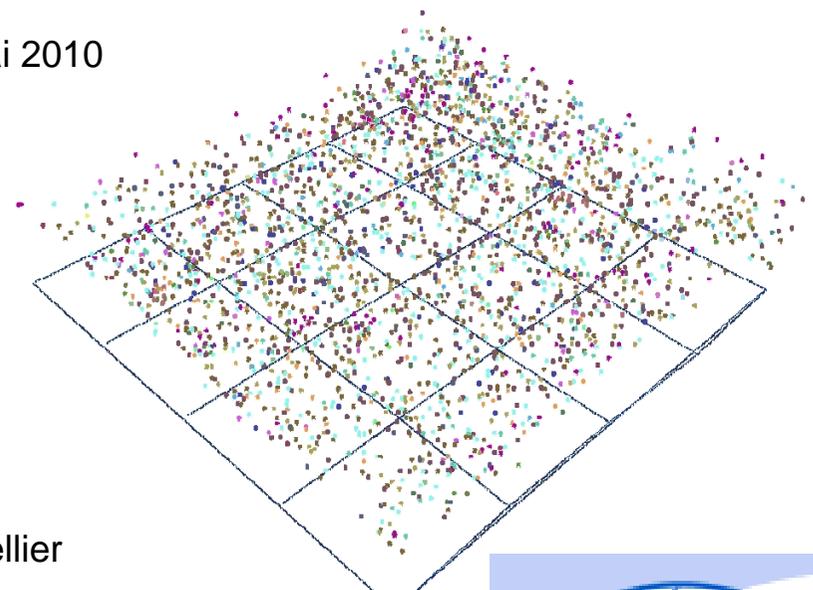


3D et archéologie

20 mai 2010



Quentin Borderie – ATER, université de Paris 1

quentin.borderie@univ-paris1.fr

Gérard Subsol – CNRS, UMR 5506 LIRMM, Montpellier

gerard.subsol@lirmm.fr





Introduction : « *Réalité virtuelle* » :

Un ensemble **d'outils logiciels et matériels** permettant de **simuler** de manière réaliste une **interaction** avec des **objets virtuels** qui sont des **modélisations** informatiques d'objets **réels**.



1. Définition des **objectifs** : problématiques, buts, quelles données, quel usage...
2. **Acquisition** des données réelles (**numérisation**) :
 - géométrie
 - photométrie
 - paramètres physiques (masse, élasticité, inertie thermique...)
3. **Modélisation** des données réelles en modèle virtuel :
 - géométrie,
 - couleur
 - comportements physiques...
4. **Interaction** :
 - **instruments** et les **algorithmiques** permettant de **manipuler** ou de **modifier** ces objets virtuels





- 1. Les objectifs d'un projet de Réalité Virtuelle en Archéologie**
 1. Archivage
 2. Affichage, muséographie, communication
 3. Manipulation, reconstitution
 4. Traitements, analyse
- 2. Que numériser ?**
 1. Objets, artefacts, ecofacts
 2. Architectures, grottes
 3. Environnement de fouille, site
 4. Paysage
- 3. Acquisition des données : la numérisation, la modélisation**
 1. Numérisation surfacique
 2. Numérisation volumique
 3. Modélisation : conversion et utilisation des données brutes
 4. Modélisation : méthodes de modélisation
 5. Modélisation : texturing, rendu et animation
- 4. Visualisation et interaction**
 1. Manipulation des données 3D
 2. Images, documents de travail, animation web, films
 3. Réalité augmentée, systèmes de visualisation
- 5. Traitement et analyse des informations**
 1. Du 2D au 3D et vice-versa
 2. Corrélations, reconstitutions, manipulations
 3. Simulations mécaniques, environnementales, comportementales





1. Les objectifs d'un projet de Réalité Virtuelle en Archéologie

1. Archivage
2. Affichage, muséographie, communication
3. Manipulation, reconstitution
4. Traitements, analyse

Selon les **objectifs**, les **ressources** (temps, coûts...) à mobiliser sont différentes :

	Acquisition	Modélisation	Interaction
Archivage	+++	+	0
Restitution	+ à ++	+ à ++	+
Manipulation	+ à +++	++	+ à +++
Analyse	+++	+++	+ à ++





