



HAL
open science

PRADO, une expérience d'éducation au patrimoine architectural dans le contexte algérien

Ahlem Kebir, Sabrina Kacher, Daniel Meneveaux

► To cite this version:

Ahlem Kebir, Sabrina Kacher, Daniel Meneveaux. PRADO, une expérience d'éducation au patrimoine architectural dans le contexte algérien. JC3DSHS 2023, Les Journées du Consortium 3D SHS, Nov 2023, Lyon, France. hal-04559475v1

HAL Id: hal-04559475

<https://hal.science/hal-04559475v1>

Submitted on 25 Apr 2024 (v1), last revised 6 Jun 2024 (v2)

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.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NoDerivatives 4.0 International License

PRADO, UNE EXPÉRIENCE D'ÉDUCATION AU PATRIMOINE ARCHITECTURAL DANS LE CONTEXTE ALGÉRIEN

Ahlem KEBIR¹, Sabrina KACHER², Daniel MENEVEAUX³

¹Ecole Polytechnique d'Architecture et d'Urbanisme, Laboratoire LVAP, Laboratoire XLIM, CNRS UMR7252

²Ecole Polytechnique d'Architecture et d'Urbanisme, Laboratoire LVAP

³Université de Poitiers, Laboratoire XLIM, CNRS UMR7252

Mots-clés : Patrimoine architectural - Patrimoine virtuel - Éducation au patrimoine, Réalité virtuelle

Résumé : La valorisation du patrimoine architectural passe par l'éducation des jeunes, avec la description de leur histoire, avec ses évolutions et la richesse qu'elle peut apporter. Avec la démocratisation des outils numériques, l'accès aux informations et aux connaissances peut être largement facilité. Malheureusement, la prise en main des outils est souvent difficile, et demande une expertise de logiciels parfois complexes à prendre en main. Le projet présenté lors de ces journées concerne une méthodologie de création d'un outil d'éducation au patrimoine architectural, avec la description de l'ensemble du processus de modélisation: la reconstitution numérique en 3D de l'espace architectural, la création d'une visite semi-guidée en réalité virtuelle, ainsi que la mise en place d'annotations aux endroits clés pour l'aide à l'éducation. Notre approche repose sur des outils gratuits, grand public et un matériel informatique standard. Le contenu éducatif est structuré selon un scénario pédagogique préétabli, permettant ainsi à l'apprenant de vivre une expérience immersive tout en atteignant des objectifs spécifiques. Pour illustrer le travail, nous présentons un environnement d'apprentissage virtuel préparé, mettant en scène la reconstitution 3D du palais du Bardo : un monument historique emblématique du nord de l'Algérie, de style Mauresque. Chaque espace est enrichi par des éléments textuels, sonores et visuels soigneusement positionnés pour compléter la description géométrique 3D. Ces éléments sont choisis en fonction des objectifs éducatifs préétablis. Les résultats de cette approche sont soumis à une vérification par le biais de deux niveaux d'expérimentations, l'évaluation des acquis et l'évaluation de l'utilisabilité de la plateforme digitale d'apprentissage.

1. Introduction

L'objectif de cet article est de présenter une démarche numérique dédiée à l'enseignement du patrimoine culturel, essentiel pour préserver et valoriser la culture d'une société. La compréhension du passé permet aux jeunes générations de mieux appréhender leur identité et leur place dans la société. Avec l'essor croissant des technologies, et la diffusion d'outils numériques de plus en plus accessibles au public, de nouveaux scénarios d'apprentissage sont envisageables. Les institutions culturelles font de plus en plus appel aux techniques de reconstruction 3D et aux outils de visualisation numérique pour l'éducation au patrimoine¹. Les intérêts sont multiples, à la fois pour résoudre les problèmes d'accessibilité et pour transmettre des informations de manière claire, intuitive et ludique. Les applications de réalité virtuelle ont de nombreux avantages pour proposer des données accessibles de manière immersive². De nombreuses études de la littérature ont proposé de représenter des environnements virtuels, sur la base d'acquisitions 3D avancées de la géométrie,^{3,4,5,6} des textures,⁷ des matériaux du patrimoine.⁸

¹ Garcia-Ruiz, Miguel & Santana-Mancilla, Pedro & Gaytán-Lugo, Laura. (2019). A User Study of Virtual Reality for Visualizing Digitized Canadian Cultural Objects.

² E. Ch'ng, Y. Cai and H. Thwaites, "Special Issue on VR for Culture and Heritage: The Experience of Cultural Heritage with Virtual Reality: Guest Editors' Introduction," in Presence, vol. 26, no. 03, pp. iii-vi, 1 May 2018.

