



Rapport de stage
Master 2 PRO Images & Multimédia
Septembre 2008

**ARCHEOLOGIE VIRTUELLE :
ETUDE 3D D'UN BATON PERCE**

Dikoorè Jallo
Master 2 PR Image et Multimédia 2007-2008
Projet : PEPS ODENT
Encadrant de stage : M.Braga
Tuteur : M. Jean Denis Durou

Laboratoire d'anthropobiologie de Toulouse
Institut de Recherche en Informatique de Toulouse
Muséum d'histoire naturelle de Toulouse
MEDES
Nooméo

Je dédie ce travail à mon fils Talibé BA.

Remerciements

J'adresse mes remerciements à M. José BRAGA pour la qualité de son encadrement durant le stage, pour m'avoir aidé et conseillé tout au long du travail effectué.

Je remercie M. Jean Denis Durou, Maître de conférence, habilité à diriger les recherches pour ses conseils, son investissement et son encouragement.

Je tiens à remercier M. Gérard Subsol, chercheur au Laboratoire d'Informatique, de Robotique et de Microélectronique de Montpellier pour les orientations qu'il a données à mon travail et pour sa grande disponibilité.

Merci à M. Jean Pierre Jessel, maître de conférence du département de Synthèse d'Images, habilité à diriger des recherches, IRIT ; il a permis de mener à bien ces travaux.

Je tiens à remercier, Lapeyre Jean François Directeur du Muséum, pour avoir autorisé le scannage et l'étude du bâton percé

Je remercie M. Francis Duranthon, conservateur du MHNT.

Mes remerciements au personnel du Laboratoire d'anthropobiologie de Toulouse et du L'Institut de Recherche en Informatique de Toulouse pour m'avoir accueilli au sein de leurs laboratoires.

Je remercie le MEDES et le NOOMEO qui ont permis la réalisation des numérisations du bâton percé.

Je tiens à remercier mon mari, M. AHMED BA pour tout le soutien qu'il m'apporte.

Enfin, je remercie toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce travail.

Table des matières

<i>Remerciements</i>	3
<i>Liste des abréviations</i>	5
<i>Introduction</i>	6
1. Cadre du stage	7
1.1. Laboratoire d’anthropobiologie de Toulouse	7
1.2. L’Institut de Recherche en informatique de Toulouse	8
1.3. Présentation du Projet Odent	9
2. Objectifs et méthodologie	9
2.1. Objectifs	9
2.2 Méthodologie	10
2.3. Matériels et Outils	10
3. Objet d’étude : le Bâton percé	11
3.1. Présentation du bâton percé	11
3.2. Intérêt de la numérisation 3D du bâton percé	12
3.3. Quelques exemples concrets de numérisation 3D	14
4. Numérisation 3D	16
4.1. Présentation de quelques scanners 3D et techniques utilisées	16
4.2. Numérisation 3D du Bâton percé	17
4.2.1. Numérisation 3D avec le micro scan XtremeCT	17
4.2.2. Numérisation 3D par projection de franges	20
4.2.3. Scan de surface	21
5. Reconstruction 3D du bâton percé	23
5.1. Reconstruction 3D scan CT	23
5.2. Reconstruction 3D des images issues de la technique de projection de franges lumineuses	24
5.3. Reconstruction 3D des images micro scan	25
6. Comparaison des images issues des trois techniques de numérisation	30
7. Mise en valeur des gravures	33
<i>Conclusion et perspectives</i>	35
<i>Bibliographie</i>	36
<i>ANNEXE</i>	38

Liste des abréviations

3D	: Trois Dimensions
BP	: Before Present
MHNT	: Muséum d'Histoire Naturelle de Toulouse
MAN	: Musée des Antiquités Nationales
IRIT	: Institut de Recherche en Informatique de Toulouse
UMR	: Unité Mixte de Recherche
UPS	: Université Paul Sabatier
UT1	: Université Toulouse 1
INPT	: Institut National Polytechnique de Toulouse
UTM	: Université Toulouse le Mirail
ST2I	: Département des Sciences et Technologies de l'Information et de l'Ingénierie
CNRS	: Centre National de la Recherche Scientifique
VRML	: Virtual Reality Modeling Language
CNES	: Centre National d'Etudes Spatiales
ESA	: Agence Spatiale Européenne.
MEDES	: Institut de Médecine et de Physiologie Spatiales
ILIKS	: Interdisciplinary Laboratory on Interacting Knowledge Systems
DICOM	: Digital Imaging and Communications in Medicine
CCD	: Charge-Coupled Device
ICC	: International Color Consortium profile
OS	: Operating System

Introduction

Ce stage de six mois que nous avons mené au Laboratoire d'anthropobiologie de Toulouse se situe dans le cadre académique, afin de valider l'année de master2 PRO Images & Multimédia. En effet, la vie en entreprise est nécessaire à la mise en pratique de l'enseignement que nous avons reçu.

On constate qu'aujourd'hui que la numérisation d'objets en 3D est présente dans beaucoup de domaines : les effets spéciaux, les jeux vidéos, le domaine médical, industriel. Cette technique du scannage 3D appliquée dans le domaine de l'archéologie est aussi en pleine expansion. Ces technologies offrent une grande facilité d'acquisition et de reconstruction des modèles 3D.

Ce stage a porté sur l'étude 3D d'un bâton percé. Cette étude consiste à l'application des techniques de numérisation 3D pour reconstruire virtuellement un fragment d'un bâton percé de la collection du Muséum d'Histoire Naturelle de Toulouse, dans le cadre de la collaboration du laboratoire d'anthropobiologie Toulouse et du Projet Exploratoire Pluridisciplinaire Odent.

Ce rapport présente l'ensemble des travaux que nous avons effectué au cours de mon stage au laboratoire d'anthropobiologie de Toulouse et à l'Institut de Recherche en Informatique de Toulouse pendant la période d'avril à septembre 2008.

Durant ces travaux, nous avons utilisé Amira 4.0®, RapidForm 2006® et MeshLab qui sont des logiciels de visualisation 3D.

Ce rapport est organisé en sept parties :

- le cadre du stage,
- l'objectif et la méthodologie,
- l'objet de l'étude,
- la numérisation 3D,
- la reconstruction 3D,
- la comparaison des images 3D obtenus de différentes techniques,
- la mise en évidence des gravures.

1. Cadre du stage

Ce stage s'est déroulé au Laboratoire d'anthropobiologie de Toulouse et à l'Institut de Recherche en Informatique de Toulouse du 08 avril au 19 septembre 2008. Il constitue un axe de recherche du projet Odent.

1.1. Laboratoire d'anthropobiologie de Toulouse

Le laboratoire d'anthropobiologie de Toulouse créé en 1997 est affilié au CNRS et à l'UPS- Toulouse III. Les axes de recherche du laboratoire s'articulent autour de deux grandes thématiques, qui sont :

1- Peuplement et co-évolution homme/milieu

- Définition des populations humaines et échantillonnage
- Génétique des populations humaines et peuplement
- Paléogénétique humaine
- Populations du passé : approches fondamentales et appliquées
- Paléopathologie, Coévolution Hommes/Maladies
- Ecologie Humaine
- ADN dégradé, médecine légale, anthropobiologie

2- Paléoanthropologie et imagerie anatomique

- Evolution des hominidés et imagerie
- Biométrie et imagerie tridimensionnelle
- Anthropobiologie des caractéristiques bucco-faciales
- Etude des momies Egyptiennes par modélisation 3D
- Dissection virtuelle et médecine légale
- Estimation de l'âge et identification

Dans le cadre de ces thématiques, le Laboratoire d'anthropobiologie de Toulouse collabore avec le génopole de Toulouse, l'Institut de Médecine Légale de l'Université Louis Pasteur, le plateau d'imagerie des hôpitaux de Toulouse et le MEDES.

Sur le plan international, le laboratoire collabore avec différents universités et centres de recherche en Amérique du nord, en Amérique latine, en Afrique, en Asie et en Europe.

Au niveau de l'UPS, le laboratoire assure tous les enseignements liés à l'anthropologie, ethnologie, biologie des organismes des populations et des écosystèmes, biologie générale, paléopathologie et évolution des Maladies.

1.2. L'Institut de Recherche en informatique de Toulouse

L'IRIT, créée en 1990 fait parti de l'Unité Mixte de Recherche (UMR 5505), qui regroupe le CNRS, l'INPT, l'UPS, l'UT1 et l'UTM.

L'IRIT est organisé autour des 7 thèmes suivants, auxquels sont rattachées 19 équipes :

- Analyse et synthèse de l'information
- Indexation et recherche d'informations
- Interaction, autonomie, dialogue et coopération
- Raisonnement et décision
- Modélisation, algorithmes et calcul haute performance
- Architecture, systèmes et réseaux
- Sécurité de développement du logiciel.

Cet ensemble de thèmes met en évidence la couverture scientifique de l'IRIT sur l'ensemble des problématiques de recherche de l'informatique actuelle.

L'IRIT participe à différents projets :

- Projet Dialogue
- Projet Interaction dégradée
- Projet SIGMA
- Projet GRID-TLSE
- Un groupe de travail Langage Naturel

L'IRIT collabore, dans le cadre du Laboratoire européen ILIKS, avec l'université de Trento et le CNR d'Italie.

L'IRIT assure l'enseignement de l'informatique dans les différents établissements toulousains (UPS, INPT, UT1, UTM), contribuant ainsi à créer une articulation très forte entre enseignement et chercheur.

Les enseignants chercheurs de l'IRIT travaillent également dans le cadre d'autres projets connexes notamment le projet Odent.

1.3. Présentation du Projet Odent

Le Projet Odent est un projet exploratoire du CNRS qui se situe dans le cadre de la sauvegarde du patrimoine archéologique. Ce projet a pour but de développer des outils logiciels de modélisation et d'interaction 3D pour la recherche en archéologie et en paléontologie. Pour cela, le projet a identifié et structuré des axes de recherches précis qui sont :

- Reconstruction et analyse 3D d'un bâton préhistorique,
- Morphométrie 3D de structures anatomiques,
- Modélisation 4D(3D+t) du pied pendant la marche,
- Algorithmes pour la rétrodéformation des fossiles,
- Reconstruction faciale 3D.

Les logiciels à produire seront intégrés dans une base commune de visualisation et interaction 3D, développée en OpenGL sous Windows. Ceci permettra de jeter les fondations d'une future plate-forme logicielle dédiée aux archéologues/paléontologues et d'autre part de faire tester les modules développés en situation réelle (pendant les fouilles, par exemple).

Pour atteindre ces objectifs, le projet travaille avec le Laboratoire d'anthropobiologie de Toulouse et l'IRIT. C'est dans le cadre de cette collaboration que s'inscrit ce stage qui vise à reconstruire et analyser en 3D un bâton préhistorique dénommée bâton percé.

2. Objectifs et méthodologie

2.1. Objectifs

L'objectif principal de ce travail est de reconstruire en 3D le bâton percé.

De façon spécifique il s'agit de :

- numériser les deux bouts du bâton percé,
- rabouter virtuellement les deux bouts par un recalage rigide,
- mettre en évidence des gravures,
- Permettre une présentation muséographique.

