

Refuge 44 – Imagerie 3D et Réalité Virtuelle de la Carrière Saingt de Fleury-sur-Orne

■ Quentin THORLET

Lors du Débarquement Allié en Normandie au matin du 6 juin 1944, la ville de Caen et ses alentours furent intensément bombardés. Les habitants ont alors fui les combats et certains ont naturellement trouvé refuge dans une carrière souterraine : la carrière Saingt de Fleury-sur-Orne. Durant les huit semaines qui suivirent, jusqu'à mille personnes se sont abritées et ont vécu dans cet endroit. À la fin des combats en juillet 1944, les civils quittèrent la carrière en laissant les lieux en état et de nombreux objets au sol. Retombé peu à peu dans l'oubli, le site a ensuite été préservé de toute dégradation. À la suite de sa redécouverte en 2014, une opération archéologique a été mise en œuvre par l'INRAP (Institut national de recherches archéologiques préventives) de Normandie afin de mettre en avant l'impact des conflits mondiaux sur les populations civiles, les conditions de vie des réfugiés et sans-abris suite aux destructions massives. Adossé à cette mission du Refuge 44, cet article présente l'outil de médiation culturelle qui a été mis en place. Il s'articule autour de deux parties :

- **Réalité virtuelle.** Une visite en réalité virtuelle immersive permet de découvrir les lieux et l'histoire des civils qui s'y sont réfugiés. Il est possible d'interagir avec l'environnement virtuel pour accéder à des interprétations archéologiques des vestiges. Elles sont composées de textes et d'images. Divers éléments virtuels sont intégrés à la visite pour enrichir l'immersion d'outils pratiques, proposer une expérience VR complète.
- **Imagerie 3D.** Des secteurs de la carrière sont présentés par le biais de modèles 3D observables sur smartphone. Déposés sur des plateformes en ligne, ils sont visualisables de façon "classique" sur écran, ou en réalité augmentée. Des vidéos viennent apporter en parallèle un point de vue différent et complémentaire sur ces secteurs. Le tout est appelé via des QR-codes.

NDLR : Cet article a été soumis dans le cadre du prix de l'AFT 2019.

Introduction

Depuis 2014, les recherches historiques concernant l'impact de la Seconde Guerre Mondiale (1939-1945) sur les populations civiles sont mises en avant. Sur plus de 60 millions de morts, 35 millions sont des civils. Le nombre de réfugiés et de sans-abris qui a découlé suite aux conflits est également très élevé. Le projet du Refuge 44 s'inscrit dans cette volonté de mettre en avant cet aspect trop souvent oublié du second conflit mondial.

■ Contexte historique de la carrière-refuge Saingt

Durant la période du Débarquement Allié en Normandie en juin 1944, la violence et le caractère décisif des combats livrés dans cette région sont responsables de la mort de 14 000 civils. Plus de 100 000 personnes sont contraintes de se réfugier dans les granges, les étables, les caves et les carrières ; tandis que plus de 150 000 autres connaissent l'exode. Cette hécatombe est due en partie à la

■ MOTS-CLÉS

Réalité virtuelle immersive, réalité augmentée, unreal engine 4, refuge 44, carrière souterraine, médiation culturelle



Figure 1. Localisation de Fleury-sur-Orne par rapport aux plages du Débarquement. [Google Images, 2019].

stratégie du *Bomber Stream* mise en place par les forces alliées, [Dujardin et Marcigny, 2019]. C'est dans ce contexte de bombardements intensifs que la carrière Saingt a accueilli des réfugiés.

Située sur la commune de Fleury-sur-Orne, à quelques kilomètres au sud de Caen (Figure 1), cette carrière souterraine d'environ 2 hectares a été creusée au milieu du XIX^e siècle afin d'en extraire de la pierre à bâtir : la pierre de Caen. Vers 1860, une brasserie est construite au-dessus du site, avant d'être reprise en 1918 par M. Saingt. La carrière hérite alors du nom de ce nouveau propriétaire, qui s'en sert en tant qu'entrepôt pour les stocks de bière de l'usine.