³ El-Hakim, Sabry & Beraldin, J & Picard, M. & Godin, Guy. (2004). Detailed 3D reconstruction of large-scale heritage sites with integrated techniques. Computer Graphics and Applications, IEEE. 24. 21 - 29.

⁴ Remondino, Fabio & El-Hakim, Sabry. (2006). Image-based 3D Modelling: A Review. The Photogrammetric Record. 21. 269 - 291.

⁵ Aicardi, Irene & Chiabrando, Filiberto & LINGUA, Andrea & Noardo, Francesca. (2018). Recent trends in cultural heritage 3D survey: The photogrammetric computer vision approach. Journal of Cultural Heritage.

⁶ Bentkowska-Kafel, Anna & Macdonald, Lindsay & Rizvić, Selma & Colson, Amandine & Guery, Julien & Ditta, Massimiliano & Tamas, Levente & Wefers, Stefanie & George, Sony & Hardeberg, Jon Yngve & Linhares, Joao & Nascimento, Sérgio & Marcello, Piccolo & Tsiafaki, Despoina & Moitinho, Vera. (2017). Digital Techniques for Documenting and Preserving Cultural Heritage.

⁷ [Mathys, Aurore & Jadinon, Rémy & Hallot, Pierre. (2019). EXPLOITING 3D MULTISPECTRAL TEXTURE FOR A BETTER FEATURE IDENTIFICATION FOR CULTURAL HERITAGE. ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. IV-2/W6. 91-97. 10.5194/isprs-annals-IV-2-W6-91-2019.

⁸ Romain Pacanowski, Mickaël Raynaud, Julien Lacoste, Xavier Granier, Patrick Reuter, et al. Compact Structures for Interactive Global Illumination on Large Cultural Objects. The 9th International Symposium on Virtual Reality, Archaeology and Cultural Heritage VAST (2008): Short and Project Paper, EUROGRAPHICS - EPOCH, Dec 2008, Braga, Portugal. inria-00341654v2.

Cependant, la création de contenus 3D requiert des compétences spécifiques, parfois difficiles à acquérir pour générer des environnements proches de la réalité, et un temps important pour la conception de chaque projet. Pour des projets importants, la coordination de plusieurs équipes multidisciplinaires devient nécessaire, avec des ressources matérielles importantes. Notre objectif est d'utiliser des outils accessibles à des personnels non spécialistes des outils 3D, par exemple pour permettre à des musées algériens de développer leur propres expériences immersives du patrimoine.

En Algérie, l'intérêt pour les environnements numériques dans le patrimoine culturel connaît un intérêt croissant, mais les restitutions virtuelles semblent se concentrer souvent sur des sites archéologiques les plus importants, classés patrimoine mondial de l'UNESCO. Cela inclut par exemple le complexe archéologique romain de TIPAZA, ou sur des artefacts individuels, comme des pièces de poterie. Malheureusement, moins d'efforts sont consacrés au patrimoine architectural local. Les projets de modélisation 3D dans le contexte algérien, notamment dans l'emploi de la photogrammétrie, s'inscrivent souvent dans un contexte de collaborations internationales, par exemple entre Archéovision et le Centre National de Recherche Archéologique Algérien (CNRA), pour le relevé photogrammétrique de la Maison des fresques du site de Tipaza¹¹, ou encore pour le relevé photogrammétrique de la basilique sainte Salsa à l'usage du BIM. Une initiative de l'Ambassade des États-Unis à Alger en partenariat avec le Ministère de la Culture et des Arts algérien et "the antiquities coalition", a donné lieu à un laboratoire de numérisation pour le Musée du Bardo de Préhistoire et d'Ethnographie d'Alger, avec une formation des professionnels des musées aux techniques de numérisation 3D, notamment la photogrammétrie. Des efforts sont en cours pour rendre accessible au public une collection d'objets 3D numérisés, on remarque l'apparition de l'onglet "objets 3D" sur le site officiel du Musée du Bardo, bien que la pleine réalisation de cette initiative soit encore en cours. Pour l'instant, aucun objet n'est visible sur le site, mais deux œuvres sont visibles sur la page facebook du musée.

Malgré ces avancées, de nombreux verrous subsistent pour construire des jumeaux numériques et les intégrer dans les stratégies de préservation, de sensibilisation et d'éducation au patrimoine. Aussi, ces initiatives restent isolées, le laboratoire numérique est loin d'être la réalité de tous les musées algériens. Les objets numérisés sont en général surtout des artefacts de relativement petite taille qui peuvent facilement bénéficier de la technique de la photogrammétrie. Le patrimoine architectural n'est jusque là que peu abordé, car les budgets restent en dehors des capacités de la plupart des musées algériens, qui ne sont pas associés à des programmes de recherche internationaux.