2.2 Méthodologie

La numérisation est l'étape essentielle, préalable à l'étude 3D du bâton percé. Elle permet de collecter les informations géométriques du bâton dont on souhaite avoir le modèle 3D virtuel. C'est la base de l'étude 3D du bâton percé.

Un scannage 3D à 382 coupes du bâton percé était disponible au laboratoire d'anthropobiologie de Toulouse. Il a été réalisé à l'aide du scanner XtremeCT. Cette image 3d issue de cette numérisation ne permettait pas d'avoir un bon rendu du bâton percé.

Pour affiner la représentation de l'image du bâton percé, nous avons effectué :

- un micro scannage à 974 coupes avec la même technique XtremeCT,
- un scannage utilisant la technique de projection de franges lumineuses.

Les images issues de ces différents scannages ont fait l'objet de reconstructions 3D. Ensuite ces représentations ont été comparées afin de choisir celle offrant un meilleur rendu.

Enfin, des programmes notamment RapidForm a permis de mettre en évidence les gravures de tête de cheval sur le bâton percé.

2.3. Matériels et Outils

Il a été mis à notre disposition une station de travail pour l'analyse et le traitement d'image et une salle équipée d'un écran géant pour les différentes visualisations 3D.

Les logiciels Amira, RapidForm et MeshLab ont été utilisé pour le traitement et visualisation 3D du bâton percé

Amira, dans sa version 4.0® a été utilisé pour la segmentation et reconstruction 3D du bâton percé. Il s'agit d'un logiciel de modélisation et de visualisation 3D développé par la société Mercury Computer Systems. Ce logiciel fonctionne sous Unix et adapté pour Windows.

RapidForm, dans sa version 2006, a permis de rabouter les maillages issus de Amira pour améliorer davantage la visualisation 3D du bâton percé. Ce programme a été développé par INUS Technology.

La version 1.1.0 de MeshLab nous a permis de faire un découpage des images reconstruites. Ce programme donne également l'avantage de réduire la taille des images pour optimiser leur manipulation.

3. Objet d'étude : le Bâton percé

3.1. Présentation du bâton percé

Les bâtons percés sont des objets archéologiques en bois de renne, en os ou ivoire, datant généralement de la période du paléolithique supérieur. Ces objets portent généralement des gravures d'animaux (chevaux, poissons, bisons), mais aussi phallus et plus rarement vulves (Fig1). Ces décorations parfois absente ou rudimentaire, deviennent, au Magdalénien, très élaborées parfois originales.

Les bâtons percés serviraient à redresser les sagaies. Ils ont aussi été interprétés comme des bâtons de commandement, ils devraient également servir à assouplir les lanières en cuir.

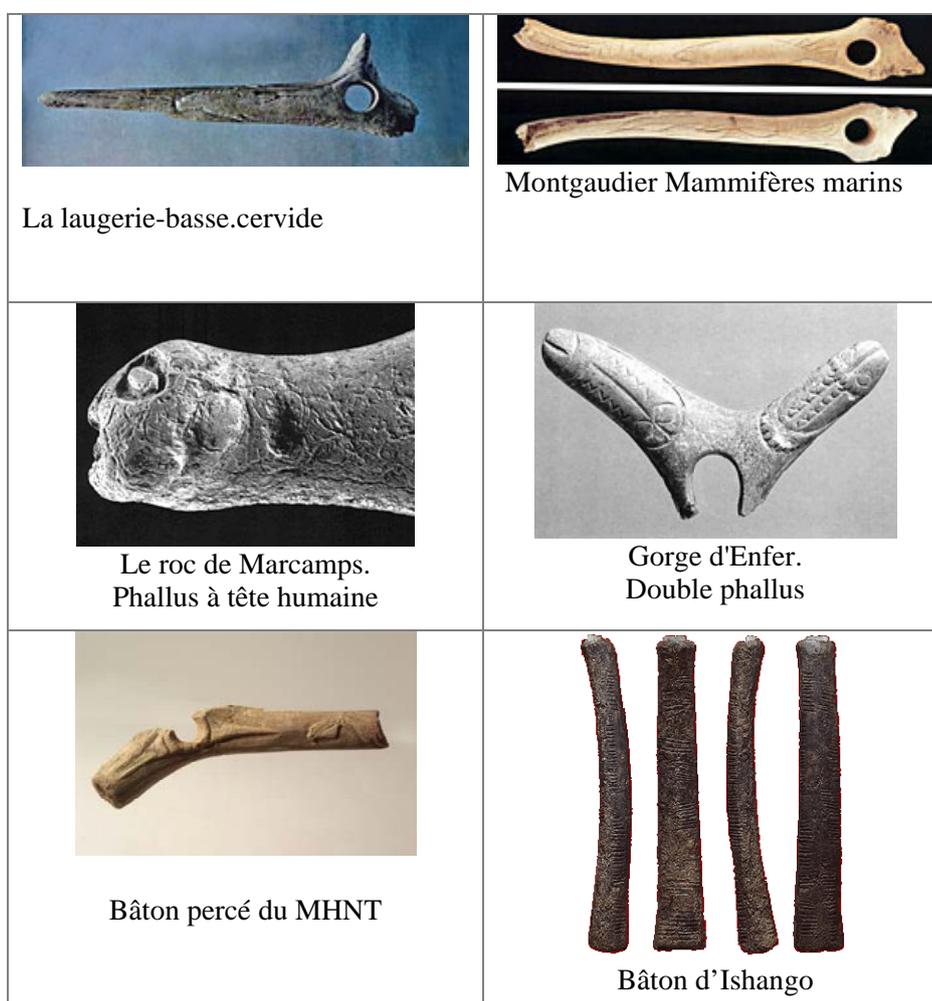


Fig1 : spécimens de bâton percé

Des spécimens de bâtons percés sont conservés au Muséum d'Histoire Naturelle de Toulouse (MHNT). Parmi ceux-ci se trouve le bâton qui fait l'objet de notre étude (Fig 3). Ce bâton est taillé dans du bois de renne.

Le MHNT ne dispose que d'un fragment de ce bâton, l'autre fragment se trouve au Musée des Antiquités Naturelle de Saint Germain Laye à Paris (Fig 2). En effet, c'est dans les années 1990, qu'une opération de recollement et d'inventaire des collections menée par le Musée de Saint Germain a fait apparaître qu'un autre morceau appartenant à cet objet était connu au sein de la collection Lartet que conserve également cet établissement.



Fig 2 : recollage du fragment du MHNT et du fragment du MAN de St Germain

Ce bâton provient de la collection Edouard et Louis Lartet, achetée par la ville de Toulouse en 1911. Il provient des fouilles menées par E. Lartet et Henry. Christy sur le site de la Madeleine.

Le fragment exposé au MHNT porte une perforation à une extrémité et une gravure de tête de cheval. C'est une pièce d'environ 10 cm de long et 1.3 cm de diamètre. Sa datation est estimée à 13 00 BP.

Une reconstruction 3D de ces deux fragments par numérisation permettra une exploitation muséographique virtuelle pour les deux musées.

3.2. Intérêt de la numérisation 3D du bâton percé

La numérisation permet d'avoir une représentation virtuelle des objets.

Pour faciliter, leur conservation, les objets sont exposés dans les vitrines au sein des musées. Cependant cette forme d'exposition met à l'abri les objets mais elle ne permet pas de visionner toutes les facettes de l'objet. C'est ainsi que le bâton percé du MHNT à l'instar des autres objets est exposé dans une vitrine plaquée au mur (Fig 3).

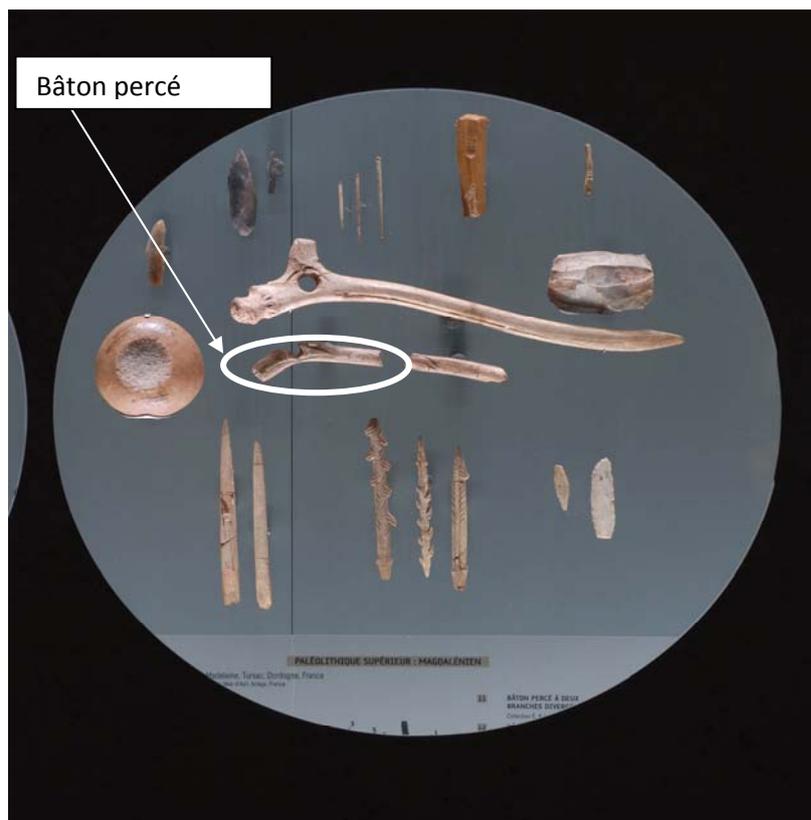


Fig 3 : exposition des bâtons percés au MHNT
photo MHNT

Cette forme d'exposition, ne met pas de percevoir les gravures sur le bâton. En outre la fragilité du bâton limite beaucoup sa manipulation. Une numérisation 3D du bâton est donc nécessaire pour préserver le bâton et démultiplier les accès.

Les techniques d'imagerie numérique permettent une reconstruction 3D des objets et mettent davantage en évidence les détails de l'image notamment les gravures sur bâton percé étudié.

L'usage de ces nouvelles technologies apporte aux chercheurs archéologues et paléontologues de nouvelles méthodes d'analyse dans leurs différentes études réalisées sur les objets numérisés en 3D. Ces derniers utilisaient des photographies 2D et des dessins pour étudier les objets archéologiques.

Une représentation numérique permet également de visualiser la structure interne des objets. Outre ces avantages, les techniques d'imagerie permettent les révélés sur les objets (mesures et interprétations).

Ces techniques sont utilisées dans d'autres études similaires notamment numérisation 3D du bâton d'Ishango à Bruxelles et de deux fossiles humains à Toulouse.

3.3. Quelques exemples concrets de numérisation 3D

Une étude en cours, le projet PRFB 01/01/2007 (Semal Patrick & De Maret Pierre)

Elle porte sur la réalisation d'une plate-forme de numérisation et de recherche interactive favorisant la diffusion scientifique entre les universités, les hautes écoles et les musées du Bruxelles.

Dans le cadre de cette étude a été entreprise la numérisation 3D du bâton d'Ishango hébergé à l'Institut Royale des Sciences Naturelles de Belgique. Des techniques de numérisation hautes résolutions tel le scanner médical, le micro scanner et le scannage de surface ont été utilisés (Fig 4).

