques, Forges, Paimpont

**Abstract :** This project deals with creation of a virtual model of the ancient forges de Paimpont. The goal was not to produce nice looking pictures but to develop an interactive model of the old factory. Since the forges are no longer working, it is quite difficult to get an idea of the general organization.

Thus, we use CAD software and engineering tools. Input data are the ruins and some mock-ups that have been digitalized. Finally, visitors should be able to use Enhanced Reality to get a better understanding of the site.

This is called Advanced Industrial Archaeology since it involves new techniques to understand ancient ones.

**Keywords :** advanced Industrial Archaeology, Enhanced Reality, 3D Modelling, 3D Digitalisation, Reverse-Engineering, Industrial Heritage, scientific and technical History, Forges, Paimpont

### CONTEXTE DES TRAVAUX DE RECHERCHE

Notre proposition scientifique consiste à utiliser les nouvelles technologies pour comprendre et faire comprendre comment les forges fonctionnaient. Il est en effet possible de recréer virtuellement les forges sur ordinateur à l'aide des logiciels couramment utilisés dans l'industrie manufacturière.

Une fois le modèle ou la maquette numérique reconstruite, il est possible de l'utiliser à des fins de vulgarisation et de pédagogie : analyser comment le site s'organisait, l'observer sous différents points de ou encore le simuler. À ces fins il faut que la maquette soit fonctionnelle. Une fois la modélisation terminée, il reste encore tout le travail qui consiste à exploiter et mettre en valeur le résultat obtenu. Il s'agit de l'analyse des flux de production.

1. CAO = Conception Assistée par Ordinateur ; outil utilisé dans l'industrie pour modéliser les objets en 3D.

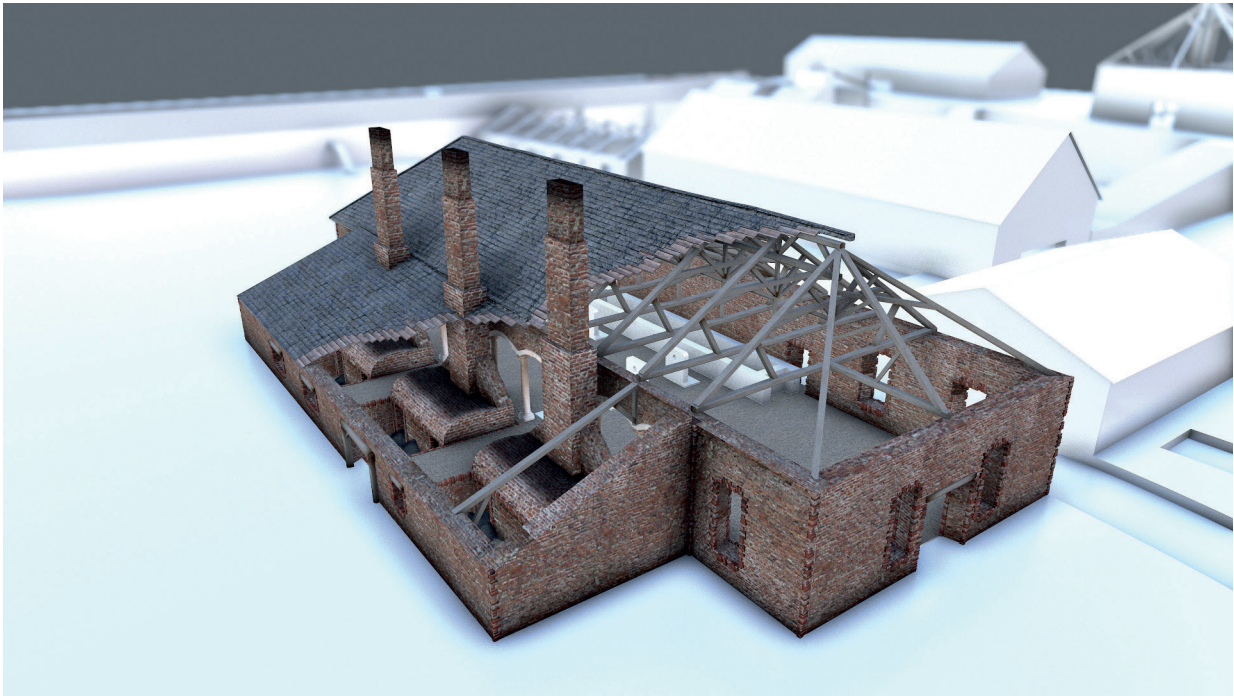


Fig. 1. Image du modèle 3D texturé du bâtiment du laminage.