1. Les objectifs d'un projet de Réalité Virtuelle en Archéologie

1. **Archivage**
2. Affichage, muséographie, communication
3. Manipulation, reconstitution
4. Traitements, analyse

Enjeux :

- **conservation** (si risque de destruction : Lascaux)
- communication « fidèle » à l'original : études scientifiques sur numérisations 3D ;

Méthodes :

- Numérisation très haute définition

Difficultés :

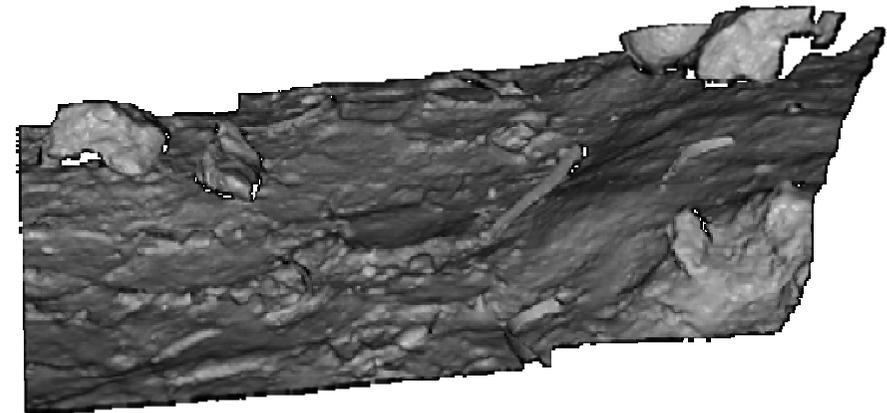
- précision de numérisation : temps et appareil utilisé
- stockage des données (données lourdes, copies régulières à faire, algorithmes de conversion de formats...)

Outils :

- scanners 3D

Exemples :

- *sol d'occupation*,
- *momie*



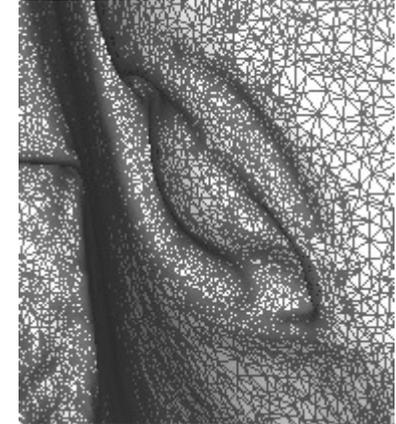
	Acquisition	Modélisation	Interaction
Archivage	<p>+++</p> <p>La plus précise et la plus exhaustive possible</p>	<p>+</p> <p>Minimale car peut-être effectuée ultérieurement suivant les besoins qui apparaîtront.</p>	<p>0</p> <p>Pas besoin de manipuler les données.</p>





1. Les objectifs d'un projet de Réalité Virtuelle en Archéologie

1. Archivage
2. **Affichage, muséographie, communication**
3. Manipulation, reconstitution
4. Traitements, analyse



Enjeux :

- **restitution** « fidèle »
- **présentation** au public
- **communication** scientifique ou publique (site web, congrès...)
- support de discussions ;

Méthodes :

- cf. archivage
- animations : films
- bornes interactives

Difficulté :

- notion et juridiction du « patrimoine virtuel » (cf. archivage)
- adapter la précision du modèle aux buts et modes de présentation (animation grand public = moins de précision, communication scientifique = plus de détails...)

Outils :

- scanners 3D

Exemples :

- Les sites archéologiques dans les musées ou sur site : abbaye de Cluny
- Les visites virtuelles de musées : œuvres, architecture

	Acquisition	Modélisation	Interaction
Restitution	<p>+ à ++</p> <p>+ = site Web ++ = grand écran</p>	<p>+ à ++</p> <p>Besoin d'un certain réalisme dans les applications muséographiques</p>	<p>+</p> <p>Pour naviguer simplement</p>

- Représentation **idéale** ?
- Représentation **réaliste** ?
- **Reproduction** de l'actuel ?



