

مناهج ووسائل الرفع الفوتوغرامتري الثلاثي الأبعاد في المجال الأثري "تمودج من القلعة البيزنطية تيمقاد"

Méthodes et moyens de photogrammétrie 3D dans le domaine archéologique «La forteresse byzantine de Timgad-cas d'étude»

ط.د. / بلواعر علاء الدين

قسم الهندسة المعمارية، كلية العلوم والتكنولوجيا، جامعة بسكرة.

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

أ. د. / حاجي ياسين رابح

معهد الآثار، جامعة الجزائر 2.

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

الملخص:

تتملك الجزائر خزان واسع من التراث الأثري الذي يواجه أخطار عدة. تمثل المعالم التي ترجع للفترة البيزنطية جزء كبير من هذا التراث، حيث يوجد في حالة حفظ متدهورة، ويعاني الخبراء من صعوبة التوثيق، لأن التقنيات التقليدية للتوثيق تتطلب جهدا ووقتا معتبرا. اليوم مع تطورات التكنولوجيا في مجال التوثيق تمكن الآثاريون والمختصون من التغلب على هذه الصعوبات. موضوع المقال يتطرق لهذه الإشكالية من خلال عرض جزء من عمل أنجز خلال مذكرة ماجستير حول القلعة البيزنطية الموجود بالموقع الأثري بتيمقاد.

الكلمات المفتاحية: الفوتوغرامتري، ثلاثي الأبعاد، التوثيق التراثي، القلعة البيزنطية، تيمقاد، التراث، الرقمنة ثلاثية الأبعاد، تطبيقات، برامج حاسوبية.

Résumé :

L'Algérie possède un immense patrimoine archéologique, qui subit de nombreux dangers. Les monuments de l'époque byzantine représentent une grande partie de ce patrimoine qui est en état de conservation délicate également, les experts trouvent des difficultés dans leur mission de documentation car les techniques traditionnelles de documentation exigent un effort et un temps considérables. Aujourd'hui, avec les progrès des technologies numériques de documentation, les archéologues et les spécialistes ont surmonté ces difficultés. Le sujet de cet article aborde cette problématique en présentant une partie du travail effectué lors d'un mémoire de magistère qui porte sur la forteresse byzantine de Timgad.

Mots clés: Photogrammétrie, 03 dimensions, documentation patrimoniale, forteresse byzantine, Timgad, patrimoine, numérisation 03 dimensions, applications, logiciels.

Abstract :

Algeria has a huge archaeological heritage, which has suffered many dangers. the monuments of the Byzantine period represent a large part of this heritage which is in a delicate state of conservation also, the experts suffer from the difficulties of the documentation, because the traditional technics of documentation require a considerable effort and time. Today, with advances in digital documentation technologies, archaeologists and specialists have overcome these difficulties. The subject of this article addresses this problem by presenting some of the work done in a master thesis about the byzantine fortress of Timgad.

Keywords: Photogrammetry, 03 dimensions, heritage documentation, byzantine fortress, Timgad, heritage, 03 dimensions digitization, applications, softwares.

في يومنا هذا تتعرض المعالم الأثرية والمعمارية التاريخية لمخاطر متعددة، تتعلق بالمناخ كالعوامل الطبيعية للتعرية والكوارث الطبيعية، وعامل الزمن والعوامل المتعلقة بالتدخل البشري. كل هذا يجعل التراث الوطني في وضعية هشة ومهدد بالاندثار أمام أعين المختصين وجمهور المهتمين.

لتخطي هذه الوضعية الصعبة يتطلب اللجوء إلى حلول التكنولوجية المتوفرة حالياً، حيث ظهرت مؤخراً تقنيات الرقمنة ووسائل الرفع الثلاثي الأبعاد¹، منها تقنية الفوتوغرامترية المزودة بوسائل تطورت، وأصبحت سهلة المنال للمختصين. لجأنا في هذه الدراسة إلى هذه التقنية بطرق ومنهاج مختلف بهدف شرحها وعرضها للمختصين لاستعمالها لتثمين المواقع، وأيضاً توثيق مجالات القلعة الأثرية التي تعود للفترة البيزنطية.