⁹ Bennoui-Ladraa, Baya. (2021). La réalité virtuelle pour la présentation et la communication du patrimoine archéologique : état de la question en Algérie.

¹⁰ Mehdi Chayani. Essai de restitution virtuelle de la Maison des Fresques à Tipasa. Virtual Retrospect - 2009, Robert Vergnienx, Nov 2009, Pessac, France.

¹¹ Mehdi Chayani, Sabah Ferdi, Robert Vergnienx. Du relevé photogrammétrique à l'usage du BIM Étude et restitution de la basilique sainte Salsa (Tipasa/Algérie). Virtual Retrospect 2013, Robert Vergnienx, Nov 2013, Pessac, France.

¹² Ambassade des États-Unis en Algérie .U.S. Embassy Algiers and Ministry of Culture and Arts Inaugurate a Digitalization Lab at the Bardo Museum. dz.usembassy.gov. Consulté le 08/03/2024.

¹³ Musée public National du Bardo. museebardo.dz. Consulté le 08/03/2024

Notre étude vise à proposer une approche simplifiée pour la mise en place d'un outil d'éducation au patrimoine architectural mauresque en réalité virtuelle, accessible et reproductible par les musées aux ressources limitées. Notre contribution porte sur la mise en place d'une méthodologie de création simplifiée et accessible d'un environnement de réalité virtuelle, en utilisant des outils en libre accès et du matériel informatique standard. L'objectif est de démocratiser le processus de numérisation pour rendre les environnements patrimoniaux accessibles au plus grand nombre.

Nous nous basons sur une stratégie de modélisation géométrique par espaces individuels, accompagnée d'un système de visite virtuelle guidée et de chargement d'espaces à la demande. Chaque espace est accompagné d'un certain nombre d'éléments textuels, sonores et visuels pour compléter la description géométrique en 3D.

Cet article explore l'utilisation de la réalité virtuelle comme outil pour l'éducation des jeunes au patrimoine architectural mauresque dans le contexte algérien. La section 2 présente l'état de l'art de l'utilisation de la réalité virtuelle dans l'éducation au patrimoine; la section 3 détaille la mise en place de l'interface PRADO, un outil pédagogique en réalité virtuelle présentant le palais du Bardo d'Alger, dans la section 4 les premiers résultats obtenus sont discutés. La conclusion propose un bilan des résultats avec les limitations et nos principales pistes pour nos développements futurs.

2. Réalité virtuelle et éducation au patrimoine

La réalité virtuelle (RV) offre des perspectives prometteuses pour l'éducation au patrimoine culturel. Les recherches récentes mettent en lumière les avantages de celle-ci dans l'éducation des plus jeunes¹⁴, notamment pour sa capacité à remplacer les aspects ennuyeux de l'enseignement traditionnel en offrant une expérience immersive et interactive¹⁵. Des études telles que celles menées par Yildirim et al. (2018)¹⁶ soulignent que la découverte interactive que permet la RV, transforme les leçons en un environnement stimulant et ludique, ce qui est essentiel pour captiver l'attention des jeunes apprenants. De plus, la RV permet aux élèves de contrôler leur expérience, favorisant ainsi un apprentissage plus personnalisé et autonome¹⁷.

La réalité virtuelle suscite également la curiosité et la sensibilité des jeunes pour le patrimoine culturel, plusieurs expériences ont conclu que l'expérience de la visite d'un site ou une collection de musées à travers la réalité virtuelle, donne envie de visiter réellement l'environnement créé¹⁸. Parmi les études qui ont exploré l'utilisation de la RV dans l'éducation au patrimoine, on retrouve l'étude du Centre de Découverte Numérique Samsung, qui a proposé une expérience de réalité virtuelle au British Museum en 2015, visant à évaluer l'intérêt que suscitent les environnements de RV pour l'apprentissage du patrimoine, et ce, en considérant des dimensions éducatives et récréatives de l'expérience du musée numérique aux prés des familles, adolescents et groupes scolaires¹⁹.

¹⁴ Fonseca, D., Navarro, I., de Renteria, I., Moreira, F., Ferrer, Á., & de Reina, O. (2018). Assessment of Wearable Virtual Reality Technology for Visiting World Heritage Buildings: An Educational Approach. *Journal of Educational Computing Research*, 56(6), 940-973.