Cependant, afin de permettre de vulgariser l'ensemble des travaux il a été décidé de réaliser un portage vers les outils de réalité virtuelle pour rendre accessible le modèle 3D au plus grand nombre : application de visite sur Smartphone, Tablette ou PC (fig. 1).

Cette étude d'un ancien site industriel requiert de comprendre les savoir-faire du passé. Répondre à cette problématique nécessite un réel travail de synthèse pour combiner plusieurs disciplines complémentaires : histoire, technique, géographie, hydrographie...

En préalable, avant de se lancer dans une quelconque modélisation 3D, il est indispensable de comprendre comment le site fonctionne ; et ce, afin de produire un modèle cohérent qui reflète les procédés industriels anciens utilisés.

#### HISTORIQUE DES FORGES DE PAIMPONT

Les forges de Paimpont ont été fondées en 1645 dans la forêt de Brocéliande.

Pour être opérante, les forges nécessitent trois éléments vitaux :

- l'eau est nécessaire pour entraîner la puissante machinerie qui équipe les forges : la pompe à air des hauts-fourneaux, le laminoir, le bocard ou encore les martinets de l'affinerie ;
- le bois des alentours sert à produire du charbon de bois qui alimente ensuite les fours à réverbère et les hauts-fourneaux ;
- le minerai de fer est aussi un composant essentiel, le sol autour des forges en est très riche.

Un étang artificiel a d'abord été créé. Celui-ci est une réserve d'énergie pour assurer des mouvements de rotation avec des couples importants (obtenus grâce à une roue à aube). La présence de l'étang devait en théorie permettre de réguler le niveau à l'aide des vannes et d'un déversoir, tandis que la retenue d'eau permettrait une production tout au long de l'année. Dans la réalité, les forges manquent d'eau durant les sécheresses et l'étang peut déborder malgré le déversoir ; par conséquent, la production est régulièrement divisée par deux.

Un autre avantage du site de Paimpont est que la forêt aux alentours est riche en minerai de fer, ce qui explique que l'on ait retrouvé des bas-fourneaux primitifs dans les environs de Paimpont datant l'âge de fer – vers 2000 a.C. La présence de mines proches permet d'économiser le coût de l'import du minerai, bien que le Maître des forges y a recours lorsque les mines ne produisent plus assez ou que la qualité n'est plus assez bonne. La forêt elle-même est exploitée pour produire du charbon de bois dans des fouées. Tous les matériaux sont acheminés par des charrettes tirées par des chevaux. Il existe un système de wagonnets au sein des forges dont il subsiste encore quelques traces.

Les plans de l'affinerie sont repris par Diderot et D'Alembert lors de la rédaction de l'Encyclopédie démontrant ainsi l'intérêt national pour ce site industriel. Le fer produit est lui aussi renommé : les textes de l'époque le qualifient "d'aussi bonne qualité que les meilleurs fers de Suède ou d'Espagne".



Si la production initiale est de petite échelle, les forges s'agrandissent au cours des années jusqu'à leur âge d'or autour de 1850. Elles emploient alors près de 500 personnes en comptant les bucherons et les mineurs. Elles sont le premier employeur de la région et ont une place importante dans la société.

À remarquer : elles approvisionnent les arsenaux de Brest et Lorient. Elles sont sollicitées pour la reconstruction de la ville de Rennes après l'incendie de 1720 et la guerre d'indépendance des États-Unis d'Amérique.

Mais elles sont progressivement dépassées par la concurrence anglaise avec la démocratisation de la machine à vapeur. Également victimes de leur relatif isolement, les forges ferment en 1880.

LES FORGES VIRTUELLES

L'objectif scientifique du projet est de créer un modèle simulable des forges afin d'aider les visiteurs à comprendre le fonctionnement de cet ancien site industriel. Compte tenu des seules ruines demeurantes sur site, l'étude s'est appuyée sur une maquette physique des hauts-fourneaux. L'objet a été scanné en 3D puis le nuage de points a été importé dans le logiciel de CAO Catia V5.

Des plans – stockés aux archives nationales de France – datant de 1820 décrivant le projet d'extension des forges qui sont ont permis d'avoir des documents techniques à date.

Enfin, grâce à des relevés archéologiques sur site, un certain nombre de mesures complémentaires ont pu être acquises (fig. 2 et 3).