1. تقنية الرفع الفوتوغرامتري الثلاثي الأبعاد:

عادة ما يتم تعريف التقنية الفوتوغرامترية بالتقنية التي تسمح بإعادة بناء الشكل، أبعاده ووضعية الأشياء من خلال مناظير الشكل المستهدف المسجلة عبر صوره الفوتوغرافية². أما عملياً فهي علم اشتقاق هندسة ثلاثية الأبعاد من الصور الفوتوغرافية. بناءً على مبادئ علم المثلثات، يعتمد الرسم البياني على التداخل الصور التي التقطت من مواقع مختلفة. تحدد هذه الصور خطوطاً مختلفة للبصر بين كل نقطة الكاميرا والجسم موضوع التصوير، وذلك من خلال تثليث تقاطعات خطوط الرؤية، ويصبح من الممكن تحديد موقع

¹-BELOUAAR, A., 2016, pp. 69-72.

²-CARBONNELL, M., 1969, pp. 03-35.

ثلاثي الأبعاد للنقاط³. مع إدخال أجهزة الكمبيوتر خلال الستينيات تم تطوير تقنية الفوتوغرامتري من خلال استخدام حلول رقمية مكثفة حسابيا، وأيضا في التسعينيات، أدى ظهور الصور الرقمية إلى استبدال صور الفيلم بالصور الرقمية. وإلى جانب ذلك، أدى التطور السريع لسعة الذاكرة والقوة الحسابية، إلى جعل الفوتوغرامتري إلى حد كبير عملية تلقائية مع القدرة على التعامل مع كميات كبيرة من الصور الفوتوغرافية الرقمية.

2. أثر الفوتوغرامتري في المجال الآثاري والمعماري:

في المجال التاريخي، يتمثل التحدي الدائم في نقص الوثائق الفادح، خاصة المباني التي تعود إلى الفترات القديمة، أو التي اكتشفت حديثا من خلال الحفريات الآثارية، والتي لا توجد لها مخططات دقيقة في المصالح المختصة لذلك. في هذا السياق، تعد الرقمنة الثلاثية الأبعاد الأداة الأمثل لا غنى عنها للحفاظ على التراث. أيضا، تعتبر الحفريات الآثارية عملية تدميرية للطبقات الأثرية وخاصة العلوية منها للوصول إلى أقدم طبقة ستراتيجرافية⁴، لهذا تتيح الرقمنة بواسطة الفوتوغرامتري الحصول على تمثيل ثلاثي الأبعاد دقيق للغاية، لكل الدلائل الأثرية التي ستختفي إلى الأبد، والتي ستبقى للأجيال القادمة، ويمكن استعمال التقنية من الداخل ومن الخارج دون تعريض المبنى لأدنى خطر من التدهور.

هذه العملية قابلة للتطبيق على حد سواء للبنى التحتية الضخمة أو اللقى أو العناصر المعمارية ذات التفاصيل الدقيقة مثل الزخارف أو الفسيفساء. يتيح الحصول على هذه البيانات ثلاثية الأبعاد إنشاء مخططات ثنائية وثلاثية الأبعاد، وأيضا لنمذجة كاملة للعنصر الثقافي الحضاري ذو الأهمية القصوى لحفظ التراث. يمكن استخدام هذا النموذج في الوقت الحالي، ويمكن أن يكون أيضا بمثابة أساس لإعادة البناء ثلاثي الأبعاد للمبنى مطابق لمظهره الأصلي أثناء بنائه.

وبالتالي، من الممكن استخدام هذا الإسقاط بثلاثة أبعاد لجميع أعمال الترميم، وكذلك اقتراح مجسمات رقمية ثلاثية الأبعاد للجمهور في محاكاة للمبنى بخصائصه التاريخية وبعده الحضاري. تعتبر هذه التقنية أيضا ذات قيمة في سياق البحث العلمي، وخاصة الآثاري منه، وذلك من خلال توفير معلومات قيمة والسماح بجميع أنواع الإسقاط والتصور الممكنة.

3. دراسة حالة «القلعة البيزنطية بموقع تيمقاد الأثري»⁵:

³ - LINDER, W., 2006.

