



Identification

Civilité et Nom du porteur du projet	M. Alamin MANSOURI, Maître de conférences-HDR
Titre long (max 150 caractères)	Acquisition et analyse d'images et de données 3D pour l'automatisation de l'exploitation des fouilles archéologiques
Acronyme	ArchZoo3D (Archéozoologie en 3D)

Résumé du projet :

Ce projet pluridisciplinaire mêle les problématiques de recherche de laboratoires STIC (LE2I et iCUBE) à ceux d'un laboratoire SHS (ARTeHIS). Il est à l'interface et répond aux besoins concrets d'archéozoologues du laboratoire ARTeHIS qui s'intéressent au décryptage de rites pratiqués dans les sociétés anciennes à partir de l'analyse de dépôts d'ossements, souvent des squelettes d'animaux dans des fosses. En l'état actuel, il est pratiquement impossible de relever et de reproduire avec fidélité les amas d'os lors des fouilles ni même de les restituer *a posteriori* avec les moyens traditionnels comme les dessins. C'est pour cela que nous nous proposons de mettre à profit de cette tâche les possibilités de l'analyse d'image et de la reconstruction 3D pour l'automatiser et aider à confirmer ou infirmer les hypothèses scientifiques que l'archéozoologue émet. **Plus concrètement, nous tenterons de restituer la position spatiale initiale en 3D de l'animal (animaux) dans la fosse à partir de la fusion des données provenant du scénario des étapes d'excavation, images 2D et/ou RGB+D documentant les fouilles, des plans réalisés sur la base des images, et scans 3D d'os recueillis.**

I. Description globale du projet

1. Contexte

Les animaux sont étroitement impliqués dans les pratiques rituelles de nombreuses sociétés du passé. Les sacrifices se déclinent en deux grandes catégories, selon que la viande est consommée ou non. Dans ce dernier cas, les animaux font l'objet de diverses manipulations, inhumation dans une fosse ou un fossé, exposition avant que leurs ossements ne soient entassés dans des ossuaires ou amassés dans des fossés [MEN01]. L'approche archéologique de ces gestes consiste à disséquer les dépôts d'ossements, avec une fouille très méticuleuse, suivie de l'enregistrement de la position de tous les os. Ce dépôt constitue le terme d'une séquence sacrificielle dont le point de départ est l'animal que les ossements permettent de restituer (espèce, âge, sexe, traces de mise à mort, de découpe...). L'analyse conjointe des structures anatomique et archéologique permettent, ensuite, de restituer ces pratiques. Sur les fouilles archéologiques, ces dépôts sont dessinés à partir de prises de vues numériques redressées (images 2D). La problématique récurrente est de préciser dans quel état les animaux sont arrivés dans les fosses : vivants, cadavres, carcasses, squelettes ? Comment sont-ils morts ? Quelles étapes précèdent l'enfouissement ? Dans quel sens ont-ils été enfouis, tête ou train arrière en premier ? Comment a évolué le squelette ?

Cependant, si ces relevés sont relativement adaptés aux squelettes couchés sur le flanc, il en va tout autrement pour **des animaux enfouis dans des puits**. En effet, étant donnée l'exigüité des fosses, et contrairement au cas des squelettes couchés sur le flanc, une documentation de l'état de la fosse et des ossements à différents niveaux d'excavation est nécessaire pour décrire toute l'opération de fouille. A chaque niveau d'excavation correspond un dépôt, de quelques dizaines de centimètres d'épaisseur, d'ossements entassés suite au phénomène de décomposition. Un cadavre pouvant occuper au moins une hauteur de 1,50 m, l'opération d'excavation est documentée par des séquences d'images prises à tous les niveaux d'excavation. Ces réductions débouchent sur des dispositions très complexes mises en évidence par les plans réalisés (Fig. 1.b) par les experts sur la base des images (Fig. 1.a) prises durant la fouille. Ces plans, souvent le résultat d'un travail ardu et de longue haleine, sont insuffisants pour restituer la dynamique des ossements ou encore de vérifier des hypothèses sur la position originale de l'animal.