L'un des objectifs de ce projet était de démontrer l'intérêt de la numérisation d'un point de vue de la conservation mais aussi des nouvelles voies d'étude scientifique qu'elle autorise. Les produits issus de la numérisation ont permis d'avoir des documents multimédia utilisés comme supports pédagogiques.

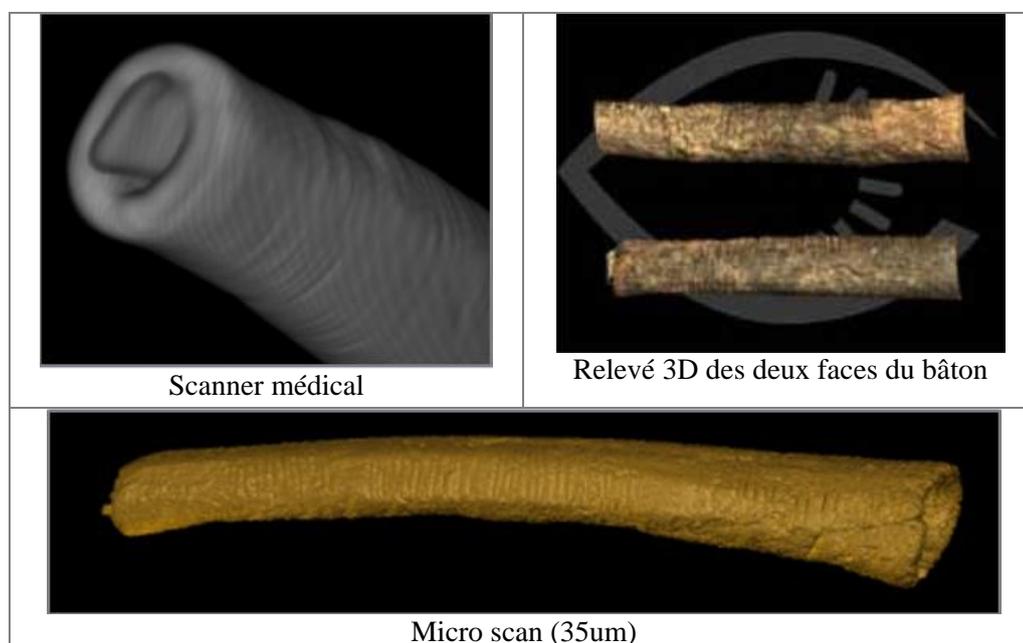


Fig 4 : images numérisation 3D bâton d'Ishango
image IRSNB Bruxelles

Etude de deux fossiles humains de plus de 2 millions d'années grâce à une nouvelle technique issue de la recherche spatiale

Cette étude réalisée par le laboratoire d'antropobiologie de Toulouse avait pour objectif, d'analyser à une échelle microscopique, les mâchoires et le mode de formation des dents de deux fossiles humains. Ces restes humains, exposés au « Transvaal Muséum » sont découverts en Afrique du sud il y a une cinquantaine d'années.

Ces fossiles sont numérisés au MEDES à l'aide de la machine XtremeCT. Sur les images obtenues les différents tissus dentaires, osseux sont isolés puis reconstruits

virtuellement, et notamment l'interface entre l'émail et la dentine, pour en apprendre davantage sur la formation de la face et des dents de l'Australopithèque (Fig 5).

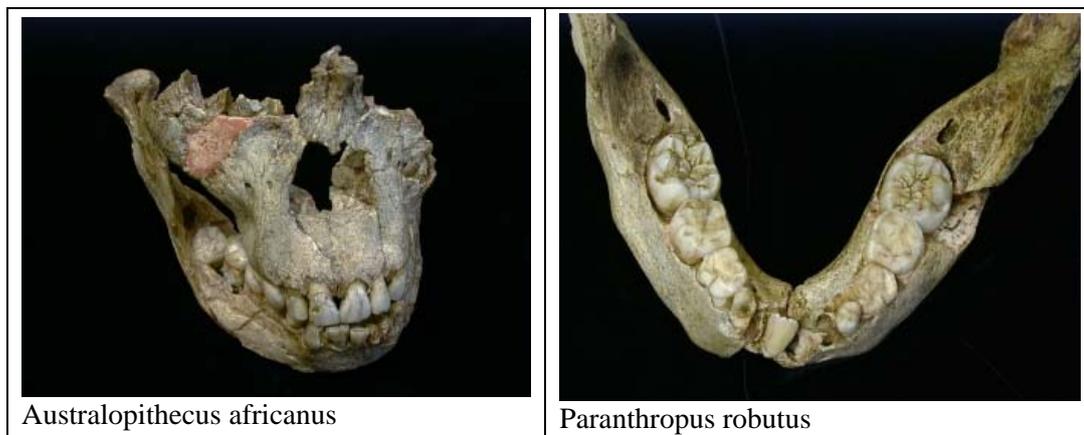


Fig 5 : numérisation 3D bâton d'Ishango
Image MEDES

Cette technologie permet aux chercheurs de recueillir des informations anatomiques sur l'évolution du patrimoine génétique de l'espèce humaine.

4. Numérisation 3D

4.1. Présentation de quelques scanners 3D et techniques utilisées

La numérisation 3D des objets de musées en vue de leur archivage ou de leur manipulation se fait de plus en plus à l'aide de scanners 3D. Avec cette technique, nous avons l'avantage d'avoir une représentation numérique précise des objets. La numérisation étant faite sans contact physique avec l'objet.

Un scanner 3D est un appareil capable de générer des données 3D manipulables par un ordinateur grâce à un logiciel de traitement conçu à cet effet. Cet équipement est capable de mesurer, d'enregistrer plusieurs millions de points tridimensionnels en quelques minutes, à une précision de quelques millimètres, à une densité pouvant atteindre plusieurs points au centimètre.

Les scanners 3D extraient d'une ou de plusieurs photographies d'un objet opaque son relief, en ayant recours à diverses techniques de « vision par ordinateur ».

Ils sont généralement coûteux et encombrants, la plupart des scanners 3D nécessitent l'intervention d'un technicien.

Celui-ci doit veiller en particulier à « calibrer » précisément le système d'acquisition avant toute nouvelle numérisation, car la plupart des scanners 3D utilisent le principe de la « triangulation », qui consiste à déterminer la position d'un point 3D dans l'espace par intersection de deux droites non parallèles concourantes :

- **En vision monoculaire** (une seule image disponible), ces deux droites sont : une droite « épipolaire », qui passe par un point P2 de l'image et par le centre optique du système d'acquisition ; le rayon lumineux éclairant le point P3 situé à la surface de l'objet et conjugué de P2.

Certains modèles utilisent un faisceau laser : la détection du spot lumineux dans l'image permet de déterminer l'équation du rayon lumineux, d'autres utilisent une lumière structurée, c'est-à-dire un motif régulier tel que les bandes parallèles colorées. Dans les deux cas, il faut connaître les équations des 2 droites dans un repère commun, c'est-à-dire « calibrer » le système d'acquisition.

- **En vision binoculaire ou vision stéréoscopique** (deux images prises sous deux angles différents) ces deux droites sont deux droites épipolaires définies par un point P2 d'une image et par un point P2' de l'autre image tel que P2 et P2' correspondent à un même point P3 de la surface de l'objet.

A la nécessité de calibrage se rajoute donc dans ce deuxième cas de figure, la difficulté de « l'appariement », qui consiste à constituer de telles paires de points (P2, P2'). L'éclairage est généralement naturel, mais il arrive qu'une diapositive très texturée soit projetée sur la surface de l'objet afin d'en augmenter artificiellement la texture et faciliter l'appariement.

- **Une autre technique plus spécifiquement dédiée à la numérisation 3D** consiste à placer l'objet sur une sellette que l'on fait tourner. Pour chacune des N positions de la sellette, la silhouette de l'objet est détectée dans l'image. Un « volume englobant » de l'objet est déduit par intersection des N cônes ayant pour sommet le centre optique du système d'acquisition et s'appuyant sur les contours des N silhouettes. Néanmoins, il faut exprimer ces cônes dans un repère commun relatif à l'objet c'est-à-dire calibrer le système d'acquisition.

De nouveaux systèmes de numérisation 3D n'utilisant qu'un appareil photographique numérique voient le jour, ce sont des systèmes facile à manipuler, fondés sur la technique de la « stéréophotométrie ». Cette technique de vision par ordinateur consiste à prendre plusieurs photographies d'un même objet vu sous le même angle mais éclairé dans différentes directions. Son principal avantage est qu'elle ne nécessite pas de calibrage précis car l'objet est fixé par rapport au système d'acquisition. Un autre avantage important est qu'elle fournit simultanément le relief de l'objet et sa texture, contrairement aux scanners 3D usuels qui ne fournissent que le relief. Les nouveaux scanners 3D permettent d'éviter donc la manipulation délicate consistant à acquérir le relief et la texture séparément, puis à plaquer la texture sur le relief. Ces systèmes utilisent des technologies de triangulation pour convertir les nuages de points en modèles maillés.

4.2. Numérisation 3D du Bâton percé

Les systèmes utilisés pour la numérisation du bâton percé sont :

- XtremeCT qui fonctionne à base de rayon X,
- une caméra numérique utilisant une technique de projections de franges lumineuses,
- et enfin le Packshot Creator pour le scan de surface.

4.2.1. Numérisation 3D avec le micro scan XtremeCT

Le bâton a été numérisé avec le micro scanner XtremeCT de la société SCANCO, au MEDES. Le micro scan XtremeCT a été développé sur des fonds CNES, ESA et Union Européenne dans le cadre d'un projet européen d'étude de la qualité osseuse.

Cette méthode de numérisation est simple à mettre en œuvre : un ordinateur équipé d'un logiciel μ CT Tomography V.5.2 est relié au scanner pour réaliser cette opération. Le système de scannage 3D XtremeCT est un système précalibré.

Les images du bâton sont scannées avec une résolution isotopique de 41 μ m.

Quelques caractéristiques du numériseur XtremeCT

Nom	XtremeCT
Type	in vivo humain
Diamètre max de balayage	125 mm
Longueur max de balayage	150 mm
Résolution	42 μm
Epaisseur des coupes	41-246 μm
Temps min de balayage/ coupe	1 s
Dimensions LxPxH	110 x 42 x 81 cm
Poids	475kg



Fig 6 : scanner XtremeCT

Le scanner XtremeCT est généralement utilisé pour l'étude des os (la main, le pied), aussi le scannage de fossiles humains, de caoutchouc, mousse, aluminium, ...).

Il permet ainsi de mesurer à la fois la densité osseuse et la microarchitecture osseuse et d'obtenir les paramètres de structure. Il utilise une méthode non invasive (sans endommager les échantillons) de diagnostic c'est-à-dire qui n'entraîne pas de pénétration ou de solution à l'intérieur de l'organisme.

XtremeCT permet d'obtenir des images de très haute résolution. C'est alors qu'il devient une technique très intéressante et adaptée à la numérisation du Bâton percé qui est un objet préhistorique, très précieuse et fragile.

La numérisation avec le scanner s'est passée dans de très bonnes conditions.