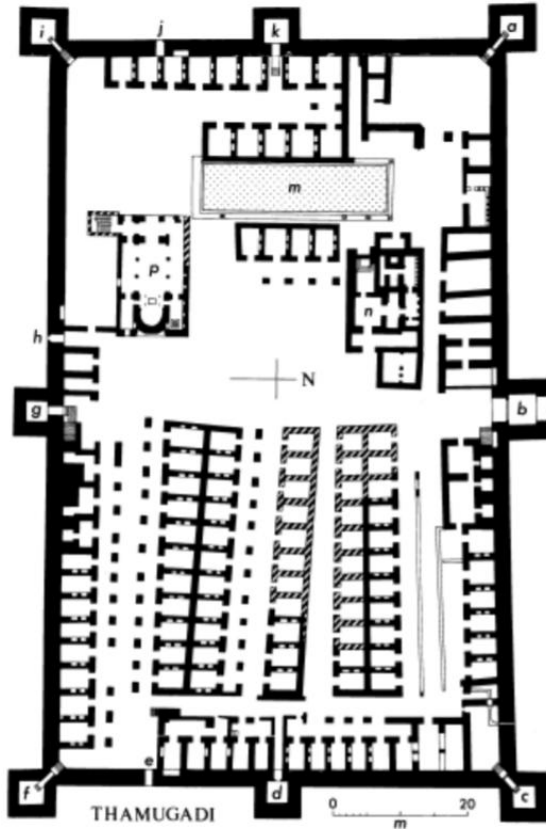
⁴ - WHEELER, M., 1954.

⁵ - هذا العنصر ما هو إلا أهم النتائج التي توصلنا إليها في: BELOUAAR, A., 2018.

أدت الاعتبارات المذكورة أعلاه لاختيار القلعة البيزنطية لتاموقادي (تيمقاد حاليا) كحالة مثالية للدراسة، حيث تشكل تحفة معمارية عسكرية تعود للفترة البيزنطية في الجزائر. ويمكن اعتبارها واحدة من أفضل الأمثلة

أو ربما النموذج الوحيد الذي يكشف عن مكونات القلاع البيزنطية الموجودة في إفريقيا القديمة.

حيث بنيت القلعة في 539م من قبل البطريرك صولومونيس، وأسوارها محفوظة على ارتفاع أكثر من 14م محيطها يبلغ 80م×120م. استعمل في بناء الحصن العديد من النقوش المسترجعة من مباني الفترة ما قبل البيزنطية. يضم الحصن ثكنات في الجزء الشرقي. ضم الجزء الغربي مرافق القيادة العامة: من مكاتب للإدارة العسكرية، وخزان مائي في شكل حوض مستطيل الشكل أعيد استخدامه في القلعة، وكنيسة صغيرة ذات مخطط بازيليكي مبنية على منصة المعبد السابق المسمى اكوا سبتيميانا (Aqua Septimaiana)، وحمامات للحامية (المخطط 01).



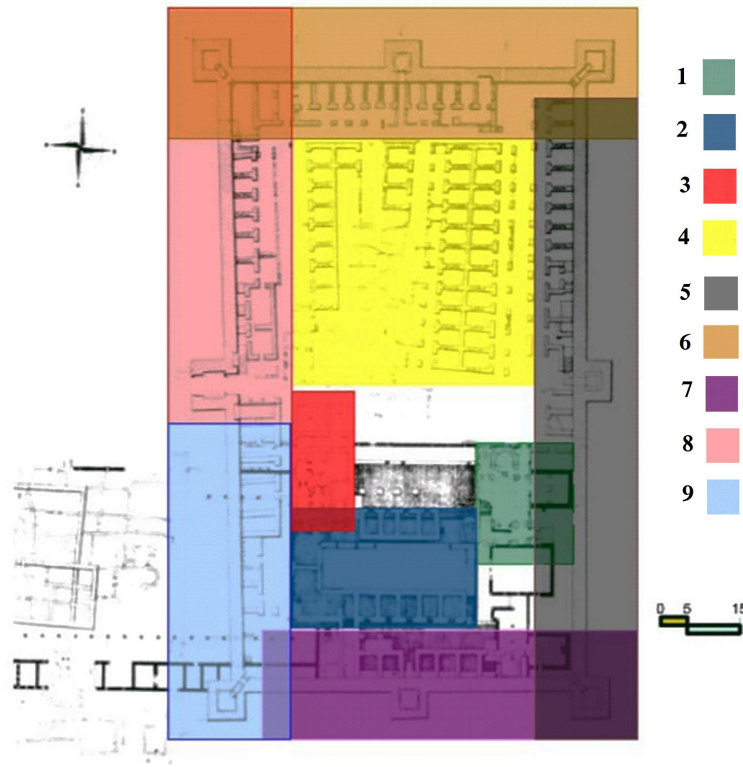
المخطط 01: القلعة البيزنطية بمدينة تيمقاد الأثرية. عن:

PRINGLE, D., 1981, p. 547.