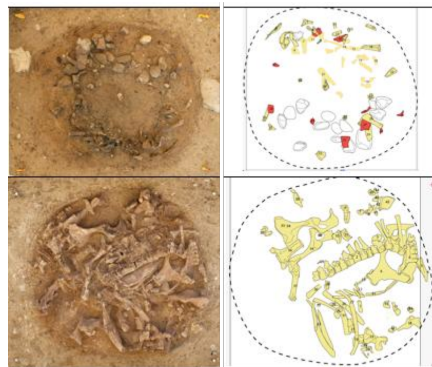


Fig. 1 a) Photos de deux étapes d'excavation, b) Dessin réalisés à partir des photos

C'est sur la base des plans réalisés que les experts doivent valider ou invalider leurs hypothèses relatives aux pratiques rituelles subies par l'animal. Il s'agit là d'un exercice mental particulièrement éprouvant qui de plus doit être répété pour

chaque fosse. Cette difficulté est en grande partie due à l'absence d'une vue globale et détaillée de la fosse et de son contenu. En effet, l'expert doit imaginer et mémoriser, d'une part, le positionnement et l'orientation de chaque os dans la fosse et, d'autre part, les différents scénarii potentiels et leur adéquation avec la configuration des ossements dans la fosse.

2. Objectifs et démarche

Le présent projet a pour objectif de **reconstruire en 3D**, à des fins de visualisation et de manipulation, **des fosses de fouilles et leurs contenus par une approche de Vision par Ordinateur**. Une telle reconstruction permettrait aux archéozoologues de mieux comprendre la disposition spatiale dans laquelle l'animal ou les animaux sont arrivés dans la fosse. Ceci permettrait également d'examiner avec plus de rigueur, en accédant à une vue 3D unique, fidèle et manipulable de la fosse et des ossements, les hypothèses explicatives que formulent les archéozoologues. En outre, une telle modélisation 3D serait une aide capitale à l'accomplissement rapide et automatique de certaines tâches des archéozoologues in situ et en laboratoire. Pour ce faire, nous pensons allier des méthodologies en imagerie 2D et 3D à cette problématique récurrente en archéologie afin de mettre en place des outils automatiques et ergonomiques permettant aux archéozoologues de vérifier et d'éprouver leurs hypothèses concernant des rites pratiqués dans des sociétés médiévales. Il est à noter que les approches et outils existants ne permettent pas de répondre aux besoins et spécificités de la reconstruction des fouilles dans des puits. Ces approches sont soit dédiés à la reconstruction et l'exhibition de numérisations d'objets archéologiques [2], soit à la reconstruction d'une tranchée archéologique unique à partir d'images [3] mais dans des conditions idéales permettant d'appliquer les techniques existantes développées en Vision par Ordinateur [4].

Nous proposons d'investiguer deux approches, une pour les données déjà disponibles suite à des fouilles antérieures (Vaud, Suisse, 100 avant notre ère) [1]) et l'autre adaptée pour les futures fouilles. Dans les deux cas, l'originalité de l'approche va consister dans la **combinaison** de l'analyse des **données (images 2D ou RGB+D)**, représentant différentes phases de l'excavation, avec **une bibliothèque des ossements recueillis dans la fosse et scannés en 3D**, afin de **reconnaître et positionner spatialement ces différents éléments**.

Cas des données d'anciennes fouilles :

