

Modélisation HBIM d'héritages culturels. Le cas de l'huilerie amazighe de Toujane

HBIM modelling of cultural heritages. The case of the Toujane Amazigh oil mill

Zayneb Abidi^{1,3,*}, Damien Claeys^{1,2}, Ferdaws Belcadhi³, et David Vandenbroucke^{1,2}

¹TSA-LAB, LAB, UCLouvain, Rue Wafelaerts 47/51, 1060 Bruxelles, Belgique

²LOCI, UCLouvain, Rue Wafelaerts 47/51, 1060 Bruxelles, Belgique

³UMRAN, ENAU, UCAR, Rue El Qods Sidi Bou Said, 2026 Tunis, Tunisie

Résumé. Lorsqu'un édifice est incomplet ou a disparu, sa dimension matérielle est partiellement restituée à partir de traces observables. Cependant, le cas de la dimension immatérielle du patrimoine est complexe. Alors que la culture amazighe risque de disparaître, le type architectural de l'huilerie traditionnelle revêt une importance cruciale pour la comprendre, la sauvegarder et la transmettre en raison de sa volumétrie complexe et de ses caractéristiques. Le cas étudié est une reconstruction numérique d'une huilerie amazighe traditionnelle du village tunisien de Toujane. Une méthode de modélisation HBIM est proposée pour identifier les lacunes archéologiques et intégrer des données de différentes sources, à l'aide d'outils et d'algorithmes avancés.

Mots clés. HBIM, reconstruction, Toujane, amazigh, huilerie

Abstract. When a building is incomplete or has disappeared, its material dimension is partially restored on the basis of observable traces. However, the case of the intangible dimension of heritage is complex. At a time when Amazigh culture is in danger of disappearing, the architectural type of the traditional oil mill is of crucial importance for understanding, safeguarding and transmitting it, because of its complex volumetry and characteristics. The case studied is a digital reconstruction of a traditional Amazigh oil mill in the Tunisian village of Toujane. An HBIM modelling method is proposed to identify archaeological gaps and integrate data from different sources, using advanced tools and algorithms.

Keywords. HBIM, reconstruction, Toujane, Amazigh, oil mill

* Corresponding author: zayneb.abidi@uclouvain.be

1 Introduction

Le Building Information Modeling (BIM) propose une approche numérique intégrée et collaborative pour la conception, la gestion et la réalisation de projets architecturaux. Dans le contexte spécifique de la rétroconception architecturale des objets patrimoniaux [1], des approches BIM axées sur la préservation des bâtiments historiques existent [2–7], telles que l'Historic Building Information Modeling (HBIM) ou la Reality-Based BIM for Heritage. Le HBIM est une approche interdisciplinaire dérivée du BIM, qui en conserve les caractéristiques et les dimensions (modèle collaboratif sous forme de maquette numérique, le planning des travaux...) [6]. Le HBIM se concentre principalement sur la reconstruction et la restitution numérique du patrimoine existant ou disparu. Il repose aussi sur l'évolution technologique des outils d'acquisition de données, notamment la lasergrammétrie et la photogrammétrie, offrant un degré élevé d'automatisation dans la collecte de diverses données (spatiales, géométriques, texturales...) [2]. Les outils du HBIM créent une représentation fidèle d'un objet patrimonial existant sous un format partagé IFC. L'objectif principal est de traiter plus efficacement les tâches de gestion et de documentation des cas d'étude dans les travaux de préservation, de conservation et de restauration des bâtiments historiques.

Cependant, l'automatisation partielle de l'acquisition de données et de la génération de la maquette numérique met en avant les données quantitatives du patrimoine matériel, tandis que l'expression des informations qualitatives du patrimoine immatériel échappe partiellement aux méthodes actuelles. De plus, chaque objet patrimonial est associé à un « *genius loci* » [8] différent, rendant difficile la généralisation des méthodes globales du HBIM pour des objets spécifiques.

Considérée comme l'une des plus anciennes cultures d'Afrique du Nord, la civilisation amazighe trouve son témoignage concret dans les huileries, véritables gardiennes des techniques ancestrales d'extraction de l'huile et du savoir-faire ingénieux des communautés amazighes. La préservation de ces huileries revêt une importance cruciale pour transmettre cet héritage matériel et immatériel aux générations futures. Malheureusement, elles sont peu entretenues, valorisées et documentées, ce qui rend nécessaire un plan d'action ciblé et bien étudié, adapté aux besoins spécifiques de conservation et de restauration patrimoniale, mais également de transmission culturelle.

Dans ce contexte, une approche HBIM dédiée à la documentation et à la préservation est proposée et elle est en cours d'expérimentation sur une huilerie traditionnelle amazighe située dans le village de Toujane, à Dahar, au sud de la Tunisie.

Pour présenter l'approche, le présent article est structuré en deux parties. La première partie concerne le cadre théorique et le contexte général du cas d'étude : (1) un aperçu historique de la civilisation amazighe ; (2) une présentation approfondie du village de Toujane ; (3) une exploration des trois typologies des huileries amazighes traditionnelles. La seconde partie est consacrée à la méthodologie de modélisation HBIM utilisée selon l'approche *scan-to-BIM* : (1) collecte de données par lasergrammétrie et photogrammétrie ; (2) post-traitement des données ; (3) analyse des éléments constitutifs ; (4) Reconstruction et modélisation du modèle HBIM ; (5) vérification et validation du modèle. En conclusion, des limites à l'usage de ces avancées technologiques sont examinées dans le contexte spécifique du cas d'étude, ainsi qu'un aperçu des perspectives qu'elles offrent.

