

AU CROISEMENT DE LA PHYSIQUE ET DE L'ARCHÉOLOGIE : LE PROJET *OSIRIS*

(*OPTICAL SYSTEMS FOR INTERFEROMETRIC RELIEF INVESTIGATION AND SCANNING*)

PROJET DE DEVELOPPEMENT D'UN SYSTEME DE RELEVÉ NUMÉRIQUE DES DOCUMENTS ARCHEOLOGIQUES ET EPIGRAPHIQUES EN TROIS DIMENSIONS PAR DES PROCÉDES OPTOELECTRONIQUES

Y. Renotte^a, D. Laboury^b, B. Tilkens^a, V. Moreau^a

^a Hololab, Dépt. de Physique, Université de Liège, allée du 6 Août, 17, B-4000 Liège,
(Y.Renotte, V.Moreau)[@ulg.ac.be](mailto:ulg.ac.be) - B.Tilkens[@deios.com](mailto:deios.com)

^b Dépt. d'Égyptologie et Centre Européen d'Archéométrie de l'Université de Liège (CEA), Université de Liège,
quai Roosevelt, 1B, B-4000 Liège (Belgique), D.Laboury[@ulg.ac.be](mailto:ulg.ac.be)

*Y. Renotte et D. Laboury sont les promoteurs scientifiques du projet OSIRIS
B. Tilkens et V. Moreau sont respectivement administrateur délégué et directeur R&D de DEIOS s.a.*

RÉSUMÉ

L'Archéologie est continuellement confrontée au problème du relevé des objets de son étude, de par les altérations qu'implique nécessairement, et souvent irrémédiablement, la mise au jour des vestiges enfouis du passé. Afin d'apporter une réponse à ce problème crucial, le projet OSIRIS se propose de développer une ou plusieurs techniques de relevé optoélectronique qui permettent un enregistrement précis, rapide et souple d'emploi, appliqué aux besoins spécifiques et particulièrement exigeants de l'étude archéologique.

1. INTRODUCTION

L'Archéologie, dans son processus de mise au jour des vestiges du passé, est par définition, destructrice : elle est toujours contrainte de détruire le contenant de l'objet qu'elle vise à dégager, sans compter que le contenu ainsi mis au jour est alors soumis à de nouvelles agressions du milieu ambiant, qui risquent dans bien des cas de l'endommager irrémédiablement, et ce sur une période de temps relativement courte. Ce processus d'altération et, finalement, d'annihilation n'épargne aucun monument. Le cas du patrimoine archéologique de l'Égypte pharaonique en fournit un excellent exemple.

De ce fait, l'Archéologie, en tant que science qui étudie les témoignages matériels du passé, se situe naturellement à l'un des croisements entre les Sciences Humaines et les Sciences de la Matière et de la Nature (physiques, chimiques, biologiques, ...). C'est là que se situe ce que nous appelons aujourd'hui l'*Archéométrie*. Elle combine harmonieusement techniques de laboratoire et méthodologies traditionnelles de la recherche historique et archéologique, pour approfondir l'analyse, la connaissance et l'interprétation des œuvres d'art anciennes, des monuments et des objets archéologiques.

L'Archéologie est aussi continuellement confrontée au problème du relevé des objets de son étude, à leur enregistrement et à leur conservation. Les principes qui sous-tendent le Projet OSIRIS rencontrent ces soucis fondamentaux de la recherche archéologique.

2. LES TECHNIQUES TRADITIONNELLES D'ENREGISTREMENT EN ARCHÉOLOGIE ET EN HISTOIRE DE L'ART

Les relevés que nécessitent les différents aspects de la recherche archéologique ont un double but : la création d'un format d'enregistrement permettant de publier de la manière la plus fidèle possible l'objet envisagé ; et, surtout, la conservation - virtuelle - de celui-ci, ou à tout le moins, des informations qu'il comporte. L'opération de relevé est donc tout à fait fondamentale dans la démarche archéologique, afin de lutter contre la disparition des vestiges matériels du passé.

La conservation des objets archéologiques est loin de constituer un simple problème théorique. En effet, l'Archéologie, dans son processus de mise au jour des vestiges du passé, est, par définition, destructrice. Pour lutter contre cet enchaînement inéluctable, l'Archéologie utilise diverses techniques d'enregistrement des informations telles que la photographie ou le dessin au trait.