¹⁵ Tost, & Pujol, Laia & Economou, Maria & Maria., (2009). Worth a Thousand Words? The Usefulness of Immersive Virtual Reality for Learning in Cultural Heritage Settings. *International Journal of Architectural Computing*. 7. 157-176.

¹⁶ Yildirim, G., Elban, M., Yildirim, S. (2018). Analysis of Use of Virtual Reality Technologies in History Education: A Case Study. *Asian Journal of Education and Training* (Vol. 4, n° 2)

¹⁷ Akshay Loke et al., Department of Information Technology Vidyalkar Institute Of Technology, Mumbai University Mumbai, India and Gawade, "research of game development based on virtual reality."

Dans le même type, l'étude de Eugene Ch'ng et al. (2020)²⁰ a examiné comment les environnements de réalité virtuelle actuels peuvent contribuer à améliorer la communication du patrimoine culturel en offrant une expérience du passé qui soit acceptable pour la jeune génération, ainsi que la manière dont les musées et les institutions culturelles devraient adopter et utiliser de telles technologies. Cette expérimentation a été réalisée sur un environnement virtuel créé à partir d'un mélange de photogrammétrie et de reconstruction géométrique 3D manuelle.

Cependant, malgré les progrès réalisés dans le domaine de la réalité virtuelle, la représentation complète d'environnements architecturaux complexes demeure un défi de taille. Cette difficulté découle principalement de la demande élevée en ressources physiques et matérielles nécessaires à la modélisation et à la reconstruction de tels environnements comme constaté dans les études précédemment citées. La création d'une représentation fidèle et détaillée de monuments historiques ou de sites patrimoniaux exige souvent des outils et des équipements spécialisés, ainsi que des compétences techniques avancées. De plus, la collecte et le traitement des données nécessaires à la modélisation peuvent s'avérer chronophages et coûteux. Une fois les environnements créés, les canaux de distribution doivent être mis en place, souvent avec des équipement dédiés : les casques de réalité virtuelle sont souvent coûteux, et les ordinateurs puissants sont requis pour assurer la fluidité de la navigation.

Par conséquent, malgré les avantages indéniables de la réalité virtuelle dans l'éducation au patrimoine culturel, l'accès à des ressources adéquates reste un enjeu majeur pour les institutions éducatives et culturelles souhaitant exploiter pleinement le potentiel de cette technologie. Le développement de solutions plus efficaces et économiques sont donc envisagées pour surmonter ces obstacles et rendre la réalité virtuelle accessible à un plus large public. Notre contribution se situe dans cette perspective de simplification du processus de création d'un environnement d'apprentissage du patrimoine architecturale, en utilisant la réalité virtuelle, en proposant un processus peu coûteux, relativement simple à mettre en place et reproductible, tout en garantissant la fluidité de navigation finale, en utilisant un matériel basique (Ordinateur classique ou téléphone mobile).

3. La plateforme Prado - pour la découverte du palais du Bardo en réalité virtuelle

Cette partie décrit le processus de construction d'un environnement virtuel du patrimoine bâti et son utilisation dans un outil de visualisation en réalité virtuelle. L'exemple étudié pour illustrer la méthodologie est le Palais du Bardo d'Alger. Il s'agit d'un palais du XVIIIe siècle, construit dans un style typiquement mauresque. Il est classé monument historique depuis 1885 et a été reconverti en musée de préhistoire et d'ethnographie depuis 1930. Ce palais se distingue par une configuration complexe, due aux exigences du site en pente, et des différentes stratigraphies qu'il a connues. Le but est d'arriver à construire un environnement virtuel proche de la réalité et fluide, qui prendrait en compte à la fois le volet éducatif, mais aussi les spécificités du domaine du patrimoine bâti, notamment le respect des détails: textures, modénatures, proportions, etc., tout en réduisant les coûts matériels, logiciels, et le temps de réalisation.

¹⁸Ouerghemmi, Chourouk, Myriam Ertz, Néji Bouslama, and Urvashi Tandon. 2023. "The Impact of Virtual Reality (VR) Tour Experience on Tourists' Intention to Visit" *Information* 14, no. 10: 546.

¹⁹Rae, Juno and Lizzie Edwards. "Virtual reality at the British Museum: What is the value of virtual reality environments for learning by children and young people, schools, and families?." *MW2016: Museums and the Web 2016*. Published January 28, 2016. Consulted March 10, 2024.