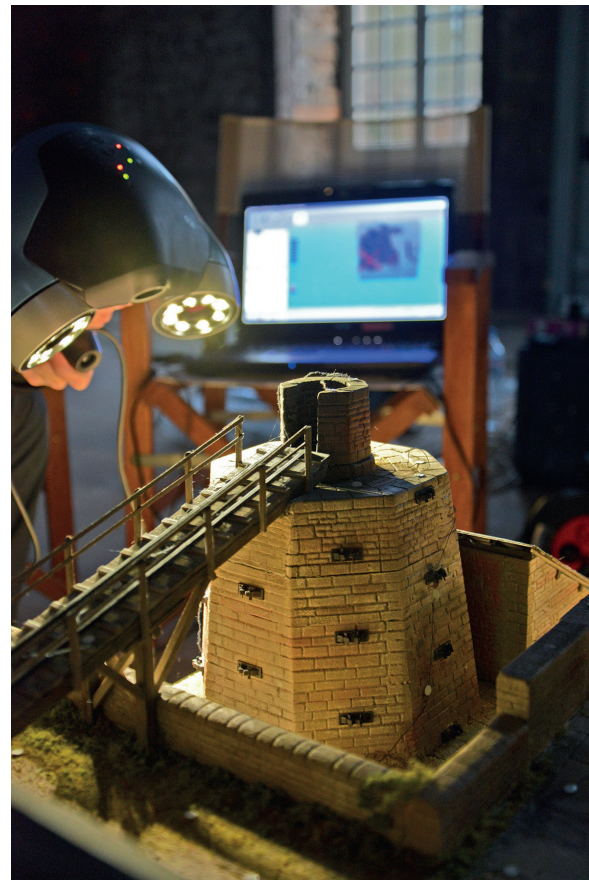


Fig. 2. Numérisation 3D de la maquette des hauts fourneaux.

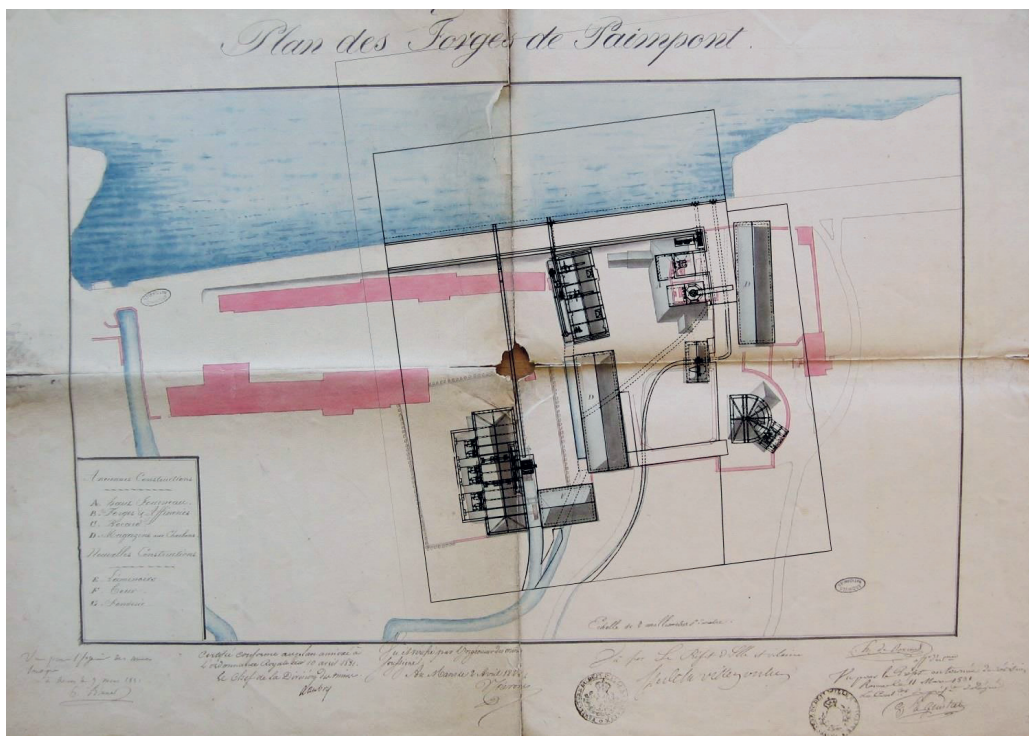


Fig. 3. Plan issu des archives nationales de France.

## LE BOCARD

Le bocard sert à réduire le minerai en poudre avant de le placer dans les hauts-fourneaux. La roue est entraînée par la force de l'eau, les sabots soulèvent alors les pilons qui retombent ensuite sous l'effet de la gravité (fig. 4).