Dès le 5 juin 1944, M. Saingt et les autres propriétaires de la carrière sont prévenus par la résistance et la BBC de l'arrivée des Alliés, de l'imminence du Débarquement. Au début des combats, ils ouvrent les portes des souterrains aux civils fuyant les bombardements qui pilonnent sans relâche les villes. Durant les jours qui suivent, près de mille personnes s'installent dans la carrière, pour survivre sous terre dans des conditions rudimentaires (Figure 2). Les civils ont réussi à apporter avec eux

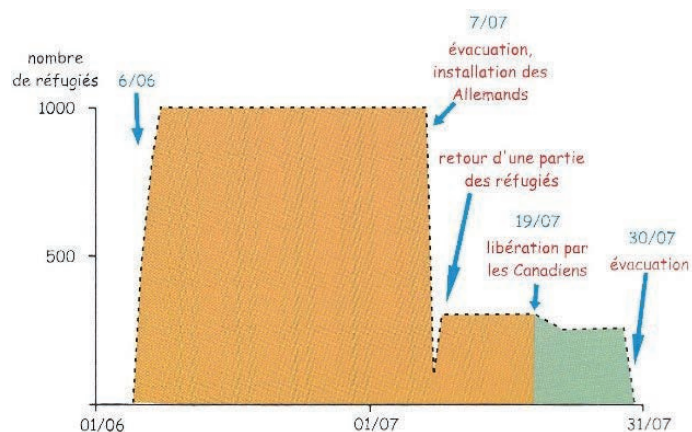


Figure 2. Synthèse de l'occupation de la carrière lors des mois de juin/juillet 1944. [Dujardin et Marcigny, 2019].

quelques affaires, mais pas de quoi se nourrir durant les huit semaines pendant lesquelles les lieux seront occupés. M. Saingt et son frère mettent alors en place une chaîne de ravitaillement pour procurer de la nourriture aux réfugiés. Les ressources de la brasserie sont de plus mises à disposition, notamment la bière.

Reculant vers le sud, des soldats allemands s'installent également dans la carrière début juillet, provoquant l'évacuation des réfugiés présents sur place. Quelques centaines reviennent par la suite, avant d'être découverts par des soldats canadiens le 19 juillet 1944. Lorsqu'ils quittent les souterrains, les réfugiés laissent derrière eux les lieux en état. Les sols sont jonchés de vestiges et présentent les traces des aménagements de fortune faits par la population.

À la fin de la guerre, l'acte de solidarité des frères Saingt n'est pas reconnu par l'État français. Ils décident alors, pour des raisons techniques, d'abandonner l'utilisation des parties souterraines pour installer toute l'usine en surface. À cause de leur déception, ils interdisent également tout accès aux souterrains. Seuls les membres de leur famille peuvent se rendre sur place une fois par an. Le site retombe alors peu à peu dans l'oubli, permettant de le préserver de toute dégradation.

La redécouverte de cette carrière en 2014 par les archéologues de l'INRAP a offert l'opportunité de mettre en place une opération archéologique d'un nouveau genre, puisque permettant de proposer une "archéologie du refuge" confrontée à des sources écrites et orales. Aujourd'hui en excellent état de préservation, le site de la carrière

Saingt offre un champ d'investigations relativement étendu pour l'étude de l'occupation des lieux durant les conflits, mais aussi pour l'étude des comportements sociaux en milieu confiné.

■ Travaux antérieurs

Un partenariat entre l'INRAP et l'INSA de Strasbourg a été établi en 2015 lors de la mise en place du protocole d'étude et des premières acquisitions de la galerie souterraine. Les archéologues ont fait appel au laboratoire imagerie ICube UMR 7357 pour procéder à des acquisitions tridimensionnelles sans contact et non destructives de la carrière Saingt (par photogrammétrie et lasergrammétrie), traiter les données et produire divers rendus numériques. Ces opérations se sont poursuivies jusqu'en 2018 au travers de deux Projets de Recherches Technologiques et deux PFE (Projet de Fin d'Études), réalisés respectivement par Romain Rouquette en 2015, Arnaud Breitwieser en 2016, Matthieu Verstaen en 2017 et 2018 (Figure 3).

Au total, 95 stations de scanner laser ont été réalisées pour numériser une grande partie de la carrière. L'ensemble du site n'a pas été digitalisé, les acquisitions se concentrant sur les zones où les réfugiés se trouvaient. Le nuage de points complet résultant, en partie colorisé et échantillonné à 1 pt/cm, est constitué de 278 millions de points. Trente zones avec un important intérêt archéologique ont été relevées par photogrammétrie. Près de 7 300 photos ont été utilisées lors des différents traitements. Le tout a été complété par des relevés topographiques et la mise en place d'un réseau de points connus en coordonnées. Toutes ces acquisitions, en temps cumulé, ont nécessité trois semaines d'interventions.

Ce projet étant la suite directe de ces années de travail, il disposait de ce fait d'une base de données conséquente pour la bonne réalisation des objectifs fixés (plans, nuages de points, modèles 3D maillés et texturés, informations sur les objets archéologiques de la carrière, etc.). Le modèle numérique de la carrière créé par [Verstaen, 2018], explorable en réalité virtuelle, a pour sa part servi de base de travail.