2 Le village amazigh de Toujane

Malgré plusieurs vagues d'invasions, la civilisation amazighe persiste depuis plusieurs millénaires, enrichie par des influences variées, notamment des phéniciens, carthaginois, romains, vandales, arabes, turcs et français. Utilisé par les grecs pour désigner les plus

anciens habitants de l'Afrique septentrionale, le terme *berbère* est considéré comme inapproprié, car il ne reflète pas l'identité et l'histoire de ces populations. En effet « dérivé du grec *barbaroi* et, par-delà du sémitique, puis de l'arabe *brabra*. Il désigne en premier des gens dont on ne comprend pas la langue. C'est une appellation méprisante donnée par un vainqueur à un vaincu ou par un voyageur sûr d'appartenir à une civilisation supérieure » [9]. Signifiant littéralement *homme libre*, le terme *imazighen* est plus adapté pour rendre compte de leur résilience et de leur capacité à préserver leur identité au cours de leur histoire. Un aspect unique de la civilisation amazighe est son approche de la gestion territoriale. Contrairement à d'autres civilisations ayant établi des états politiques et économiques centralisés, les amazighs se sont dispersés sur un vaste territoire, en associant à cette fragmentation territoriale la construction de villages isolés [9–11].

Le village amazigh de Toujane est situé dans le gouvernorat de Gabès, plus précisément dans la chaîne montagneuse du Dahar, au sud-est de la Tunisie (cf. fig. 1). Dès la préhistoire, ce village a servi de refuge défensif en raison de sa position stratégique offrant une vue imprenable sur les environs. Après les invasions arabo-musulmanes, l'organisation spatiale du village connaît des changements avec l'apparition de structures villageoises. Son implantation horizontale suit les courbes de niveau du terrain. Les crêtes du village servent à la fois de greniers collectifs et de refuges en cas de menace. Les amazighs ont exploité les sites riches en strates rocheuses, pour créer des grottes latérales (*ghar*, غار, au pluriel : *ghirène*, غيران), en excavant dans la roche tendre située entre deux couches de roche dure, afin de concevoir des habitations compartimentées. La configuration du village comprend un agencement compact de maisons (*houchs*, حوش), en plus des édifices publics, tels que les mosquées (*jawamaa*, جوامع), mausolée (*zaouïas*, زاوية) et les huileries souterraines (*maasser*, معاصر) [12,13]. Le village est divisé en deux parties en fonction des origines de ses habitants : (1) Taicha, la partie située au nord de Toujane ; (2) Fessil, la partie située au sud.

3 Les huileries amazighes traditionnelles

3.1 Contexte général

À partir du VIII^e siècle AEC, plusieurs hypothèses existent quant à l'origine des oliviers dans le bassin méditerranéen, et plus précisément en Tunisie. Le courant scientifique dominant suggère que les premiers arbres d'olives ont été domestiqués au Moyen-Orient et introduits en Tunisie par les migrations humaines, notamment par les phéniciens. Cependant, certains chercheurs affirment que l'olivier était déjà présent en Tunisie depuis des millénaires et qu'il a été domestiqué pour la première fois par les anciens amazighs. Quoi qu'il en soit, ce sont les phéniciens qui ont réussi à développer les techniques de culture des oliviers grâce au climat favorable de la région, et ils ont étendu leur culture à l'ensemble du territoire tunisien [14–16] : « de 550 à 450 av. J.-C, l'aristocratie carthaginoise se tourne vers l'agriculture et elle imagine des systèmes de cultures perfectionnés » [17], si bien que la vigne et l'olivier acquièrent une grande importance dans la culture de la région. Les amazighs sont influencés par la civilisation carthaginoise et ils intègrent des oliviers sur leurs terres agricoles. Au II^e s. AEC, les romains écrasent les carthaginois et ils développent l'oléiculture dans la région pour rendre la région productive d'huile d'olive. À toutes les époques, l'huile d'olive est devenue une source de richesse pour chaque civilisation ayant régné en Tunisie. Les techniques de fabrication ont été améliorées d'une civilisation à l'autre (les pressoirs romains, les huileries traditionnelles amazighes, moulins grecs...) [15].

Trois types d’huileries amazighes traditionnelles sont apparus successivement à Toujane : (1) l’huilerie *souterraine*, creusée dans la roche ou l’argile, présente selon deux sous-types en fonction de son accessibilité (ou non) aux animaux de trait (chameau, cheval, âne...) ; (2) l’huilerie *semi-creusée* partiellement engagée dans la roche ; (3) l’huilerie construite à côté des maisons ou des champs d’oliviers [12,18]. Les huileries amazighes comprennent généralement trois espaces essentiels : (1) l’aire de *broyage* (*rahi*, رحي) ; (2) l’aire de *presse* (*asser*, عصر) ; (3) l’aire de *stockage* (*makhzen*, مخزن).

3.2 Cas d’étude

À Toujane, vingt-cinq huileries traditionnelles existent, mais elles demeurent anonymes et négligées. Le cas d’étude choisi ne possède pas de dénomination spécifique, mais il est ancré dans le tissu culturel local et identifiable sur un plan géographique. Située dans la zone de Taicha, au pied de la plus haute montagne du village, l’huilerie étudiée revêt une importance patrimoniale et touristique considérable (cf. fig. 1). Elle présente une volumétrie complexe creusée dans la roche et arbore un style architectural vernaculaire et épuré. Elle s’ouvre sur une cour extérieure offrant une vue panoramique sur l’ensemble du village. Elle est inaccessible aux animaux, tout le travail étant effectué par l’humain. Sa configuration comprend plusieurs zones distinctes : le lieu principal de la production d’huile et trois annexes pour le stockage. Le lieu principal comprend une aire de broyage, deux aires de presse (pressoirs à levier et treuil sur contrepoids) ainsi qu’un espace de repos.