4. منهجية ووسائل العمل:

تهدف الدراسة من تكوين نموذج رقمي في ثلاثة أبعاد للقلعة البيزنطية كما هي اليوم. من

خلال دمج التقنيات المختلفة وأدوات التسجيل ثلاثي الأبعاد للحصول على نماذج ثلاثية الأبعاد مفصلة للموقع، لتحقيق هذا الهدف، كان من الضروري، تطبيق بروتوكولين مختلفين حسب الوسائل المتاحة، ومدى ملائمتها لكل طريقة اقتناء، فقمنا بتصميم بروتوكول أرضي، حيث يتم النقاط الصور بواسطة الكاميرا أثناء المشي على الأقدام، لقد كان من الضروري تحديد الموقع في شكل قطاعات كما هو مبين في الصورة (الصورة 01) وذلك بسبب تكوين القلعة، وحجمها الضخم، وتنوع الأشكال والوظائف والمساحات المعقدة، والتعقيد الهندسي لعدة عناصر. قمنا أيضا بتصميم بروتوكول جوي حيث يتم النقاط الصور بواسطة طائرة بدون طيار، ومن ثمة يتم تشكيل مجسم ثلاثي الأبعاد للقلعة كاملة.



الصورة 01: مخطط القلعة والرموز الدلالية المرتبطة بكل قطاع: 1. الكنيسة، 2. حمام السباحة ومركز القيادة، 3. الحمامات، 4. النكتات، 5. الجدار الجنوبي والشارع الجنوبي، 6. الجدار الشرقي والشارع الشرقي، 7. الجدار الغربي والشارع الغربي، 8. شارع الجدار الشمالي والبوابة الرئيسية، 9. الجدار الشمالي والشارع الغربي. تلوين القطاعات عن بلواعر علاء الدين.

خيارنا للبرتوكول الأرضي هو استعمال آلة تصوير من نوع نيكون دي 3200 (Nikon D3200)، إذ توفر أداءً جيداً للغاية لتقنية الفوتوغراممري بحيث تحتوي هذه الكاميرا على مستشعر 24 ميجا بكسل، الذي يسمح بالتقاط الصور دون نقص في الجودة، والتي تسمح هذه الأخيرة بتعريف عدد كاف من النقاط المكونة للجسم المصور.

أما بالنسبة للبرتوكول الجوي، كان خيارنا طائرة بدون طيار من نوع بارو بيبوب2 (Parrot bebob2). تعتبر هذه الطائرة من بين أربعة عشر نوعاً من الطائرات بدون طيار، التي تشغل وتتأقلم بطريقة ممتازة مع تطبيق الفوتوغراممري بيكس4 ديكابتر (pix4Dcapture). تحتوي هذه الطائرة على كاميرا مدمجة من طراز عين السمكة (fish eye)، التي تسمح بالتصوير بزاوية واسعة تصل إلى 180 درجة قطرياً، بفضل الخاصية التي تتميز بها وتتمثل في المسافة البؤرية القصيرة جداً، وبالتالي تكون زاوية حقل الرؤية كبيرة جداً، حتى في الصورة الكاملة. يصل مستشعر هذه الكاميرا إلى 14 ميجابكسل.

بعد مسحنا للقلعة بالبروتوكولين، والحصول على الصور، نمر إلى مرحلة معالجتها ببرامج الفوتوغرامترية. فمن الضروري معرفة خصائص برامج توليد النماذج ثلاثية الأبعاد في حالتنا هي: أجيوسفوت فوتوسكان (photoscan Agisoft) للبروتوكول الأرضي، وللبروتوكول الجوي بيكس4 دي ماير (Pix4D mapper).

