

La réalité augmentée aux Forges de Paimpont

Comment mettre en valeur le patrimoine historique et industriel des Forges ?

Cédric RAJAOFERA-RENARD

Septembre 2013



IPSI¹, École Centrale de Nantes, France
cedric.rajaofera-renard@centraliens-nantes.net

Je tiens à remercier M. de la PAUMELIÈRE, propriétaire des Forges pour son accueil et son aide précieuse ainsi que M. LAROCHE pour son accompagnement durant tout ce projet. Mes remerciements vont aussi à M. COTTE pour son expertise et ses corrections sur mon travail, ainsi qu'à M. CASTAGNET, maquettiste, pour toutes les explications qu'il nous a données. L'aide des guides du site, Mmes CHERRUAULT et MÜLLER, m'a aussi permis d'avancer dans ce projet.

Durant l'année scolaire passée, nous avons travaillé à la conception d'une maquette numériques des Forges de Paimpont avec Camille MARCHAND et Yrvann EMZIVAT. J'ai par la suite continué ce projet seul sous la direction de Florent LAROCHE. L'objectif n'était pas seulement de produire de belles images du site, mais de développer un modèle interactif. Aujourd'hui, il ne subsiste pas de matériel industriel sur place, et il est relativement difficile pour un visiteur de

1. Ingénierie des Produits et Systèmes Industriels

comprendre comment les Forges s'organisaient. Nous avons utilisé un logiciel de CAO² ainsi que des outils issus du monde du jeu vidéo. Il y a des maquettes sur place que nous avons numérisées et qui nous ont beaucoup aidées pour la suite de la modélisation. À terme, les visiteurs pourront interagir avec une dalle tactile pour visiter les Forges ou même tester la réalité augmentée avec des tablettes. Tout ce processus se nomme Archéologie Industrielle Avancée car il nécessite l'usage des nouvelles technologies pour comprendre les anciens procédés industriels.

Archéologie Industrielle Avancée, Réalité augmentée, Modélisation 3D, Scan 3D, Ingénierie à rebours, Patrimoine Industriel, Histoire et Techniques, Forges, Paimpont

Table des matières

1	CONTEXTE	2
2	LES FORGES DE PAIMPONT	2
2.1	Histoire résumée	2
2.2	Objectifs	3
2.3	Résultats	3
2.3.1	Le Bocard	3
2.3.2	Les Hauts-Fourneaux	3
2.3.3	L’Affinerie	4
2.3.4	Le Laminoir	4
2.3.5	La Fonderie	4
2.3.6	Vue d’ensemble	4
3	L’APPLICATION : FORGES V3	8
3.1	Le module <i>Visite virtuelle des Forges</i>	8
3.2	Réalité Augmentée	8
3.3	Explorer les Forges	8

1 CONTEXTE

L'idée est d'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.

Une fois que le modèle ou maquette numérique est construit, il est possible de l'utiliser à des fins pédagogiques : on peut analyser comment le site s'organisait, l'observer sous toutes ses coutures ou encore l'animer. Il faut que la maquette soit fonctionnelle, c'est-à-dire qu'elle permette de comprendre, et ainsi, de beaux graphiques ne sont absolument pas l'objectif. Une fois que la modélisation est terminée, il reste encore tout le travail qui consiste à exploiter, mettre en valeur le résultat obtenu. Comme une image fixe ne suffit pas, nous avons créé des animations ainsi qu'une application qui permet de visiter les Forges sur Smartphone, Tablette³ ou PC.

Il y a aussi un substantiel travail de recherche avant de commencer à modéliser pour comprendre comment le site fonctionne, et ce afin de produire un modèle cohérent et qui reflète les procédés industriels utilisés.