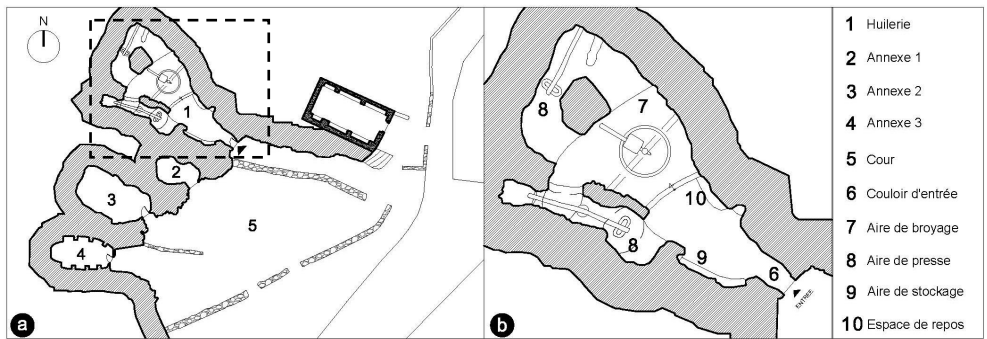


Fig. 1. (a) Configuration de l’huilerie et de ses annexes. (b) Plan de l’huilerie.

3.3 Les composantes de l’huilerie

Le processus de production de l’huile d’olive passe par quatre étapes successives relatives à chaque espace (cf. fig. 2). (1) Le *broyage des olives* avec un moulin composé de deux pièces en pierre dure (grès ou calcaire) : (a) la *meule gisante* (ou *dormante*) étant une pièce fixe où les olives sont disposées ; (b) la *meule volante* (ou *tournante*) étant une pièce mobile assurant le broyage des olives. Ces deux meules sont reliées par un axe vertical, inséré au centre, pour faciliter le déplacement circulaire de la meule volante sur la meule gisante. La pâte obtenue après cette étape va être placée dans des scourtins (*chwami*, شوامي). (2) Le *pressurage répété de la pâte* obtenue après le broyage par l’extraction de l’huile d’olive à travers le pressoir (pressoir à coins, pressoir à levier, pressoir à vis), pour extraire le maximum de liquide (huile). (3) La *décantation de l’huile d’olive* des marges, pour enlever l’eau de végétation amère, ainsi que l’eau ajoutée tout au long des diverses opérations. (4) Le *stockage de l’huile* pour une utilisation ultérieure [14,15,18,19].

Dans la région, une véritable culture de l’olivier s’est développée, ce dernier acquérant une importance cruciale dans la vie quotidienne, économique et culturelle des amazighs

(huile alimentaire, soins de beauté féminins, nourriture des animaux domestiques, chauffage aux grignons, fabrication des outils). Aujourd’hui encore, elle est un élément essentiel du développement de la région, porteuses de nombreux symboles (force, bénédiction, générosité, fécondité, santé, protection...) [10,16]. Concernant l’huilerie, bien qu’elle ne présente pas de problèmes structurels majeurs, certains défauts ont été identifiés, notamment la détérioration du sol, l’état défectueux des portes et l’altération de la clôture. Ces problèmes nécessitent une intervention ciblée et un plan d’action adapté à ce type de bâtiment historique.

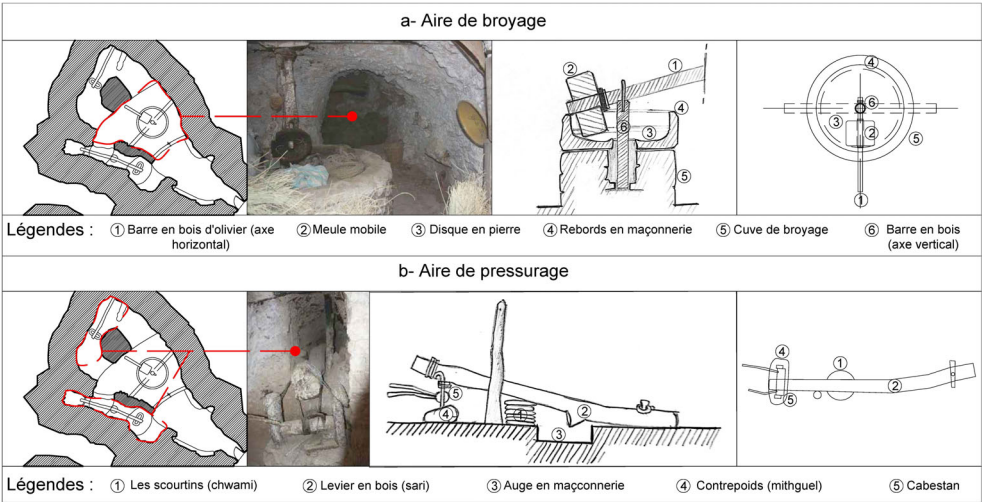


Fig. 2. Les différentes composantes de l’huilerie.

4 État de l’art

Pour répondre aux objectifs de cet article, une analyse approfondie de l’état de l’art est décomposée en deux parties distinctes : (1) la définition du processus HBIM, en explorant son origine, ses étapes, ses résultats, ses objectifs, ainsi que son évolution au fil du temps ; (2) la présentation d’études de cas de numérisation de grottes à l’aide des nouveaux outils d’acquisition, en appliquant les mêmes principes et étapes que ceux du HBIM.

