

## UN SYSTÈME D'INFORMATION 3D POUR L'ARCHÉOLOGIE DU BÂTI: *SHOWBACK. LE CAS DE MONTRÉAL (SHAWBAK, JORDANIE)*

### 1. INTRODUCTION

Shawbak, connu aussi sous le nom de Crac de Montréal est l'un des châteaux médiévaux les mieux conservés du Moyen Orient (VANNINI 2007). Il est proche de Petra, en Jordanie, et selon les sources écrites il a été fondé par Baldwin I, au début du XII<sup>e</sup> siècle. La Chaire d'Archéologie médiévale de l'Université de Florence développe, depuis le 2002, un projet de recherche sur le site de Shawbak. Cette recherche se situe dans le cadre d'une étude sur l'implantation médiévale de la région de Pétra (VANNINI, NUCCIOTTI 2009). (Figs. 1-2).

Le projet est conduit selon la démarche de l'archéologie "légère" (VANNINI, NUCCIOTTI 2009), un système qui intègre diverses archéologies non invasives: archéologie du paysage, archéologie de l'environnement, archéologie du bâti, arqueo-informatique et fouilles. Dans cette approche l'archéologie du bâti recouvre une grande importance<sup>1</sup>. Shawbak en effet est un site très complexe avec des traces de l'époque romaine jusqu'à l'époque mamelouke et avec des phases croisade-ayyoubide importantes. Avec l'étude des bâtiments nous avons pu identifier vite les différentes phases d'établissement du site (Fig. 3, Pl. XI, a). D'un point de vue méthodologique chaque bâtiment est un dépôt stratigraphique le même que le dépôt stratigraphique du terrain. Les bâtiments peuvent être décomposé en USM (pour *Unità Stratigrafica Muraria* (HARRIS 1983, BROGIOLO 1988), en italien, et Unité Stratigraphique Construite en français, USC; BURNOUF *et al.* 2009, 171), comme on fait pour les fouilles<sup>2</sup>. Les diverses relations entre USM sont exprimées par la matrice de Harris

<sup>1</sup> «L'opzione metodologica di fondo consiste nell'attribuzione di un ruolo strategico – anche sperimentale e innovativo – dell'archeologia leggera, una procedura di lettura che integra a sistema le diverse archeologie non invasive (paesaggio, ambiente, elevati, arqueoinformatica, saggi mirati), che va nella direzione di consentire o facilitare un uso (economico in rapporto ai fini) direttamente storico delle documentazioni e della stessa analisi archeologica delle "strutture" del passato. si è elaborato così un sistema di analisi territoriali e la messa a punto di un processo di rilevamento tecnologico integrato. un ruolo centrale è affidato all'analisi stratigrafica degli elevati documentata con l'ausilio della fotogrammetria...» (VANNINI, NUCCIOTTI 2009, 28).

<sup>2</sup> Dans le cadre de l'archéologie du bâti il s'agit de déterminer grâce à l'étude des USM les différentes étapes de la construction et de l'évolution des édifices et d'isoler des phases du chantier pour comprendre la qualité des mains-d'œuvre. C'est-à-dire que: «Devant une élévation l'œil saisit toutes sortes de discontinuités, plus ou moins évidentes: arrachements, éléments architecturaux obsolètes, décalages, ruptures de l'appareil, changements de matériaux, de types d'agencement, de style...» (BURNOUF *et al.* 2009, 171).





Fig. 2 – Shawbak.



Fig. 3 – Lecture et identification des phases.

(HARRIS 1983). On peut donc intégrer également les données provenant de fouille avec les données des bâtiments. Mais l'archéologie du bâti produit une grande quantité de données qualitatives et quantitatives qui habituellement sont collectées dans des fiches et des relevés. Le besoin de gérer une telle multitude, textuelle et graphique, a suscité chez nous, archéologues, le besoin d'un ensemble d'outils destinées à produire, stocker, analyser et visualiser toutes ces données. L'objectif de cet article est de présenter le premier outil réalisé par notre groupe pour la conservation et l'analyse des données archéologiques, spécifiquement des données archéologiques du bâtiment.