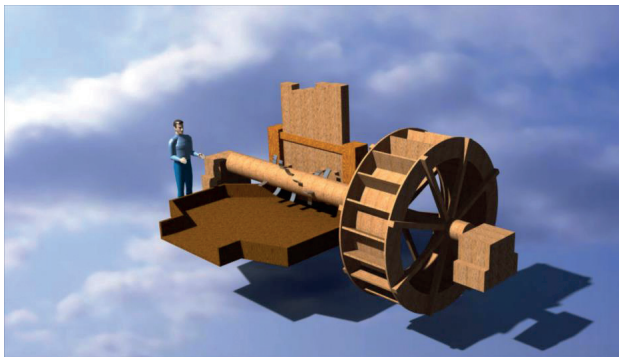


Fig. 4. Le bocard.

## LES HAUTS-FOURNEAUX

Les hauts-fourneaux sont chargés par la cheminée avec du minerai concassé, de la castine et du charbon de bois. Plusieurs fois par jour, un trou de petite taille est réalisé dans le mur de brique pour laisser la fonte en fusion s'écouler dans une trace préalablement faite dans le sable. Elle se solidifie alors en gueuse et peut peser plusieurs centaines de kilogrammes.

Les hauts-fourneaux fonctionnent en continu 24/24h 7/7 jours. Afin d'assurer une production de qualité, ils doivent malgré tout régulièrement être arrêtés, renforcés, reconstruits... Aussi la présence de 2 hauts-fourneaux permet d'assurer une maintenance optimale en les arrêtant par alternance.

Compte tenu du peu de place entre les hauts-fourneaux et la digue, une pompe à air remplace les usuels soufflets. Ce système astucieux fonctionne comme un moteur thermique inversé avec des cylindres et un arbre à cames ; l'énergie de rotation est générée par une roue à aube (fig. 5).

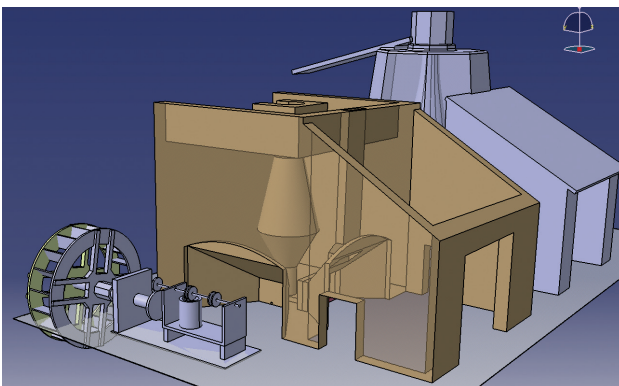


Fig. 5. Les hauts-fourneaux.

## L'AFFINERIE

L'affinerie<sup>2</sup> permet de transformer la fonte issue des hauts-fourneaux en fer. La fonte est décarburée dans des fours en ajoutant un fort flux d'air. On obtient ainsi de la loupe de fer poreuse qu'il sera possible de compacter sous les marteaux (les martinets) (fig. 6 et 7).

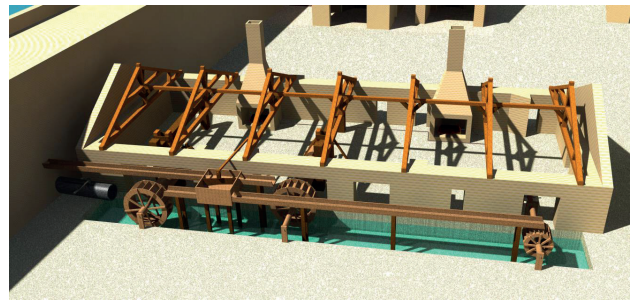
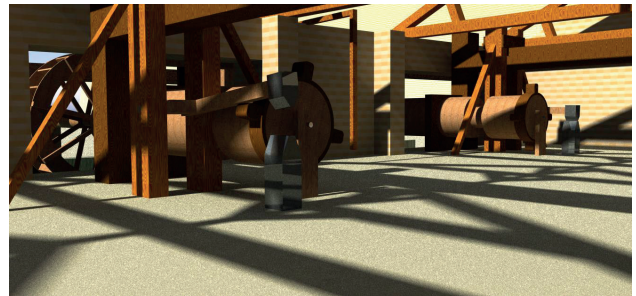


Fig. 6 et 7. L'affinerie et ses martinets.

## LE LAMINOIR

Le laminoir produit de longues pièces de métal tels des rails de chemin de fer.

La fonte est tout d'abord transformée en fer dans des fours à Puddler. C'est le même principe que le four à réverbère mais le feu n'est pas en contact avec le métal. De plus le charbon de bois est remplacé par du coke et des adjuvants chimiques y sont placés.