(1) Selon Murphy et al. [2], l’approche HBIM est une nouvelle méthodologie dérivée du BIM qui repose sur les mêmes principes d’interopérabilité et de collaboration appliqués aux bâtiments historiques existants. Cette méthode implique trois étapes : (a) la collecte des données par des outils développés tels que la lasergrammétrie et la photogrammétrie, ainsi que des données historiques et architecturales ; (b) la conception et la création d’une bibliothèque d’objets paramétriques ; (c) la modélisation de l’intégralité du bâtiment étudié sous forme d’un modèle 3D complet et partagé. Dore *et al.* [3] proposent une approche de numérisation des sites patrimoniaux en deux phases principales : (a) la phase de modélisation ; (b) la phase d’intégration. La modélisation est réalisée à l’aide du HBIM, en utilisant les mêmes principes et outils pour construire une bibliothèque d’objets paramétriques qui sera intégrée dans un système d’information géographique en 3D. Ce SIG 3D sera ensuite adapté à la norme d’interopérabilité CityGML « *Geography Markup Language* » afin de faciliter le stockage et l’échange du modèle de ville en 3D. Barazetti *et al.* [5] développent le concept de HBIM détaillé en s’appuyant sur la réalité augmentée et virtuelle à partir de nuages de points et d’autres informations hétérogènes. L’objectif de cet article est de faciliter l’accès du HBIM non seulement aux experts du métier, mais

également au grand public à des fins culturelles et touristiques, grâce à l'utilisation d'un format de fichier ouvert *Industry Foundation Classes* (IFC). Dans leur étude de cas sur la modélisation HBIM d'un édifice patrimonial en Espagne, Lopez *et al.* [20] abordent la question des formes complexes. Ils utilisent des données provenant de diverses sources, notamment des enquêtes sur site, des relevés laser et des données historiques et bibliographiques. Cela leur permet d'effectuer des analyses détaillées du monument étudié et de créer une modélisation rapide et semi-automatique qui peut être utilisée pour faciliter les interventions sur des cas similaires. Oreni *et al.* [21] cherchent à développer la notion du HBIM dans les cas des formes irrégulières en traitant tous les problèmes liés à la modélisation paramétriques des modèles complexes en se basant sur les Non-Uniform Rational B-Spline (NURBS), convertis ensuite en objets BIM paramétriques. Baik *et al.* [6] présentent une application de l'approche Scan-to-HBIM à une maison traditionnelle située à Djeddah en Arabie saoudite. Cette approche permet de reconstruire les surfaces d'un modèle numérique et paramétrique *as-built* en intégrant toutes les dimensions du BIM. L'objectif de cet article est de développer une logique de gestion, de conservation et de documentation des monuments historiques dans cette région. Simeone *et al.* [22] soulignent l'importance de l'intégration des connaissances dans les modèles HBIM en abordant trois points clés afin de développer un modèle HBIM enrichi sémantiquement. L'enrichissement sémantique a été étudié depuis l'introduction de l'IFC dans le secteur de la construction, en combinant le BIM et le Web sémantique.

(2) Gael *et al.* [23] ont utilisé la photogrammétrie pour numériser la grotte de Limousis en France, en suivant quatre étapes principales : (a) acquisition des données ; (b) géoréférencement ; (c) enrichissement du modèle 3D ; (d) exploitation du modèle. Cette méthode a été choisie pour son coût abordable et sa maniabilité dans un environnement souterrain. Burens-Carozza *et al.* [24] ont étudié un réseau de galeries de l'âge de bronze à Saint-Martin-de-Fressengen en Dordogne, en combinant levée topographique, lasergrammétrie, et photogrammétrie pour numériser la grotte ornée de Fraux. Ils ont utilisé un *laser scan* à bras pour créer un modèle 3D complet et enrichi de la grotte. Gabellone *et al.* [25] ont développé une expérience virtuelle immersive pour des monuments funéraires grecs souterrains, intégrant une maquette numérique et des informations contextuelles. Leur méthodologie a principalement utilisé un relevé laser 3D et une caméra pour ajouter des textures et déterminer les matériaux de construction. Karol Bantos *et al.* [26] ont numérisé la grotte glaciaire de Dobsina en Slovaquie en utilisant trois outils : photogrammétrie SFM avec et sans polarisation croisée, et TLS. Leur objectif était de déduire le volume global de la grotte et d'observer les changements volumétriques, bien que le TLS ait produit des résultats incomplets en raison de la réflexion des surfaces glaciales.

Les différentes méthodes de reconstruction et modélisation HBIM peuvent varier selon leurs objectifs et le niveau de détail/développement LOD requis. Il est important de noter que la recherche scientifique accorde relativement peu d'attention à l'intégration des données qualitatives par rapport aux propriétés des composants et aux informations sémantiques. En effet, l'intégration de ce type de données se fait généralement de manière manuelle ou semi-automatique, et il n'existe pas encore de moyen d'enrichir automatiquement la modélisation HBIM par des données qualitatives.

5 Les étapes de la modélisation HBIM

Trois méthodes de modélisation sont distinguées : (1) la modélisation manuelle, basée sur des plans anciens, des photographies et des relevés traditionnels, nécessite une implication humaine significative pour assurer une grande précision, bien que cela prenne davantage de temps ; (2) la modélisation semi-automatique combine les méthodes traditionnelles de relevé et de documentation avec des outils d'acquisition modernes et des algorithmes

automatiques. Elle implique encore une intervention humaine pour vérifier, ajuster et compléter le modèle ; (3) la modélisation automatisée repose sur des algorithmes et des logiciels avancés qui permettent de créer le modèle sans intervention humaine directe, sauf pour la vérification et la validation finales après la création du modèle [27].

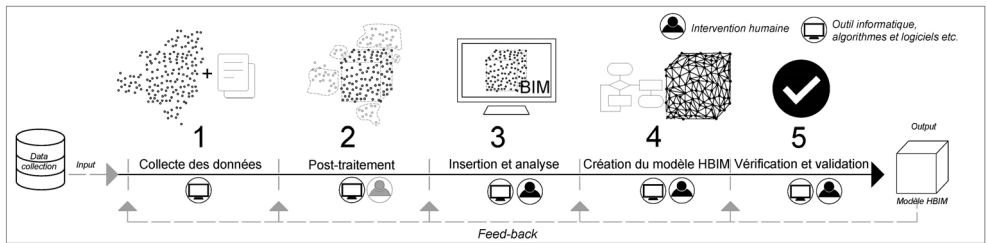


Fig. 3. Modélisation semi-automatique.