2 LES FORGES DE PAIMPONT

2.1 Histoire résumée

Les Forges de Paimpont ont été fondées en 1645 dans la forêt de Brocéliande. Si la production initiale était de petite échelle, les Forges ont grandi au cours des années jusqu'à leur apogée en 1850. À cette époque, les Forges approvisionnaient les arsenaux de Brest et Lorient. Elles ont également été sollicitées pour la reconstruction de Rennes après l'incendie de 1720 et la guerre d'indépendance des États-Unis d'Amérique. Elles étaient le principal employeur de la région et l'essentiel des ventes se faisant dans un rayon de 50 km. Malheureusement, la concurrence de la machine à vapeur alliée au relatif isolement des Forges conduisit à leur fermeture en 1880.

Les Forges avaient accès aux trois éléments vitaux :

2. Conception Assistée par Ordinateur
3. Android seulement

- l'eau était nécessaire pour entraîner la puissante machinerie qui équipait les Forges : la pompe à air des Hauts-Fourneaux, le Laminoir, le Bocard ou encore les Martinets de l'Affinerie.
- le bois des alentours servait à produire du charbon de bois qui alimentait ensuite les fours à réverbère et les Hauts-Fourneaux.
- le minerai de fer était aussi un composant essentiel, et le sol autour des Forges en est assez riche.

Le fer produit aux Forges était assez renommé puisqu'on a retrouvé des textes assurant qu'il rivalisait avec les meilleurs fers de Suède et d'Espagne.

2.2 Objectifs

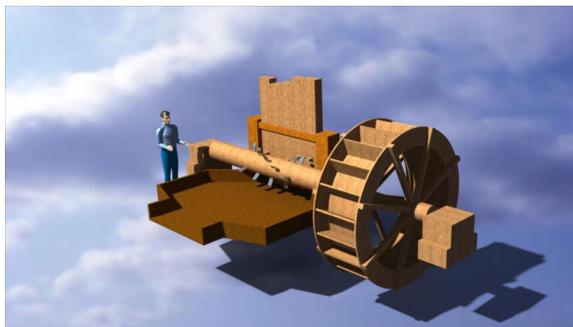
L'idée était de créer un modèle animé des Forges afin d'aider les visiteurs à comprendre l'ensemble des Forges.

Nous avons scanné la maquette des Hauts-Fourneaux et nous l'avons importée dans le logiciel de CAO *Catia V5 R21*. Nous nous sommes aussi aidés des plans qui datent de 1820 et décrivent le projet d'extension des Forges. Ils sont à présent stockés aux archives nationales. Enfin, nous avons visité le site et nous en avons profité pour prendre de nombreuses photos et mesures.

2.3 Résultats

Tous les mécanismes ci-dessous peuvent être animés.

2.3.1 Le Bocard



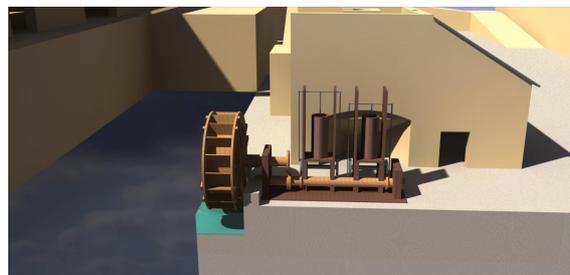
Le Bocard servait à réduire le minerai en poudre avant de le placer dans les Hauts-Fourneaux. La roue est entraînée par la force

de l'eau, les sabots soulèvent alors les pignons qui retombent ensuite sous l'effet de la gravité.

2.3.2 Les Hauts-Fourneaux



Ils sont chargés par le haut en minerai concassé, castine et charbon de bois. Ils fonctionnaient en continu. La température qui y régnait était telle qu'ils fonctionnaient en alternance afin de permettre une maintenance sans faille. Plusieurs fois par jour, un petit trou était fait dans le mur de brique pour laisser la fonte en fusion s'écouler dans une trace préalablement faite dans le sable. Elle se solidifiait alors en gueuse qui pouvait peser plusieurs centaines de kilogrammes.