Contrairement à ce que l'on pourrait croire, la photographie ne permet pas de remplir idéalement les objectifs des relevés en Archéologie et en Histoire de l'Art, car elle ne privilégie toujours qu'un seul plan de vue, réduisant le volume

des objets à une image en deux dimensions. En outre, elle introduit presque toujours des déformations (notamment optiques), elle ne permet pas de notation interprétative ou facilitant sa lecture, et, enfin, les résultats de la photographie traditionnelle s'altèrent avec le temps (pellicule argentique, diapositive et tirage papier). On recourt donc habituellement à différentes techniques de dessin au trait plus ou moins fidèles, mais qui ont toutes en commun une faible souplesse dans leur gestion et leur mise en œuvre, ainsi qu'une dépendance inévitable vis-à-vis de la subjectivité de lecture et de rendu d'un opérateur humain (Traunecker, 1987; Loeben, 1996).

Les relevés en Histoire de l'Art et en Archéologie posent donc deux problèmes cruciaux, qui sont indissociables l'un de l'autre : celui de leur objectivité et celui de leur rapidité et de leur souplesse de réalisation.

3. LES SOLUTIONS OFFERTES PAR L'IMAGERIE NUMERIQUE ET L'OPTOELECTRONIQUE

S'émanciper des contraintes inhérentes aux méthodes traditionnelles de relevé implique de recourir à de nouvelles technologies de saisie, de traitement et de stockage des informations qui définissent la forme tridimensionnelle précise de tout objet archéologique.

Les développements récents en optique et en optoélectronique ont fait apparaître des méthodes qui permettent une saisie globale, à la fois plus rapide et plus fiable, tout en relevant réellement et précisément les trois dimensions de l'espace dans lequel se déploie tout objet archéologique ou toute œuvre d'art. Par ailleurs, l'imagerie numérique, dont les résultats ne s'altèrent pas naturellement, à l'inverse des photographies argentiques, offre aujourd'hui des possibilités et une souplesse de traitement et de stockage avec lesquelles le dessin traditionnel ne peut plus rivaliser. Enfin, le couplage de ces technologies autorise à envisager de nouveaux standards de publication des monuments anciens, sous une forme électronique, à la fois plus fidèle, plus complète et plus interactive, soit sous la forme d'une véritable structure tridimensionnelle et non plus par l'intermédiaire de pis-aller graphiques, figés et réduits à deux dimensions.

4. LES TECHNIQUES DISPONIBLES

Plusieurs projets de saisie numérique "totale" d'œuvres anciennes ont bien entendu déjà été tentés à travers le monde (Clarke, 1998; Taubes, 1999). Ils ont révélé qu'il existe effectivement des solutions technologiques pour répondre aux problèmes cruciaux que pose le relevé du patrimoine archéologique et monumental. Mais, à l'heure actuelle, aucun des instruments d'acquisition d'images tridimensionnelles disponibles sur le marché ne présente une souplesse de mise en œuvre permettant de travailler *in situ* (en conditions agressives, notamment sous le soleil égyptien) et à grande échelle, avec un niveau de précision suffisant pour les analyses que nécessitent les recherches en Histoire de l'Art et Archéologie. Il s'agit donc, en définitive, toujours d'applications "de laboratoire", difficile, voire impossibles, à transposer sur site ou à exploiter à grande échelle.

La saisie par des procédés optiques du relief ou de la forme tridimensionnelle d'un objet peut être réalisée en exploitant deux principes : celui de la stéréoscopie ou celui de la triangulation.

Le premier, celui de la stéréoscopie, nécessite, comme son nom l'indique, une double prise de vue, convergente mais suivant des axes différents. Deux images planes d'un même objet prises sous des points de vue distincts présentent un ensemble de différences, appelé parallaxe. Ce principe permet de restituer dans ses trois dimensions l'image de l'objet examiné. Des recherches menées dans cette optique, au sein du laboratoire SURFACES de l'Université de Liège¹, ont permis de montrer que la photogrammétrie numérique pourrait apporter une solution à certains problèmes posés par les relevés en Histoire de l'Art et en Archéologie.