Les fouilles déjà réalisées dans des fosses ne sont documentées qu'à travers des **séquences d'images** prises à différents niveaux d'excavation. La reconstruction spatiale de la fosse et de son contenu s'avère dans ce cas précis un véritable défi. Les images sont généralement prises par des **caméras non calibrées, à des focales différentes, à partir de points de vue souvent très éloignés les uns des autres et dans des conditions de luminosité très différentes**. Dans de telles conditions, les méthodes classiques de reconstruction 3D d'une scène à partir d'images, connues sous l'appellation « Structure-from-Motion » (SfM), nécessitant des mises correspondance [5] et autocalibrage [6,7], ne sont que difficilement, voire pas du tout, applicables. Alors que le SfM apporte des solutions au problème de reconstruction 3D d'une scène statique à partir d'une séquence d'images (généralement dans de bonnes conditions de capture d'images), le problème rencontré ici est d'une nature nouvelle et un défi certain pour la recherche en Vision par Ordinateur. Il s'agit en effet de procéder à des reconstructions à partir de « séquences de séquences d'images » avec les particularités suivantes : (i) les images intra-séquence observent la même scène statique (la fosse à un niveau de décapage) mais ne peuvent être exploitées par une approche SfM classique en raison des mauvaises conditions d'acquisition susmentionnées, et (ii) les images inter-séquences observent une scène ayant subi un niveau important de changement où il est difficile d'exploiter des correspondances intra-séquences.

L'approche relative aux données existantes que nous souhaitons investiguer dans ce projet repose sur l'exploitation des **scans préalables en 3D des ossements recueillis** dans la fosse et celle de certains invariants intra-séquences particuliers au type d'images considérées. Ainsi, nous envisageons de traduire le problème de reconstruction de la fosse en deux points, l'un de **recalage de données 3D-2D** et l'autre de **fusion de reconstructions** qui sont fondamentalement des problèmes difficiles d'optimisation. Le recalage 3D-2D [8] nécessitant une segmentation des images 2D particulièrement difficile avec les données disponibles, nous envisageons, pour ce faire, d'exploiter **les plans réalisés par les archéozoologues** pour obtenir une **segmentation en fragments d'os** de chaque image en combinant des descripteurs de la forme et de la couleur [9]. L'étude de la reconstruction des fouilles existante portera donc sur les 3 tâches suivantes :

- **Segmentation** : il s'agira de **fusionner les plans réalisés à chaque niveau d'excavation avec les images 2D** correspondantes afin d'aboutir, d'une part, à une segmentation en fragments d'os de chaque image et, d'autre part, de permettre à procéder à des correspondances de régions à travers les images d'une même séquence.
 - ☞ *Objectif* : Segmentation d'images par fusion de plans et correspondances de régions.
 - ☞ *Support* : 1 doctorant LE2I + 1 doctorante d'ARTEHIS
- **Recalage 3D-2D** : nous souhaitons, en nous basant sur les segmentations et correspondances obtenues, procéder à un **recalage simultané (3D-2D) de chaque scan 3D d'os** recueilli à un niveau d'excavation **avec toutes les images 2D (intra-séquence)** prises à ce même niveau sous la contrainte d'existence d'un calibrage valide (mais inconnu) pour chaque image. Un tel recalage nous permettra d'identifier la correspondance de chaque os avec ses projections 2D et ainsi d'obtenir des correspondances plus fines pixel-à-pixel intra-séquence. Ainsi, pour chaque niveau d'excavation, nous pourrions procéder à **une reconstruction 3D dite métrique des ossements** visibles dans ce même niveau. Il est à noter que, contrairement à la méthode d'optimisation locale présentée dans [8] pour un tel type de recalage, nous ambitionnons de développer une méthode globalement convergente, inspirée de [10] (traitant du recalage 3D-3D), mais basée sur l'arithmétique des intervalles.
 - ☞ *Objectif* : Recalage simultané de multiple scans 3D et séquences d'images 2D + validation des hypothèses

☞ *Support* : 1 doctorant du Le2i

- **Fusion des reconstructions** : il s'agira ensuite de **fusionner les reconstructions métriques** obtenues à chaque niveau d'excavation pour **produire un modèle 3D unifiant toutes ces reconstructions**. Il s'agit d'un problème difficile étant donné les changements importants que subit la fosse d'un niveau d'excavation à l'autre. Nous comptons, dans ce cas précis, **exploiter la forme de l'ouverture supérieure de la fosse** qui a tendance à demeurer **quasi-invariante** et pouvant être **approximée par une conique** non dégénérée. Les **correspondances entre les projections d'une telle conique** à travers les images intra-séquences et inter-séquences nous permettront d'exprimer les reconstructions obtenues à différents niveaux d'excavation dans un repère métrique unique et donc de recalculer toutes ces reconstructions. La correspondance de coniques a été traitée dans la littérature dans le cas de deux images [11]. C'est la généralisation au cas de vues multiples que nous souhaitons développer.