Pendant la numérisation pour l'immobiliser, le bâton a été placé dans une gouttière comme pour le scannage de la main. Nous avons toujours fait une prévisualisation enfin d'avoir une bonne position du bâton avant le scan. Une image est prise tous les millimètres. Ce qui nous a permis de faire exactement 974 coupes à raison d'une coupe par millimètre. L'image suivante illustre quelques tranches :

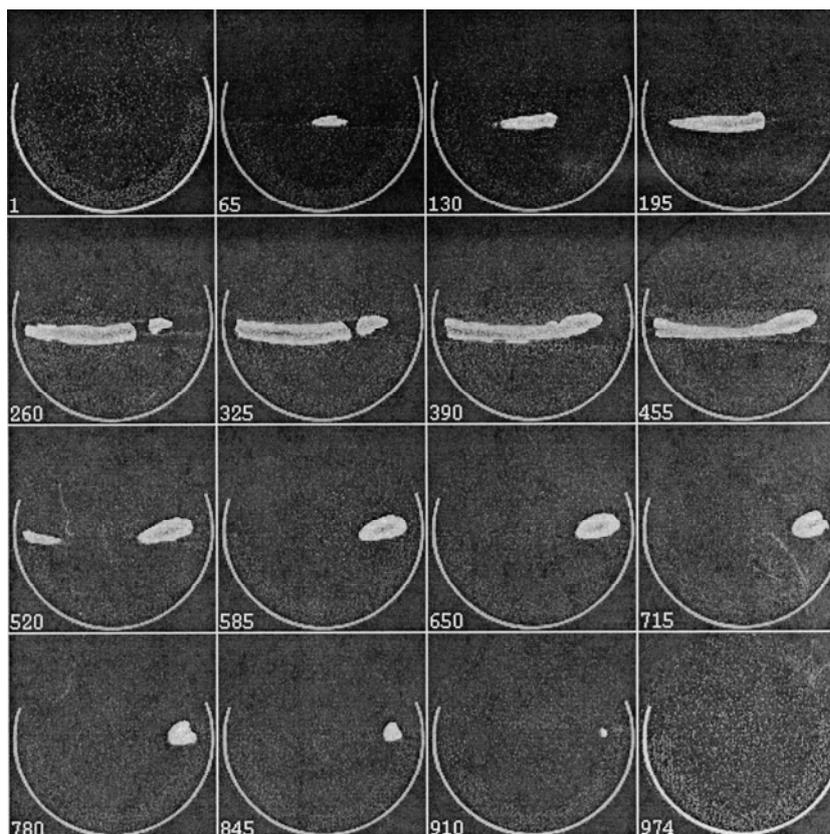


Fig 7 : coupes du micro scan
Image MEDES 05mai 2007

Ces coupes sont ensuite "empilées" afin de créer une image. Cette opération a duré exactement 2 heures. Ces coupes représentent les tranches successives de la structure de l'objet.

Vu la taille du bâton, pour avoir beaucoup plus de précision, nous avons opté pour une haute résolution et avons choisi de faire plusieurs coupes plus que d'habitude pour avoir de meilleurs résultats.

La numérisation est faite sans contact avec le bâton ceci écarte tout risque de dégradation.

Les images issues de cette numérisation sont de format RSQ. Ce format est converti en format ISQ, une opération qui peut prendre environ deux jours. Et enfin la conversion au format DICOM, format avec lequel nous allons travailler sur Amira pour importer les données.

DICOM est le format standard de l'industrie médicale pour les scans. C'est un format assez lourd. Dans Amira, on peut exporter sous d'autres formats : TIF, EPS, JPG ou STL qui sont des formats plus simples et plus faciles à manipuler.

4.2.2. Numérisation 3D par projection de franges

Les images ont été acquises à l'aide d'un système basé sur la projection de franges.

La numérisation 3D par projection de franges est une technique relativement simple à mettre en œuvre : en effet, il faut un vidéoprojecteur et une caméra CCD temps réel montée sur un trépied connectée à un ordinateur équipé d'un logiciel, permettent de faire l'acquisition et le traitement d'image.

Pendant la numérisation la source lumineuse est ponctuelle et les autres sources de lumière sont éteintes pour ne pas diminuer le contraste des franges.

Le bâton a été placé en face de la caméra et du vidéoprojecteur. Son principe de base, consiste à projeter des franges lumineuses rectilignes et parallèles sur la surface de l'objet à numériser.

Le résultat obtenu se présente sous forme d'un nuage de points.

La technologie de projection de franges fournit une numérisation avec une haute densité de points. Dans notre cas, nous avons eu jusqu'à 30 000 points. Une surface, représentée par un maillage triangulaire, doit alors être générée à partir de ce nuage de points.

Avec une excellente précision et une grande fiabilité, la numérisation est faite sans contact et elle est non destructive. Nous avons fait la numérisation 3D du bâton percé avec une haute précision.

Nous avons procédé à plusieurs prises de vues en changeant régulièrement la position du bâton. Ce qui nous permettra de retrouver sur l'image finale l'ensemble des parties du bâton. Cette opération a duré environ 5 secondes par acquisition.

Cette technique est largement utilisée pour la numérisation 3D d'objets, le contrôle de qualité dans le domaine de l'industrie, la biologie, la médecine et la recherche.

On peut se représenter cet appareil schématiquement par l'image qui suit :

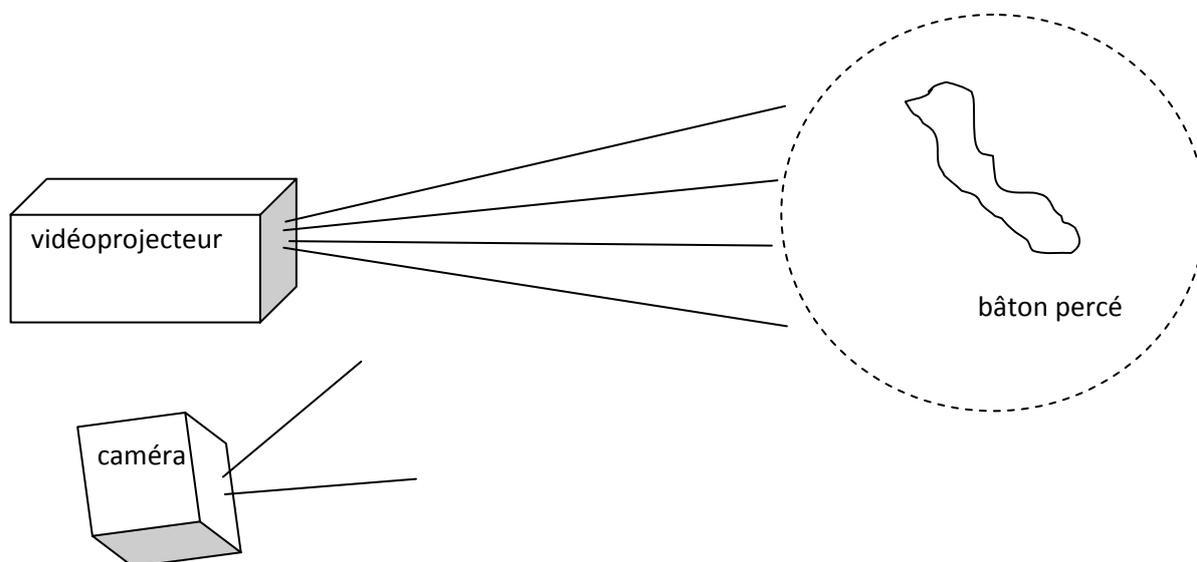


Fig 19 : découpage des images issues différentes techniques de numérisation

4.2.3. Scan de surface

A NOOMEO nous avons fait une première numérisation avec un équipement très moderne le Packshot Creator relié à un ordinateur et un logiciel associé : la version 2.0.4 du Packshot Creator pour Canon PowerShot A640. Ce système est facile à mettre en œuvre et comporte une interface de pilotage assez simple.

La société Sysnext est à l'origine du concept Packshot Creator.

Il est composé de divers accessoires destinés à faciliter les acquisitions ce sont:

- un caisson noir à l'extérieur et un fond blanc,
- des lampes fluorescentes à 6500K (lumière du jour),
- un Canon PowerShot G9, 12,1 Mpixels,
- un caisson lumineux de dimensions 61x61x73 / 44,5x44, 5x49 cm pour le modèle mini,
- un support en plexiglas pour placer les objets à photographier permet d'éliminer les ombres portées.

Un calibrage du système est réalisé avant chaque mesure.

La machine se présente comme suit :



Fig 9 : Packshot Creator

Quelques caractéristiques du Packshot Creator :

Nom	Packshot Creator
Résolution d'image	3264x2448 pixels en 300 dpi
Taille maximale des objets photographiés	40x58x30 cm (prises de vue de dessus) / 40x40x40cm (prises de vue de côté)
Temps de scan	Environ 5 secondes/acquisition
Poids	38kg

Avec une grande simplicité d'utilisation, ce système est doté d'un environnement lumineux uniforme et constant. Nous avons placé le bâton percé à l'intérieur du caisson sur le plateau en plexiglas.

Comme résultat de cette numérisation, nous avons obtenu des images de haute résolution sans ombre portée ni reflet sur l'image.

Ce système de numérisation a fait ressortir les couleurs (textures) réelles du bâton.

Nous avons réalisé plusieurs prises de vue ; pour cela, nous avons retourné régulièrement le bâton. Il faut noter qu'avec le Packshot Creator, on a une prise de vue en temps réel, ce qui nous permet d'ajuster la position du bâton pour la prévisualisation avant de lancer la capture d'image.

Cet appareil peut être utilisé dans divers domaines : contrôle de qualité, banques d'images, catalogues, e-commerce, etc.

Les images issues de la numérisation peuvent exporter sous divers format EBX, TIFF, JPEG.

5. Reconstruction 3D du bâton percé

De manière générale, la reconstruction consiste à définir une fonction volumétrique de l'objet considéré et de générer des triangles avec celle-ci. Le travail de reconstruction est long, fastidieux, donc impose une concentration et une attention pour une bonne présentation virtuelle.

Les coupes scannées en format DICOM sont utilisables directement sur le logiciel Amira qui est un logiciel 3D utilisé en particulier dans l'imagerie médicale.

Pour la suite, nous avons adopté les notations suivantes :

Images 3D issues du XtremeCT (382 coupes)=scan CT

Images 3D issues du XtremeCT (974 coupes)=micro scan

Images 3d issues de la technique de projection de franges lumineuses=noomeo

5.1. Reconstruction 3D scan CT

Une image scannée par le laboratoire d'anthropobiologie de Toulouse a été mise à notre disposition. Nous avons visualisé les coupes de l'image scannée suivant différents axes X, Y et Z

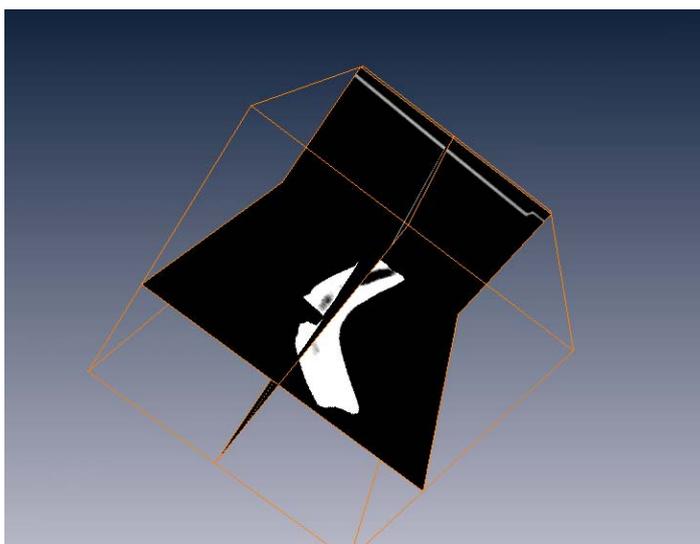


Fig 10 : visualisation des coupes scannées (scan CT)

Le modèle 3D a été créé à partir des images scanners au format DICOM (382 coupes) issues du scan CT.