Le fer en fusion passe ensuite entre les rouleaux du laminoir (fig. 8 et 9).

## LA FONDERIE

La fonderie n'est pas utilisée systématiquement ; elle dépend de la commande du client. Elle permet d'obtenir de la fonte plus homogène qui sera ensuite moulée.

La montée en température s'effectue grâce à des fours à réverbère (fig. 10).

2. Notons que ce bâtiment n'existe plus et qu'il ne subsiste que des traces archéologiques de la machinerie.



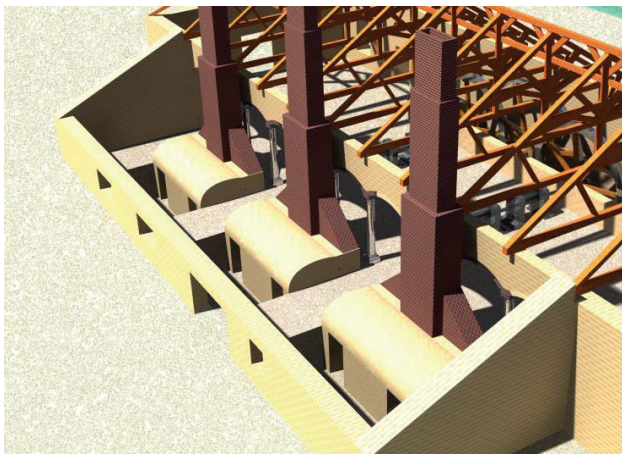
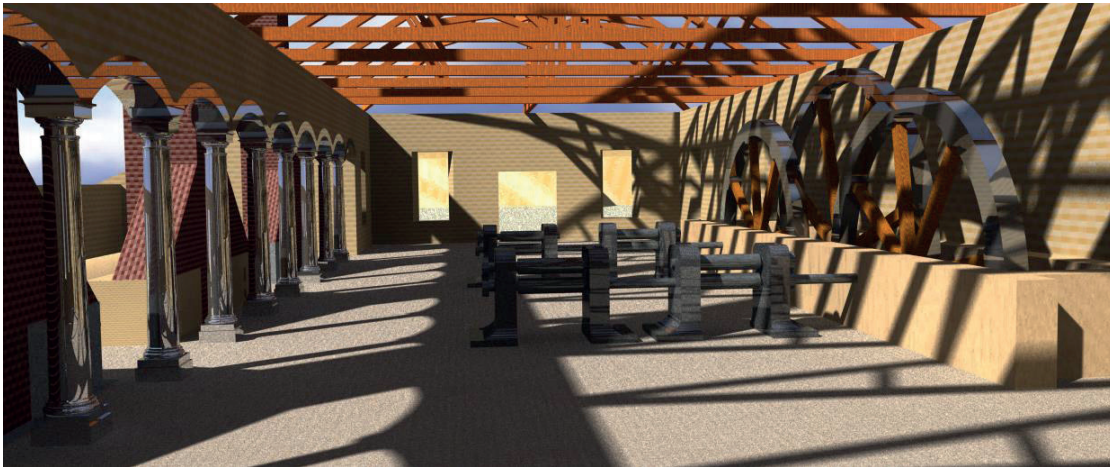


Fig. 8 et 9. Le laminoir et les fours à Puddler.

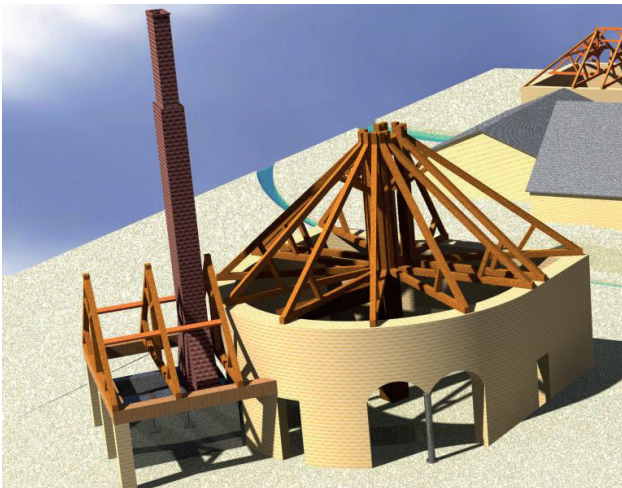


Fig. 10. La fonderie.