☞ *Objectif* : Mise en correspondance de coniques et fusion de données 3D.

☞ *Support* : recrutement prévu d'un master au Le2i et d'un master à ICube.

Cas des fouilles futures :

Concernant les fouilles futures, nous envisageons, en premier lieu, de remplacer l'outil principal de **documentation** des fouilles, à savoir les images 2D, par l'utilisation d'un **capteur RGB+D** accessible au grand public, à l'instar du « **Kinect Sensor** » de Microsoft capable de restituer des images 3D où chaque pixel renseigne sur la couleur et la profondeur du point de la scène observée. De plus, l'utilisation d'un tel capteur permet d'exploiter un outil logiciel, le « **Kinect Fusion** », développé par Microsoft et qui permet la reconstruction de surfaces en fusionnant des images RGB+D obtenues par un Kinect en mouvement. Le Kinect Sensor et le Kinect Fusion seront utilisés pour documenter chaque niveau d'excavation en **reconstruisant «l'empreinte» de la fosse et des ossements** définie par la surface observée. Étant donné **l'empreinte de la fosse et des ossements**, la **reconstruction 3D de chaque os et des images 2D chacune avec une vue globale de la fosse**, il s'agira de résoudre les problèmes de recalage suivants afin de restituer la disposition spatiale des ossements dans la fosse :

- **Scan 3D – empreinte** : recalage de chaque **scan 3D d'os dans l'empreinte** de la fosse associée. Il est à noter qu'il s'agit d'un problème de recalage point-surface qui demeure d'actualité [12] et qui est marqué, dans notre application, par des difficultés liées à la représentation partielle de l'os dans l'empreinte.
- **Empreinte – empreinte** : le recalage de toutes les empreintes dans un repère unique avec pour difficulté majeure l'absence de surfaces communes. En outre, il s'agira ici soit d'utiliser les images 2D (intra-séquences) avec vue globale sur la fosse pour servir de liens entre les différentes empreintes, soit de prévoir des **indices de profondeur** à inclure dans la fosse et à scanner avec l'empreinte.

☞ *Objectif* : Recalage scans 3D – surfaces.

☞ *Support* : recrutement prévu d'un doctorant au Le2i + une doctorante d'ARTEHIS

Références

- [1] E. Dietrich, P. Meniel, P. Moinat, C. Nitu, "Le site helvète du Mormont (canton de Vaud, Suisse), résultats de la campagne 2008", in Annuaire d'archéologie suisse, n° 92, 2009, p. 247-251.
- [2] F. Bruno, S. Bruno, G. De Sensi, M. L. Luchi, S. Mancusoc, M. Muzzupappa, From 3D reconstruction to virtual reality: A complete methodology for digital archaeological exhibition. Journal of Cultural Heritage 11 (2010) 42–49.
- [3] R. Wulff, A. Sedlazeck, and R. Koch: 3D Reconstruction of Archaeological Trenches from Photographs. In: Scientific Computing and Cultural Heritage, Heidelberg, Germany. In press.
- [4] R. I. Hartley and A. Zisserman, Multiple View Geometry in Computer Vision. Cambridge University Press, 2nd Edition, 2004.
- [5] J. C. Bazin, H. Li, I. Kweon, C. Démonceaux, P. Vasseur, K. Ikeuchi, A branch and bound approach to correspondence and grouping problems. In Pattern Analysis and Machine Intelligence. In press.
- [6] A. Habed, K. Al Ismaeil, D. Fofi, A new set of quartic trivariate polynomial equations for stratified camera self-calibration under zero-skew and constant parameters assumptions, European Conference on Computer Vision, Florence, Italy, Lecture Notes in Computer Science, Springer-Verlag, Part 6, pp. 710-723, 2012.
- [7] F. Rameau, A. Habed, C. Démonceaux, D. Fofi, D. Sidibé, Self-Calibration of PTZ Camera using New LMI Constraints, Asian Conference on Computer Vision, Daejeon, South Korea, Lecture Notes in Computer Science, Springer-Verlag, 2012.
- [8] A. W. Fitzgibbon, Robust Registration of 2D and 3D Point Sets British Machine Vision Conference, page 662–670, 2001.
- [9] S. Le Moan, A. Mansouri, T. Sliwa, M. Perez, Y. Voisin, J. Hardeberg, Convex Color Object Recognition and Classification Using Spectral and Morphological Descriptors, Color In Graphics, Image and Vision (CGIV), Joensuu, Finland, 14 June 2010.
- [10] H. Li, R.I. Hartley, The 3D-3D Registration Problem Revisited. In proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision, pp. 1-8, 2007.
- [11] T. Ellis, A. A. Abbood, B. Brillault, Ellipse détection and matching with uncertainty. Image and Vision Computing, 10(5), pp. 271-276, 1992
- [12] E. Rodolà and A. Albarelli, Sampling Relevant Points for Surface Registration. International Conference on 3D Imaging, Modeling, Processing, Visualization and Transmission (3DIMPVT), pp. 290 – 295, 2011.