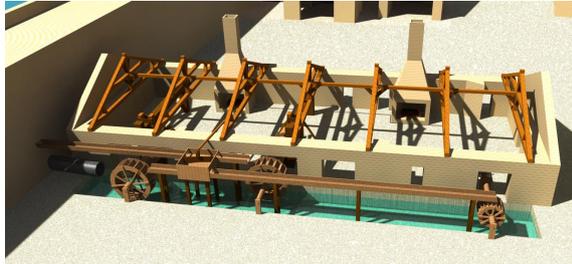


Comme il n'y avait pas assez de place entre les Hauts-Fourneaux et la digue, une pompe à air a remplacé les soufflets usuels.

2.3.3 L'Affinerie



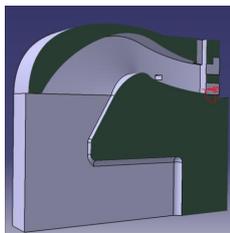
L’Affinerie sert à transformer la fonte issue des Hauts-Fourneaux en fer. Pour cela, la fonte est fondue dans des fours en présence d’un fort flux d’air afin de la décarburer. On obtient ensuite de la loupe de fer poreuse que l’on peut compacter sous les marteaux nommés Marti-nets.



2.3.4 Le Laminoir



Le Laminoir est utilisé pour produire 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 : tout comme un four à réverbère le feu n’est pas en contact avec le métal, mais le charbon de bois est remplacé par du coke⁴ et des composants chimiques sont placés dans le laboratoire. Le fer est ensuite réchauffé dans des fours à réverbère et passe ensuite entre les rouleaux du Laminoir.



Tant dans les fours à Puddler que dans les fours à réverbère, le feu est en en contrebas du métal et c’est la réverbération qui chauffe le métal.

4. Aussi appelé coke

2.3.5 La Fonderie



La Fonderie sert à refondre la fonte issue des Hauts-Fourneaux dans des fours à réverbère afin d’obtenir de la fonte plus homogène. Celle-ci est ensuite moulée.