La reconstruction 3D a donnée un maillage de 102 173 sommets et de 197 214 facettes.



Fig11 : Scan CT, visualisation 3D après reconstruction 3D

Ce premier résultat a rendu possible une représentation en trois dimensions du bâton percé dans toutes ses formes. La visualisation volumique a permis notamment la pénétration virtuelle dans l'objet et la découverte de sa structure interne.

5.2. Reconstruction 3D des images issues de la technique de projection de franges lumineuses

Avec le nuage de 30 000 points obtenues, le scannage 3D chez NOOMEO fit également l'objet d'une reconstruction 3D.

Un maillage de 34 72 77 sommets 32 92 10 facettes a été obtenu.



Fig 12 : noomeo, visualisation 3D après reconstruction 3D
Image NOOMEO

5.3. Reconstruction 3D des images micro scan

Le micro scan donne une image de 1000X1000 soit environ 5 Go de données brutes. Cette taille ne permet pas directement la visualisation l'isosurface dans Amira comme avec le scan CT qui faisait seulement 382 coupes (une coupe fait 516 Ko soit environ 500 Mo.).

Malgré la taille des données, nous avons mis au point un protocole pour obtenir une représentation 3D surfacique.

Protocole de reconstruction 3D

Il s'agit de procéder à des découpages en sous-séries de 100 coupes, une segmentation par seuillage est réalisée, un sous échantillonnage, enfin le calcul d'isosurface, tout ceci dans Amira.

Nous avons exporté les fichiers au format STL ASCII. Ce format exploitable par RapidForm.

Nous avons eu un écart à la jonction des tranches dû probablement soit à une erreur lors du calcul d'isosurface, ou à une isosurface qui passe par le milieu d'un voxel laissant un trou. Sur l'image qui suit, nous pouvons apercevoir cette discontinuité entre les coupes.

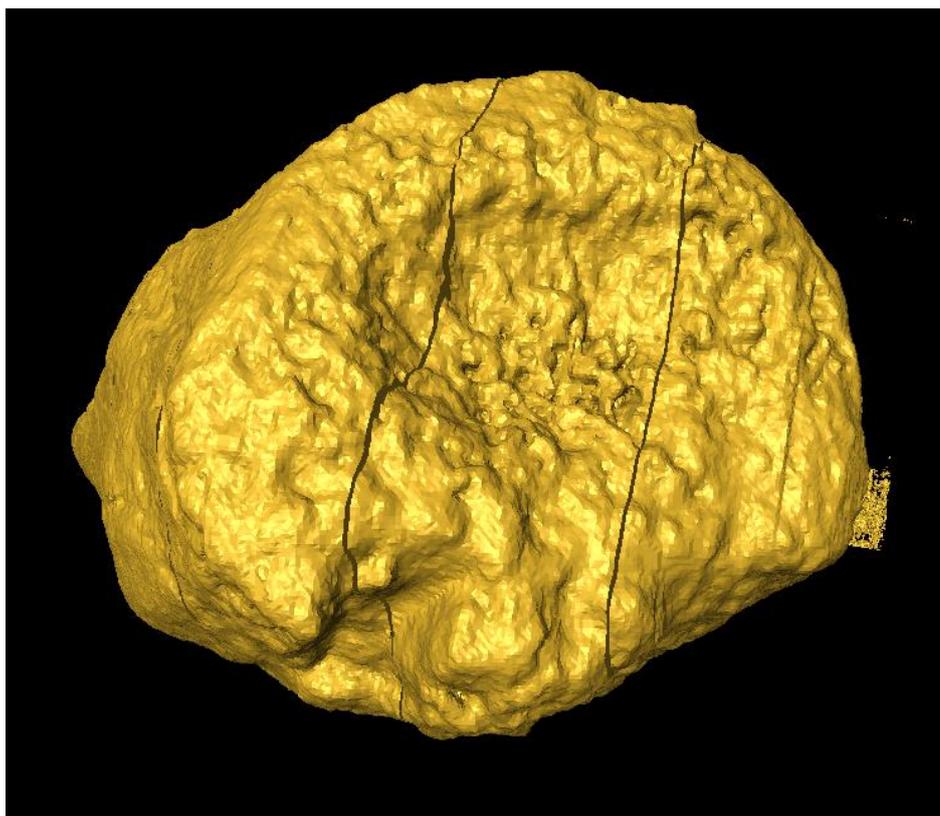


Fig 13 : image avec forte discontinuité, Amira

Il nous a paru nécessaire de diminuer la discontinuité dans l'image. Pour y parvenir nous avons adopté les procédures suivantes :

Diminution de la discontinuité

- La première démarche a consisté à prendre une coupe commune dans deux tranches consécutives c'est-à-dire :
 - 1ère série de 0 à 100,
 - 2ème série de 100 à 200,
 - 3ème série de 200 à 300,
 - Et ainsi de suite jusqu'à la 907ème coupe.

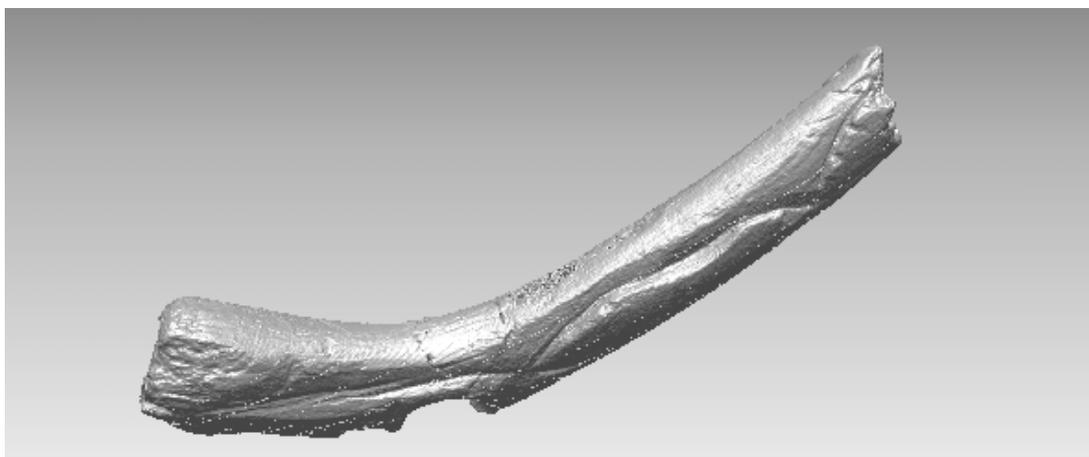


Fig 14 : micro scan, visualisation 3D après reconstruction

Le résultat est peu satisfaisant puisque il y a encore une forte discontinuité que vous pouvez remarquer sur l'image (Fig 14).

- La deuxième démarche a consisté à prendre plus d'une coupe commune dans deux tranches successives c'est-à-dire :
 - 1ère série de 0 à 100
 - 2ème série de 98 à 200
 - 3ème série de 198 à 300
 - Et ainsi de suite jusqu'à la 907ème coupe.

Ainsi, nous avons obtenu les résultats suivants :

