

التكنولوجيات الحديثة في التوثيق الآثاري موقع تهودة نموذجاً Modern technologies in archaeological documentation: The Tahouda site as a model

ط.د. / علاء الدين بلواعر¹

مخبر البناء الحضاري للمغرب الأوسط الجزائر/جامعة محمد خيضر بسكرة.

البريد الإلكتروني: alaeddine.belouaar@univ-biskra.dz

أ.د. / ياسين رابح حاجي

مخبر البناء الحضاري للمغرب الأوسط الجزائر – جامعة الجزائر 2

البريد الإلكتروني: yacine.rabah.hadji@univ-alger2.dz

تاريخ الاستلام: 2025/12/06م. تاريخ القبول: 2025/12/27م. تاريخ النشر: 2025/12/31م.
الملخص:

يستعرض هذا المقال دور التكنولوجيات الحديثة في تطوير منهجيات التوثيق الأثري، مع التركيز على تطبيقاتها في موقع تهودة (المسجد) بوصفه نموذجاً ميدانياً. وقد أبرز البحث التحول الكبير الذي أحدثته الأدوات الرقمية، وعلى رأسها تقنية الفوتوغراممري والنمذجة ثلاثية الأبعاد، في تسجيل المعالم والحفاظ على ذاكرته المعمارية بدقة عالية. أظهرت الدراسة أن التوثيق الرقمي يوفر أدوات فعالة لتحليل البقايا المعمارية، والكشف عن التشوهات، وتوثيق الحالة الأصلية قبل أي تدخل ترميمي، مما يساهم في صياغة استراتيجيات صون مبنية على أسس علمية. وخلص المقال إلى أن اعتماد هذه التقنيات في موقع تهودة الأثري يمثل خطوة أساسية نحو بناء قاعدة معرفية رقمية تضمن حماية التراث الجزائري وتدعم جهود البحث الأكاديمي والحفظ المستدام.

الكلمات المفتاحية: توثيق أثري ؛ فوتوغراممري ؛ تهودة.

Abstract:

This article examines the role of modern technologies in archaeological documentation with a focus on their practical application at the T'houda site (The mosque). The study highlights how digital tools such as photogrammetry and 3D modeling enhance the accuracy of recording architectural remains and contribute to the preservation of their material memory. The results show that digital documentation improves structural analysis deformation detection and the precise registration of the original state before any restoration work. The article notes that the use of these technologies at the Tahouda archaeological site contributes to the development of a digital dataset that can be used for conservation activities and scientific research.

Keywords: Archaeological documentation; Photogrammetry; Tahouda.

¹-مرسل المقال.

مقدمة:

شهد التوثيق الأثري خلال العقود الأخيرة تحولاً جذرياً بفضل التطور المتسارع للتكنولوجيات الرقمية، التي أصبحت اليوم أحد أهم المكونات الأساسية في دراسة التراث وفي عمليات الحفظ والصون. فقد تراجع الاعتماد الكلي على القياسات اليدوية والرسومات الخطية التقليدية، ليحل محلها نظام متكامل يعتمد على نماذج ثلاثية الأبعاد، وسحب نقطية عالية الكثافة، وقواعد بيانات جغرافية دقيقة، تسمح بقراءة جديدة للمواقع الأثرية من حيث الشكل، والمورفولوجيا، وتاريخ البناء، وحالة الحفظ. ويأتي موقع تهودة بوصفه نموذجاً مثالياً لتطبيق هذه التكنولوجيات الحديثة، نظراً لغناه الطبقي وتعدد مكوناته التي تتطلب أدوات قادرة على إنتاج توثيق متكامل قبل أي تدخل ترميمي. يعدّ تهودة من المواقع ذات الأهمية الاستثنائية في الجزائر، بما يحتويه من آثار دينية وعسكرية وسكنية تعود إلى فترات تاريخية مختلفة. غير أنّ هشاشة مواده وتعرضه المستمر للعوامل المناخية، خصوصاً الرياح، الأمطار والرطوبة. يفرض ضرورة اعتماد تقنيات دقيقة تمكّن من تسجيل الوضعية الأصلية قبل تدهورها. وهنا تبرز أهمية التكنولوجيات الرقمية الحديثة، وعلى رأسها الفوتوغرامتري، والنمذجة الرقمية في خلق تصور كامل للموقع يسمح بفهم مراحل التاريخ، وتحليل عناصره، ووضع أسس علمية للتدخل المستقبلي.