²⁰Eugene Ch'ng, Yue Li, Shengdan Cai, and Fui-Theng Leow. 2020. The Effects of VR Environments on the Acceptance, Experience, and Expectations of Cultural Heritage Learning. *ACM J. Comput. Cult. Herit.* 13, 1, Article 7 (February 2020), 21 pages. <https://doi.org/10.1145/3352933>

Utiliser la photogrammétrie pour créer le modèle 3D implique de prendre des photographies des différents espaces et éléments constituant le palais. A titre d'expérimentation, un relevé a été effectué à l'aide d'un équipement aussi simple que possible : un appareil photo reflex numérique, un Canon EOS 700D, et un objectif 18-55mm.

En raison de la complexité de la disposition du palais et de sa taille, nous avons décidé de procéder espace par espace. Le premier modélisé était la supposée "chambre de la favorite", avec 124 prises de vue. Notre choix de logiciel s'est porté sur la suite agisoft metashape, dans sa version classique.

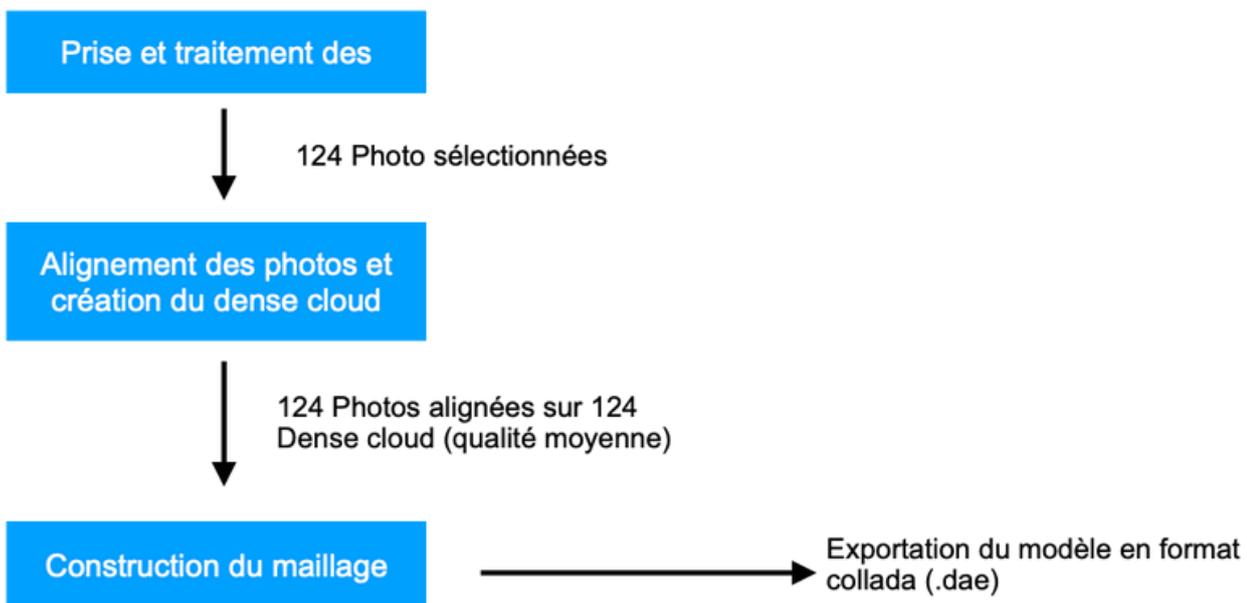


Schéma 01 : Processus de construction du modèle 3D de la chambre de la favorite par photogrammétrie

Pour avoir un temps de calcul raisonnable, nous avons réduit la qualité dans la construction des nuage de point à « medium » et la construction du maillage à « low » . Le tableau ci-dessous résume les résultats obtenus :

Espace	Nombre de points (Dense cloud - Medium)	Nombre de faces (Mesh- Low)	Taille du fichier
Chambre de la favorite	33,404,768	812,517	255,1 Mo

Table 01 : Résultats obtenus du processus de modélisation par photogrammétrie - Chambre de la favorite

Le résultat n'étant pas parfait, nous avons voulu améliorer le modèle en passant par un logiciel de modélisation (Sketchup) mais le nombre important de faces rend en pratique la manipulation presque impossible sur un ordinateur de bureau classique.