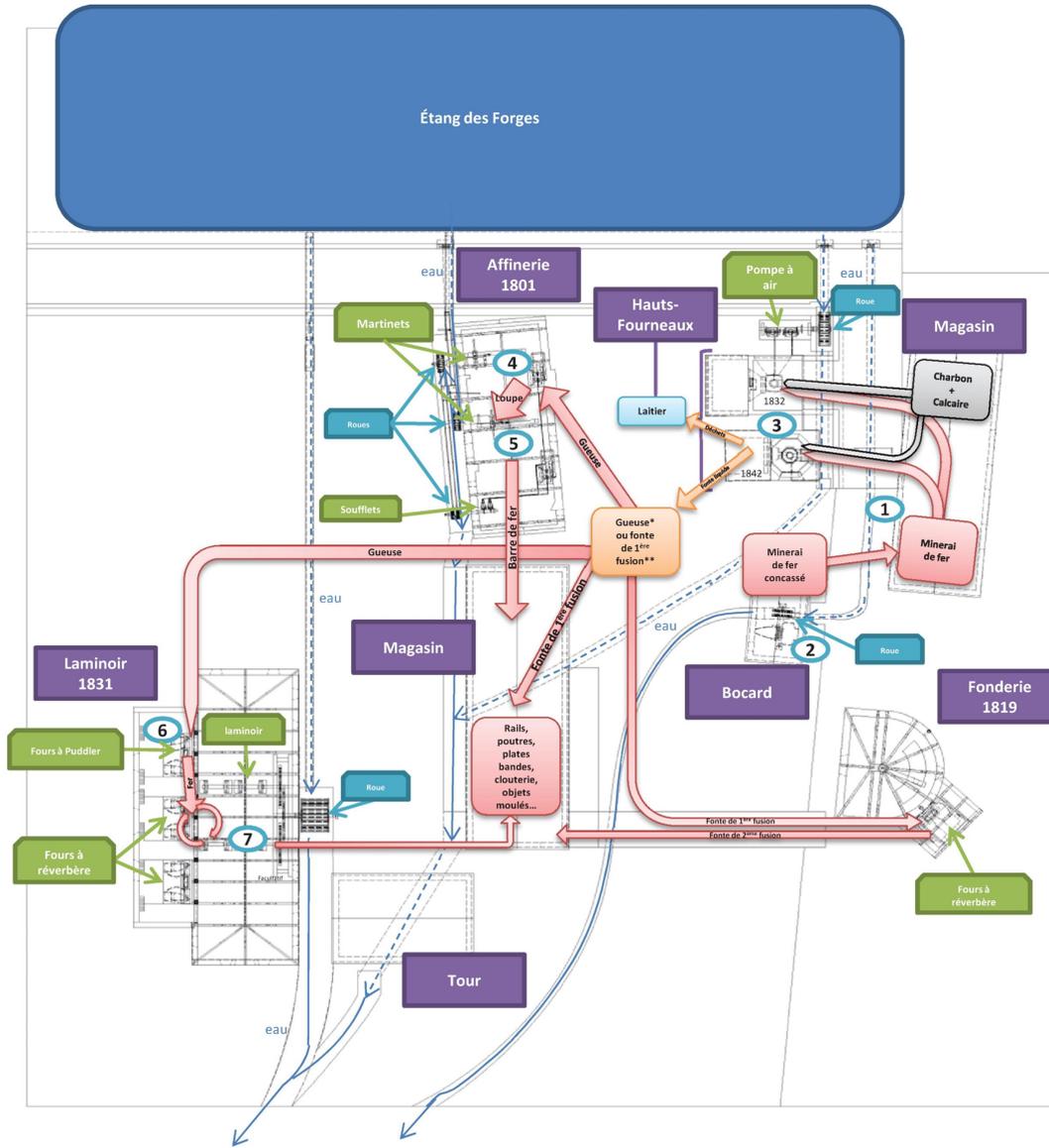
2.3.6 Vue d’ensemble



Voici un aperçu de l’ensemble des Forges. La Laminoir est le grand bâtiment au premier plan avec sa charpente de bois. L’Affinerie est le bâtiment sur la gauche aussi dépourvu de toit. 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 étaient utilisés pour le stockage. Quant à la petite construction à côté du Laminoir, il s’agit de l’atelier du Tour.

Les pages suivantes détaillent l’ensemble du complexe industriel avec tous les flux.