■ Objectifs du projet

L'ensemble du projet Refuge 44 s'inscrit dans le cadre d'un vaste programme de recherche classé en Recherche & Développement par la Direction Scientifique et Technique de l'INRAP. Le but de ce projet est de concevoir un outil de médiation culturelle et scientifique qui soit adossé à cette mission archéologique de la carrière-refuge Saingt

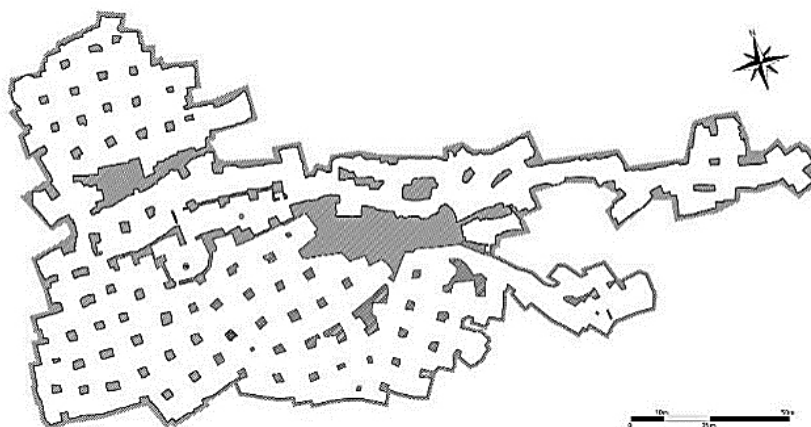


Figure 3. Plan de la carrière Saingt, réalisé grâce aux diverses acquisitions réalisées au cours des dernières années. [Verstaen, 2018].

de Fleury-sur-Orne. Cet outil s'articule autour de deux parties distinctes :

- **Réalité virtuelle.** Une visite en réalité virtuelle immersive est à créer pour faire découvrir la carrière au grand public, partager l'histoire des lieux. Deux scénarios sont à intégrer, à savoir un scénario simple (découverte du site) et un scénario plus complexe (associant une interactivité des visiteurs à une interprétation archéologique des vestiges).

- **Imagerie 3D.** Des lieux de la carrière sont à présenter par le biais de modèles 3D observables sur smartphone. Ces modèles, déposés sur des plateformes en ligne, doivent être visualisables de façon "classique" sur écran, ou bien en réalité augmentée. Des vidéos sont à réaliser en parallèle pour apporter un point de vue différent et complémentaire sur ces secteurs. Le tout doit être appelé via des QR Codes disposés sur un des panneaux de présentation du site.

Étude Bibliographique

■ La réalité virtuelle

Dans le dictionnaire en ligne de [Oxford, 2019], la réalité virtuelle (communément citée par VR pour *Virtual Reality* en anglais) est définie comme étant "une simulation générée, en temps réel, par ordinateur d'une image ou d'un environnement tridimensionnel avec laquelle une personne, à l'aide d'un équipement électronique spécial, peut interagir de manière réelle ou physique".

Un système VR doit ainsi être interactif, multisensoriel, synthétique, mais surtout immersif. Les équipements qui sont aujourd'hui les plus utilisés en réalité virtuelle sont les visiocasques, communément appelés casques VR. De différents types, ces dispositifs couvrent d'écrans le champ de vision de l'utilisateur pour lui permettre de visualiser directement l'environnement virtuel (Figure 4). Il est ainsi isolé de son cadre réel.

De par son aspect matériel pointu et son développement technique aux possibilités infinies, la VR permet de représenter un environnement virtuel dans lequel il est possible de s'immerger et d'interagir avec. Elle trouve ainsi son application



Figure 4. Quelques modèles de différents types de visiocasques. [Google Images, 2019].

dans de nombreux domaines, notamment pour la préservation du patrimoine. Il est donc cohérent de l'avoir utilisée au cours de ce projet, permettant d'explorer un site dont l'accès est aujourd'hui fermé.

Il est ici important de noter que le mot préservation est à prendre au sens "conservation dans le temps par le biais d'outils technologiques", qu'il ne s'agit pas de la préservation des lieux en eux-mêmes. Les modèles 3D sont en effet le moyen de constituer des bases de données fiables, conséquentes et pérennes sur des sites historiques ; puis de partager les connaissances reliées en proposant de nouveaux dispositifs ludiques et interactifs.