## 2. LE RELEVÉ ARCHÉOLOGIQUE DU BÂTI

Le travail conduit par l'équipe franco-italienne a commencé depuis 2003 la production de documents graphiques représentant les structures architecturales en élévation, comme première étape de la réalisation d'un système d'information 3D. En effet les documents graphiques sont la base sur laquelle, traditionnellement, les archéologues tentent d'insérer la plupart des informations archéologiques<sup>3</sup>. La production de documents graphiques représentant les structures architecturales en élévation a été effectuée en plusieurs campagnes photogrammétriques<sup>4</sup>. Ces campagnes de photogrammétrie sont faites avec des appareils numériques et sont accompagnées d'un relevé topographique (station totale et DGPS) fournissant un canevas de points de contrôle. Les résultats obtenus sont des documents graphiques 2D ou 3D qui servent directement aux archéologues pour noter, étudier et valider les travaux et hypothèses archéologiques.

Cette première étape relève plus d'un aspect traditionnel du relevé et n'est pas à proprement parler de la recherche. Il s'agissait dans un premier temps de former les archéologues à la photogrammétrie de façon à avoir une approche commune du relevé et dans un second temps d'obtenir un ensemble complet de photos orientées qui servent au développement du système d'information fondé sur la connaissance archéologique que a été développée. L'importance du fait que l'archéologue maîtrise toutes les étapes du relevé est en relation étroite avec l'idée du relevé comme interprétation de la réalité, dans lequel les données qualitatives sont ajoutées aux données quantitatives.

<sup>3</sup> «Agire sull'efficacia del rilievo, renderlo "critico", ossia, letteralmente, capace di distinguere – ... – i fenomeni edilizi, mi è apparso un passo necessario ...» (DOGLIONI 1988, 223); «La redazione diretta del rilievo grafico può essere considerata ... una delle operazioni più idonee per approfondire una parte rilevante delle conoscenze del processo formativo e delle vicende costruttive, di modifica e trasformazione che si sono stratificate sul manufatto edilizio» (PARENTI 1988, 249).

<sup>4</sup> À ce jour (compris l'année 2010) les CF touchées par campagnes photogrammétriques sont 16.

### 3. DONNÉES ARCHÉOLOGIQUES ET MESURE 3D: UNE BASE DE DONNÉES COMMUNE

Conceptuellement ce travail s'appuie sur une gestion de toutes les données au sein d'un même outil de persistance (XML ou base de données relationnelle). Les représentations graphiques obtenues sont des 'points de vue' sur la base de donnée et sont générées à la volée, en fonctions des requêtes de l'utilisateur. Ceci a pour conséquence une chose capitale dans ce travail: le relevé ne produit directement pas de représentation graphique, mais se contente d'associer de la géométrie et de la connaissance. La représentation graphique dépend intimement du but recherché: par exemple le 3D n'est pas toujours nécessaire et peut même quelquefois être une source de confusion, néanmoins la génération d'une représentation 2D est sous-tendue par un modèle 3D complet. Toutes les informations 3D sont donc stockées dans la base et utilisées selon la requête de l'utilisateur.

Le second volet de ce travail est plus algorithmique, après une mesure manuelle des blocs faites par un archéologue, nous chercherons à obtenir automatiquement des représentations graphique ayant la facture d'un dessin manuel et mettant en évidence les USM, leur périmètre, les zones d'enduit au mortier entre les blocs et le USM.

Depuis 2006 (DRAP *et al.* 2006) les données produites sont stockées en XML et dans une base de données relationnelle. La voie privilégiée pour le stockage de ces données est la base de données relationnelle afin de contrôler une grande quantité de données mais XML est encore employé pour travailler sur des sous-ensembles de données. La base de données contient des données géométriques (mesures photogrammétriques, photographies orientées et géométrie d'objets manufacturés) aussi bien que des données archéologiques (la définition des USM<sup>5</sup>, les données relatives au site ainsi que les observations qualitatives sur l'objet mesuré)<sup>6</sup>. La base de données est utilisée pour produire des vues sur le modèle selon les spécifications archéologiques. Des représentations 2D ou 3D sont produites par des requêtes sur la base de données: le plan de projection pour la représentation 2D, le sous-ensemble de blocs selon l'USM demandé est utilisé pour produire les représentations géométriques avec un lien bi-directionnel entre le graphique et la base de données.

Selon les exigences archéologiques (Fig. 4, Pl. XI, b), nous devons produire aussi des documents 2D pour signer les limites des USM<sup>7</sup>, qui, avec notre système sont le résultat de requêtes sur la base de données. Le logiciel de SIG comme ArcGIS ou les bibliothèques comme Geotools peuvent étre employés

<sup>5</sup> Les blocs de pierre sont liés entre eux mais aussi à des concepts archéologiques définis par des considérations topologiques et temporelles, les USM.