© Arctron.com



La réalité virtuelle en Archéologie



1. Les objectifs d'un projet de Réalité Virtuelle en Archéologie

1. Archivage
2. Affichage, muséographie, communication
- 3. Manipulation, reconstitution**
4. Traitements, analyse

Enjeux :

- **visualisation** (à échelle large, sous-marine) ;
- vérification (relevés archéologiques géoréférencés) ;
- navigation (grottes immergées...)
- **manipulation** (objets trop lourds ou fragiles) ;
- validation d'hypothèses (cf. architecture, archéologie du bâti, analyse spatiale...)

Méthodes :

- extrapolation/interpolation à partir de documentation archéologique (relevés, descriptions...)
- acquisition/conversion des modèles archivés (cf. supra)
- traitements des données 3D
- modélisation 3D

Difficulté :

- interaction homme – RV : problème d'interface (autre chose que la souris et le clavier ?, immersion ?)
- Texturing

Outils :

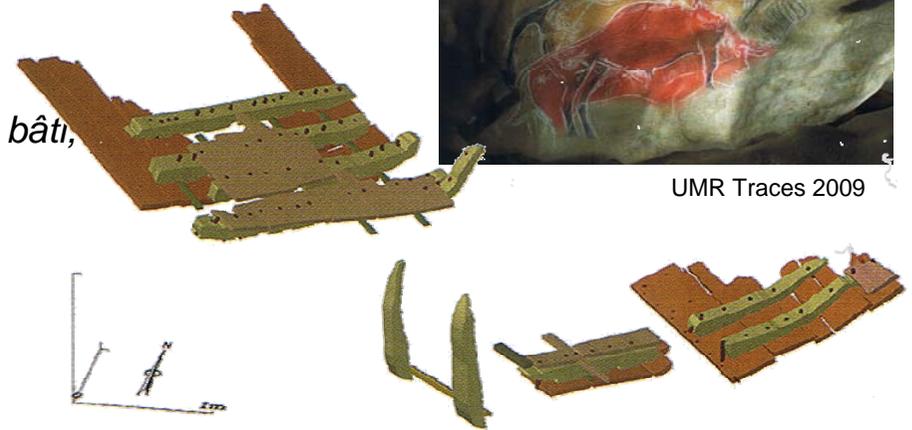
- logiciels de traitement 3D
- logiciels de modélisation

Exemples :

- architectures : le phare d'Alexandrie
- archéologie du bâti
- épaves (épave de la Canche)



UMR Traces 2009

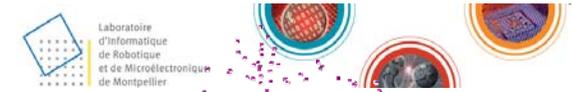


Rieth 2009

	Acquisition	Modélisation	Interaction
Manipulation	<p>+ à +++</p> <p>+ = reconstruction de monuments à base de "briques"</p> <p>+++ = reconstruction de statues à partir de fragments</p>	<p>++</p> <p>Besoin d'un certain réalisme</p>	<p>+ à +++</p> <p>Peut être complexe si on veut reconstruire un objet.</p>

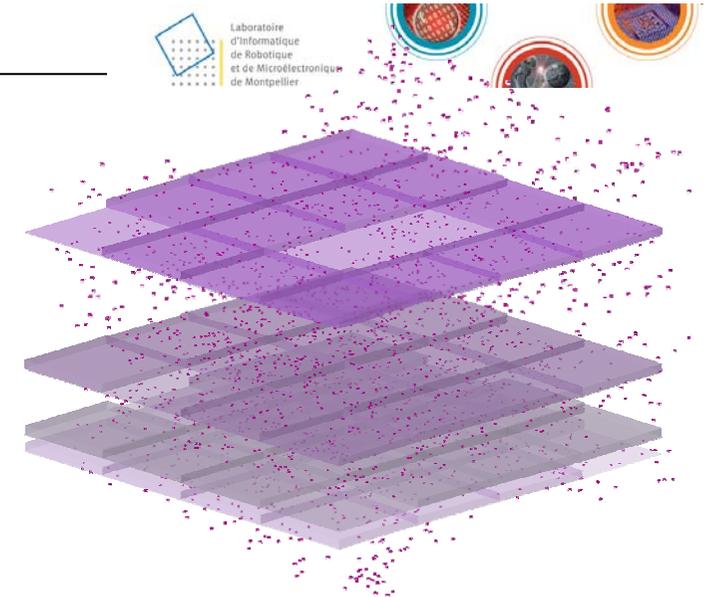


La réalité virtuelle en Archéologie



1. Les objectifs d'un projet de Réalité Virtuelle en Archéologie

1. Archivage
2. Affichage, muséographie, communication
3. Manipulation, reconstitution
4. **Traitements, analyse**



3D de stratigraphie bioturbée

Enjeux :

- Formuler / évaluer des **hypothèses**
- analyser les **comportements**
- analyser les **mécanismes**

Méthodes :

- interpolations, extrapolations, analyses spatiales

Difficulté :

- Besoins non satisfaits par les logiciels commerciaux : programmation requise !