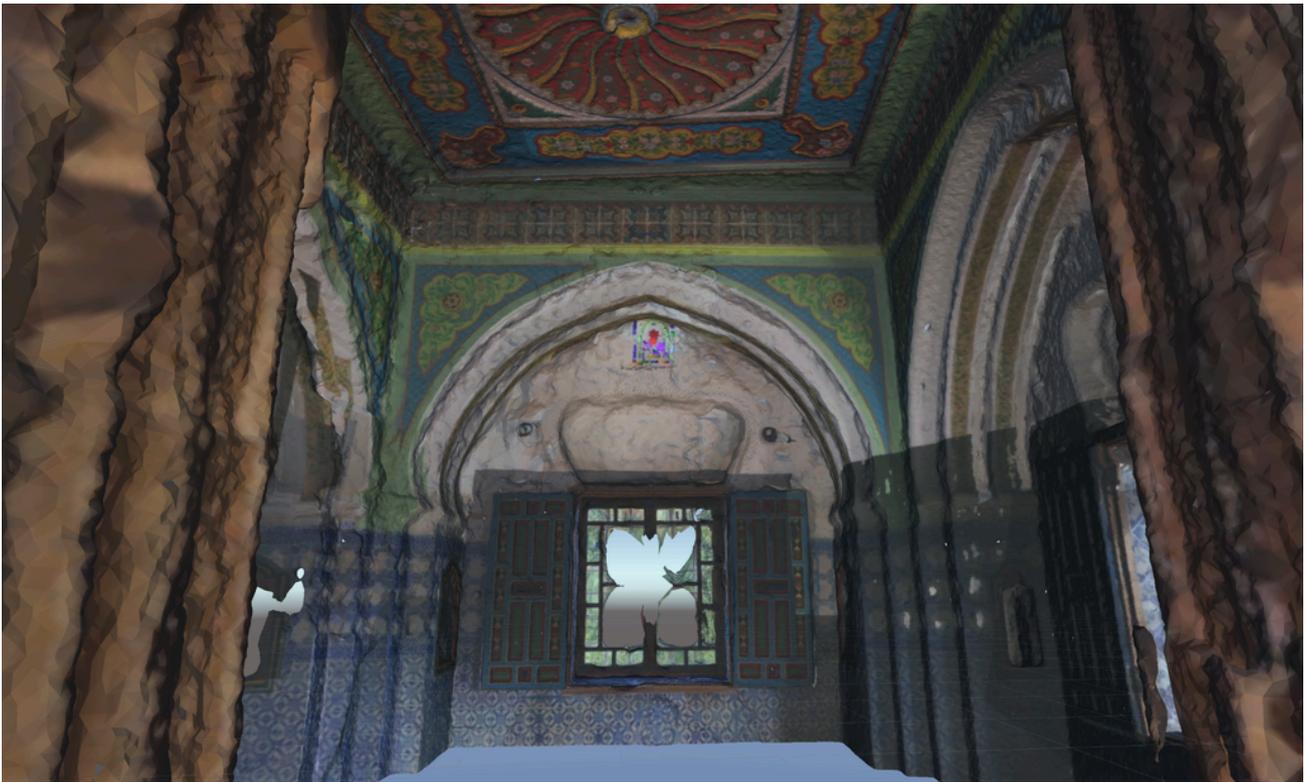


Figure 01 : Résultat du maillage lors de la construction du modèle 3D de la chambre de la favorite par photogrammétrie

Pour ces raisons, nous préconisons de favoriser les outils de modélisation géométrique manuels pour représenter la structure du bâti, en utilisant des données et des relevés architecturaux. Les textures réelles (photographies) relevées sur place peuvent être appliquées sur le modèle 3D résultant, car il est composé généralement de formes géométriques simples à manipuler. Cette méthode a été employée pour la chambre de la favorite, puis trois autres pièces du palais. Le tableau suivant présente le nombre de faces obtenues avec cette méthode, ainsi que la taille du fichier correspondant.

Espace	Nombre de faces	Taille du fichier
Chambre de la favorite	4,512	79,2 Mo
<u>Skifa</u>	319	34,0 Mo
Salons en enfilades	386	20,9 Mo

Table 02 : Résultats obtenus du processus de modélisation géométrique manuelle
Chambre de la favorite, Skifa - Salons en enfilades.