L’approche *scan-to-HBIM* [7,28–30] de la modélisation semi-automatique (cf. fig. 3) HBIM implique une séquence de plusieurs étapes (cf. fig. 4) : (1) acquisition de données historiques et géométriques à l’aide d’outils tels que la lasergrammétrie et la photogrammétrie ; (2) post-traitement des données collectées par des logiciels spécialisés ; (3) intégration des nuages de points dans un environnement BIM, analyse des éléments architecturaux de l’objet d’étude et classification ; (4) reconstruction et modélisation HBIM ; (5) vérification et la validation du modèle créé.

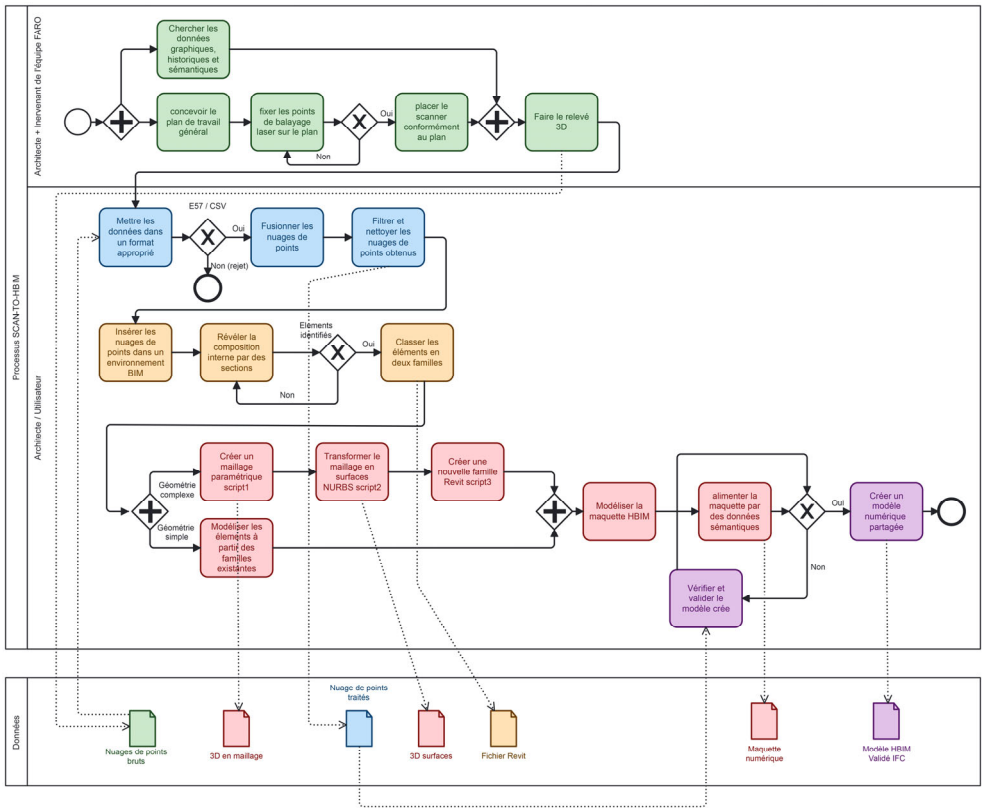


Fig. 4. Flux de travail Scan-to-HBIM présenté en BPMN.

(1) L'étape de la collecte des données historiques se déroule en trois phases (*cf.* fig. 5) : (a) concevoir le plan de travail général et fixer les points de balayage laser sur le plan ; (b) vérifier le positionnement de ces points sur le terrain ; (c) placer le scanner conformément au plan pour éviter les zones cachées et les ombres sur les nuages de points. Les données de l'huilerie traditionnelle de Toujane sont acquises par un laser FARO Focus Premium 350, équipé d'un laser HDR. Ce scanner offre une vitesse de numérisation maximale de 2 Mpts/s et une précision 3D entre 2..10 mm et 3,5..25 mm. Deux méthodes distinctes sont utilisées : la photogrammétrie et la *terrestrial laser scanning* (TLS). Les points de situation du balayage laser sont représentés sur la carte ci-dessous afin d'en extraire le maximum de données géométriques, en particulier dans les zones non éclairées. Au cours du relevé 3D, ces méthodes ont permis de générer un modèle incomplet de l'huilerie en raison de contraintes physiques qui ont empêché la couverture totale de l'espace. En effet, la zone de presse était inaccessible et l'espace ne disposait pas d'un éclairage adéquat.

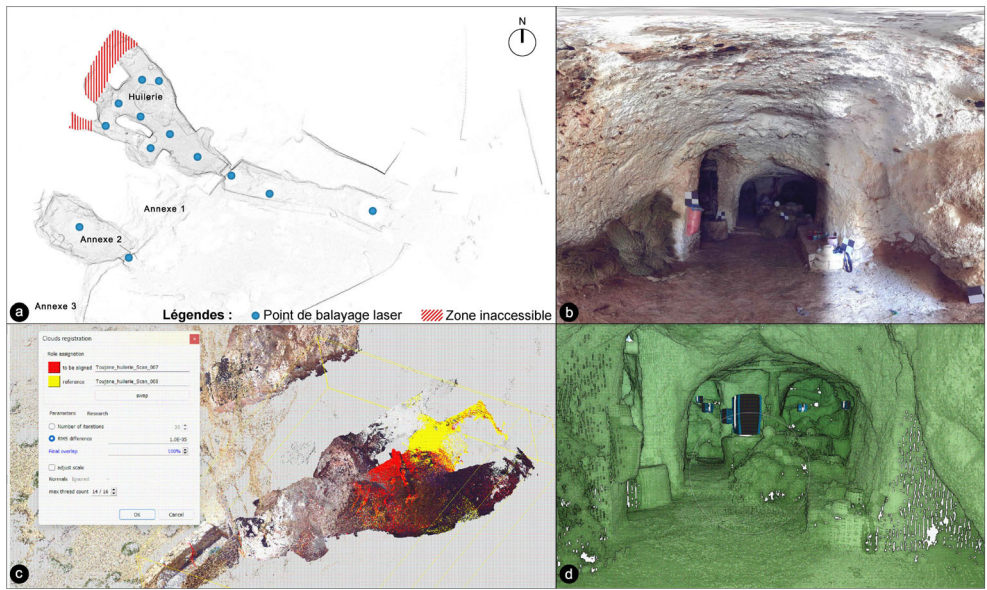


Fig. 5. (a) Plan des points de balayage laser. (b) Photo de positionnement des points sur site. (c) Post-traitement des nuages de point par CloudCompare. (d) Visualisation par Buildit construction.