■ La réalité augmentée

La réalité augmentée désigne le fait de superposer des éléments virtuels au réel par le biais d'un écran, qu'il s'agisse de celui d'un smartphone, d'une tablette numérique ou bien de verres de lunettes. Reposant sur un environnement 3D, l'objectif est d'enrichir en temps réel la perception de celui-ci par des ajouts visuels, sonores ou haptiques. Les cinq sens peuvent ainsi être affectés par l'augmentation de la réalité, sachant que le plus sollicité est la vue. L'utilisateur pouvant être présent dans un environnement réel ou simple-

ment le percevoir à distance, la réalité augmentée s'appuie sur de nombreux aspects techniques pour permettre l'interaction avec les éléments fictifs. Il s'agit du traitement du signal, de la vision artificielle, de la synthèse d'images, des interfaces entre l'homme et une application, des technologies mobiles, etc. L'interaction est quant à elle rendue possible par un device. Servant d'unité de calcul, ce dispositif permet de positionner et suivre en temps réel les éléments numériques ajoutés. Il s'agit de la plupart du temps de lunettes (Figure 5).

La réalité augmentée trouve son application dans les mêmes domaines que la réalité virtuelle. Il est donc important de bien les distinguer, de ne pas les confondre.

Mise en place d'une visite en réalité virtuelle immersive

La partie "réalité virtuelle" représente l'aspect le plus important de l'outil de médiation culturelle. Ce chapitre vise à présenter ce qui a été développé et mis en place pour proposer à des visiteurs une visite immersive complète, instructive et interactive de la carrière.

Pour réaliser tous ces travaux, le logiciel Unreal Engine 4 a été utilisé. Développé par la société Epic Games, UE4 est un

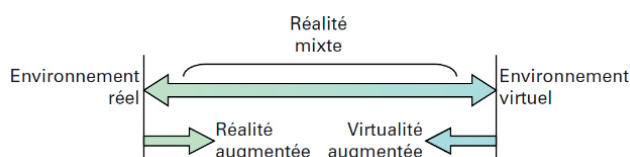


Figure 5. Continuum de Milgram illustrant la différence entre réalité augmentée et réalité virtuelle. [Mallem et Roussel, 2018].



moteur de jeu utilisé par de grands studios de jeux AAA afin de concevoir des produits vidéoludiques. Il est reconnu pour sa production de rendu réalistes, et il permet aisément la création de contenu en VR.

■ Éléments fondamentaux de la maquette VR : modification

Avant de commencer à développer les éléments à intégrer dans la visite, des aspects initiaux de la première maquette VR ont dans un premier temps été repris. Il est ici question des modifications d'éléments primordiaux au projet, puisque impactant directement l'environnement global et les modèles 3D. Pour commencer, le *landscape* (terrain sur lequel un avatar virtuel peut marcher) a été modelé aux formes des maillages (Figure 6). Il s'agissait initialement d'un plan, avec sa propre texture, qui passait au-dessus ou en dessous du sol numérisé. Il y avait ainsi une sensation de "s'enfoncer" dans le sol, ou bien de s'élever par rapport à celui-ci. Ce terrain numérique a donc été modifié pour qu'il soit désormais possible d'avoir l'impression de marcher sur le vrai sol de la carrière.

À la suite de cela, des volumes bloquants (géométries invisibles qui ne peuvent être traversées) ont été insérés dans la maquette, autour des murs (il était au préalable possible de les traverser). Ces éléments ont été intégrés à la visite afin de reproduire un environnement réaliste, et ont aussi servi à restreindre l'accès à certaines zones. La carrière étant très vaste, elle ne peut en effet être entièrement visitée durant une immersion.

Au total, 105 volumes bloquants ont été positionnés dans la carrière. Il est désormais possible lors d'une immersion d'avoir la sensation de se heurter à de vrais murs, de ne plus les franchir. Des blocking volumes ont également été mis en place pour symboliser les plafonds dans certaines zones où, in situ, il est nécessaire de se baisser.

La dernière opération a été d'appliquer une couleur unie aux maillages. Toutes ces modifications ici décrites sont fondamentales pour la maquette numérique. En effet, si elles ne sont pas correctement réalisées, elles peuvent être un



Figure 6. Modification du landscape.

frein à la sensation d'immersion et les autres éléments de la visite en réalité virtuelle ne seront pas abordés dans des conditions optimales.

■ Développement du cadre de la visite

À la suite de ces travaux, des outils ont dans un deuxième temps été mis en place, afin d'immerger au mieux les visiteurs dans la carrière. Il s'agit d'éléments qui sont perceptibles de façon directe ou indirecte, sans que cela ne constitue pour autant le "cœur" de la visite VR.