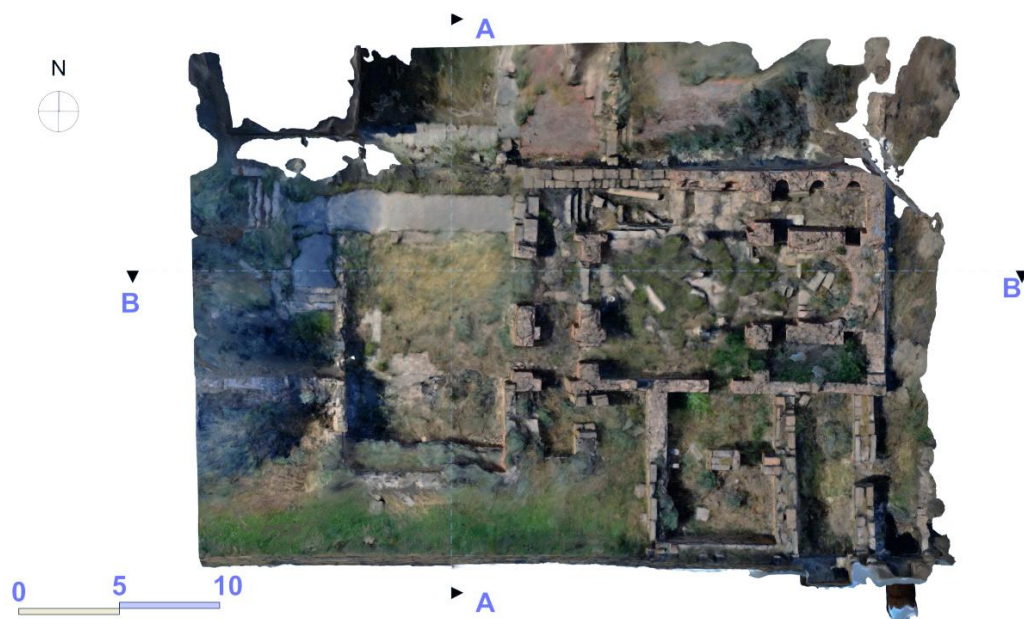
يستطيع برنامج اجيوسفوت فوتوسكان تحويل صور ثنائية الأبعاد متعددة إلى نموذج ثلاثي الأبعاد دقيق في عملية من ثلاث خطوات (محاذاة الصور، وبناء سحابة كثيفة، وشبكة بناء). هناك أيضًا خيار لبناء نسيج⁶. تعتبر الخوارزمية التي تؤدي العمليات المختلفة في الخلفية غير متاحة للجمهور. صرح ممثلو الشركة: "لقد فضلنا الخوارزميات ذات الدقة العالية في الإخراج على الطرق الأسرع والأقل دقة"⁷. أما بالنسبة للبرنامج المستعمل لمعالجة صور البروتوكول الجوي في المقام الأول، اخترنا تطبيق الهاتف الذكي بيكس4 ديكابتور للتحكم في النقاط الصور الجوية، لأنه متوافق مع الطائرة بدون طيار المستعملة "بارو بيبوب2". أيضًا، تم اختيار هذا التطبيق، لأنه يوفر للمستخدم خيارات مختلفة للتحكم في مسارات الطيران (مهمة الشبكة، ومهمة الشبكة الثنائية، والمهمة الدائرية) كما يقدم مجموعة واسعة من أحجام الرحلات الجوية. بينما تحد التطبيقات الأخرى من هذا النطاق، يقدم تطبيق بيكس4 (Pix4D) العديد من الارتفاعات التي يمكن ضبطها لمهمة الطائرة بدون طيار. يمكن ترتيب خيارات أخرى مع هذا التطبيق هي: السرعة، وتداخل الصور، وزاوية الكاميرا. يشتمل تطبيق بيكس4 ديكابتور أيضًا على واجهة بسيطة للغاية، يمكن للمستخدم من خلالها التعامل معها بسهولة، حيث تعطي الموقع في الوقت الفعلي للطائرة بدون طيار أثناء المسح الجوي، وحالة البطارية، وتقدم الطائرة في الرفع.