<sup>6</sup> Pour stocker les données archéologiques nous avons utilisé le base des données relationnelle *Petradata*©.

<sup>7</sup> La représentation des limites des USM en 2D est la première opération que l'archéologue fait sur le terrain et c'est aussi la modalité plus diffuse de représentation de la stratigraphie du bâti.



Fig. 4 – Une représentation manuelle des USM sur une orthophoto.

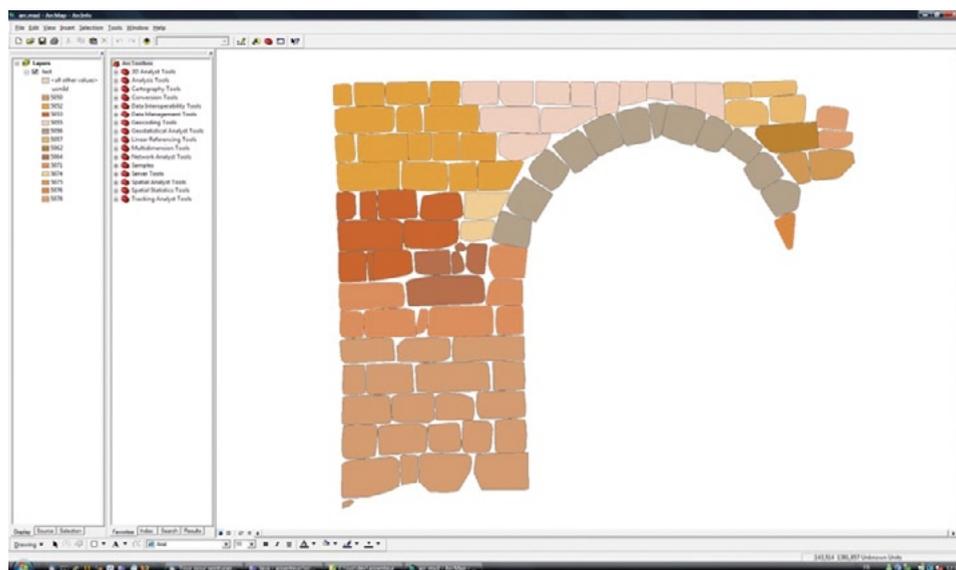


Fig. 5 – Requête de base de données exportée avec logiciel ArcGIS.



Fig. 6 – Orthophoto générée par une requête sur la base de données: visualisation des blocs appartenant aux USM visibles sur le plan de projection donné. En jaune l'extraction automatique du mortier, en vert le périmètre des USM. Voir Pl. XII, a.

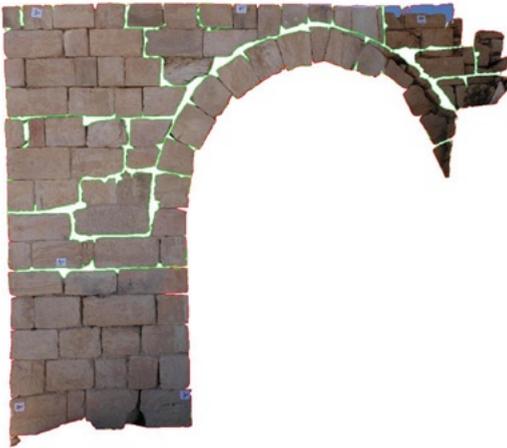


Fig. 7 – Orthophoto générée par une requête sur la base de données: visualisation des blocs appartenant aux USM visibles sur le plan de projection donné. En vert le périmètre des USM. La texture est complète à l'intérieur des USM. Voir Pl. XII, b.