I. الإطار المفاهيمي للتوثيق الأثري وأهميته :

يشمل التوثيق الأثري جميع العمليات العلمية التي تسعى إلى تسجيل الخصائص المادية والمعمارية للموقع بما في ذلك أبعاده وعناصره وعلامات التدهور والطبقات الإنشائية. ويمثل التوثيق قاعدة معرفية ضرورية لا يمكن للاستراتيجيات الترميمية أن تُبنى دونها خاصة في المواقع الحساسة. ففي المواقع التاريخية الكبرى لا يعد التوثيق مجرد خطوة إدارية، بل هو أداة تحليلية تسمح بتتبع تطور المبنى عبر الزمن، والتعرف على مراحل بنائه وتحديد المواد المستخدمة في كل فترة. إلا أن الطرق التقليدية في التوثيق ظلت تعاني من عدة معوقات من بينها بطء العملية وإمكانية وقوع أخطاء بشرية، وصعوبة تمثيل الفضاءات المعقدة، وعجز الرفع اليدوي عن توفير بيانات دقيقة تسمح بدراسة التشوهات البنوية. ومع ظهور التكنولوجيات الرقمية، أصبح بالإمكان تجاوز هذه التحديات من خلال إنشاء نماذج ثلاثية الأبعاد دقيقة، تُثري التحليل العلمي وتوفر مرجعاً موضوعياً يمكن الاعتماد عليه في اتخاذ القرارات المتعلقة بالحفظ، وتتوافق أهمية التوثيق مع ما نص عليه ميثاق البندقية لعام 1964م، الذي شدد في المادة 16 على ضرورة تسجيل جميع مراحل التدخل وتوثيق المعالم بدقة، لضمان المتابعة المستمرة وحفظ المعلومات المتعلقة بحالتها في كل مرحلة. كما توضح الدراسات الحديثة حول إدارة المعلومات التراثية، أهمية توفير بيانات محدثة لدعم عمليات التوثيق والصيانة².

II. التكنولوجيات الحديثة في التوثيق الأثري:

² - ANDREWS, 2009.

أصبح استعمال التكنولوجيات الرقمية اليوم جزءاً أساسياً من منهجيات التوثيق الأثري، إذ أسهم في توفير معطيات دقيقة قابلة للقياس والتحليل مقارنة بالطرق التقليدية. وتعد تقنية الفوتوغرامترية من أكثر الأدوات انتشاراً في هذا المجال، وقد عرّفها كاربونال Carbonnell سنة 1969م، بأنها تقنية تمكّن من إعادة بناء الشكل الهندسي ووضعية العناصر انطلاقاً من صور ملتقطة من زوايا متعددة³، بينما اعتبرها ليندر Linder علماً يقوم على اشتقاق الهندسة ثلاثية الأبعاد من الصور، اعتماداً على مبادئ التثليث الهندسي⁴. ومع التطور الكبير في قدرات المعالجة الرقمية منذ ستينيات القرن الماضي، ثم انتشار التصوير الرقمي في التسعينيات، أصبحت الفوتوغرامتري عملية شبه آلية قادرة على معالجة مجموعات كبيرة من الصور وإنتاج نماذج ثلاثية دقيقة وبتكلفة منخفضة نسبياً.

وتعتمد الفوتوغرامتري على تحليل التداخل بين الصور لتحديد مواقع الكاميرات وخطوط الرؤية وحساب موقع كل نقطة في الفضاء، مما يسمح بتوليد سحابة نقطية كثيفة ثم إنشاء شبكة مثلثية يمكن إسقاط النسيج عليها لإنتاج نموذج ثلاثي الأبعاد قابل للقياس. وقد أبرزت دراسات متخصصة في هذا المجال قدرة هذه التقنية على دعم التوثيق الأثري في البيئات المعقدة أو المواقع التي تعرضت لتدهور جزئي⁵. وإلى جانب الفوتوغرامتري ظهرت أدوات أخرى تدعم التوثيق الرقمي للمواقع الأثرية. من بينها تقنية الليدار التي تعتمد على نبضات ليزيرية لقياس المسافات بدقة عالية، مما يسمح بتوليد سحابة نقطية منتظمة ومتكاملة حتى في المساحات الواسعة أو العناصر ذات التفاصيل الدقيقة. ويُستخدم الليدار عادة في الحالات التي تتطلب تسجيل كامل للمشهد أو عندما تكون ظروف الإضاءة أو الوصول إلى العناصر محدودة.