II. Equipe participante

Membre	Code et sigle du laboratoire	Fonction et Implication (%)
M. Alamin MANSOURI	Le2i UMR CNRS 6306, 89000 Auxerre	Enseignant-chercheur 25%
M. Patrice Méniel	ARTEHIS UMR 6298, 21000 Dijon	DR CNRS 20%
M. Adlane HABED	ICube UMR 7357(iCUBE), 67000 Strasbourg	Enseignant-chercheur 20%
M. Cédric DEMONCEAUX	Le2i UMR CNRS 6306, 71000 Le Creusot	Chair CNRS/Université 20%
M. Patrick Juillion	Le2i UMR CNRS 6306, 89000 Auxerre	Ingénieur d'études CNRS 20%

Biographies des participants

Alamin MANSOURI (coordinateur) : Maître de conférences 27^{ème} section à l'université de Bourgogne depuis 2006. Il est membre du laboratoire LE2I (UMR CNRS 6306) où il est le responsable du projet thématique Imagerie Physique et Multimodale. Il a soutenu son habilitation à diriger des recherches en novembre 2012. Son activité de recherche s'inscrit dans l'exploitation et la modélisation des phénomènes physiques en imagerie. Il a travaillé notamment en acquisition, traitement et analyse des images couleur et multispectrales et leurs applications (agriculture, santé, patrimoine, etc.). Il est un des deux représentant de la France dans le projet européen COST (COSCH) Color and Space In Cultural Heritage et participe au projet PSPC (Projets Structurant les Pôles de Compétitivité), OFS (Open Food System) dans sa partie OptiCook. Il est l'auteur de 13 publications dans des revues internationales et plus de 31 conférences internationales.

Patrice Méniel : Ditecteur de recherche CNRS depuis 2010. Il est membre de l'UMR 6298 ARTeHis depuis 2004 où il est membre du Conseil de laboratoire. Il est aussi le responsable de l'axe « Corpus » (avec E. Magnani) depuis 2011 et Responsable du laboratoire d'archéozoologie de Dijon à l'Université de Bourgogne (2004). Il dirige la collection « Archéologie des plantes et des animaux » aux Editions Mérimée. Il est également dans le comité de pilotage du projet « Archeobiodat » « Données et résultats de l'archéozoologie et de l'archéobotanique métropolitaines ». Il est l'auteur de dizaines d'articles et d'ouvrages scientifiques.