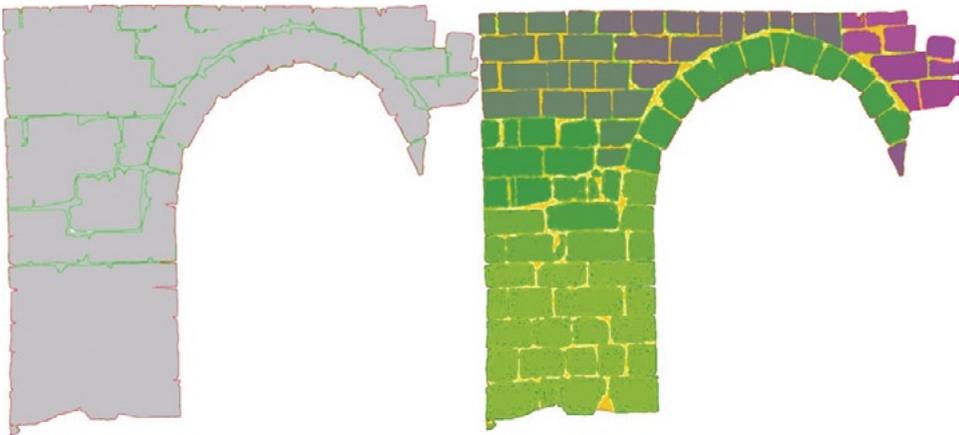


Fig. 8 – Orthophoto (dans texture) générées par une requête sur la base de données: visualisation du périmètres des USM présentés dans le plan de projection donné avec dessin du périmètre global (toutes les USM) en rouge. Une couleur arbitraire est attribuée au polygone englobant (rouge). A droite toujours sans information de texture sont représentés les blocs de chaque USM présente. Une couleur unique est attribuée aux bloc de chaque USM. Le mortier est dessiné en jaune. Voir Pl. XII, c.

pour produire des vues spécifiques de la base et travailler dans un contexte de SIG. L'utilisation de la base de données pour produire une représentation 2D ou 3D est une avancée importante: la finalité n'est plus dans l'obtention de la géométrie mais bien dans la production automatique d'une carte (2D ou 3D) interactive et liée à la base de données, donc interrogeable et mutable. Comme on peut voir dans la Fig. 5 (Pl. XI, c) ci-dessous la représentation des blocs, projetés dans le même plan que l'orthophoto, avec une couleur rendant compte de leur appartenance à une USM et visualisé dans un logiciel grand public de SIG.

Mais ce n'est qu'un exemple, nous pouvons interroger la base de données que nous avons réalisé aussi en diverses manières. Par exemple la Fig. 6 (Pl. XII, a) montre une orthophoto résultant d'une requête sur les blocs (avec la texture), l'USM (périmètre vert) et le ciment (jaune) sont calculé pour un plan de projection donné. L'orthophoto de la Fig. 7 (Pl. XII, b) ci dessus représente une requête concernant tous les blocs appartenant aux USM visible sur un plan de projection donné avec texture complète de l'intérieur de chaque USM (bloc et mortier confondus). Les USM sont ici clairement représentées. Un autre exemple d'orthophoto (dans texture) généré par une requête sur la base de données est en Fig. 8 (Pl. XII, c).

#### 4. VERS UN SIG 3D

Les outils informatiques qui permettent un lien bidirectionnel entre la représentation 3D et une base de données autorisent un regard nouveau sur ces données et partant une analyse nouvelle et la production de nouvelles connaissances. Nous avons développé une application basée sur le moteur 3D Open Source JReality qui s'intègre parfaitement dans l'Arpenteur et qui gère les représentations géométriques produite par les objets informatique modélisant les artefacts mesurés.

Ainsi, les objets mesurés sont représentés informatiquement par des instances d'objet (au sens Java du terme). Ces instances sont capables de générer une représentation graphique de l'objet mesuré selon le besoin: représentation détaillée 3D, représentation simplifiée voire symbolique 3D, représentation 2D par projection sur un plan déterminé (plan OXY pour une représentation cartographique mais aussi le plan du nu d'un mur pour une analyse stratigraphique). Toutes ces différentes représentations graphiques sont produites par la même instance et conservent un lien direct avec l'instance qui les a générée. Cela signifie que les caractéristiques géométriques de cette représentation graphique peuvent refléter des états de l'instance ou bien des caractéristiques, non graphiques, de cette même instance<sup>8</sup>. Afin d'offrir

<sup>8</sup> Le fait d'utiliser une bibliothèque Java pour gérer les représentations 3D des instances nous permet de manipuler une représentation 3D des objet mesurés et d'interagir avec ces objet au travers de leur représentation.