كما تُعد النمذجة الرقمية إحدى الأدوات المكملّة في هذا المجال، حيث تتيح إعادة بناء العناصر المندثرة أو غير المكتملة، مما يوفر إمكانات إضافية لدراسة تطور المبنى عبر الزمن. وتأتي نظم المعلومات الجغرافية كإطار مرجعي يسمح بدمج البيانات الميدانية والصور والنماذج الرقمية ضمن سياق طبوغرافي وجغرافي شامل، وهو ما يشكل قاعدة بيانات متكاملة لدراسة الموقع في علاقته بمحيطه. يسهم هذا التنوع في الأدوات الرقمية في توفير منظومة متكاملة للتوثيق، تسمح بتسجيل المعالم بدقة وتنظيم البيانات بصيغة قابلة للتحليل والمقارنة، وتدعم صياغة رؤية علمية حول حالة الموقع وتطوره واحتياجاته من حيث الصون والإدارة.

III. منهجية تطبيق الفوتوغرامتري في موقع تهودة:

اعتمد توثيق معلم المسجد في موقع تهودة على منهجية عمل دقيقة تقوم على استخدام التصوير الرقمي كأساس لإنتاج نموذج ثلاثي الأبعاد عالي الدقة. بدأت العملية بتنفيذ حملة تصوير ميدانية واسعة

³ - CARBONNELL, 1969.

⁴ - LINDER, 2013.

⁵ - REMONDINO; al., 2006.

تهدف إلى تغطية جميع الواجهات والفضاءات المكشوفة والمغلقة للمسجد. وقد تم التقاط الصور وفق مسارات مدروسة تراعي التداخل المطلوب بين اللقطات وتنوع الزوايا وارتفاعات الكاميرا، وذلك لضمان جمع معلومات هندسية كافية يمكن اعتمادها في إعادة بناء الشكل الحقيقي للمعلم. وقد سمح هذا الأسلوب بتسجيل اختلافات الإضاءة، والظلال، وتباين الأسطح، مما عزز جودة البيانات الأولية قبل إدخالها إلى برنامج المعالجة.

بعد الانتهاء من مرحلة التقاط الصور، تم إدخال مجموعات البيانات إلى البرمجيات المخصصة في الفوتوغراممري، حيث يجري أولاً تحليل الصور ومحاذاتها بشكل آلي لتحديد مواقع الكاميرات في الفضاء. وبناءً على النقاط المتطابقة بين الصور، ينتج البرنامج سحابة نقطية أولية تمثل الهيكل العام للمبنى. وبعد عدد من عمليات التكرار والمعالجة، تتحول هذه السحابة إلى سحابة نقطية كثيفة تتضمن عدداً كبيراً من النقاط، بما يسمح بتمثيل الأسطح والخطوط والانحناءات بدقة أكبر.

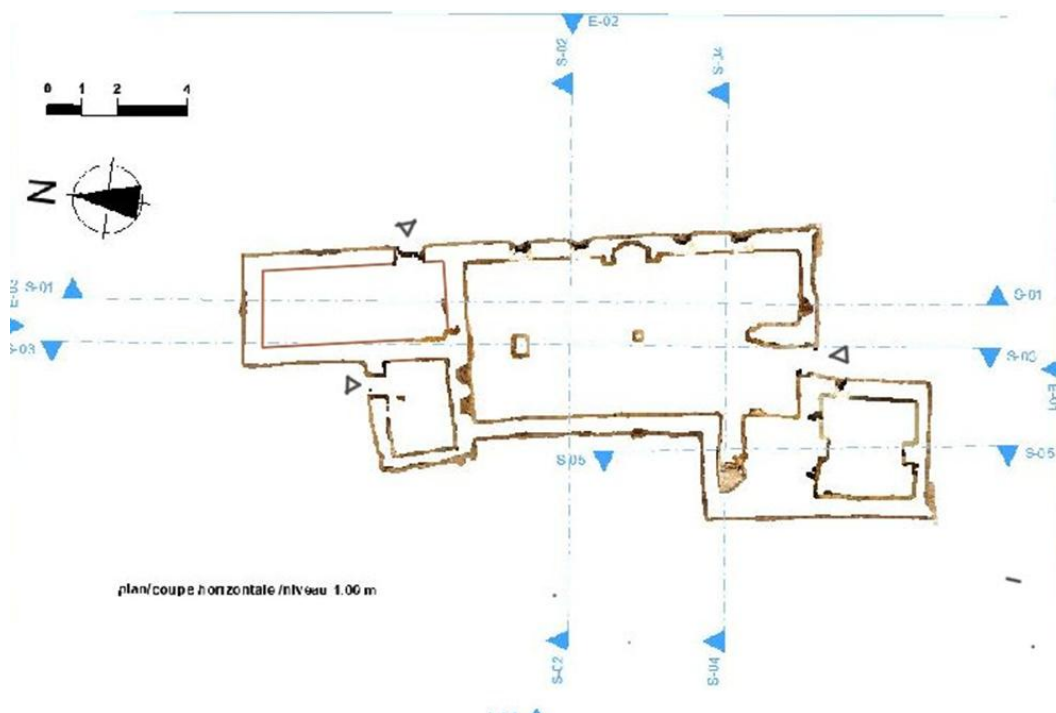
في المرحلة التالية، يتم تحويل السحابة النقطية إلى شبكة مثلثية تمثل الشكل الهندسي الكامل للمبنى. وتعمل هذه الشبكة على تنظيم النقاط وربطها ضمن أسطح صلبة قابلة للقياس والمعالجة الهندسية. وبعد ذلك يجري إسقاط النسيج اللوني المستخلص من الصور الأصلية على الشبكة، مما ينتج نموذجاً ثلاثي الأبعاد واقعياً، يعكس لون وملمس العناصر المعمارية بشكل قريب جداً من حالتها الفعلية في الموقع. ويتيح هذا النموذج إمكانية تحليل تفاصيل السطح، ومراقبة التشققات، وتحديد مناطق الانهيار أو التدهور التي يصعب اكتشافها بالعين المجردة أثناء العمل الميداني.