5. النتائج:

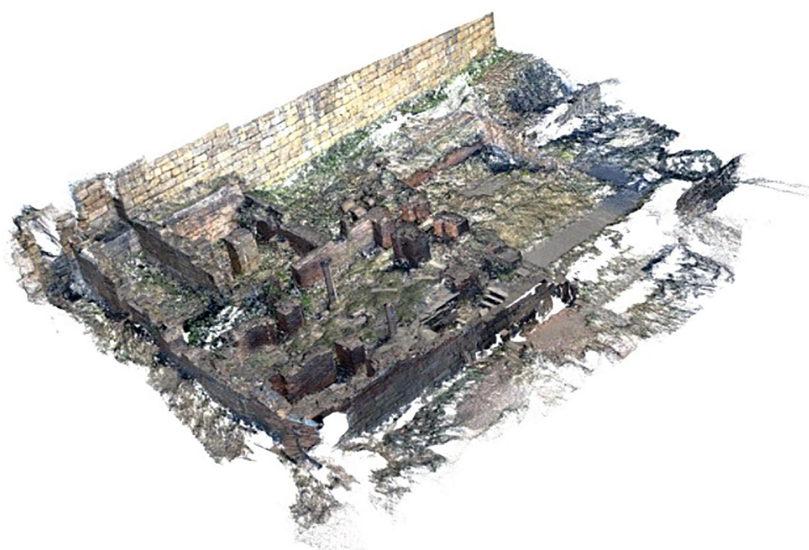
سنعرض نتائج مسح كنيسة القلعة (الشكل 03) كمثال على نتائج البروتوكول الأرضي والنتائج الكاملة للبروتوكول الجوي. تمت معالجة 4156 صورة فوتوغرافية التي تم الحصول عليها من المسح الأرضي للكنيسة، وتم تسجيل مجسم الكنيسة بالنقاط المبعثرة بنجاح، حيث عثر برنامج أجيوسفوت فوتوسكان على 3576 موقع كاميرا. استغرقت عملية توافق النقاط يومًا واحدًا و13 ساعة و16 دقيقة للمعالجة الأولى، وفي المرحلة الثانية تم إنشاء سحابة كثيفة من نقاط بعدد 18375476 نقطة (الشكل 04).

⁶ - VERHOEVEN, G., 2011, pp. 67-73. doi:10.1002/arp.399

⁷ - SEMYONOV, D.



الشكل 03: مخطط الكنيسة القلعة. عن: بلواعر علاء، 2018م.



الشكل 04: سحابة نقط كثيفة لكنيسة القلعة. عن: بلواعر علاء، 2018م.

وفي المرحلة الثالثة شبكة متعددة الأضلاع، تصور في وضع صلب ومظلل بعدد وجوه 412.920 مع 209.131 رأسًا وملمسًا. في الأخير تم استخراج المخططات والمقاطع كما هو مبين في (الشكل 5 والشكل 6).



الشكل 05: منظور لكنيسة القلعة. عن: بلواعر علاء، 2018م.