Les Forges de Paimpont

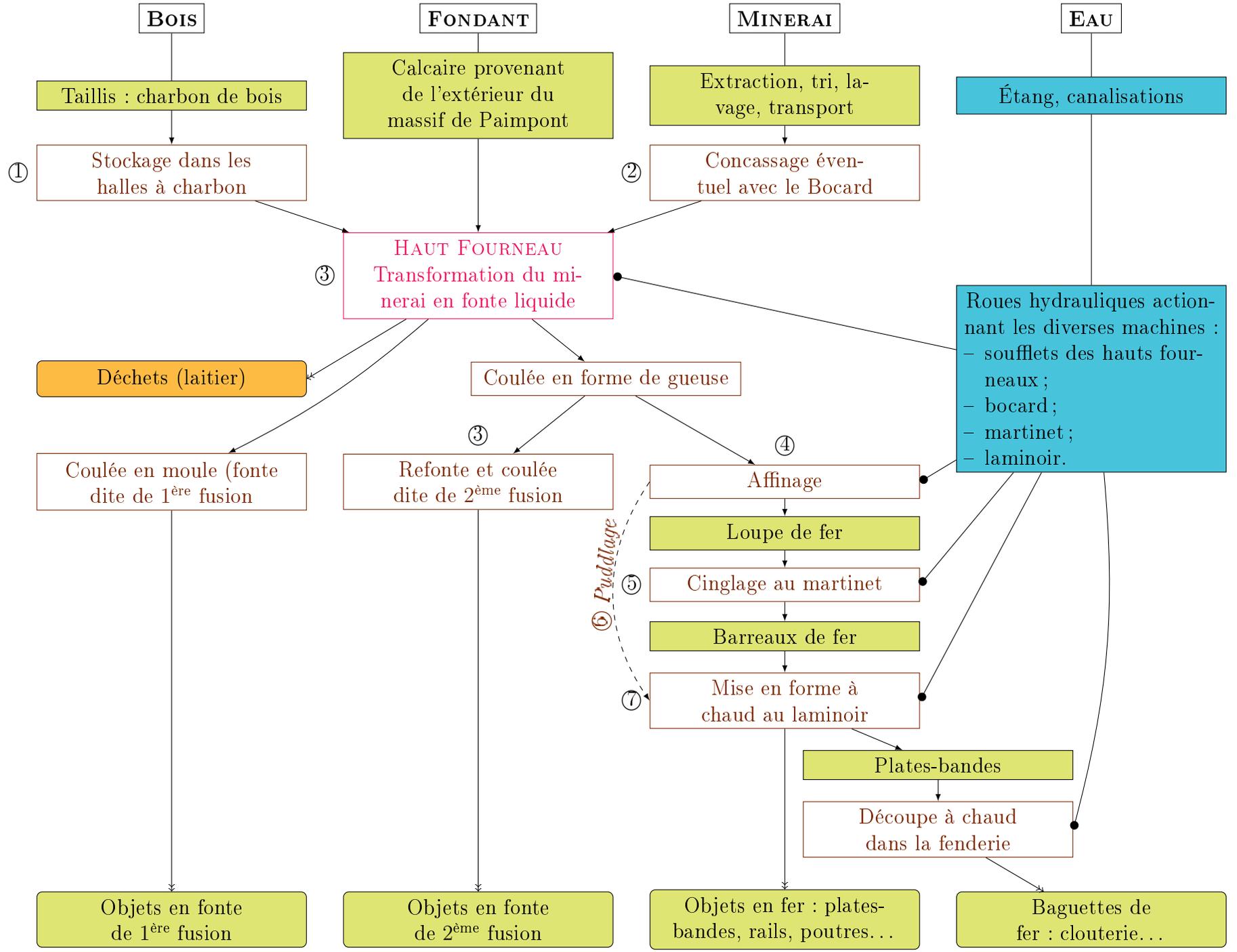


*la fonte est solidifiée en gueuse incandescente à même le sol
 ** la fonte est moulée directement

10 m

MATIÈRES PREMIÈRES

USINE À FER

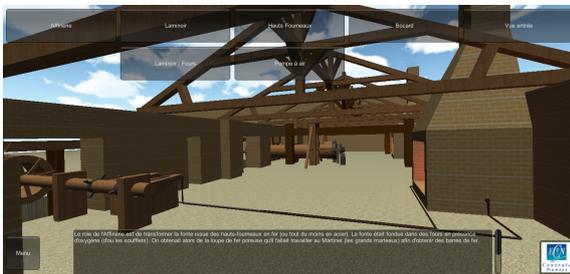


3 L'APPLICATION : FORGES V3

Nous avons réussi à importer le modèle dans le moteur de jeu *Unity 3D V4* afin d'apporter plus d'interactivité.

3.1 Le module *Visite virtuelle des Forges*

Il est à présent possible de naviguer entre les différents bâtiments avec de la fumée animée, les outillages en fonctionnement et des explications. Il est aussi possible de tourner la caméra.



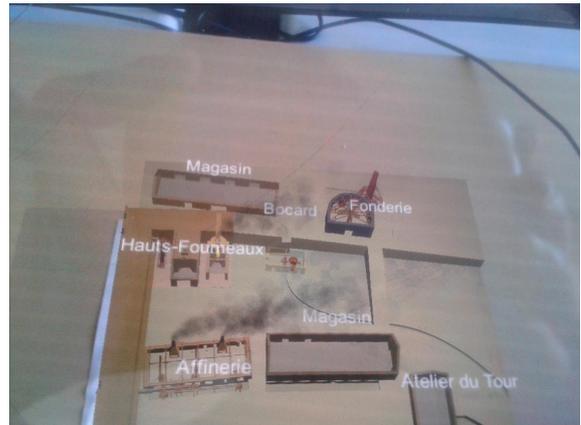
3.2 Réalité Augmentée

Nous avons réussi à implémenter la réalité augmentée à notre modèle qui peut être utilisée sur Smartphone et Tablette Android. Il suffit de viser une image cible, et les Forges animées apparaissent sur l'écran.