Tout d'abord, il a été travaillé sur l'environnement global de la carrière, son "ambiance" au cours de l'immersion. En effet, la carrière est une galerie souterraine plongée dans l'obscurité la plus totale. Il n'y a pas de lien direct avec la surface, et l'éclairage sur place se fait principalement par le biais de lampes frontales. Pour reproduire ceci au cours de l'immersion, tout l'éclairage numérique d'UE4 a été mis avec une valeur d'intensité égale à zéro. Une source lumineuse directionnelle a de plus été positionnée au-dessus de la caméra qui représente un visiteur au cours de la visite.

Cette caméra se déplace et s'oriente en même temps que la tête de l'utilisateur du dispositif VR, symbolisant une lampe frontale. Il y a ainsi la possibilité de se déplacer dans le noir, avec une reproduction d'une lampe frontale. Afin que cet environnement totalement obscur ne soit toutefois pas déroutant pour des personnes qui n'y sont pas habituées,

des sources lumineuses ponctuelles de faible intensité ont été positionnées à des endroits stratégiques.

De la même façon que l'éclairage, pour proposer une reproduction numérique qui soit la plus fidèle possible à la véritable carrière, des échantillons audio ont été intégrés à la visite. Cela s'est fait par codage en Blueprint (nom du langage de programmation visuel d'UE4), en utilisant des enregistrements faits directement dans la carrière. Durant une visite VR, il est alors possible d'entendre le bruit de gouttes d'eau tombant du plafond dans des flaques d'eau. Ces échantillons sont modulés et répétés en boucle de telle façon à ce que le motif de répétition ne soit pas facilement discernable à l'oreille.

Dans une même optique de fidélité, la durée d'une visite en VR a été limitée. En effet, la carrière n'étant pas en contact direct avec la surface, le volume d'oxygène présent y est restreint. Le taux de CO₂ conditionne de ce fait le temps de présence sur site. De plus, l'outil de médiation culturelle devant être accessible au plus grand nombre, il ne peut être donné la possibilité à un visiteur de rester indéfiniment en VR dans la carrière.

Cette limitation de temps s'est faite par la mise en place, par Blueprint, d'un *timer*. Le temps maximal d'une immersion est fixé à 7 min 30 s. Cela permet aux visiteurs de se familiariser avec le système de réalité virtuelle, tout en découvrant les principaux éléments de la carrière.

Afin que les personnes immergées



Figure 7. Représentation du *timer* sous forme d'un masque à gaz. Les trois images illustrent les principales étapes de remplissage de ce masque. De gauche à droite : vide, à moitié rempli, plein.

dans la carrière aient une estimation de leur temps de présence en réalité virtuelle, du temps de visite restant, un affichage a été associé au compte-à-rebours. Cela se présente sous la forme d'un masque à gaz représentant le taux de CO₂. Affiché en permanence dans le champ de vision périphérique, ce masque se remplit au fur et à mesure de l'avancée du timer (Figure 7). Une inscription dynamique indique également, en temps réel, le pourcentage de CO₂. Lorsque ce pourcentage est à 100 %, que le masque est rempli et que les 7 min et 30 s sont écoulées, l'immersion s'arrête automatiquement.

Le dernier élément qui a été ajouté pour constituer le "cadre" de la visite est une *minimap*. Cela s'est fait par codage. Basée sur un plan topographique, cette carte miniature représente de façon simplifiée l'environnement de la carrière et permet aux visiteurs de s'orienter. Un pointeur indique en temps réel la position et l'orientation de la caméra sur le site, sachant que sur cette carte sont repérés les emplacements des principaux vestiges archéologiques. Un code couleur indique quant à lui quelles sont les zones accessibles ou non (Figure 8).

Cette mini-carte, à l'instar du masque à gaz, est affichée en permanence dans le champ de vision périphérique. Les informations sont ainsi facilement accessibles, sans pour autant que cela ne vienne "empiéter" sur les éléments numériques de la carrière, sur les secteurs acquis par photogrammétrie.

En plus de cette *minimap*, des flèches directionnelles et des sens interdits ont été intégrés à l'environnement virtuel. Ils garantissent aux visiteurs un accès facile et sans encombre aux zones d'intérêt.



Figure 8. *Minimap* avec en son centre le pointeur indiquant en temps réel la position et l'orientation de l'utilisateur du dispositif VR dans la carrière.



Construit en fer, ce récipient pouvait être utilisé à diverses fonctions : stockage, bricolage, acheminement, cuisine... Il a aujourd'hui perdu son placage métallique qui permettait un contact sain avec des aliments.