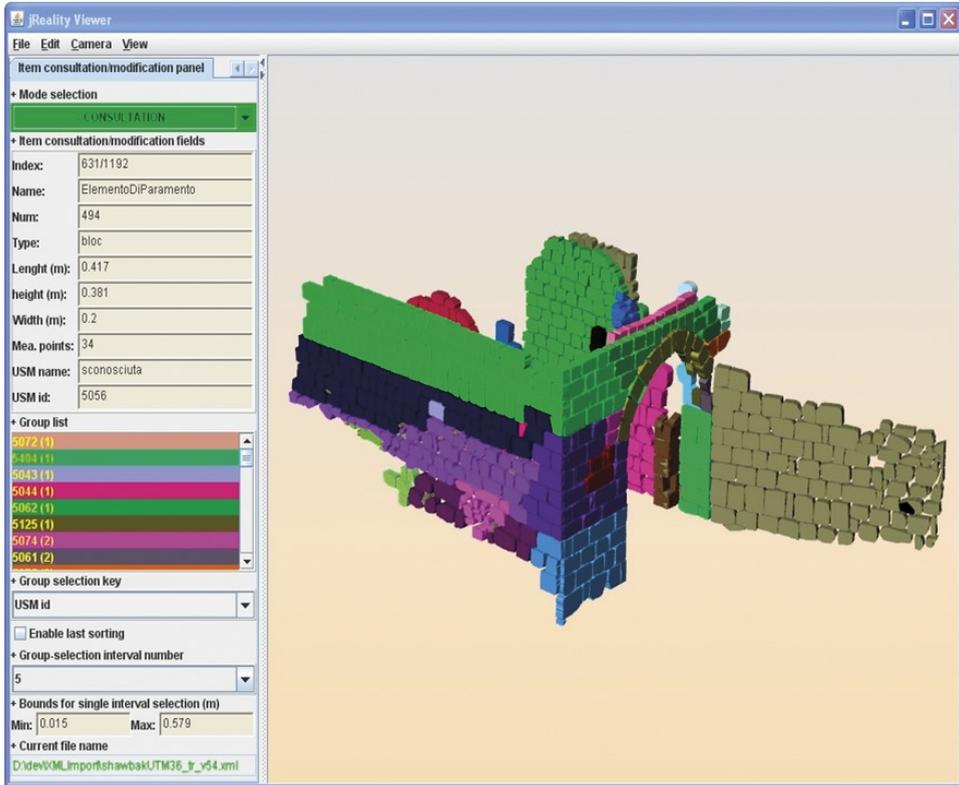


Fig. 9 – Visualisation 3D des blocs avec une couleur en fonction de leur USM. Le panneau de gauche permet la consultation/modification du bloc sélectionné.

au archéologues un outil d'analyse et d'interrogations des données archéologiques nous avons développé un ensemble de procédures qui permettent d'établir ce lien.

La sélection d'un élément visible dans l'espace 3D représenté permet la consultation et la modification de ces attributs. Un ensemble de requêtes peut être visualisé graphiquement. Actuellement les requêtes sont fixes<sup>9</sup>, c'est-à-dire que l'utilisateur ne peut pas encore formuler ces propres requêtes, ceci sera fait dans une seconde étape. Par exemple, la Fig. 9 (Pl. XIII, a) montre le relevé pierre à pierre d'une des portes du château de Shawbak (CF<sup>10</sup> 5): les blocs sont

<sup>9</sup> Pour tester le système nous avons choisie quelques requêtes utiles pour la recherche archéologique que pour la expérimentation de ce système comme la requête des USM, la classification des blocs sur la base des classes d'hauteur, visualisation 3D avec les blocs textures.

<sup>10</sup> Cfr. en italien pour "corpo di fabbrica".

mesurés puis extrudés selon les hypothèses archéologiques puis une couleur leur ait attribué automatiquement en fonction de leur appartenance à une USM.

Ce premier niveau de représentation permet aux archéologues un contrôle fin de l'analyse stratigraphique. En effet, cette analyse est faite en 2D par l'observation des murs et la cohérence spatiale est délicate.

De la même façon il est possible de classer les blocs selon une grandeur (dans l'exemple en Fig. 10, Pl. XIII, b, la hauteur) et de visualiser ces classes avec une palette de couleurs. Il apparaît nettement que les classes de hauteur sont corrélées avec les USM et certaines phases du chantier, par exemple on voit sur la figure ci-dessous que les blocs les plus hauts appartiennent à la même classe, ce, selon la recherche archéologique correspond à une phase de restauration du château au XIX<sup>ème</sup> siècle<sup>11</sup>. Ce type d'analyse n'était pas possible, en tout cas pas aussi immédiat sans ce nouvel outil, mais est très important pour nombreuses raisons. La première raison est que les hauteurs des blocs sont étroitement liées au travail de la pierre, c'est-à-dire la qualité des travailleurs qui ont creusé et mise en place le matériel; une autre raison est que l'étude des hauteurs peut contribuer à l'étude chronologique des types de bâtiments grâce à la *mensiocronologia*, un système destiné principalement à l'analyse des briques, mais aussi utile pour certains types de pierre (MANNONI, MILANESE 1988; PITTALUGA, QUIRÓS CASTILLO 1997).