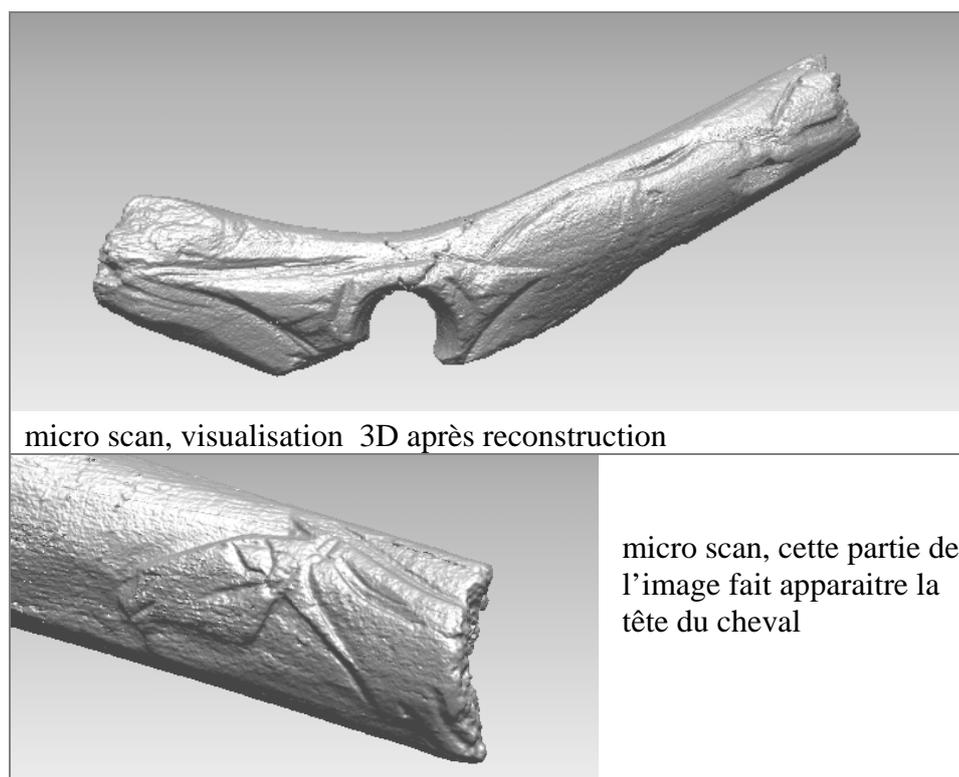


Fig 15 : diminution discontinuité

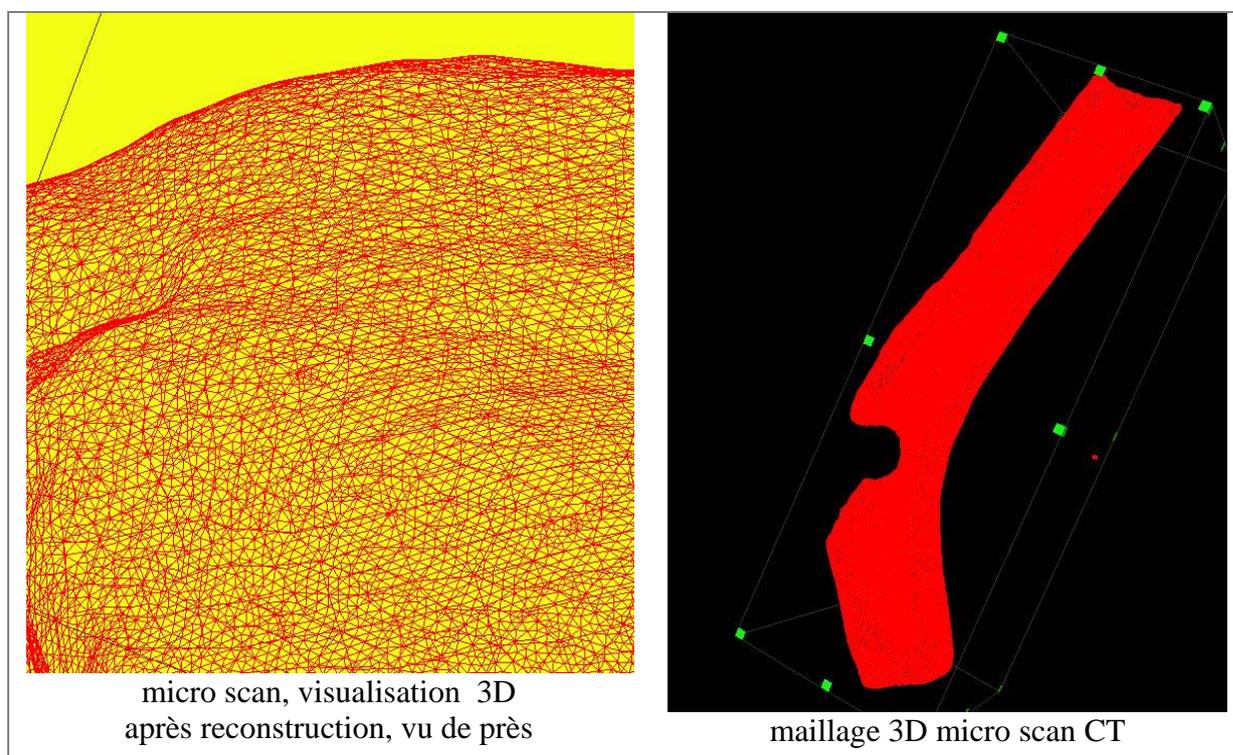


Fig 16 : micro scan, visualisation maillages 3D

Tableau des maillages obtenus

Maillages	Coupes	Nbre sommets	Nbre facettes
maillage1	0-100	68 911	137 342
maillage2	98-200	271 645	539 733
maillage3	198-300	509 812	1 015 452
maillage4	298-400	1 198 329	2 409 397
maillage5	398-500	463 612	926 441
maillage6	498-600	215 891	429 268
maillage7	598-700	142 850	285 747
maillage8	698-800	89 933	179 835
maillage9	798-907	38 189	76 360
TOTAL :	908	2 999 172	5 999 575

Avec ces séries de 100 coupes, nous avons obtenu neuf maillages (RapidForm). Nous avons eu au total 2 999 172 sommets et 5 999 575 facettes. La surface est de 220.37618 mm². Pour la suite, il est nécessaire de recoller les neufs maillages.

Comment rabouter les différents maillages pour n'en obtenir qu'un unique ?

Le but est de fusionner deux surfaces qui se recouvrent légèrement. Avec RapidForm, nous avons recollé les neuf maillages obtenus (les sous séries de 100 coupes obtenus pendant la reconstruction 3D) pour en obtenir qu'un seul. Ceci a donné le résultat suivant:

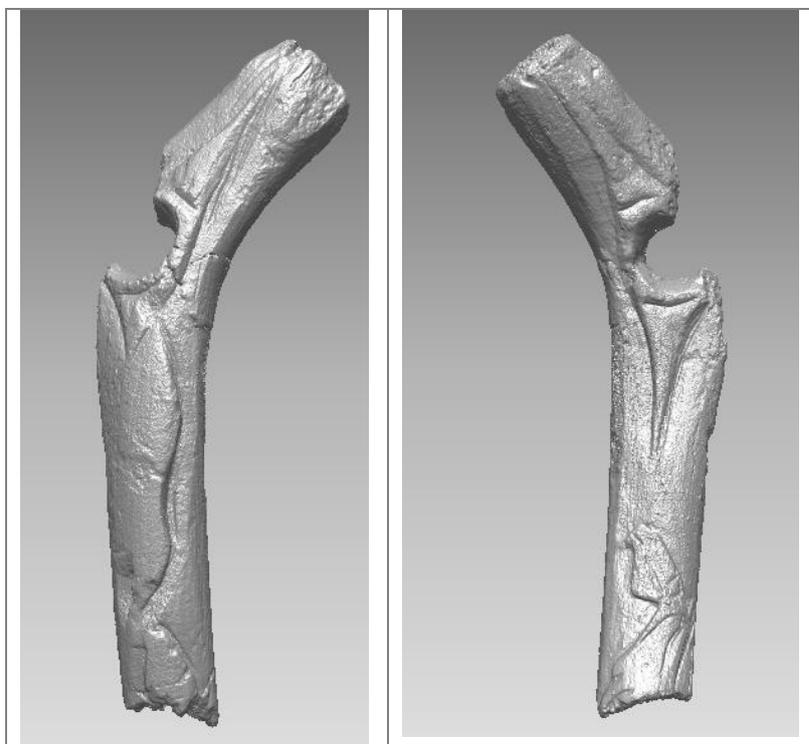


Fig 17 : micro scan, visualisation 3D des maillages recollés

Il faut noter qu'avec le maillage obtenu, nous avons eu les mêmes nombres de sommets et facettes c'est à dire: 2 999 172 sommets et 5 999 575 facettes. Ceci prouve qu'avec cette opération, on a aucune perte en information (fig 17). Par contre, avec cette opération, on se retrouve avec un fichier volumineux d'environ 2 Go au format STL. En conséquence, il faut réduire la taille du fichier.

Réduction de la taille du fichier

Nous avons utilisé RapidForm pour réduire la taille du fichier tout en prenant en compte les paramètres de qualité : "try to preserve mesh quality" + "do not modify boundary edges" pour réduire d'un facteur de 10 du nombre de facettes. Ces paramètres permettent d'essayer de préserver la qualité de maillage.

Le nombre de facettes est passé de 5 999 575 à 586 407 facettes et les sommets de 2 999 172 à 296 321 sommets, la surface fait 210 88 mm² et le volume 14.94mm³.

Avec ce résultat, nous constatons une dégradation (apparition de trou) visible sur la Fig 18.

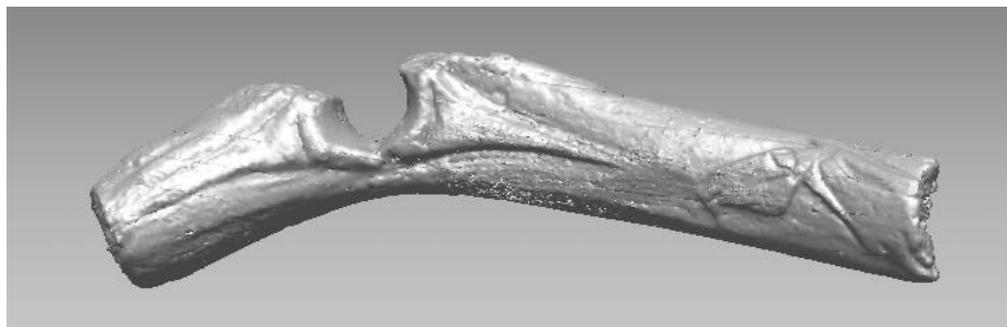


Fig 18 : Réduction du nombre de facettes avec RapidForm

Pour cela nous avons aussi utilisé MeshLab. Le fichier au format STL a été converti au format PLY pour réduire sa taille sur le disque. Ensuite, nous avons reconverti au format STL. Cette méthode donne réduit la taille du fichier tout en conservant la qualité de l'image.

Pour la suite, nous allons utiliser ce fichier qui fait maintenant environ 300 Mo.

En somme l'ensemble de ces techniques ont permis de reconstruire en 3D du bâton percé. Cette forme de représentation offre la possibilité de naviguer virtuellement autour et à l'intérieur du bâton percé. On peut également s'arrêter sur des points de vue particuliers, zoomer.

6. Comparaison des images issues des trois techniques de numérisation

Rappelons qu'un des objectifs primordiaux de la reconstruction 3D du bâton percé est d'obtenir les meilleurs compromis entre d'une part, une résolution « acceptable » livrant toutes les informations souhaitées en fonction des besoins, soit scientifiques, soit « grand public », d'autre part, une bonne manipulation de l'objet par des moyens informatiques.

Pour valider donc la qualité des images 3D obtenues par le micro scan, nous les avons comparés à ceux fournis par le scan CT (382 coupes) et le scan noomeo.

Sur chaque image, seule la partie contenant la tête du cheval a été conservée (Fig21), ce qui entraîne une réduction considérable du nombre de sommets et de facettes. Cette sélection a été réalisée avec le logiciel MeshLab et la visualisation dans RapidForm.

Le découpage donne les images suivantes :

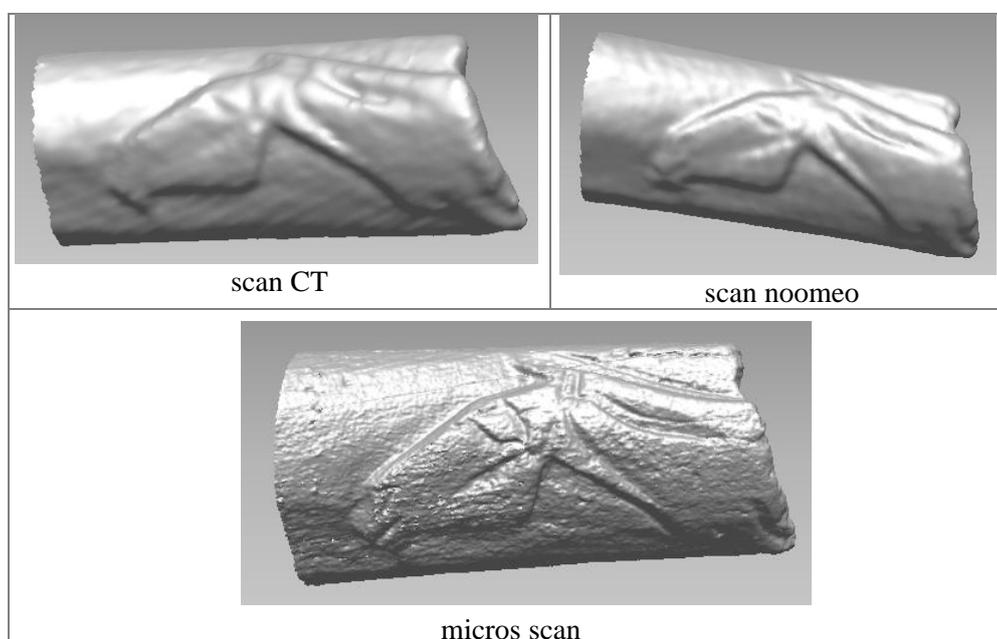


Fig 19 : découpage des images issues différentes techniques de numérisation

Le tableau qui suit présente le nombre de points de chaque image avant et après l'extraction de la zone d'intérêt. Rappelons que la zone d'intérêt est la partie contenant la tête du cheval.