(2) Post-traitement des données collectées (*cf.* fig. 5) : une fois les données brutes collectées, l'étape suivante consiste à les préparer, les traiter, les analyser et les organiser de manière à les intégrer dans l'environnement BIM. Plusieurs logiciels spécialisés sont utilisés tels que CloudCompare, Asbuilt Modeler et Buildit Construction. Dans cette phase de traitement, plusieurs actions sont entreprises pour préparer les données brutes : (a) les nuages de points bruts sont enregistrés dans un format approprié garantissant leur compatibilité future avec les logiciels de traitement ; (b) les différents nuages de points sont fusionnés en un seul support à l'aide de l'algorithme *Iterative Closest Point* (ICP) afin d'assurer une couverture complète de l'objet étudié ; (c) après la fusion des nuages de points, un processus de nettoyage et de filtrage est entrepris pour éliminer les points aberrants et le bruit indésirable, améliorant ainsi la qualité des données tout en préservant les éléments essentiels à la modélisation BIM. Cela garantit la pertinence et la précision du modèle final.

(3) Plusieurs phases assurent une intégration efficace des nuages de points dans Revit (environnement BIM) : (a) importation des données, permettant le transfert des informations géométriques et contextuelles vers l'environnement de modélisation BIM ; (b) revue de littérature au sujet du cas d'étude et de cas similaires menée particulièrement à l'analyse des données sémantiques pour comprendre le fonctionnement, les matériaux de construction, les composants et les caractéristiques architecturales du cas étudié, et enrichir ultérieurement la maquette numérique ; (c) classification des éléments en formes, régulières et irrégulières, facilitant ainsi l'organisation des données ; (d) établissement de différentes sections longitudinales et transversales sur le nuage de points, en révélant la composition interne du bâtiment. Ces vues dévoilent les dimensions précises pour chaque élément constitutif, contribuant ainsi à la création du modèle HBIM.

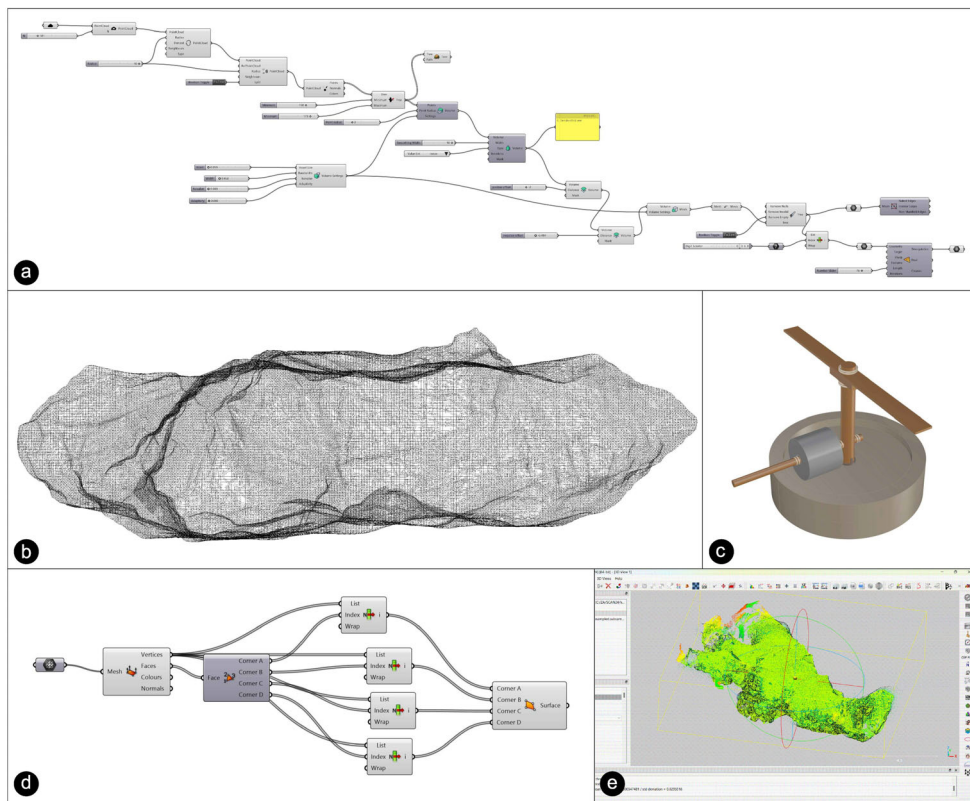


Fig. 6. (a) Premier script Grasshopper pour convertir les nuages de points en maillage. (b) Maillage paramétrique de l'huilerie. (c) Modélisation du moulin à partir des familles existantes. (d) Deuxième script pour la création des NURBS surface à partir d'un maillage. (e) Évaluation du modèle HBIM créé dans CloudCompare.