Figure 9. Illustration d'un panneau (à gauche) et de la façon de l'afficher en VR en cliquant sur un bouton (à droite).

■ Mise en place du contenu de la visite

Les deux parties précédentes traitent des travaux réalisés pour constituer le support et le cadre de l'immersion. Toutefois, un objectif majeur de ce projet consiste en l'insertion d'objets d'intérêt au cours de la visite VR de la carrière. En proposant une interaction avec l'environnement virtuel, le but est de rendre les visiteurs acteurs de leur visite, actifs dans l'apprentissage de nouvelles connaissances historiques. Il s'agit également d'une manière de mettre en avant les interprétations archéologiques qui ont été faites à propos de ces vestiges. À cet effet, des interfaces utilisateur ont été mises en place.

Les interfaces utilisateur (ou UI pour *User Interface*) sont des interfaces qui permettent une interaction entre un logiciel et un utilisateur. Dans le cadre de l'outil de médiation culturelle du Refuge 44, les UI se présentent sous la forme de panneaux et de boutons. En cliquant sur un bouton, à la forme du vestige questionné, un panneau contenant des images et des textes descriptifs sur ledit objet est ouvert. Il est alors possible de découvrir de quoi il s'agit, quelle était sa fonction, et donc comment les civils vivaient sous terre (Figure 9).

La mise en place des UI s'est faite par codage. Au total, 17 interfaces compre-

nant des textes et des images ont été intégrées dans la visite. Parmi elles, 13 ont été développées avec un code faisant en sorte que les boutons et les panneaux soient toujours orientés vers les visiteurs. Ils tournent ainsi sur eux-mêmes pour que les textes soient directement lisibles. Les 4 UI restantes sont "fixes et permanentes" s'agissant d'interfaces intégrées pour apporter des informations sur des zones précises. Il a également été mis en place 7 autres UI. Elles ne contiennent que des images, et ont pour but de simplement illustrer l'état actuel de la carrière à divers endroits.

Toutes ces interfaces sont accessibles durant l'immersion, et l'interaction est rendue possible grâce à un système de pointeur laser. Il est toutefois possible de découvrir la carrière sans que ces objets ne soient pour autant présents. Pour cela, deux "scénarios" ont été créés :

- Le premier, appelé Visite, contient les UI des objets d'intérêt développées précédemment. Il met en avant l'aspect historique du site.
- Le deuxième, appelé Découverte, ne contient quant à lui pas d'UI. Comme son nom l'indique, il s'agit d'un moyen pour simplement explorer les lieux. Ce scénario est également un excellent outil pour présenter le site et le confronter à des témoignages puisqu'il n'y a pas d'éléments qui viennent "dénaturer" la carrière.





Ces deux scénarios sont accessibles en français et en anglais. Pour que les visiteurs puissent choisir par eux-mêmes ce qu'ils souhaitent, un Menu a été mis en place. Élément à part entière de l'immersion, il s'agit du point de départ de celle-ci. Situé dans une instance spéciale, le temps n'y est pas limité, mais les actions y sont restreintes. Il y est uniquement possible de sélectionner la langue et le scénario souhaité. Une fois ceci fait, la visite de la carrière peut se faire durant le temps du *timer*. Quand celui-ci est terminé, le visiteur revient directement dans le Menu, et c'est un autre qui peut alors choisir à son tour la façon dont il découvrira les



Figure 10. QR Code pour accéder à la visite e, réalité virtuelle

lieux. L'ensemble forme ainsi une "boucle" fonctionnant en autonomie. Un aperçu des éléments présentés précédemment, de la visite en réalité virtuelle dans la carrière, est accessible par le biais du QR Code de la *Figure 10*.

Imagerie 3D

La partie concernant l'aspect Imagerie 3D, en comparaison de celle sur l'immersion en réalité virtuelle, représente un aspect moindre de l'outil de médiation culturelle. L'objectif est ici de faire découvrir quelques lieux de la carrière aux visiteurs, via leurs smartphones, avant de les observer en VR. Divers moyens de visualisation ont pour cela été mis en place.

À cet effet, des modèles 3D ont été importés sur la plateforme en ligne Sketchfab. La carrière Saingt occupant une grande surface, elle ne peut être montrée dans son intégralité avant la visite en réalité virtuelle. De plus, l'objectif est ici de présenter uniquement des zones remarquables afin de donner une idée quant à l'aspect des lieux. Il a ainsi été choisi de proposer la visualisation de trois secteurs ayant fait l'œuvre d'acquisitions photo et dont il existe des modèles 3D texturés : la Carrière B, le Secteur "Lethimonnier" et la Cuisine.