#### LE SITE INDUSTRIEL : VUE D'ENSEMBLE

L'image ci-dessous est une vue d'ensemble des forges. Le laminoir est le grand bâtiment au premier-plan avec sa charpente de bois. L'affinerie est le bâtiment sur la gauche également dépourvu de toit<sup>3</sup>. Les deux hauts-fourneaux sont dans l'arrière-plan juste derrière l'affinerie et près de l'Étang des forges. À droite des hauts-fourneaux se dresse le bocard. Dans l'arrière plan sur la droite se trouve la fonderie. Les deux autres grands bâtiments sont utilisés pour le stockage. Quant à la petite construction à côté du laminoir, il s'agit de l'atelier du Tour (fig. 11).

L'objectif de l'étude de reconception était de pouvoir analyser le processus de production de l'usine. Le schéma suivant précise comment le site était organisé. Les flux de matière première, produits finis et eau sont mentionnés (fig. 12).

#### L'APPLICATION VIRTUELLE : FORGES V3

Une fois le modèle CAO créé et simulable nous avons souhaité rendre accessible l'ensemble des informations de façon plus aisée qu'avec les outils d'ingénierie.

3. La représentation sans toit est uniquement réalisée pour la compréhension de l'image virtuelle.

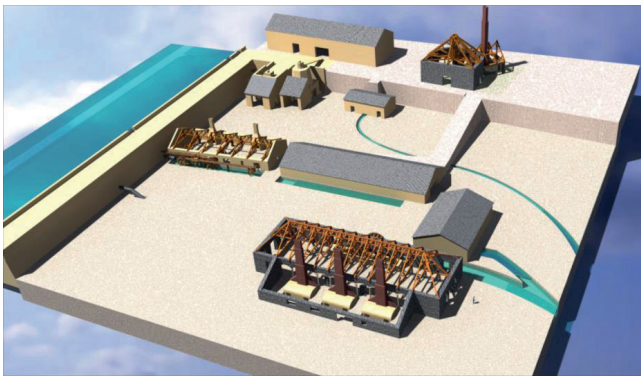


Fig. 11. Vue d'ensemble du site industriel des forges de Paimpont.

La portabilité du modèle sous Unity 3D permet d'apporter plus d'interactivité et permet d'utiliser l'usine virtuelle aussi bien sur son ordinateur personnel que sur le web ou bien encore dans une salle de Réalité Virtuelle ou sur tablette tactile.

Le module virtuel est autonome. Il est possible de naviguer entre les différents bâtiments, de tourner la caméra. La fumée est animée, les outillages sont en fonctionnement et associées à des sons spatialisés, des explications apparaissent lors de la visite virtuelle pour expliquer au visiteur les fonctions de chaque bâtiment/machinerie (fig. 13).