(4) La reconstruction et modélisation HBIM s'effectue en plusieurs étapes dans Revit directement grâce à une extension *Rhino Inside Revit* qui permet de travailler sur Grasshopper et Rhinoceros 3D dans un environnement BIM (cf. fig. 6) : (a) modélisation des objets patrimoniaux simples à partir des familles Revit tels que le moulin et le pressoir ; (b) création d'un maillage paramétrique par un premier script Grasshopper rendu nécessaire par la complexité de l'espace, qui convertit les nuages de points de l'huilerie en maillage, en modifiant ses paramètres selon le niveau de détail souhaité ; (c) transformation du maillage en surfaces NURBS par un second script Grasshopper ; (d) création d'une famille

Revit de la volumétrie obtenue par un troisième script Grasshopper et insertion de toutes les données sémantiques liées à ces objets.

(5) Vérification et validation du modèle HBIM créé (cf. fig. 6) : l'évaluation du modèle s'effectue à l'aide d'une méthode basée sur le calcul de l'écart entre le fichier source et la maquette paramétrique de l'huilerie créée. De ce fait, une exportation du modèle en maillage de Revit au format *.stl ou *.obj est nécessaire pour le comparer au nuage de points source à l'aide de l'outil *Compute Cloud/Mesh Distance* dans le logiciel CloudCompare. Les résultats de la comparaison montrent qu'il existe un écart de 0,029 m entre le modèle HBIM et le nuage de points. Il est tout à fait possible de créer un script sur Grasshopper qui utilise CloudCompare pour vérifier le modèle reconstruit.

6 Discussion

Après la reconstruction du modèle HBIM et l'intégration de toutes les données sémantiques relatives aux matériaux de construction, à la typologie et à ses différentes composantes, le modèle obtenu servira à élaborer des plans d'action pour la préservation de cet objet patrimonial, ainsi que pour la restitution d'autres bâtiments de même style architectural dans le cadre d'une rétroconception patrimoniale [1,31]. En raison de la complexité du cas d'étude, la modélisation semi-automatique apparaît comme une solution plus efficace et rapide que la méthode manuelle pour la reconstruction numérique du modèle HBIM, grâce aux outils et algorithmes disponibles. Cette approche HBIM répond parfaitement aux objectifs de cet article en permettant la création d'une maquette paramétrique, précise, fiable et fidèle à la réalité, enrichie par des données sémantiques au format standardisé IFC, utilisable et partageable par tous les intervenants, facilitant ainsi la gestion des interventions de conservation et la préservation des éléments culturels et architecturaux [7].

Dans le village de Toujane, vingt-cinq huileries traditionnelles nécessitent une intervention spécifique. Elles appartiennent à des typologies différentes, mais elles partagent un principe de fonctionnement et des composants similaires. La création d'une bibliothèque d'objets paramétriques dédiée à ce type de bâtiment serait donc un outil approprié pour les travaux de restauration. Cette bibliothèque pourrait être étendue à d'autres villages présentant le même style architectural, offrant ainsi des données fiables pour la préservation et la valorisation du patrimoine culturel local.

Dans ce cas d'étude, l'utilisation d'un TLS n'était pas optimale en raison de la présence de zones sombres et inaccessibles qui n'étaient pas prises en compte par l'appareil. Des appareils de lasergrammétrie mobile SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) existent et ils fournissent une couverture complète du terrain tout en assurant une bonne précision [29].

7 Conclusion

Le HBIM a considérablement évolué grâce aux avancées des outils informatiques, à l'intégration de l'IA et des algorithmes avancés, adaptés aux objectifs spécifiques de chaque intervention. Appliquée à une huilerie traditionnelle amazighe à Toujane, une méthode Scan-to-HBIM [7,30,32,33] est présentée ici, impliquant la lasergrammétrie et la photogrammétrie pour améliorer la qualité des relevés architecturaux, collecter des données plus précises (qualitatives et quantitatives), et utiliser des logiciels et des algorithmes pour reconstruire et modéliser fidèlement le bâtiment. Elle suggère l'utilisation de l'outil Grasshopper, intégré au logiciel Rhinoceros 3D, pour créer des scripts spécifiques et convertir les nuages de points en maillage, facilitant ainsi la modélisation des structures complexes. Grasshopper permet également d'intégrer ces modèles dans un environnement

BIM Revit, attribuant des données sémantiques aux objets modélisés en rapport avec les matériaux de construction, la structure... Néanmoins, le présent article met en lumière les défis du HBIM, notamment pour la numérisation de bâtiments complexes, tels que le manque de bibliothèques d'objets paramétriques adaptés, la gestion des formes complexes issues des nuages de points et l'accessibilité des sites pendant les relevés laser. De plus, les études actuelles se concentrent principalement sur les aspects matériels et géométriques par la modélisation paramétrique, en négligeant souvent l'intégration des données relatives à l'histoire culturelle et aux pratiques sociales associées aux bâtiments historiques [31]. En outre, le HBIM est présenté comme un outil de gestion et de production de données utiles pour faciliter l'étude archéologique, la gestion patrimoniale et la prise de décisions pour les interventions futures [3,4,6,7].