Le second principe qui autorise un relevé optique ou optoélectronique d'un objet archéologique dans les trois dimensions de l'espace est celui de la triangulation. De ce principe dérivent plusieurs techniques d'analyse du relief, dont celle, bien connue, du balayage ou *scanning* linéaire.

Le fonctionnement du *scanning* linéaire peut se résumer comme suit. Un fin trait lumineux créé par un faisceau laser est projeté sur un obstacle et apparaît déformé par ce dernier lorsqu'il est observé avec un décalage par rapport à la direction de projection. En balayant la surface à analyser grâce à un système de positionnement précis du faisceau lumineux, on peut effectuer une mesure de profondeur "tranche par tranche" et ainsi obtenir une représentation digitale de l'objet. Cette technique n'étudie cependant qu'une ligne à la fois et présente l'inconvénient majeur de nécessiter une parfaite maîtrise du positionnement et du déplacement du projecteur (le système de formation du trait lumineux) afin d'obtenir une représentation fidèle de l'objet étudié. Divers essais ont révélé que cette caractéristique rend pratiquement impossible l'utilisation du balayage laser pour un dispositif destiné au relevé extrêmement précis et dans des conditions environnementales sur site que requière l'étude de la majorité des documents archéologiques. Les applications en sont donc limitées dans le domaine qui nous occupe.

Il est cependant possible de dépasser cette contrainte du système de déplacement du faisceau lumineux dans la technique du balayage ou *scanning* linéaire en généralisant le principe de la triangulation par la projection non plus

d'une seule ligne mais d'un motif ou d'un ensemble de lignes lumineuses, dont la déformation sur l'objet à étudier servira d'outil de mesure du relief. En général, on utilise un motif lumineux spatialement périodique et statique, constitué de traits alternativement sombres et clairs. L'image de ce réseau est projetée sur la surface de l'objet à étudier. En observant ces motifs par le biais d'une caméra CCD/CMOS, il est possible de superposer électroniquement l'image du réseau déformé par le relief de la surface examinée à un cliché de référence représentant le même motif mais exempt de toute déformation. Cette opération, qui remplace la phase de comparaison du trait déformé à un trait rectiligne, fait apparaître un ensemble de figures géométriques semblables à des courbes de niveau (figure 1): *ce sont des figures dites de moiré*. Chacun de nous en a déjà observé - souvent sans le savoir - lorsqu'un téléviseur diffuse l'image d'un individu portant un vêtement rayé ou quadrillé et que ce motif, déformé sur l'anatomie du personnage, interfère avec le réseau régulier des pixels de l'écran de télévision.

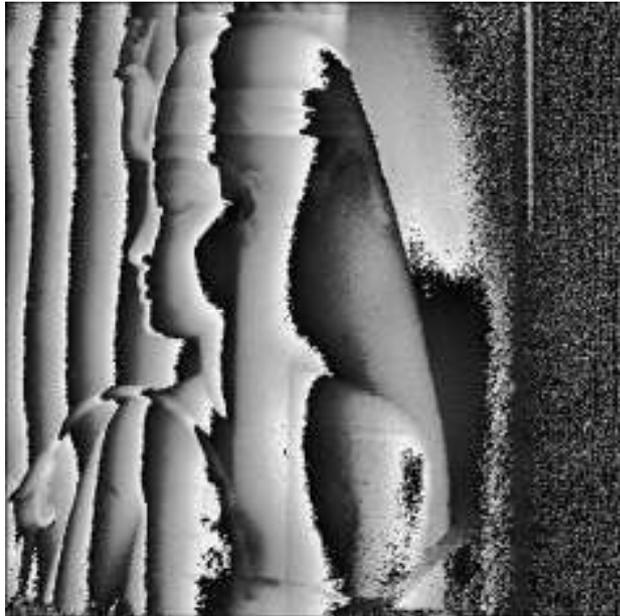


Figure 1. Effet du moiré appliqué à un bas-relief égyptien (copie du relief Brussels MRAH E 2157)