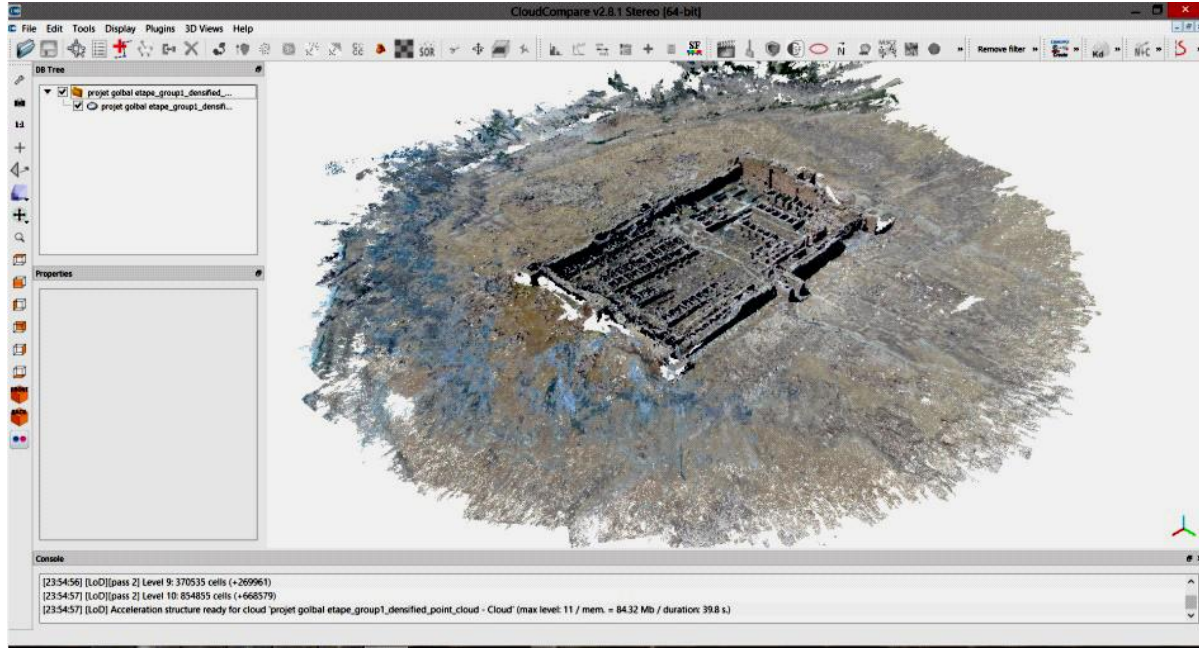


Coupe BB



الشكل 06: مقطع محور شرق-غرب لكنيسة القلعة. عن: بلواعر علاء، 2018م.

التقطت كاميرا اليبوب 2 63 صورة في مهمتي طيران: 31 صورة في الرحلة الأولى و 32 صورة في الرحلة الثانية. كل الصور 63 تم معالجتها، وكانت النتيجة سحابة كثيفة من النقاط التي احتوت على 25491677 نقطة، كما هو مبين في (الشكل 7). تم أيضا الحصول على شبكة متعددة أضلاع ب 1 مليون وجه و 475271 رأس كما هو مبين في (الشكل 8).

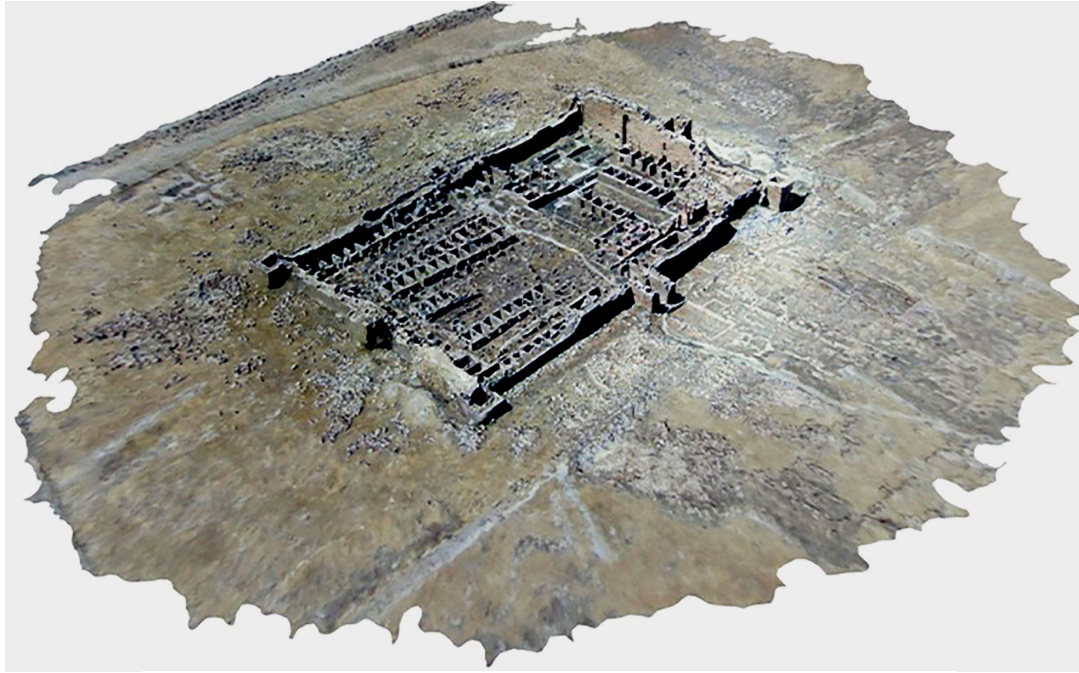


الشكل 07: سحابة النقط المكثفة للقلعة. عن: بلواعر علاء، 2018م.