Si cet outil peut être utilisé pour visualiser-comprendre l'édifice par le lien étroit qu'il procure entre représentation et données archéologiques il peut aussi être utilisé pour vérifier la cohérence des données photogrammétriques, visualiser l'ajustement des photographies et contrôler les photos mesurées pour un bloc ou un ensemble de blocs (Fig. 11).

De la même façon, les faces mesurées des blocs peuvent être texturées avec une des photographies utilisées pour la mesure. Autres utilisations de cet outil (certaines d'entre elles sont actuellement en cours de développement): cet outil permet de vérifier le résultat final et d'obtenir un 'indicateur de qualité' par objet étudié. C'est la première étape d'un outil qui dédié au diagnostic dans un premier temps et qui pourra proposer une ou plusieurs solution en cas d'incohérence; cet outil permet une visualisation des textures des faces mesurées pour un rendu plus réaliste de la scène.

Enfin ce module sera également utilisé comme contrôle de l'ajustement photogrammétrique (orientation de photo, EMQ des points 3D, ellipsoïde de confiance).

Une autre possibilité de cet instrument est la génération automatique de nuages de points 3D. Les requêtes sur la base de données comme nous l'avons vu plus haut, nous permettent de sélectionner un ensemble de blocs et les photographies utilisées pour les mesurer. Nous avons utilisé les algorithmes

<sup>11</sup> En bas à droite, on peut voir comment le paramètre sélectionné, la longueur des blocs, n'est pas pertinent pour cette lecture archéologique.

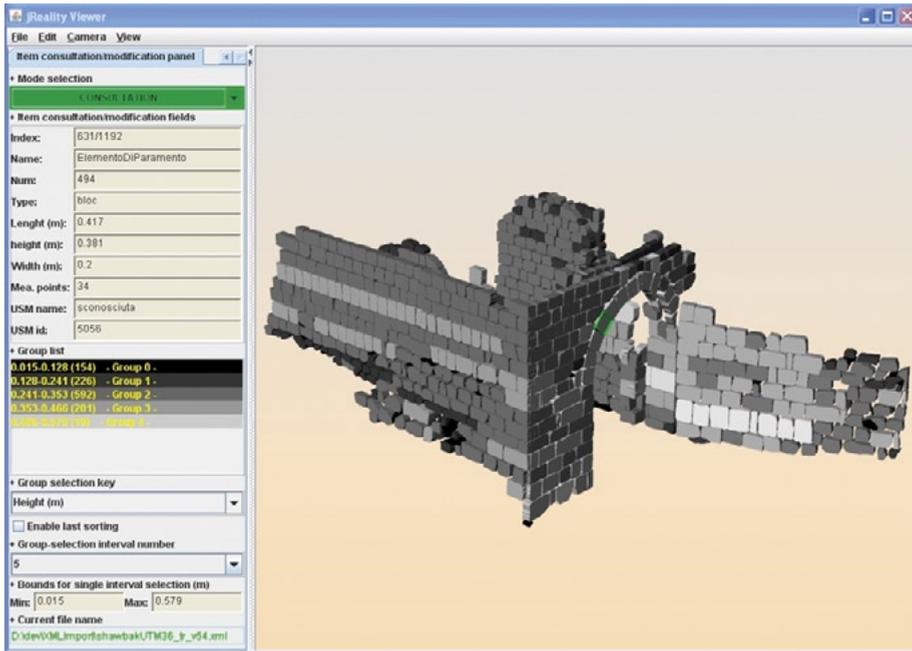


Fig. 10 – Visualisation 3D avec affectation de couleur en fonction de l'appartenance à une classe basée sur la hauteur des blocs.