## Les Forges de Paimpont

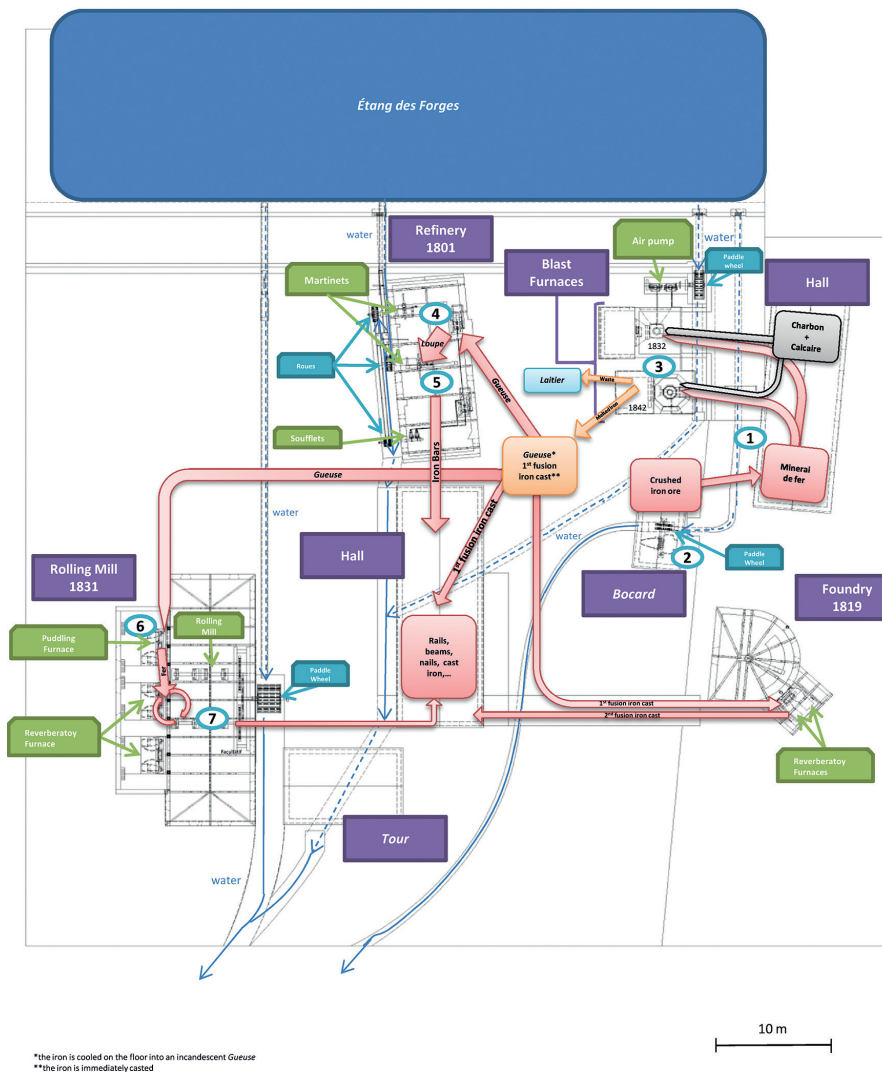


Fig. 12. Vue fonctionnelle du site industriel des forges de Paimpont.





Fig. 13. Vue de l'application standalone en mode pré-défini.

Le module "explorer" permet de se déplacer librement dans le modèle virtuel 3D en utilisant les flèches du clavier. Il a pour but de donner de l'interactivité comme dans "un jeu

vidéo". Le visiteur peut ainsi voir les forges sous des angles méconnus. Le moteur physique se charge également de détecter les collisions (fig. 14).

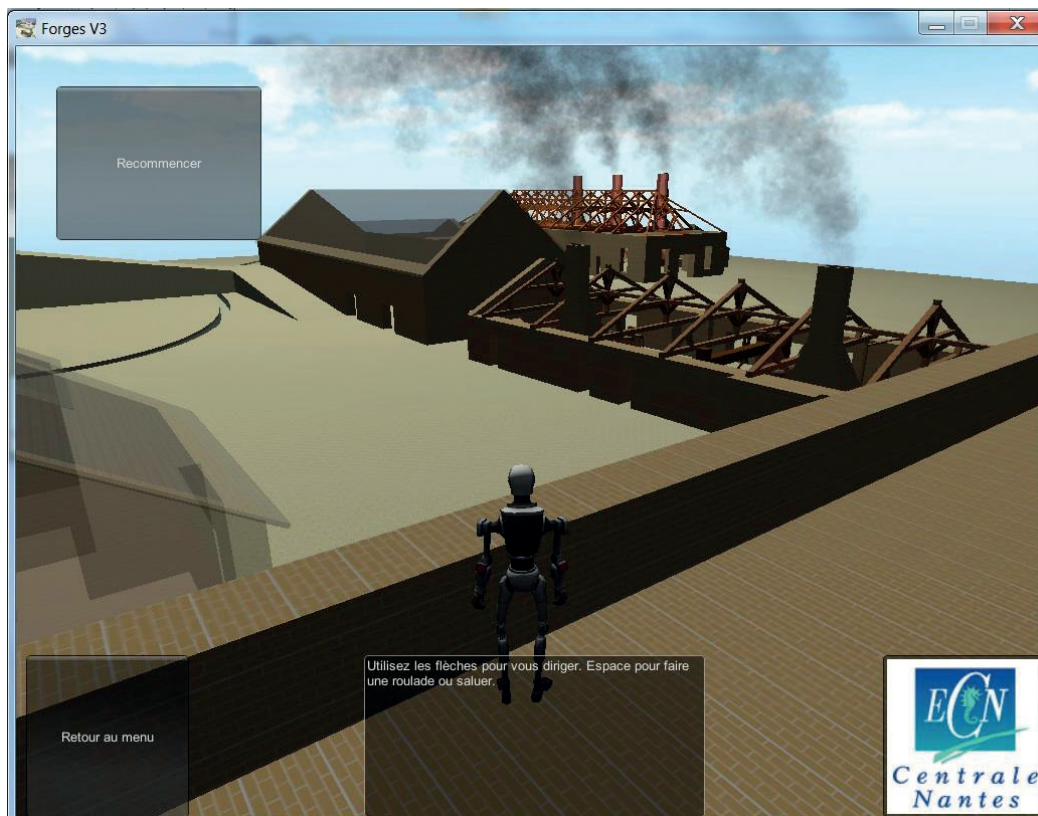


Fig. 14. Vue de l'application en mode interactif.