Une fois les modèles importés et leurs affichages définis, des adresses URL ont été automatiquement associées aux pages Internet de Sketchfab. En les mettant à disposition des visiteurs, ceux-ci peuvent alors visualiser ces secteurs sur leurs smartphones, les manipuler (translation, rotation, mise à l'échelle).

Afin de proposer une approche de visualisation différente des secteurs, la réalité augmentée a été utilisée dans cette partie de l'outil de médiation. Depuis l'application mobile de Sketchfab il est possible d'afficher directement de cette façon des objets 3D. Il suffit pour cela qu'ils soient importés sur le site. Les modèles apparaissent alors superposés à l'environnement réel, et en déplaçant le smartphone tout autour du point d'insertion, il est possible de les observer sous différents points de vue. Cependant, cette solution n'est pas optimisée. C'est la raison pour laquelle une alternative fonctionnant par code HTML (*HyperText Markup Language*) a été mise en place.

Ce code fait dans un premier temps appel à des fonctions nécessaires pour générer une solution de réalité augmentée, fonctions en libre accès sur Github. Dans un deuxième temps, la caméra du smartphone est automatiquement allumée. Les modèles 3D, présents sur Github, sont ensuite chargés.

Pour qu'ils soient affichés, il faut dans un dernier temps que le smartphone



Figure 11. Marqueur Hiro.

détecte une cible Hiro (*Figure 11*), balise servant de support aux modèles 3D. Une fois qu'un marqueur est détecté, les objets 3D sont directement visualisables en réalité augmentée (*Figure 12*). Il est possible de tourner autour pour mieux les observer. Le

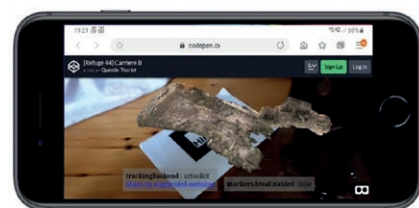


Figure 12. Visualisation des objets 3D en réalité augmentée

marqueur doit néanmoins toujours rester dans le champ de vision de la caméra.

Outre ces modèles 3D, et afin de présenter un aperçu complet de la carrière, plusieurs vidéos en lien avec l'immersion ont été réalisées. Celles-ci montrent l'accès à la carrière par la descente du puits, seul accès à la galerie (le nuage de points a ici été utilisé avec Scene LT), ainsi que divers aperçus de la visite virtuelle développée dans Unreal. L'ensemble de ces vidéos est disponible en ligne sur YouTube.

Tous les éléments de la partie Imagerie 3D sont accessibles par des liens URL. Ces liens sont généralement très longs, compliqués à recopier manuellement sans faire de fautes. Pour que l'ensemble soit plus facilement accessible, des QR Codes ont été générés pour chaque lien. En scannant ces codes, les visiteurs accèdent directement au contenu lié. Le moyen de transmission s'avère être dans ce cas autonome et sans risque d'erreur.

Afin d'avoir une idée de ce que chaque QR Code représente, des images ont été insérées en leur centre. Il y a ainsi le logo de YouTube pour les vidéos (image n°3 de la *Figure 13*). Pour le code HTML et l'affichage en réalité augmentée, un marqueur Hiro a été utilisé en tant que logo (image n°2). Ainsi, en flashant un code et en restant dessus, le secteur associé s'affiche directement en réalité augmentée. Pour les modèles visualisables de façon "classique" sur Sketchfab, il s'agit du logo de la plateforme (image n°1).



Figure 13. Mise en place de QR Code spécifiques pour accès aux données

Conclusion et perspectives

Ce projet marque la fin de travaux commencés il y a maintenant plus de quatre ans. Le but est ici de valoriser un lieu inconnu et chargé d'histoire, tout en proposant une visualisation par le biais d'une technologie nouvelle : la réalité virtuelle. L'INRAP est maintenant



en possession d'un outil de médiation culturelle pour présenter l'histoire de la carrière et mettre en avant les conditions de vie des civils réfugiés. Des aspects de cet outil ont déjà été utilisés lors des commémorations du 75^e anniversaire du Débarquement, des extraits vidéo ayant été montrés lors de reportages télévisés.