Références

1. D. Claeys and Z. Naifer, *Méthodes de reconception architecturale : imitation, modularité, typologie et paramétrisme*, DNArchi **2** (2022)
2. M. Murphy, E. McGovern, and S. Pavia, *Historic building information modelling (HBIM)*, Structural Survey **27**, 311 (2009)
3. C. Dore and M. Murphy, *Integration of Historic Building Information Modeling (HBIM) and 3D GIS for recording and managing cultural heritage sites in 2012 18th International Conference on Virtual Systems and Multimedia* (IEEE, Milan, 2012), pp. 369–376
4. M. Pepe, D. Costantino, and A. Restuccia Garofalo, *Applied Sciences | Free Full-Text | An Efficient Pipeline to Obtain 3D Model for HBIM and Structural Analysis Purposes from 3D Point Clouds*, (2020)
5. L. Barazzetti, F. Banfi, R. Brumana, D. Oreni, M. Previtali, and F. Roncoroni, *HBIM and augmented information: towards a wider user community of image and range-based reconstructions*, The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences **XL-5-W7**, 35 (2015)
6. A. Baik, *From Point Cloud to Jeddah Heritage BIM Nasif Historical House – case study*, Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage **4**, (2017)
7. P. Escudero, *Scan-to-HBIM: automated transformation of point clouds into 3D BIM models for the digitization and preservation of historic buildings*, VITRUVIO - International Journal of Architectural Technology and Sustainability **8**, 52 (2023)
8. C. Norberg Schulz, *Genius loci: paesaggio, ambiente, architettura* (Electa, Milano, 1979)
9. J. Servier, *Les berbères* (PUF, Paris, 1990)
10. G.-H. Bousquet, *Les berbères* (PUF, Paris, 1957)
11. V. Piquet, *Les civilisations de l'Afrique du Nord : berbères – arabes - turcs* (Armand Colin, Paris, 1909)
12. N. Boukhchim and A. Sekmani, *Toujane : modèle d'organisation de l'espace, paysages et architecture vernaculaire dans un village perché à Djebel Matmata (sud-est de la Tunisie)*, (2023)
13. F. Belcadhi, *Curriculum development : an innovate master in history and archaeology. Méthodologie du projet régénératif: mise en valeur de la région du Dahar via les NTIC*, ARCHIBAT (2023)
14. M. Brunet and J.-P. Brun, *Une huilerie du premier siècle avant J.-C. dans le Quartier du théâtre à Délos*, Bulletin de Correspondance Hellénique **121**, 573 (1997)
15. H. Camps-Fabrer, *L'olivier et l'huile dans l'Afrique romaine* (Impr. officielle, Alger, 1953)

16. A. Siso, A. Lounguine, A. Ayed, D. D. Cheffi, F. Aliriza, H. El ouardani, H. Touitou, L. C. Belhadj, M. Ajl, M.-A. El dorry, N. Fattaleh, N. Thebault, P. Scheicher, and S. Ben romdhane, *Olive Oil*, 02 ed. (2023)
17. N. Abouriah, *L'oléiculture en Tunisie, 2000 ans d'héritage !* (2018)
18. H. Camps-fabrer, *Huile*, Encyclopédie berbère 3521 (2000)
19. J.-P. Brun, *Le vin et l'huile dans la Méditerranée antique : viticulture, oléiculture et procédés de transformation* (Errance, Paris, 2003)
20. F. Lopez, P. Leronés, J. Llamas, J. Gómez-García-Bermejo, and E. Zalama, *A framework for using point cloud data of heritage buildings toward geometry modeling in a BIM context: A case study on Santa Maria La Real De Mave church*, International Journal of Architectural Heritage **11**, (2017)
21. D. Oreni, R. Brumana, F. Banfi, L. Bertola, L. Barazzetti, B. Cuca, M. Previtali, and F. Roncoroni, *Beyond crude 3D models: From point clouds to historical building information modeling via NURBS in Digital Heritage. Progress in Cultural Heritage: Documentation, Preservation, and Protection*, edited by M. Ioannides, N. Magnenat-Thalmann, E. Fink, R. Žarnić, A.-Y. Yen, and E. Quak (Springer International, Cham, 2014), pp. 166–175
22. D. Simeone, S. Cursi, and M. Acierno, *BIM semantic-enrichment for built heritage representation*, Automation in Construction **97**, 122 (2018)
23. G. Cazes and G. Maistre, *Numérisation de la grotte de limousis par photogrammétrie in Actes de la 31^e Rencontre d'octobre* (Villegly, 2021)
24. A. Burens-Carozza, F. Leveque, P. Grussenmeyer, L. Carozza, D. Lacanette, Y. Billaud, S. Guillemain, V. Mathé, R. Bourrillon, S. Petrognani, and C. Dudognon, *Apports de la numérisation 3D multi-échelle à l'étude intégrée de la grotte ornée des Fraux (Dordogne)*, Karstologia **1**, (2015)
25. F. Gabellone, I. Ferrari, and M.T. Giannotta, *From museum to original site: A 3D environment for virtual visits to finds recontextualized in their original setting* (2013)
26. K. Bartoš, K. Pukanska, Ľ. Kseňák, G. Juraj, and P. Bella, *Cross-polarized SfM photogrammetry for the spatial reconstruction of challenging surfaces. The case study of Dobšiná ice cave (Slovakia)*, Remote Sensing **15**, 4481 (2023)
27. R. Rolin, *Contribution à une démarche numérique intégrée pour la préservation des patrimoines bâtis* (UTC, Compiègne, 2018)
28. O. Roman, M. Avena, E. M. Farella, F. Remondino, and A. Spanò, *A semi-Automated approach to model architectural elements in scan-To-bim processes in* (2023), pp. 1345–1352
29. A. Matellon, E. Maset, A. Beinat, and D. Visintini, *Surface Reconstruction from SLAM-Based Point Clouds: Results from the Datasets of the 2023 SIFET Benchmark*, Remote Sensing **16**, (2024)
30. J. Yu, X. Jiang, F. Xu, H. Chen, W. Wu, R. Qiu, W. Ma, Y. Liu, and G. Wu, *Research on the Reconstruction Method of Old Houses in Mindong, Republic of China, Based on a Wearable Mobile Scanning System*, Buildings **14**, (2024)
31. Z. Naifer, Z. Abidi, and D. Claeys, *Repenser la rétroconception patrimoniale de la numérisation à la modélisation. Niveaux cognitifs, cube de données et jumeau numérique in 2^e congrès international Digi Arts and Sciences* (2023)
32. M. Aricò, M. Lo Brutto, and A. Maltese, *A Scan-to-BIM approach for the management of two arab-norman churches in Palermo (Italy)*, Heritage **6**, 1622 (2023)
33. M. Pepe, D. Costantino, V. S. Alfio, A. G. Restuccia, and N. M. Papalino, *Scan to BIM for the digital management and representation in 3D GIS environment of cultural heritage site*, Journal of Cultural Heritage **50**, 115 (2021)