وتبرز أهمية هذه المنهجية في قدرتها على توفير بيانات دقيقة اعتماداً على معدات بسيطة نسبياً، مما يجعلها مناسبة للبيئات الأثرية التي تتطلب سرعة في الأداء ودقة في النتائج. كما أن النموذج الرقمي المحصل عليه يشكل سجلاً ثابتاً للحالة الأصلية للمسجد، ويمكن استخدامه لاحقاً للمقارنة والقياس، أو لإعادة بناء أجزاء مفقودة، أو لتوجيه أعمال الصيانة والترميم وفق معايير مبنية على بيانات موضوعية. وقد أثبتت هذه المنهجية قدرتها على تقديم تصور متكامل لبنية المسجد في موقع تهودة وعلى دعم الجهود العلمية الرامية إلى حفظ هذا التراث ودراسته بصورة أكثر عمقاً.

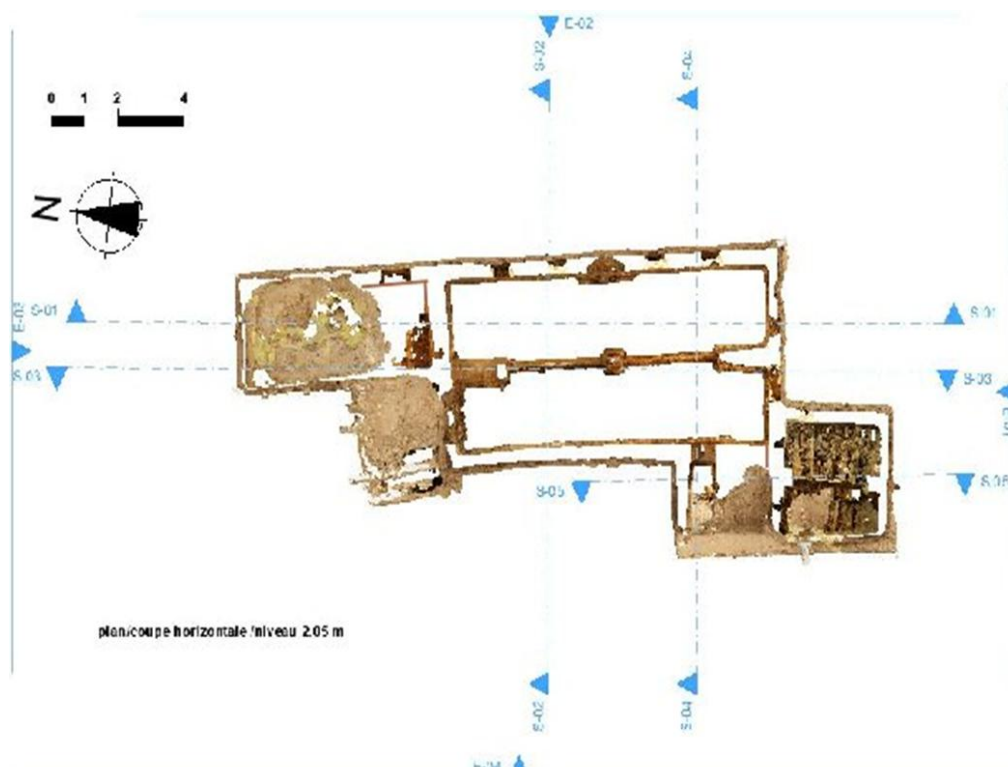
IV. نتائج التطبيق وأثرها العلمي:

أظهرت عملية تطبيق الفوتوغراممري في موقع تهودة عدداً من النتائج العلمية التي أثرت بشكل مباشر في فهم المعلم وفي طريقة التعامل معه من حيث التوثيق والتحليل. سمحت النموذج الرقمية المستخرجة باشتقاق مجموعة واسعة من الوثائق الهندسية التي تشمل المخططات الأفقية، والمقاطع الطولية والعرضية، والواجهات التفصيلية (الصورة 01، و02، و03، و04، و05، و06)، وتمثل هذه الوثائق أساساً مهماً لفهم العلاقات بين الفضاءات الداخلية، ودراسة الخصائص المورفولوجية للبناء، وتحليل طرق الإنشاء وتقنيات البناء المستعملة. كما أصبحت هذه النماذج مرجعاً يمكن العودة إليه في أي مرحلة لاحقة لمراقبة التغيرات التي قد تطرأ على المعلم نتيجة العوامل الطبيعية أو التدخلات البشرية. وكذلك سمح

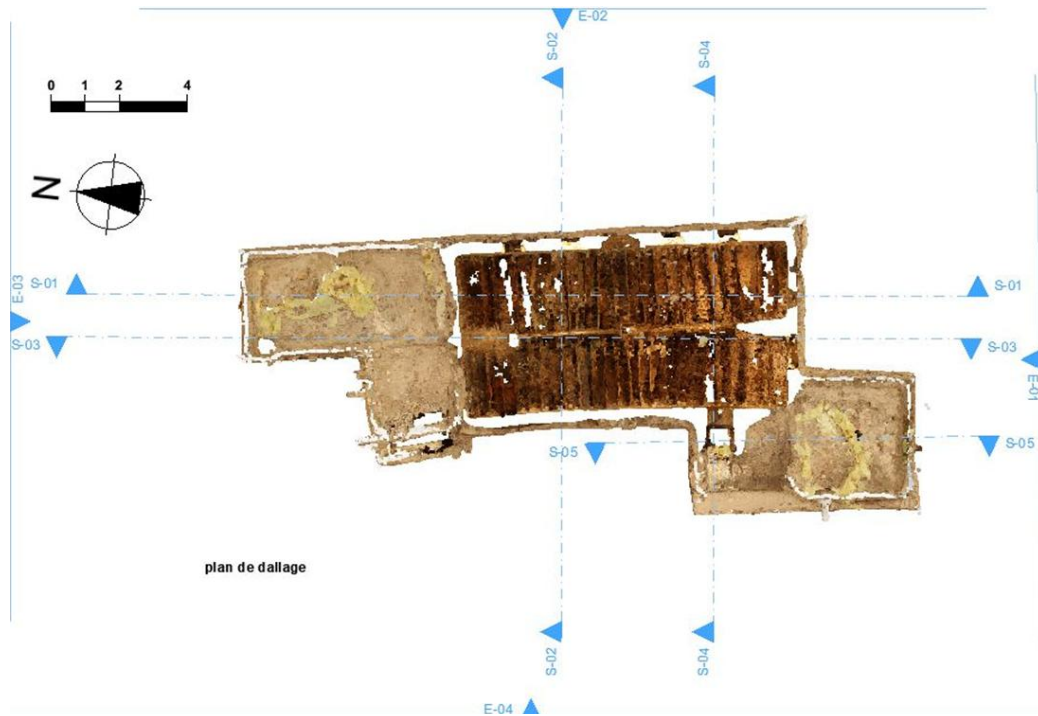
النموذج الرقمي الذي تم إنتاجه بدراسة مكونات المسجد دون الحاجة إلى تكرار الزيارات الميدانية، الأمر الذي يمثل فائدة مهمة في المواقع الأثرية التي يصعب الوصول إليها أو التي تتطلب إجراءات حماية خاصة. كما مكن النموذج من رؤية المبنى من زوايا متعددة لا تتيحها الزيارات المباشرة، خاصة تلك المتعلقة بالمناطق المرتفعة أو الضيقة أو المهددة بالانهيار.



الصورة 01: مقطع عرضي في المجسم ثلاثي الابعاد على مستوى 1م. عن: بلواعر، علاء الدين.