Cédric Demonceaux : Depuis 2005, Cédric Demonceaux est maître de conférences en 61^{ème} section. De 2005 à 2010, il était en poste à l'Université de Picardie Jules Verne et a été recruté sur une chaire mixte CNRS/Université à l'université de Bourgogne en septembre 2010. Il a soutenu son Habilitation à Diriger des Recherches en Novembre 2012. Ses axes de recherches ont pour thème la vision sphérique et s'intéresse notamment aux traitements de ces images et à l'estimation du déplacement des caméras sphériques. Il a participé à plusieurs projets de recherche internationaux et nationaux (ANR Blanc CaViAR, ANR-NRF DrAACar (avec le KAIST, Corée du Sud), CORE-SNR (SNT-Luxembourg), EGIDE Volubilis-Maroc). Il est l'auteur de 12 revues internationales et de plus de 30 conférences internationales.

Adlane Haded : Maître de Conférences en 27^{ème} section depuis 2007, d'abord au Le2i (UMR CNRS 6306) - Université de Bourgogne, jusqu'en août 2012, puis à ICube (UMR CNRS 7357) - Université de Strasbourg. Il a obtenu son Ph.D. en Informatique à l'Université de Sherbrooke (Qc. Canada) en 2005 et a occupé les postes de « Lecturer » puis de « Assistant Professor » entre 2001 et 2007 à School of Computer Science - University of Windsor (On. Canada). Sa recherche est dans le domaine de la Vision par Ordinateur en général et dans l'analyse des séquences d'images en particulier. Il est auteur et co-auteur de 25 articles dans des revues et conférences internationales à comité de lecture. Adlane a participé à plusieurs projets (SMART-Canada, ANR-NRF DrAACar – France/Corée, CORE-SNR - Luxembourg et PEPS MOSCA).

Patrick Juillion : ingénieur d'études CNRS en sciences expérimentales au sein du laboratoire LE2I depuis 2010. Il a obtenu son CAPES de Sciences-Physiques en 1992. Il a exercé en tant professeur certifié de 1992 à 2004. De 2004 à 2010, il a occupé des postes de réadaptation à l'inspection académique puis au CNED et au rectorat avant d'intégrer le LE2I suite à un concours CNRS.

III. Organisation du projet

Les chercheurs impliqués dans le projet ArchZoo3D prévoient de se réunir deux fois durant le projet. La première réunion lancera le projet en termes d'organisation et d'orientation scientifique. La deuxième réunion est à mi-parcours et sera consacrée à un bilan et à valider les premiers livrables. Si nécessaire, des réunions par visioconférence seront également organisées pour préparer les travaux collaboratifs et les expérimentations communes. Nous prévoyons également des visites croisées de doctorants et des séminaires scientifiques conjoints sur les trois sites des laboratoires (Dijon, Auxerre, Strasbourg). Nous envisageons, à l'issue du projet, l'organisation d'un *workshop* ou d'une journée scientifique sur la thématique explorée et y seront invités des acteurs STIC et SHS.

Le budget demandé, d'environ 13k€, couvrira pour une petite partie l'achat de petits équipements pour le projet et pour l'autre partie des missions sur le terrain (fouilles) et des déplacements liés au projet et conférences.

IV. Moyens demandés en € HT

durée du projet	Equipement	Fonctionnement	Total
12 mois <input checked="" type="checkbox"/> 24 mois <input type="checkbox"/>	3k€	7k€	10k€
Ordinateurs	2k€		2k€
Supports et connectiques	0.3k€		0.3k€
3 Kinects+ Kinect Fusion	0.7k€		0.7k€
Missions (Fouilles + déplacements)		4.5k€	4.5k€
Conférences		2.5k€	2.5k€

V. Les ressources humaines et équipements disponibles

- Danda Pani Paudel (2012-2015)
- Pauline Nuviala (2011-2014)
- Ferdinand Deger (2011-2014)
- 2 étudiants en Master2 (Le2i + ICube) (2013)
- Plateau robotique du Le2i: capteurs omnidirectionnels, 3 robots mobiles, 2 drones.
- Plateforme technique du Le2i (IUT Le Creusot et Auxerre) : scanners à triangulation (lumière rouge, IR, UV), bras robotisé, scanners à temps de vol, scanner polarimétrique.