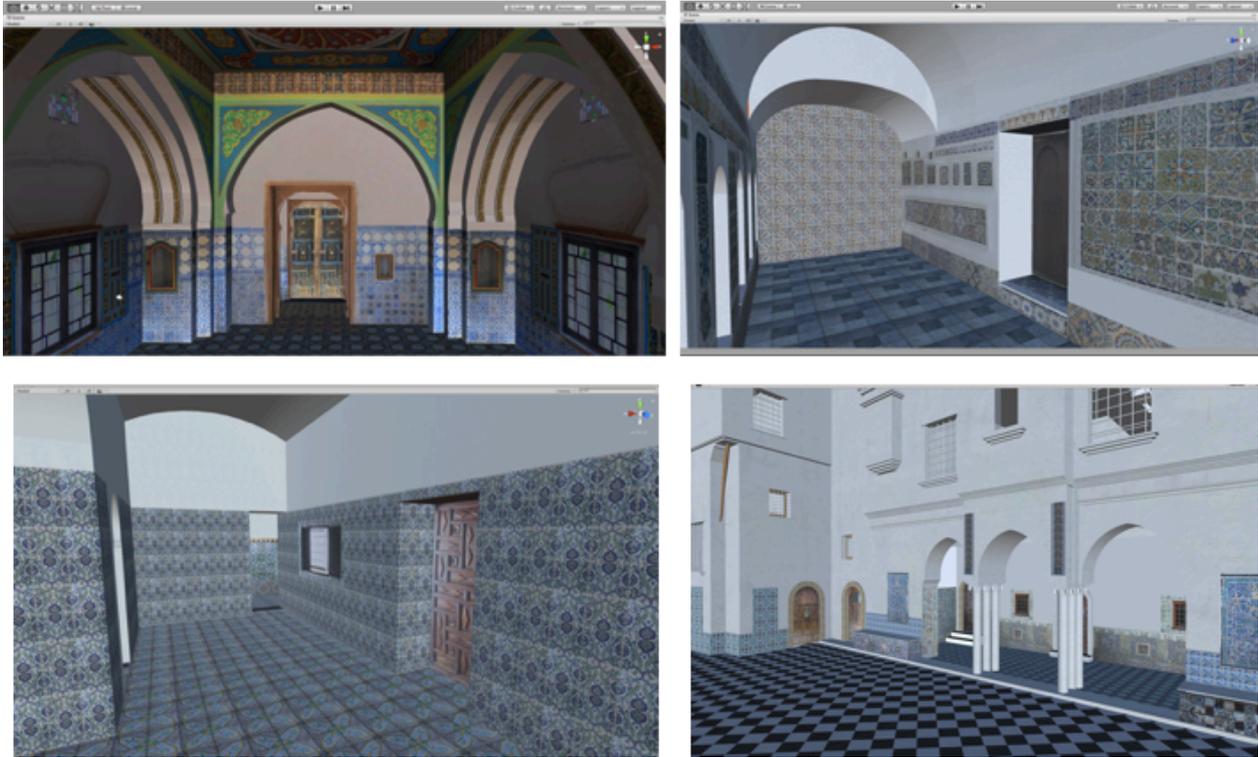


Figure 02 : Modélisation géométrique des espaces du Bardo d'Alger
(Chambre de la favorite, Skifa, Salons en enfilades, cours de marbre)

La photogrammétrie est surtout efficace pour représenter des objets complexes, tels que la fontaine en marbre de la cour, 107 photos ont été utilisées pour générer le maillage et la texture. Elle a été intégrée directement au reste du modèle 3D dans l'interface du moteur de jeux, utilisé pour implémenter la visite virtuelle, à savoir Unity 3D.



Figure 03 : Reconstruction de la fontaine de la cour du palais du Bardo par photogrammétrie: maillage + texture

La visite virtuelle est mise en œuvre en utilisant la version gratuite du moteur de jeu Unity. Le transfert du modèle 3D de SketchUp à Unity ne nécessite aucune conversion, les deux sont compatibles. Cette plateforme offre l'accès à la plupart des fonctions nécessaires sans avoir à passer par des scripts, qui exigent des qualifications en langages de programmation. Tout au long du processus, seules quelques lignes de code simples étaient nécessaires (en langage C#) pour des actions personnalisées. Une documentation simplifiée et des tutoriels sont disponibles sur internet, nécessitant uniquement des connaissances de base en programmation.

4. Résultats

Notre travail a permis de construire une plateforme expérimentale simplifiée basée sur les outils 3D et de réalité virtuelle, conçue pour faciliter la transmission du patrimoine architectural. Elle offre aux utilisateurs une expérience immersive, fonctionnelle sur ordinateur et similaire à celle d'un jeu vidéo, où ils peuvent explorer virtuellement le Palais du Bardo et accéder à des informations multimédias dispersées dans les différents espaces