الصورة 02: مقطع عرضي في المجسم ثلاثي الابعاد على مستوى 2م. عن: بلواعر، علاء الدين.



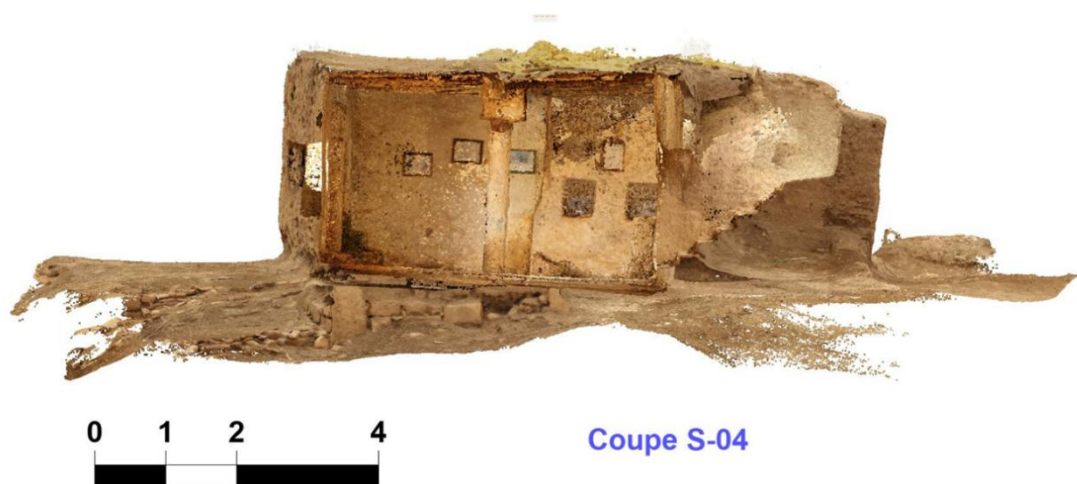
الصورة 03: مخطط التسقيف. عن: بلواعر، علاء الدين.



الصورة 04: مقطع رقم 1. عن: بلواعر، علاء الدين.

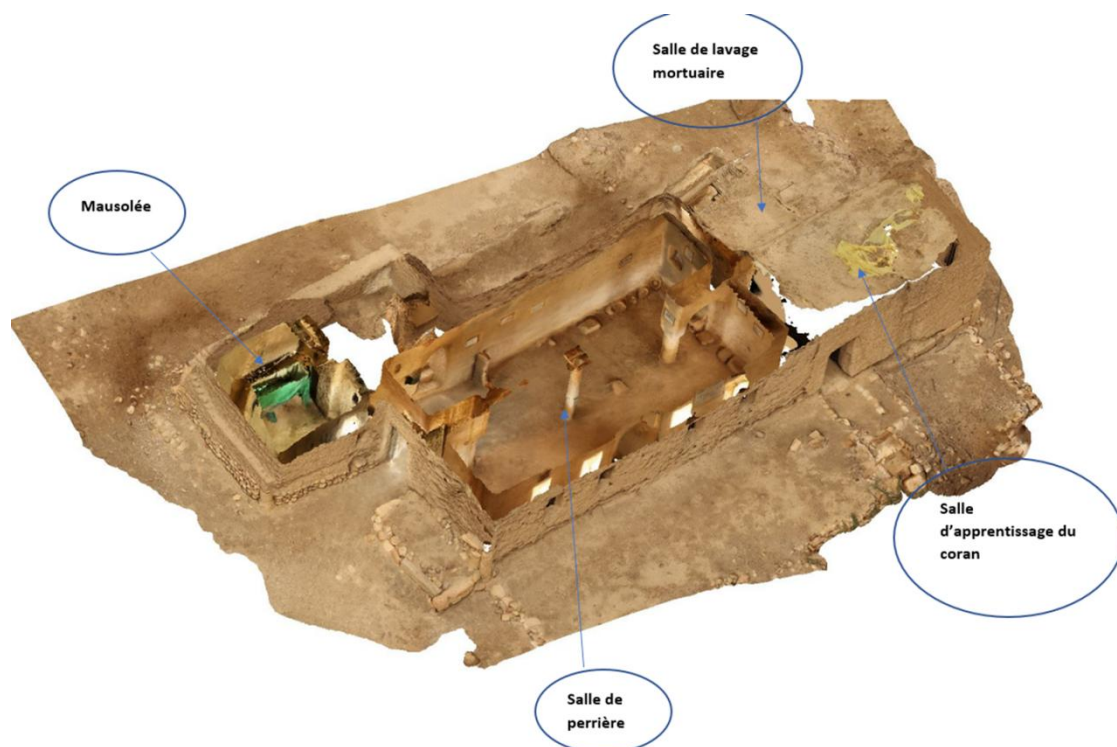


الصورة 05: مقطع رقم 3. عن: بلواعر، علاء الدين.