L'intérêt de la topographie envers la réalité augmentée grandit aujourd'hui de plus en plus. Cette dernière permet une visualisation inédite de modèles 3D, aussi bien pour des nuages de points que pour des modèles maillés et texturés. Cependant, la VR sert de "pont" entre les données topographiques et leur visualisation, le développement d'une solution de réalité virtuelle demandant des connaissances d'autres corps de métier. Il serait donc intéressant, dans le cadre du Refuge 44 ou d'autres projets à venir, de travailler en collaboration étroite avec un programmeur de jeux vidéo pour améliorer l'expérience qui peut être proposée aux visiteurs. ●

Contact

Quentin THORLET

quentin.thorlet@gmail.com

Diplômé Strasbourg 2019, spécialité

Topographie

Bibliographie

[Dujardin et Marcigny, 2019] Dujardin, L., Marcigny, C. (2019). *Etude d'une carrière-refuge pour les civils lors de la Bataille de Caen (juin 44)*. Technical report, INRAP Grand-Ouest, pp. 1-155.

[Google Images, 2019] Site officiel de Google Images [Internet]. Google. Available from : <https://www.google.com/imghp?hl=fr>.

[Mallem et Roussel, 2018] Mallem, M., Roussel, D. (2014). *Réalité augmentée - Principes, technologies et applications. Technologies de l'Information, Le traitement du signal et ses applications*. Techniques de l'Ingénieur, TE5920 V2, pp. 1-34.

[Oxford, 2019] Definition of virtual reality in English [Internet]. *English Oxford Living Dictionaries*. Available from : https://en.oxforddictionaries.com/definition/virtual_reality.

[Verstaen, 2018] Verstaen, M. (2018). *Numérisation 3D de la Carrière Sainct de Fleury-sur-Orne. Intégration des données pour une exploration virtuelle du site*. Technical report, INSA Strasbourg, pp. 1-78.

ABSTRACT

Key words: immersive virtual reality, augmented reality, unreal engine 4, refuge 44, underground quarry, cultural mediation

During the Allied Landing in Normandy on the morning of June 06, 1944, the city of Caen and the surrounding area were intensely bombed. Inhabitants fled the fighting and some of them have naturally found refuge in an underground quarry: the Sainct quarry of Fleury-sur-Orne. Over the next eight weeks, up to a thousand people took shelter and lived in this place. At the end of the fighting in July 1944, the civilians left the quarry leaving many objects on the ground. Gradually forgotten, the site was preserved from any degradation. Following its rediscovery in 2014, an archaeological operation was carried out by INRAP of Normandy to highlight the impact of global conflicts on civilians, conditions of refugees and homeless people following the massive destruction. Linked to this mission of Refuge 44, this report presents the cultural mediation tool that has been developed. It is divided into two parts :

- *Virtual Reality. An immersive virtual reality visit allows visitors to discover the places and history of the civilians who have taken refuge there. It is possible to interact with the virtual environment in order to access archaeological interpretations of the remains. They are composed by texts and images. Various virtual elements are integrated into the visit to improve the immersion with practical tools and offer a complete VR experience.*
- *3D Imagery. Career areas are presented through 3D models that can be observed on smartphones. Uploaded on online platforms, they can be viewed in a "classic" way on screen, or in augmented reality. In parallel, videos provide a different and complementary point of view on these sectors. All of these elements are called by QR-codes.*

COMITÉ DE LECTURE D'XYZ

BOSSER Pierre,
professeur associé, ENSTA Bretagne,
Brest

BOTTON Serge,
ingénieur, ENSG Marne-la-Vallée

CLÉDAT Emmanuel,
doctorant, EPFL (Suisse)

HULLO Jean-François,
Dr.-Ing., ingénieur de recherche,
EDF Energy, Royaume-Uni

KOEHL Mathieu,
maître de conférences, INSA
Strasbourg

LEQUEUX James,
astronome émérite à l'Observatoire
de Paris

MAINAUD DURAND Hélène,
ingénieur topographe, CERN Genève

MISSIAEN Dominique,
ingénieur topographe, CERN Genève

MOPIN Irène,
ingénieur recherche, ENSTA Bretagne,
Brest

MOREL Laurent,
professeur des universités, ESGT
Le Mans

PANTAZIS N. Dimos,
professeur, TEI Athènes

POLIDORI Laurent,
directeur du CESBIO, Toulouse

REIS Olivier,
ingénieur, traducteur Sarreguemines

ROCHE Stéphane,
professeur, Université Laval, Québec

TOUZÉ Thomas,
dr. ing. géomètre, EDF

TROUILLET Michel,
ingénieur topographe, Lyon

Font partie du comité de lecture
les membres du comité de rédaction
et la rédaction (la directrice
des publications et son adjoint,
le rédacteur en chef et son adjoint),
voir la liste en page 1, sommaire.