La portabilité du monde virtuel sous Unity 3D permet également une implémentation sur Smartphone et Tablette Android afin d'en réaliser une application en réalité augmentée. Pour ce faire, dans le module développé à titre expérimental en attendant une géolocalisation sur site. Il faut viser une image cible, le Smartphone analyse l'image et positionne virtuellement la maquette 3D par dessus : c'est le principe de la réalité qui est augmentée. Le motif complexe permet au logiciel de savoir très précisément où il se situe par rapport à l'image dans toutes les conditions d'éclairage. Le son s'adapte aussi en fonction de la position (exemple : si on s'approche des martinets, le volume de ces derniers augmente et vice-versa) (fig. 15).

#### Remerciements

M. de la Paumelière, propriétaire des forges  
 M. Cotte, expert patrimoine technique et industriel, conseiller à l'ICOMOS  
 M. Castagnet, maquettiste  
 Mmes Cherruault et Müller, médiatrices et guides du site patrimonial  
 Camille Marchand et Yrvann Emzivat, élève ingénieur École Centrale de Nantes  
 Romain Rouffet, élève ingénieur EIGSI La Rochelle

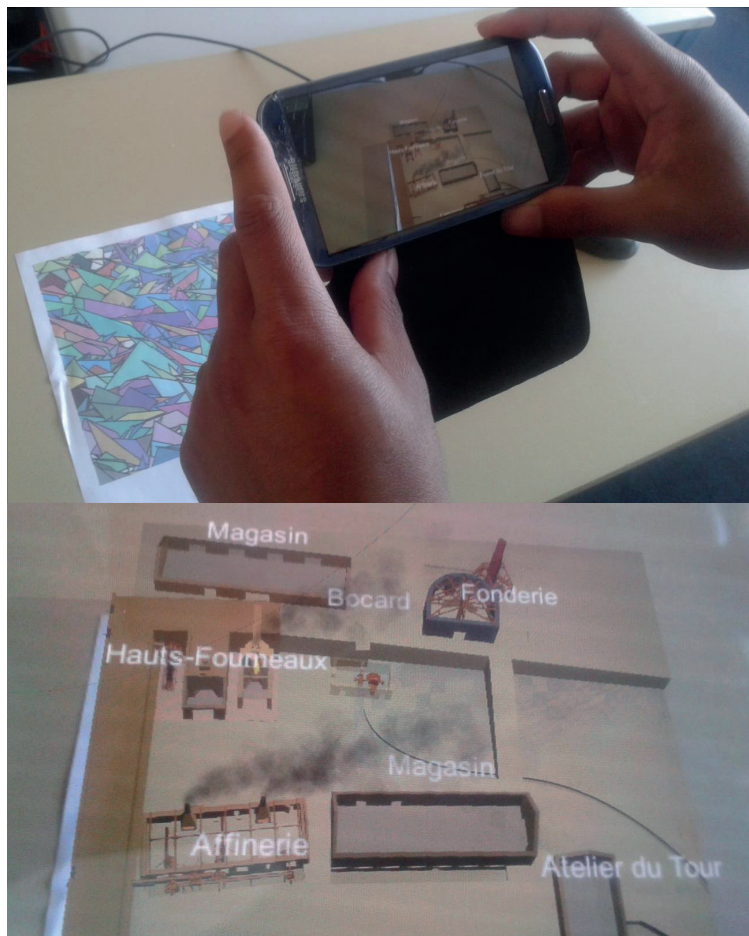


Fig. 15. Photos de l'application en réalité augmentée.

#### Bibliographie

- La fédération Carrefour de Trécéliens, *Les forges de Paimpont : Une activité industrielle du XVI<sup>e</sup> au XIX<sup>e</sup> siècle.*  
 Enquête vidéo, S.I.V.U., *Le Fer : Forges et Métallurgie en Brocéliande*, SIAM Productions.  
 Diderot & d'Alembert, *L'Encyclopédie : Forges, Bibliothèque des Arts, Sciences & Techniques*, 2004.
- Site historique des forges de Paimpont, disponible sur <http://forgesdepaimpont.fr/>, consulté en juillet 2013.  
 Wikipedia, Puddlage, disponible sur <http://fr.wikipedia.org/wiki/Puddlage>, consulté en août 2013.  
 DannyDoodayle, MakingyourfirstAugmentedRealityprojectwithUnity, available on [http://www.dannygoodayle.com/2013/03/\\_rst-project-with-unity-and-augmentedreality/](http://www.dannygoodayle.com/2013/03/_rst-project-with-unity-and-augmentedreality/), consulté en août 2013.