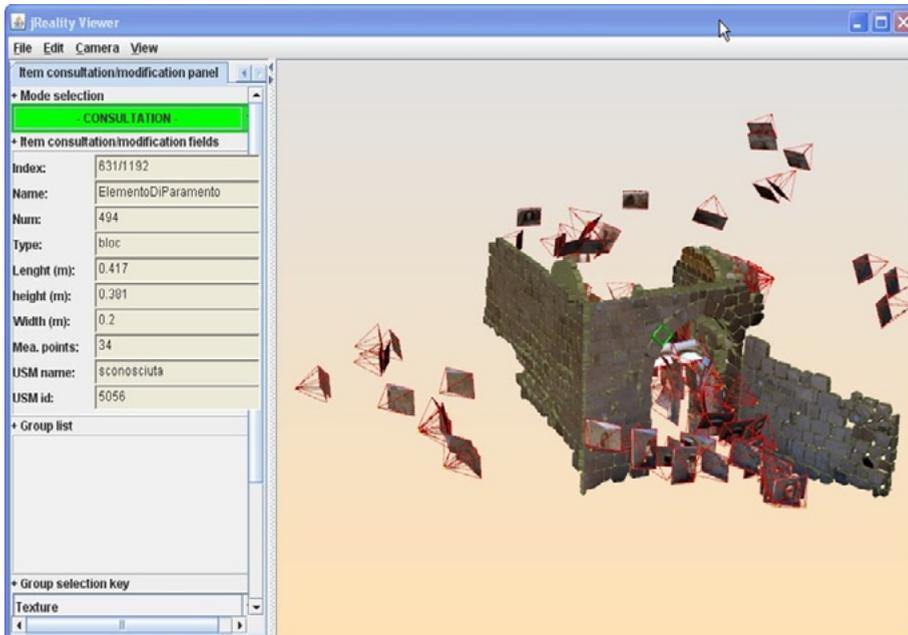


Fig. 11 – Visualisation 3D des blocs texturés et des photographies orientées.

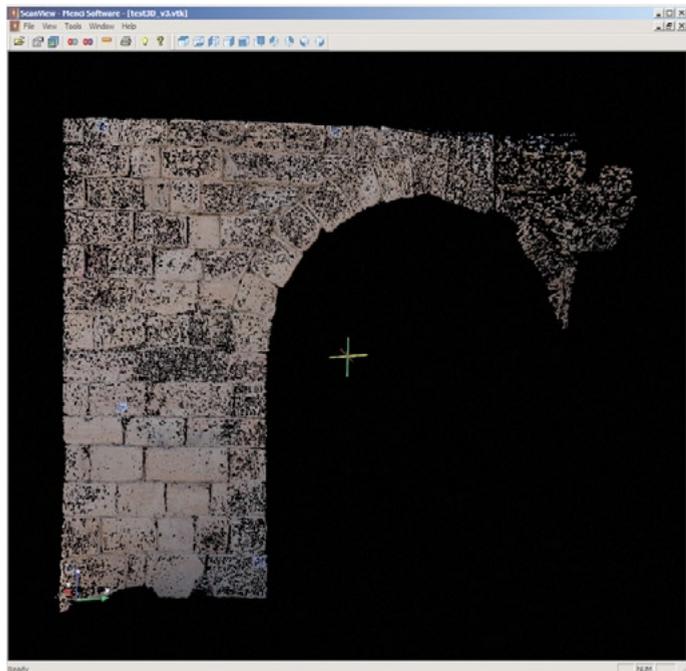


Fig. 12 – Génération de point de nuage 3D basée sur l'auto-corrélation et une surface approximative donnée par les blocs mesurés.



Fig. 13 – Génération de point de nuage 3D basée sur l'auto-corrélation où l'information sémantique est employée pour obtenir une couleur.

de densification de surface présentés plus haut afin d'obtenir un nuage de points 3D, dense, basé sur la corrélation automatique entre photographies. Le résultat est un nuage de point 3D, d'une densité comparable au résultat d'un scan laser mais sous tendu par la connaissance archéologique car les surfaces ainsi densifiées sont le résultat de requêtes sur la base de données.

Cette approche est une alternative au relevé par laser scanner avec en plus une composante sémantique puisque les surfaces densifiées sont requêtées dans la base de données. Les deux Figs. 12-13 (Pl. XIV, a-b) montrent la même zone étudiée avec une information de couleur issue de la fusion des différentes photographies utilisée pour le calcul des points 3D ou bien l'affectation d'une couleur au point 3D mesurés en fonction de son appartenance à un bloc d'une USM ou bien au mortier.

Cette qualification des points 3D est une approche très prometteuse car généralement les nuages de points 3D provenant de systèmes de mesure automatique ne disposent d'aucune sémantique. Dans la version présentée ici nous avons produits plus de quatre millions de points 3D sur la porte principale et nous les exportons les résultats avec VTK (Virtual ToolKit) bibliothèque open source de visualisation.

Enfin ce travail nous a conduit à discuter et réfléchir sur les relations physico-stratigraphiques qui sont à la base de l'archéologie stratigraphique. Les USM sont des concepts définis par des considérations topologiques et temporelles que sont formalisées par la matrice de Harris. En effet la matrice de Harris permet la visualisation d'une chronologie relative. Mais la matrice de Harris utilise un formalisme temporel sur lequel nous voulons réfléchir comme nouvelle perspective de recherche.