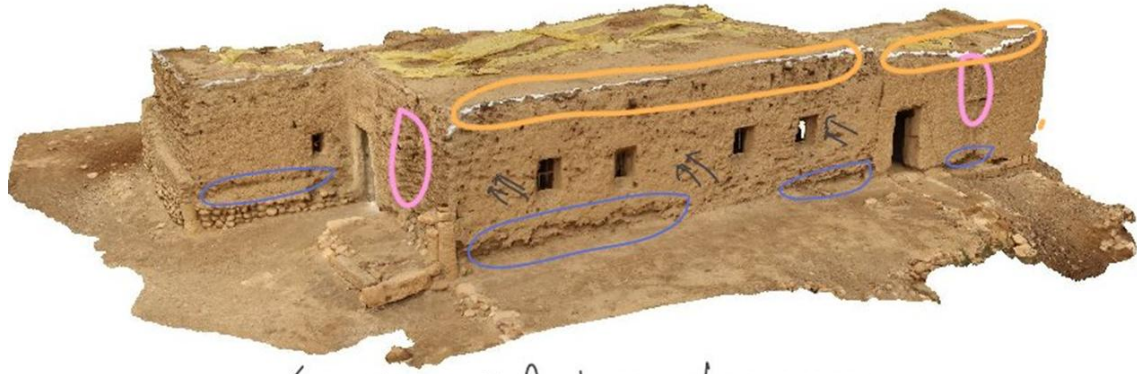


الصورة 06: مقطع رقم 4. عن: بلواعر، علاء الدين.

وقد ساعدت النماذج الرقمية على الكشف عن العلاقات المكانية بين أجزاء المسجد (**الصورة 07**)، بما في ذلك دراسة تنظيم الفضاءات، وطبيعة ارتباط الوحدات الداخلية بالجدران الحاملة، وتحديد الفروق بين العناصر التي تنتمي إلى فترات بناء مختلفة. كما سمح النموذج بإظهار التشوهات الدقيقة في الأسطح والجدران (**الصورة 08، و09**)، بما في ذلك الانبعاجات والانحرافات والانكسارات، وهي عناصر يصعب ملاحظتها بالعين المجردة في الموقع لكنها تؤثر بشكل واضح في فهم الحالة الإنشائية للمبنى.



الصورة 07: مقطع في المجسم ثلاثي الأبعاد يوضح العناصر المكانية. عن: بلواعر، علاء الدين.



○ érosion à la base des murs
○ absence d'acrotère
○ rouille d'eau sur mur
↗ enduits érodés

الصورة 08: المشاكل البنوية التي يعاني منها مسجد نتيجة العوامل الطبيعية. عن: بلواعر، علاء الدين.



Fléchissement de portelle
blanchiment de mur vers l'extérieur

الصورة 09: المشاكل البنوية التي يعاني منها مسجد تهودة الاثري. عن: بلواعر، علاء الدين.

إضافة إلى ذلك، أتاحت البيانات الرقمية المخزنة إمكانية تتبع تطور حالة المسجد بمرور الزمن، إذ يمكن مقارنة النموذج الحالي (الصورة 10) مع نماذج مستقبلية لاكتشاف أي تغيرات تحدث نتيجة عوامل التدهور الطبيعية أو تدخلات الصيانة. ويمنح هذا الأسلوب قدرة تحليلية مهمة تسمح بتقييم فعالية الأعمال المنفذة، وتحديد المناطق التي تحتاج إلى معالجة إضافية، ورصد المؤشرات المبكرة لأي تدهور محتمل.

كما أدى توفر مخزون رقمي دقيق إلى تعزيز القدرة على إعداد مخططات استرجاعية أو إعادة بناء افتراضية لأجزاء مفقودة من المسجد، وهو ما يدعم البحوث المتعلقة بتاريخ العمارة والتطور العمراني

للموقع. ويمكن أيضاً استخدام النموذج في النشر العلمي، والتعليم الجامعي، والعروض المتحفية الرقمية، مما يوسع دائرة الاستفادة من نتائج التوثيق.



الصورة 10: المجسم الثلاثي الأبعاد لمسجد تهودة الأثري في سنة 2024م. عن: بلواعر، علاء الدين.