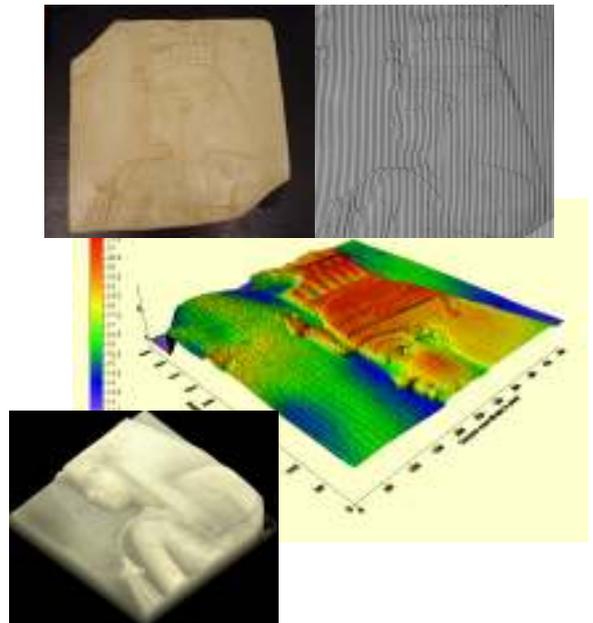


Figure 2. Détails de l'enregistrement et de la reproduction 3D du bas-relief de la figure 1 - Technique du moiré optique projeté

L'interprétation de ces figures de moiré, qui ne sont que le témoignage du décalage du motif déformé, conjuguée à la formule de triangulation, permet de restituer le relief analysé sur un support informatique (figure 2). Le degré de précision de la saisie est tout à fait comparable à celui que procure la technique du balayage laser, mais l'opération est beaucoup plus rapide, autorisant le traitement immédiat d'une surface qui peut atteindre un mètre carré, et ses conditions de réalisation sont nettement plus faciles, puisque les contraintes liées au déplacement précis et régulier du faisceau laser sont désormais évacuées.

La technique du moiré projeté rencontre donc parfaitement les impératifs qu'imposent les relevés en Archéologie et en Histoire de l'Art en matière de rapidité, de précision, de robustesse et d'adaptabilité (afin, notamment, de permettre un travail de saisie *in situ*, parfois dans des conditions environnementales relativement agressives pour du matériel électronique et optique).

5. CONCLUSION: LES BUTS DU PROJET *OSIRIS*

Le laboratoire HOLOLAB² et le Centre Européen d'Archéométrie de l'Université de Liège se sont donc associés pour lancer sur cette base, un projet de développement d'un dispositif complet (effectuant tant la saisie optoélectronique que l'ensemble du traitement informatique) de relevé numérique des documents archéologiques en trois dimensions qui exploite le principe du moiré projeté. Ce projet a été baptisé *OSIRIS*, acronyme pour *Optical Systems for Interferometric Relief Investigation and Scanning*, en référence à l'Égypte pharaonique, dont l'étude du patrimoine archéologique est à la base des recherches évoquées ici. Pour des applications dans les divers secteurs de l'Histoire de l'Art et de l'Archéologie, il a été défini que l'instrument en question devra répondre au cahier des charges suivant :

- Résolution minimale : 0.1 mm en profondeur et 0.3 mm latéralement
- Aptitude à traiter des objets présentant un relief allant jusqu'à 20 cm et occupant une surface de 50x50 cm² - 1m²
- Installation utilisable sur site, dans des conditions d'ensoleillement et de température dites agressives (des applications dans le domaine égyptologique étant envisagées)
- Manipulation et transport aisés

- Logiciels performants et complets (acquisition, traitements, multiples visualisations 3D, métrologie, interprétation assistée, extraction automatique des caractéristiques, ...)

Les performances souhaitées étant très exigeantes en comparaison de celles permises par divers outils de saisie 3D déjà disponibles, de nombreux autres domaines d'applications sont raisonnablement envisagés.

Divers essais réalisés en laboratoire se sont révélés extrêmement encourageants et le travail d'adaptation au fonctionnement sur site du dispositif expérimental utilisé est actuellement en cours.

Aujourd'hui, le Projet **OSIRIS** a donné naissance à une Spin-Off, **DEIOS s.a. (Development and Enhancement of Interferometric Optical Systems)** qui développe les outils de saisie 3D (figure 3). La projection et la lecture du système de franges sont produits par un dispositif original comportant un système d'éléments optiques diffractifs spécifiques.