ELISA PRUNO, MICHELE NUCCIOTTI  
Facoltà di Lettere e Filosofia  
Università degli Studi di Firenze  
PIERRE DRAP  
CNRS UMR 6168 LSIS – Marseille

#### BIBLIOGRAPHIE

- BROGIOLO G.P. 1988, *Archeologia dell'edilizia storica*, Como, Edizioni New Press.
- BURNOUF J., ARRIBET-DEROIN D., DESACHY B., JOURNOT F., NISSEN-JAUBERT A. 2009, *Manuel d'archéologie médiévale et moderne*, Paris, Armand Colin.
- DOGLIONI F. 1988, *La Ricerca sulle strutture edilizie tra archeologia stratigrafica e restauro architettonico*, in FRANCOVICH, PARENTI 1988, 223-247.
- DRAP P., NEDIR M., SEINTURIER J., PAPINI O., CHAPMAN P., BOUCAULT F., VIANI W., VANNINI G., NUCCIOTTI M. 2006, *Toward a photogrammetry and virtual reality based heritage information system: A case study of Shawbak Castle Jordan*, in M. LOANNIDES, D. ARNOLD, F. NICCOLUCCI (eds.), *VII<sup>th</sup> International Symposium on Virtual Reality, Archaeology, and Intelligent Cultural Heritage VAST 2006*, 67-74, Eurographics Association and ACM SIGGRAPH, Nicosia, Cyprus.

- FRANCOVICH R., PARENTI R. (eds.) 1988, *Archeologia e restauro dei monumenti. I Ciclo di Lezioni sulla Ricerca applicata in Archeologia (Certosa di Pontignano 1987)*, Quaderni del Dipartimento di Archeologia e Storia delle Arti - Sezione Archeologia - Università di Siena, 12-13, Firenze, All'Insegna del Giglio.
- HARRIS E.C. 1983, *Principi di stratigrafia archeologica*, Roma, Carocci.
- MANNONI T., MILANESE M. 1988, *Mensiocronologia*, in FRANCOVICH, PARENTI 1988, 383-402.
- PARENTI R. 1988, *Le tecniche di documentazione per una lettura stratigrafica dell'elevato*, in FRANCOVICH, PARENTI 1988, 249-279.
- PITTALUGA D., QUIROS CASTILLO J.A. 1997, *Mensiocronologie dei laterizi della Liguria e della Toscana: due esperienze a confronto*, in S. GELICHI (ed.), *I Congresso Nazionale di Archeologia Medievale (Pisa, 29-31 maggio 1997)*, 460-463.
- VANNINI G. (ed.) 2007, *Archeologia dell'insediamento crociato-ayyubide in Transgiordania: il progetto Shawbak*, Biblioteca di Archeologia Medievale, 21, Firenze, All'Insegna del Giglio.
- VANNINI G., NUCCIOTTI M. 2009, *Un problema di visibilità archeologica: territorio, analisi "leggere" e sintesi storiche*, in G. VANNINI, M. NUCCIOTTI (eds.), *Da Petra a Shawbak. Archeologia di una frontiera*, Catalogo della Mostra (Firenze 13 luglio-11 ottobre 2009), Firenze, 28-31.

#### ABSTRACT

The *Progetto Shawbak. Ricerca, conservazione e valorizzazione del Crac de Montreal* is a multidisciplinary project conducted by the Florence University Chair of Medieval Archaeology. An important objective of the work, pursued with the collaboration of Dr. Pierre Drap, Chargé de recherche at CNRS LSIS UMR 6168, is the realization of a 3D archaeological information system to manage a big amount of textual and graphic data. For this reason we tried to create a system that could handle all archaeological data in a single database that allows us to connect the 3D information derived from photogrammetric surveys with other archaeological records. *Showback* system is being tested on some Shawbak castle upright structures, including the huge Ayyubid Palace and a second site at the gate wall, and it aims to achieve the production of 2D and 3D representations through the queries it answers. This approach can obtain 3D representations of issues (e.g. possibility to see the USM of a particular phase in all analyzed buildings of the site) as well as new archaeological analysis (the development of quantitative analysis on the use of materials, the possibility of obtaining chronological data of the bricks, etc.). Finally, this research has led the Italian-French team to discuss the physics and stratigraphic relations at the basis of the Harris matrix.