Scanners 3D	Nombre de sommets avant sélection de la zone d'intérêt	Nombre de sommets après sélection de la zone d'intérêt	Nombre de facettes avant sélection de la zone d'intérêt	Nombre de facettes après sélection de la zone d'intérêt
SCAN CT	591 642	204 609	197 214	68 203
NOOMEIO	987 630	276 564	329 210	92 188
Micro scan	2 999 172	914 263	5 999 575	1 830 058

Le tableau suivant donne les caractéristiques des images scan CT et micro scan

Scanners 3D	Maillages Sommets-facettes	Nbre de coupes	Résolution
Scan CT	591 642-197 214	382	60µm
Micro scan	2.999 172-5 999 575	908	41µm

Le scan noomeo : 987 630 sommets et 329 210 et 30 000 nuages de points.

Ce tableau montre les capacités de ces nouvelles techniques à fournir une image précise. Une comparaison visuelle permet de constater que, sans utiliser de lissage particulier, la qualité de l'image micro scan est supérieure aux images issues de Xtreme CT-382 coupes et techniques de franges lumineuses (Fig 21).

L'inconvénient avec la technique de numérisation par projection de franges est la dispersion de la lumière émise par le vidéoprojecteur sur le bâton percé de petite taille. En effet, la lumière projetée n'arrive pas avec la même intensité sur la surface du bâton percé. Cette situation entraîne une perte de qualité notamment dans les extrémités de l'objet numérisé.

A 41µm et avec une coupe tous les uns millimètre, la technique XtremeCT donne une bonne représentation du bâton percé en 3D proche de la réalité. Ainsi cette image a été retenue

La principale limitation dans l'analyse à haute résolution ne se situe pas seulement au niveau de l'acquisition ; mais aussi au niveau des logiciels d'analyses et de reconstruction.

Configuration hardware :

Machine1 : environ 3 Go de processeur, 4 Go de mémoire, OS Windows.

Machine2 : 2 Go de processeur, 2Go de mémoire, OS Windows.

Windows ne reconnaît que 3 gigas avec Amira ; même si il y a 4 gigas sur la machine 3D. Amira plante sous Windows. Pour les larges volumes de données, il faut utiliser la fonction « large data sets » et cela ralentit la machine.

Par contre avec 4 gigas sous linux, il est possible d'effectuer des rendus de surface.

Pour les travaux futurs, nous conseillons la configuration minimale suivante:

- Une station sous linux environ 8 GB de RAM
- deux cartes nvidia en SLI (minimum 512 Mb de mémoire vidéo).
- Une machine avec un renforcement de mémoire.

Cela permet de travailler correctement avec des données micro scannées. Sous linux, tout est plus simple, un système 32 bit reconnaît 4 giga et vraiment et un système 64 peut monter à plus de 8 gigas.

Si l'on veut étudier la taphonomie, éventuellement de mode de façonnage des objets dans une perspective patrimoniale, un scanner XtremeCT est un outil remarquable.

Recalage les images scan CT, scan noomeo et micro scan

Pour visualiser les écarts entre les images obtenues des différentes techniques, nous avons fait un recalage rigide à l'aide du logiciel RapidForm (Fig 20). En effet, les données fournies par le MEDES et NOOMEO n'ont pas les mêmes références elles ne sont pas numérisées avec les mêmes outils. Elles servent de repères à un algorithme de mise en correspondance pour trouver automatiquement les points homologues entre deux images appariés. À partir de ces points appariés, nous calculons sur une transformation de l'espace qui superpose images deux à deux.

Le recalage donne le résultat suivant :

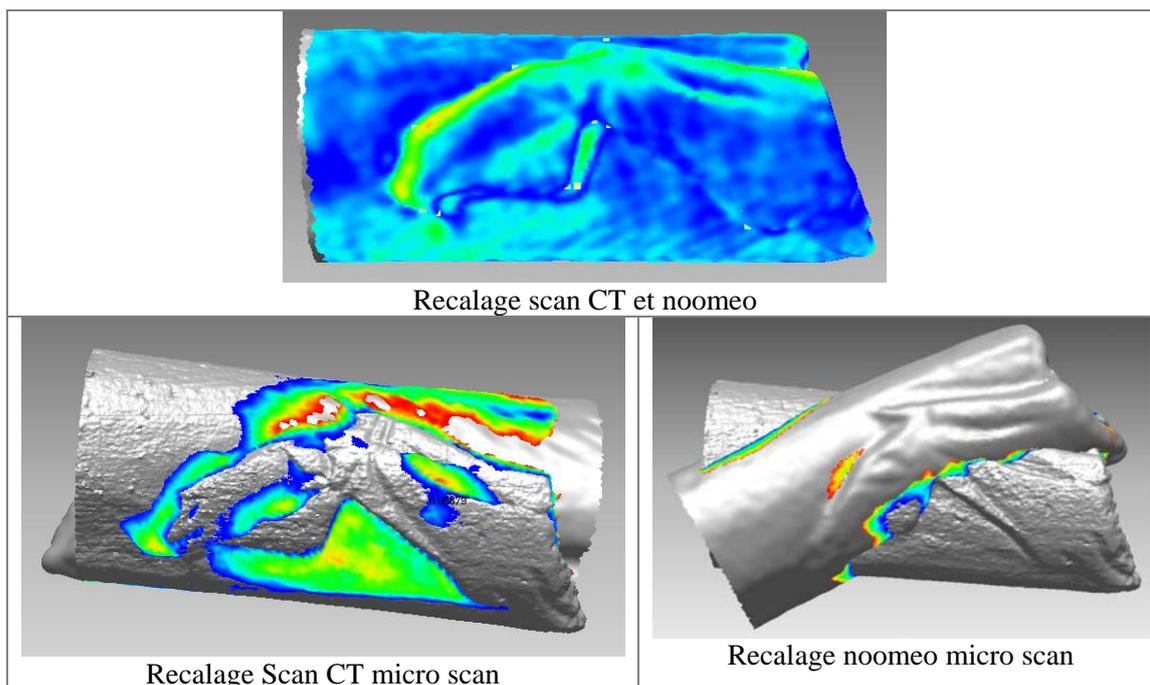


Fig 20 : recalage Scan CT, scan noomeo et micro scan

Cette méthode automatique nous a permis de visualiser en trois dimensions, l'écart entre les images 3d scan CT, scan noomeo et micro scan.

7. Mise en valeur des gravures

Pour faire ressortir les gravures nous avons utilisé les rayons de courbures avec RapiForm et nous avons visualisé les lignes de crêtes avec le logiciel « Open Source » CGAL 3.0.

RapidForm parcourt chaque point de la surface où il calcule les rayons de courbure minimum et maximum de la surface en ce point. Il s'agit donc de calculer la répartition des courbures sur la surface acquise.

Nous avons obtenu les visualisations suivantes :

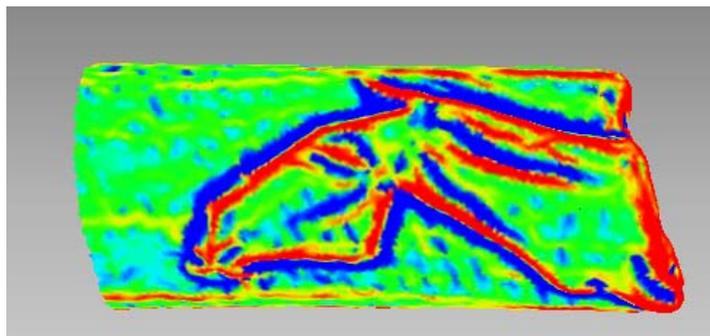


Fig 21: scan CT, mise en évidence des gravures via la mesure des rayons de courbure

En déplaçant la souris sur cette l'image, on peut voir la valeur des courbures en temps réel. Les courbures colorées en rouge représentent les parties profondes de l'image. Elles permettent d'identifier les gravures et d'en voir la succession régulière.

Sur la (Fig 21), si l'on se concentre sur la tête du cheval, on s'aperçoit que les détails sont plus marqués.

Nous avons procédé également à l'extraction automatique des lignes de crêtes qui correspondent aux lignes principales sur chacune des images avec CGAL 3.0.

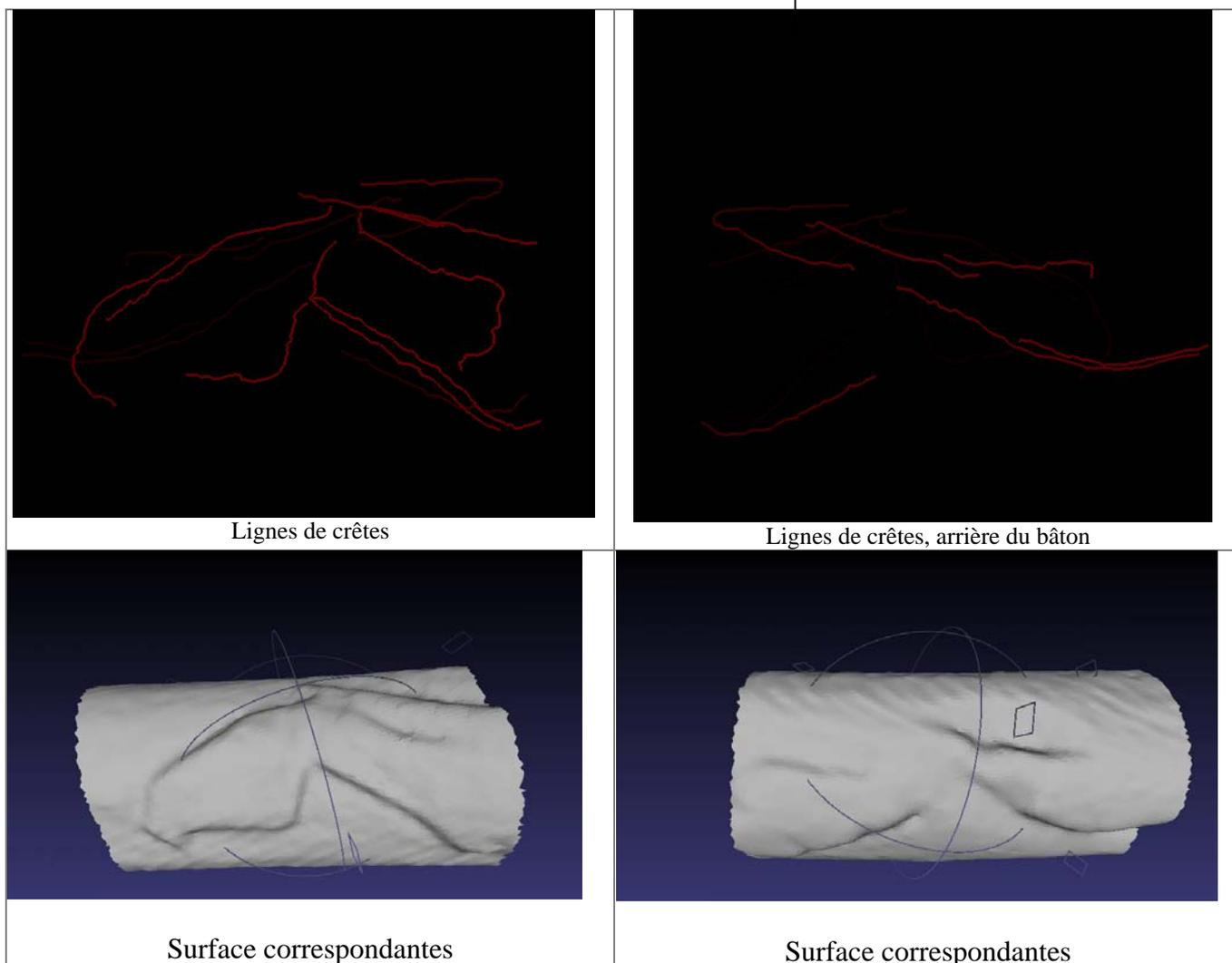


Fig 20 : scan CT visualisation de lignes de crêtes (Scan-CT), CGAL 3.0

Ces lignes de crêtes ont permis de mettre en évidence la tête du cheval ainsi que d'autres gravures que vous pouvez apercevoir.