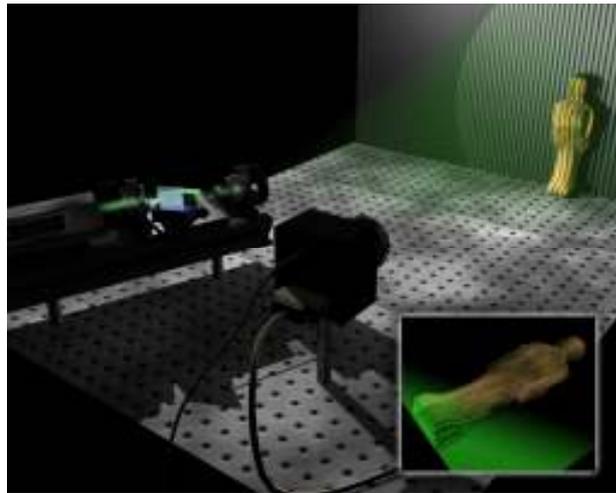


Figure 3. Instrument de relevé 3D développé par DEIOS s.a.

REMERCIEMENTS

C'est un plaisir pour nous de remercier ici les institutions qui ont soutenu le Projet **OSIRIS**

- la Communauté Française de Belgique, qui finance le projet dans le cadre de l'Action de Recherche Concertée "Pour une histoire matérielle de l'art" accordée au CEA (Centre Européen d'Archéométrie) de l'Université de Liège,
- la Région Wallonne, qui a octroyé un mandat First Spin-Off (1 chercheur pendant 3 ans) à notre projet,
- l'Interface Entreprise-Université de l'Université de Liège, qui a permis et soutenu le développement de DEIOS s.a.

RÉFÉRENCES

- Assmann J., Burkard G., Davies V. 1987. *Problems and Priorities in Egyptian Archaeology*. Londres and New York.
- Bell L.D. 1987. The Epigraphic Survey: the philosophy of egyptian epigraphy after sixty years' practical experience. In Assmann J., Burkard G., Davies V. 1987.
- Clarke T. 1998. Simple scanners reveal shape, size and texture. *Optic Laser Europe*, april, pp. 29-32
- Loeben C.E. 1996. Anmerkungen zu jüngsten Arbeiten ägyptischer Epigraphik. *ARCUS - Berichte aus Archäologie, Baugeschichte und Nachbargebieten*, 3, pp. 15-27.
- Taubes G. (1999). Virtual Masterpiece. Computer Modeling of a Michelangelo Sculpture. *Think Research*, 1, pp. 6-9.
- Traunecker C. (1987). Les techniques d'épigraphie de terrain. Principes et pratique. In Assmann J. Burkard G, Davies V. 1987, pp. 261-298.
- Moreau V., Renotte Y., Lion Y. (2000). Planar integration of polarization-insensitive optical switch with holographic elements, *Material Science in Semiconductor Processing*, 3, 551-555.
- Moreau V., Renotte Y., Lion Y. (2001). Reconfigurable optical interconnect with holographic gratings, *Holography (SPIE International Technical Group on Holography semi-annually newsletter)*, 12 - (2), 7.

¹ Le laboratoire SURFACES (Service Universitaire de Recherches Fondamentales et Appliquées en Cartographie et Étude Spatiales ; professeur J.-P. Donnay) est un centre d'études créé à l'ULg pour promouvoir la recherche dans les différents domaines de la géomatique, et notamment dans les problématiques de relevés photogrammétriques, de cartographie numérique et de traitement d'images (intégration multi-sources, modélisation, multimédia, PIAO, segmentation, ...).

² Le laboratoire HOLOLAB, groupe de recherche en Holographie et ses Applications, dépend du Service de Physique Générale (professeur Y. Lion ; manager scientifique professeur invité Y. Renotte) ; ses principaux domaines de recherche sont : les matériaux d'enregistrement holographiques, les techniques de métrologie interférométriques, les éléments optiques holographiques (EOHs) et diffractifs (EODs), y compris ceux générés par ordinateur (COHOEs).