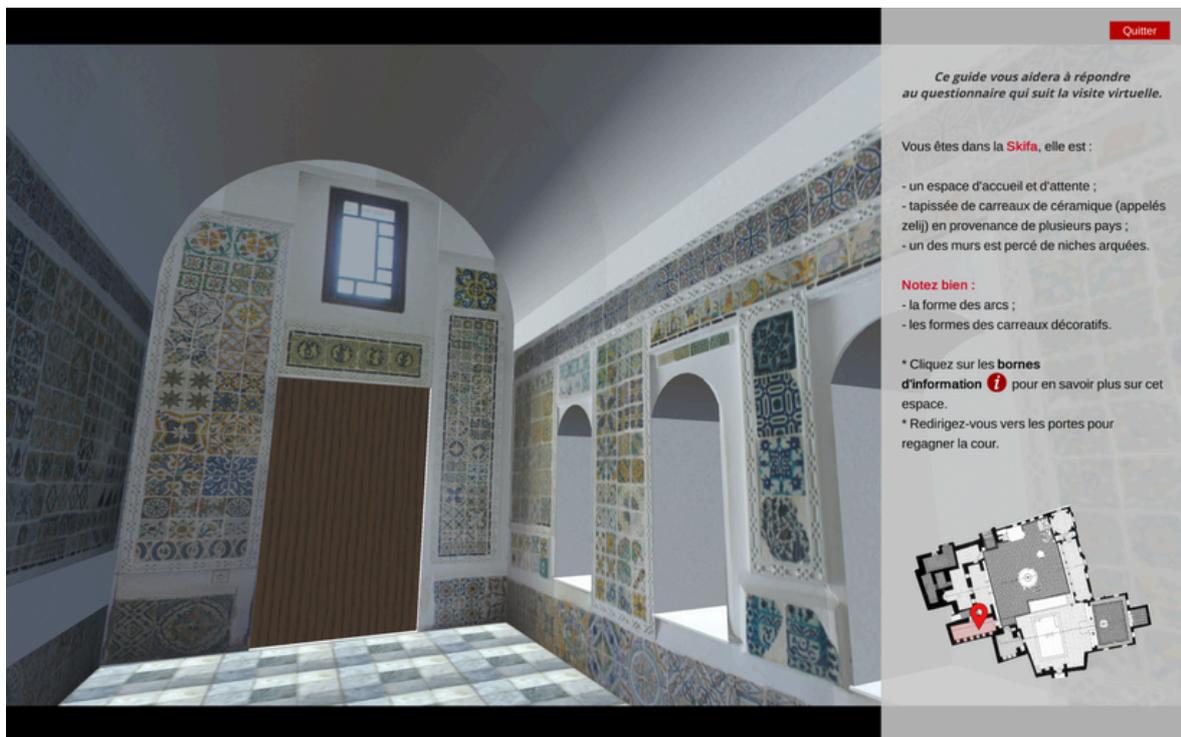


Figure 04: Capture d'écran de la visite virtuelle - Espace Skifa



Figure 05 : Capture d'écran de la visite virtuelle : choix proposés au niveau des points d'informations

À la suite de cette réalisation, nous avons mis en place une approche d'évaluation destinée à recueillir les retours des utilisateurs. Un questionnaire a été élaboré pour évaluer trois aspects principaux de leur expérience : l'évaluation des acquis par acquisition visuelle, afin de mesurer leur compréhension des éléments architecturaux perçus lors de leur visite ; l'évaluation des acquis via les annotations multimédias, pour évaluer dans quelle mesure les informations complémentaires ont enrichi leur compréhension ; enfin, l'évaluation de l'expérience utilisateur, prenant en compte la convivialité de l'interface et la fluidité de la navigation.

Les données recueillies à partir de ces questionnaires nous permettront d'analyser plus en détail l'efficacité de notre approche et d'identifier les points forts ainsi que les axes d'amélioration potentiels pour les futures expérimentations.

5. Conclusion et perspectives

L'objectif de notre travail est de mettre en place un outil éducatif, convivial et ludique, pour la valorisation et l'enseignement du patrimoine architectural mauresque en réalité virtuelle. L'objectif est de proposer des outils et méthodologies accessibles aux musées, qui manquent souvent de ressources pour investir dans ce type de contenu. La méthodologie proposée peut être adaptée à des fins de diffusion et de communication sur le patrimoine. L'utilisation d'outils de reconstruction géométrique gratuits et faciles à utiliser nous a permis d'obtenir des résultats satisfaisants proches de la réalité, tout en étant suffisamment optimisés pour permettre une navigation fluide en temps réel. Nos travaux futurs visent à évaluer l'efficacité d'une intégration de scénarios pédagogiques aux environnements virtuels pour proposer des outils éducatifs simplifiés, dédiés au patrimoine. L'une des questions qui nous semble intéressante et importante concerne leur efficacité pour répondre à des objectifs pédagogiques prédéfinis.