Ces deux méthodes précédentes sont difficilement applicables au micro scan CT du fait des raccords qui empêche de lire le fichier 3D.

Conclusion et perspectives

Ce travail a permis de numériser et de reconstruire en 3D le fragment du bâton percé conservé au Muséum d'Histoire Naturelle de Toulouse.

Cette numérisation permet de valoriser spécimen du bâton percé sur plan anthropologique et muséographique.

Plusieurs techniques ont été utilisées pour la reconstruction de l'image du bâton percé : le scannage XtremeCT 382 et 974 coupes et par projection de franges lumineuses.

Les images acquises ont fait l'objet de comparaison visuelle et de recalage rigide. L'image résultante du micro-scannage s'est avérée plus proche du bâton réel.

Grâce aux acquisitions avec le micro scan il est possible de réaliser des études anthropologiques du bâton percé dans tous ces détails. La résolution de l'image permet de mettre en évidence les gravures comme la tête de cheval.

La reconstruction 3D du bâton percé permet une manipulation aisée du bâton par les chercheurs sans risque de dommages. Il s'agit d'une technique d'exposition muséographique virtuelle facilitant l'accès et diffusion aux grands publics et aux chercheurs. En revanche, la représentation virtuelle à travers la numérisation et la reconstruction 3D ne constitue pas une substitution aux objets réels du musée. La représentation virtuelle ne permet pas l'interprétation de certaines propriétés qui nécessitent le contact physique avec l'objet.

Les techniques d'imagerie numériques s'appliquent bien au domaine de l'archéologie. En effet, la numérisation 3D peut être utilisée par les archéologues comme un outil pour la visualisation 3D, la reconstruction et d'interprétation du degré de minéralisation des objets.

L'objet archéologique représente un point d'intérêt de plusieurs disciplines et peuvent faire l'objet d'une étude pluridisciplinaire entre les archéologues, les conservateurs de musées, les anthropologues et les spécialistes d'imagerie numérique.

La numérisation et la reconstruction 3D des deux fragments du bâton percé du muséum de Toulouse et Paris permettrait de reconstituer le bâton et de disposer d'une image virtuelle de ce dernier dans les deux musées.

En plus des limitations des techniques de scannage, l'outillage informatique peut influencer sur les délais de traitement et d'analyse de l'image. L'utilisation du système d'exploitation Linux permettrait d'améliorer le temps de chargement et de traitement des images.

Au plan personnel, ce travail m'a permis de mettre en pratique l'enseignement reçu. La qualité du matériel utilisé a permis d'aboutir aux résultats escomptés. Le stage m'a donné l'opportunité de manipuler des logiciels de traitement et d'analyse d'image 3D.

De façon générale ce travail m'a permis d'améliorer mes connaissances dans le domaine de la modélisation et de la reconstruction 3D.

Les connaissances acquises me serviront au niveau du mémorial du Mali où je m'occupais de la numérisation et valorisation du patrimoine.

Bibliographie

3D Imaging, and Modeling, 3D-Heritage: 02-2008, 3D Technologies for Cultural Heritage Applications, Jean-Angelo Beraldin (Angelo) Research Officer Visual Information Technology, NRC Institute for Information Technology
1200 Montreal Road

Numérisation des restes humains néandertaliens belges
Préservation patrimoniale et exploitation scientifique Patrick SEMAL, Michel TOUSSAINT, Bruno MAUREILLE, Hélène ROUGIER, Isabelle CREVECOEUR, Antoine BALZEAU, Linda BOUCHNEB, Stéphane LOURYAN, Nora DE CLERCK & Léon RAUSIN, 2005.

3D image processing for the study of the evolution of the shape of the human skull presentation of the tools and preliminary results
Gérard SUBSOL¹, Bertrand MAFART², Marie-Antoinette DE LUMLEY², Alain SILVESTRE, 2002

Virtual Reconstruction of Heritage Sites: Opportunities and Challenges Created by 3D Technologies
Beraldin, J.-A., Picard, M., El-Hakim, S., Godin, G. Borgeat, L., Blais, F., Paquet, E., Rioux, M., Valzano, V., and Bandiera, A.
May 2005

Projet Ishango 2007-2008, SEMAL Patrick & De MARET Pierre, Crevecoeur Isabelle.

Une imagerie à la portée de tous ?
Application aux collections d'Anthropologie et de Préhistoire de l'Institut royal des Sciences naturelles de Belgique,
Patrick Semal ; Antoine Balzeau ; Isabelle Crevecoeur et Hélène Rougier avril 2007.

3D computer assisted craniofacial reconstruction G.subsol, Ph.D, September 2002

Reconstructing a 3D structure from serial histological sections
S. Ourselin, A. Roche, G. Subsol, X. Pennec, N. Ayache , juin 2007

Les collections muséographiques en 3D par microtomographie rayons X,
Julien NOEL , Gérard SUBSOL , Bertrand MAFART, Gaspard GUIPERT, Jean-Dominique GASCUEL , novembre 2005

Reconstitution d'un crâne en paléontologie, Trophées de l'AFPR - Trophée de la meilleure étude - Assises 2001

Quand Patrimoine et haute-technologie se rencontrent...,

article de Bernard Tilkens, Deios S.A. Liege Science Park – Spatiopole, novembre 2007

TRIDIMENSIONAL DIGITIZING OF DONATELLO.S MADDALENA

G. Guidi¹, M. Pieraccini¹, S. Ciofi¹, V. Damato¹, J.-A. Beraldin², C. Atzeni¹

Têtes sculptés de la façade de la maison de Tavel, 2006, Conservation du patrimoine architectural, école d'Ingénieur de Genève

Silhouette and Stereo Fusion for 3D Object Modeling

Carlos Hernández Esteban and Francis Schmitt

Signal and Image Processing Department, CNRS UMR 5141

Numérisation 3D de documents par photogrammétrie

Pierre Cubaud – Jean-François Haas – Alexandre Topol

ANNEXE

Annexe 1 : Organigramme

Directeur CRUBEZY Eric PR1 Anthropobiologie

Secretariat HILLAT Line TCN CNRS

Equipe 1

Peuplement et co-évolution homme milieu
Responsables: LARROUY Georges et LUDES
Bertrand

Equipe 2

Paléoanthropologie et Imagerie anatomique
Responsables : ROUGE Daniel et BRAGA
José

DUGOUJON Jean-Michel DR2 CNRS
GIBERT Morgane CR1 CNRS
DABERNAT Henri PU PH UPS
MAGNAVAL Jean-François PU PH UPS
CRUBEZY Eric PU UPS
LARROUY Georges PU émérite UPS
LUDES Bertrand PU PH Univ.Strasbourg I
KEYSER Christine MCU Université Strasbourg I
SEVIN André IR1 CNRS
GUITARD Evelyne TCE CNRS
CALVIÈRE-TONASSO Laure Technicienne UPS
RICAUT François-Xavier Chercheur associé
AMORY Sylvain Post.doctorant
COUDRAY Clotilde Post.doctorant
MAZIERES Stéphane Post.doctorant
THEVES Catherine Post.doctorant
DONAT Richard Thèse
RAZAFINDRAZAKA Harilanto Thèse
SENEGAS Nicolas Thèse
BRUCATO Nicolas Thèse
LARROUY Denise Secrétaire Bénévole

LODTER Jean-Philippe PU PH UPS
POMAR Philippe PU PH UPS
ROUGE Daniel PU PH UPS
TELMON Norbert PU PH UPS
BRAGA José PU UPS
GRIMOUD Anne-Marie MCU PH UPS
TREIL Jacques Méd. Clinique Pasteur
BOU Christophe MCU PH Bordeaux III
DEDOUIT Fabrice Thèse
ESCLASSAN Rémi Thèse
LUCAS Simon Thèse
BAYLE Pricilia Thèse
LE CABEC Adeline Thèse
HEUZE Yann Post.doctorant
COQUERELLE Michael Thèse
OUEISS Arlette Thèse

Annexe2 : Caractéristiques des logiciels utilisés

Amira

- Rendu semi-transparent des tranches orthogonales ou obliques
- Rendu en pseudo-couleurs, modification des tables de couleurs
- Combinaison avec des plans de coupes

Filtres

- Applicables en 2 et 3 dimensions : médian, unsharp masking, égalisation - d'histogramme, Laplace, Gauss, Lanczos, Sobel, ...
- Crop 3D interactif
- Opérations arithmétiques

Segmentation

Multiplés outils de la baguette magique 3D aux outils de propagation de contours.

Rendu surfacique

Rendu volumique

Cette application permet de :
visualiser en temps réel et à différents endroits d'un objet,
manipulation d'un objet 3D,

RapidForm

- Reconstruction 3D
- Outils complets de nettoyage des nuages de points.
- Technologie de triangulation pour convertir les nuages de points en modèles maillés.
- Enregistrement de numérisations multiples pour aligner tous les plans ensemble.
- Fusion avancée de numérisations multiples pour créer des modèles maillés complets sans chevauchement.
- Fonction intelligente de remplissage de trous, y compris le remplissage selon la courbure.
- Guide intelligent de réparation de maillage.
- Technologie de décimation permettant de réduire intelligemment la taille des données.
- Très grande capacité de traitement des données (>30M polygones) et temps de traitement rapides avec support de processeur double.

Cette application RapidForm permet le partage, la compression, la visualisation, la mesure et la cotation des données 3D sous Windows.

La possibilité de manipuler de gros nuages de points avec RapidForm 2006.

RapidForm peut importer des données de nombreux formats industriels : MDL, PLY, STL, 3DS, OBJ, mais aussi dans 20 formats propres aux différents scanners du marché.

Nuages de points, polygones, courbes et surfaces NURBS, solides B-rep, cartes de déviation, dimensions géométriques et tolérances modelées peuvent être visualisées simultanément.

MeshLab

Ce système est basé sur la bibliothèque VCG développé à l'Visual Computing Lab de l'ISTI – CNR.

Il est disponible pour les plates formes Windows, Linux et Macintosh. Meslab.

Il permet la reconstruction 3D de surfaces à partir de points.

Il permet la sélection interactive et la suppression d'une portion du maillage même pour de grands modèles. Il permet le lissage, possède une fonction automatique de remplissage de trous, de simplification de maillage, application des filtres, permet d'effectuer des mesures, suppression de petits composants isolés

Il permet de fusionner plusieurs maillages d'une reconstruction de surface avec sa fonction Poisson reconstruction.

des outils de rendu

Pour la suppression du bruit, généralement présents dans les surfaces acquises,

Sous MeshLab les fichiers peut être exporté sous divers format

PLY, STL, OBJ, 3DS, VRML, PDF etc.