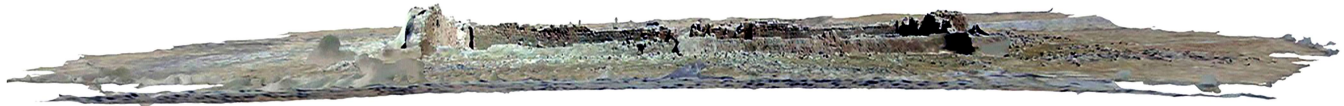


الشكل 08: شبكة متعددة أضلاع القلعة. عن: بلواعر علاء، 2018م.

في الأخير تم استخراج المخططات والمقاطع كما هو مبين في (الشكل 9 والشكل 10).



الشكل 09: مخطط القلعة. عن: بلواعر علاء، 2018م.



0 10 20

الشكل 10: الواجهة الجنوبية للقلعة. عن: بلواعر علاء، 2018م.

الخلاصة:

توفر برامج الفوتوغرامميتريّة حلول تقنية معلوماتية متطورة، يسهل من خلالها إنشاء محتوى ثلاثي الأبعاد عالي الجودة بسلسلة من الصور الرقمية.

من الطريقتين المستخدمتين للرقمنة، اتضح أن البرتوكول الأرضي يستغرق وقتاً طويلاً، ويتطلب عدداً كبيراً من الصور مقارنةً بالبرتوكول الجوي، حيث كانت 62 صورة فقط كافية لتشكيل نموذج ثلاثي أبعاد للقلعة. ومع ذلك، فإن استخدام الحيازة الجوية سمح لنا فقط بتصوير الجلد الخارجي للقلعة، على النقيض من ذلك، فإن الحيازة الأرضية تسمح بتصوير كل عنصر من عناصر القلعة بالتفصيل؛

تُظهر هذه النتائج قوة تقنية الفوطوغرامترية للتوثيق التراثي بتكلفة منخفضة إلى حد ما، فبواسطة جهاز كمبيوتر وكاميرا وطائرة بدون طيار يمكن الوصول إلى نتائج مقبولة.

أيضا يمكن أن تكون هذه النتائج مثالا للمهندسين المعماريين وعلماء الآثار في الجزائر، لتوثيق مواقع التراث الجزائري في بيئاتها القاسية.

في الأخير، هذا العمل هو وثيقة قيمة تسجل القلعة كما هي حاليًا، وقد تكون أساسًا للدراسات المستقبلية، أو وسيلة للتدخل في القلعة البيزنطية.

قائمة المراجع:

1. BELOUAAR, A., 2016, « La restitution 3D : outil de conservation et valorisation du patrimoine culturel bâti », in Turath el Ziban, 1, pp. 71-75.
2. BELOUAAR, A., 2018, La restitution numérique de la forteresse byzantine de Thamugadi. Masters thesis non publiée, Université Mohamed Khider – Biskra.
3. CARBONNELL, M., 1969, « Introduction à l'application de la photogrammétrie aux édifices et aux ensembles monumentaux anciens », in Monumentum, IV, pp. 03-35.
4. LINDER, W., 2006, Digital Photogrammetry, a practical course, in Springer-Verlag Berlin-Heidelberg.
5. PRINGLE, D., 1981, The Defence of Byzantine Africa, from Justinian to the Arab Conquest. An account of the military history and archaeology of the African provinces the sixth and seventh centuries. in BAR, International Series 99, II.
6. SEMYONOV, D., Agisoft community forum. 2011, Retrieved from Topic: Algorithms used in Photoscan: <http://www.agisoft.com/forum/index.php?topic=89.0>
7. VERHOEVEN, G., 2011, « Taking computer vision aloft – archaeological three-dimensional reconstructions from aerial photographs with photoscan », in Archaeological Prospection, pp. 67-73. doi:10.1002/arp.399.
8. WHEELER, M., 1954, Archaeology from the earth, Oxford.