وتبرز أهمية هذه النتائج في كونها توفر قاعدة معرفية منهجية يمكن الاعتماد عليها في اتخاذ القرارات المتعلقة بصون المعلم. فالنموذج الرقمي لا يمثل مجرد أداة توثيق، بل يشكل جزءاً من منظومة تحليلية تشمل التشخيص، والمتابعة، وتقييم الأداء الإنشائي، وهو ما يدعم وضع خطط حماية مبنية على بيانات دقيقة وليست على الملاحظة البصرية فقط.

الخاتمة

يهدف هذا البحث إلى إبراز أهمية التوثيق الرقمي في دراسة المعالم الأثرية، مع اعتماد موقع تهودة نموذجاً لتطبيق تقنية الفوتوغراممري في تسجيل العناصر المعمارية وتحليلها. وقد تناول العمل الجوانب المفاهيمية المرتبطة بالتوثيق الأثري، إضافة إلى عرض منهجية ميدانية ورقمية مكتملة تهدف إلى إنتاج نماذج ثلاثية الأبعاد دقيقة يمكن الاعتماد عليها في فهم البنية المورفولوجية للمعلم وتقييم حالته. أظهرت النتائج المتوصل إليها أن الفوتوغراممري يوفر إمكانيات واسعة لتوثيق المعالم المبنية بدقة عالية ومن خلال تجهيزات بسيطة نسبياً، إذ يمكن عبر جهاز كمبيوتر وكاميرا فقط الوصول إلى نماذج ثلاثية الأبعاد ذات جودة مقبولة تسمح بدراسة العناصر المعمارية دون الحاجة إلى زيارات ميدانية متكررة. كما مكّن النموذج الرقمي من استخراج مخططات وواجهات ومقاطع دقيقة تُسهم في تحليل تطور المسجد وتحديد مراحل بنائه، إضافة إلى رصد الفروق في تقنيات البناء وتحديد مواقع التدهور.

ويُعدّ التوثيق الدقيق للعملية قبل وأثناء وبعد التدخل على المعلم خطوة أساسية لأنها تتيح معرفة طبيعة الأعمال المنجزة ونمط التدخل بدقة، كما تشكل سجلاً رقمياً للتطورات التي يشهدها الموقع، الأمر الذي يساعد على تقييم أصالته والحفاظ على مصداقية القراءات الأثرية المستقبلية. وتوفر برامج الفوتوغراممري حلولاً تقنية مبسطة لكنها فعّالة لإنتاج هذا النوع من السجلات الرقمية، إذ تسمح بإنشاء محتوى ثلاثي الأبعاد عالي الجودة اعتماداً على سلسلة من الصور الرقمية المتقاطعة.

وتوضح هذه النتائج أن تقنية الفوتوغراممري لا تقتصر على كونها أداة توثيق، بل تشكل وسيلة تحليلية يمكن أن يستفيد منها المهندسون المعماريون وعلماء الآثار في الجزائر لتسجيل مواقع التراث في بيئاتها القاسية، خاصة في المناطق الصحراوية التي يصعب العمل فيها أو التي تتعرض مبانيتها للهشاشة والتدهور المستمر. كما أن النماذج الرقمية الناتجة تمثل مرجعاً يمكن العودة إليه لمتابعة حالة المعلم بمرور الزمن، وتقييم فعالية التدخلات المستقبلية، وتوجيه خطط الحماية وفق أسس موضوعية قابلة للقياس والمقارنة.

وتطالب هذه الدراسة في ختامها إلى ضرورة مواصلة الاستثمار في تقنيات التوثيق الرقمي وتعزيز قدرات المختصين في هذا المجال، لما لهذه الأدوات من دور محوري في حماية التراث المعماري وصونه، وفي تطوير المعرفة العلمية المرتبطة بتاريخ العمارة في الجزائر وبيئتها الثقافية والمجالية.

قائمة البibliوغرافيا:

1. ANDREWS, D. D.; BEDFORD, J.; PAPWORTH, H.; HERITAGE, E., 2009, Measured and Drawn: Techniques and Practice for the Metric Survey of Historic Buildings, Swindon: English Heritage.
2. CARBONNELL, M., 1969, Introduction à l'application de la photogrammétrie aux édifices et aux ensembles monumentaux anciens, in Monumentum, IV.
3. LINDER, W., 2013, Digital Photogrammetry: Theory and Applications, Berlin.
4. REMONDINO, F.; EL-HAKIM, S., 2006, "Image-based 3D modeling: a review". in The Photogrammetric Record Journal, 21, 115, September, pp. 269-291.doi:10.4224/21275176