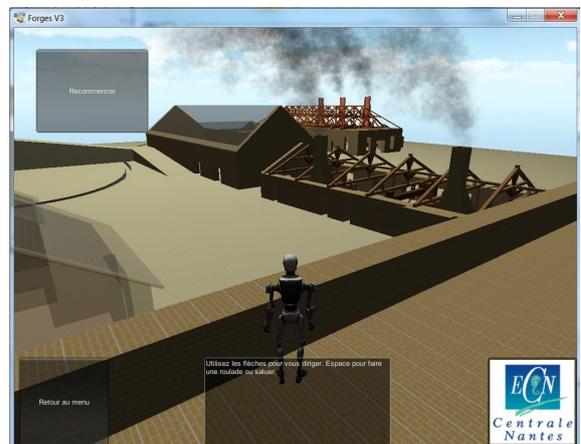
Le Smartphone analyse l'image et place la maquette par dessus. Le motif complexe permet au logiciel de savoir très précisément où il se situe par rapport à l'image dans toutes les conditions d'éclairage. Le résultat est un mélange de la réalité et du monde virtuel qui fonctionne plutôt bien. Le son s'adapte aussi en fonction

de la position : si vous vous approchez des Martinets, la volume de ces derniers augmente et *vice-versa*.



3.3 Explorer les Forges

Il permet de se déplacer librement dans les Forges en utilisant les flèches du clavier. Il a pour but de donner de l'interactivité comme dans un jeu vidéo. La visiteur peut ainsi voir les Forges sous toutes leurs coutures. Vous pouvez ainsi déplacer un robot, le faire sauter ou faire un salut du bras. Le moteur physique se charge de détecter les collisions.



Conclusion

Ce projet m'a aussi permis de me familiariser avec des aspects de l'industrie que j'avais pu mettre de côté par le passé : une installation industrielle a un impact sur la société qui l'entoure. Il s'agit de comprendre les interactions entre les différentes parties prenantes pour voir dans quel contexte l'histoire s'est déroulée. Pour moi, il est essentiel d'aborder ces différents sujets et ne pas se contenter de modéliser sans chercher à comprendre comment,

pourquoi, et dans quel contexte les Forges ont été construites.

Un autre aspect qui m'a attiré dans ce projet et le fait d'utiliser des nouvelles technologies pour mettre en valeurs des savoir-faire du passé. Répondre à cette problématique nécessite un réel travail de synthèse entre les différentes facettes des Forges, il faut en effet combiner plusieurs disciplines complémentaires : histoire, technique, géographie, hydrographie...

Je suis resté en contact régulier à M. de la PAUMELIÈRE afin de m'assurer que le travail que je faisais était conforme à ses attentes. Il est déterminé à faire la promotion du site historique des Forges, et j'espère sincèrement que ce projet que j'ai mené sous la direction de M. Florent LAROCHE pourra y contribuer.

Pour plus d'information à propos de ce projet, n'hésitez pas à contacter mon tuteur LAROCHE⁵, ou moi-même.

Références :

- La fédération Carrefour de Trécéliens, *Les Forges de Paimpont : Une activité industrielle du XVII^{ème} au XIX^{ème} siècle*.
- 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.
- Danny DOODAYLE, *Making your first Augmented Reality project with Unity*, available on <http://www.dannygoodayle.com/2013/your-first-project-with-unity-and-augmented-reality/>, consulté en août 2013.

5. florent.laroche@ec-nantes.fr