Outils :

- logiciels de traitement 3D
- logiciels de modélisation
- logiciels d'analyse spatiale : topologique, topographique (SIG 3D)
- logiciels d'analyse « technique » : liaisons, articulations, transferts de forces, modélisation de la mécanique des fluides, des solides...

Exemples :

- *Stratigraphie urbaine*
- *archéologie du bâti*
- *analyse spatiale 3D*

	Acquisition	Modélisation	Interaction
Analyse	<p>+++</p> <p>Nécessaire pour une analyse précise.</p>	<p>+++</p> <p>Complexe pour une analyse précise.</p>	<p>+ à ++</p> <p>Peut-être complexe pour visualiser et appréhender les résultats.</p>





2. Que numériser ?

1. Objets, artefacts, ecofacts
2. Architectures, grottes
3. Environnement de fouille, site
4. Paysage





2. Que numériser ?

1. Objets, artefacts, ecofacts
2. Architectures, grottes
3. Environnement de fouille, site
4. Paysage

Accès aux données :

- musées ;
- réserves archéologiques ;
- *in situ* au cours des fouilles ;

Méthodes :

- numérisation par scanner 3D (courte portée)
- texturing

Difficulté :

- statut des objets : conservation, propriété (fragiles, en deux endroits : *frise du Parthénon, bâton percé*)

Outils :

- scanner 3D, CT Scan



MHNT



MAN



La réalité virtuelle en Archéologie



2. Que numériser ?

1. Objets, artefacts, ecofacts
2. **Architectures, grottes**
3. Environnement de fouille, site
4. Paysage

Accès aux données :

- *in situ*

Méthodes :

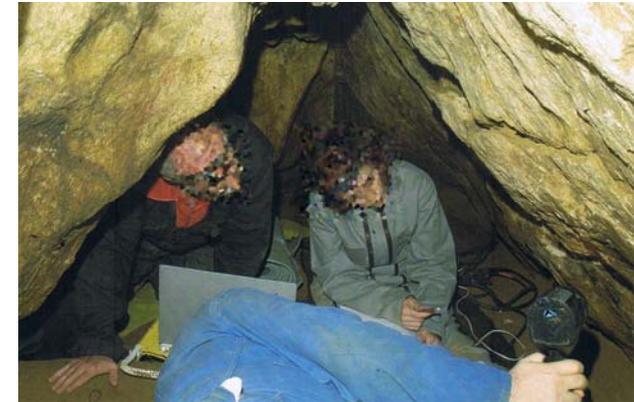
- numérisation par scanner 3D (longue portée) ;
- numérisation par tachéomètre laser (*architecture ou géolocalisation de structures ou d'artefacts*);
- redressement d'images ;
- prospection géophysique/scanner volumiques (*momies, temples, sites non fouillés*)

Difficulté :

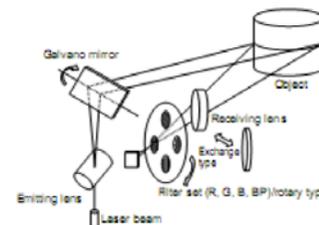
- Site d'acquisition : sécurité, points de vues/angles morts
- transport du matériel d'acquisition (*vivid à Tautavel*)

Outils :

- scanner 3D
- tachéomètre laser (total station);
- appareil photo numérique ;
- appareil de **prospection géophysique**



UMR Traces 2009



La réalité virtuelle en Archéologie

2. Que numériser ?

1. Objets, artefacts, ecofacts
2. Architectures, grottes
3. **Documentation archéologique**
4. Environnement de fouille, site
5. Paysage

Accès aux données :

- *in situ*
- archives de fouille

Méthodes :

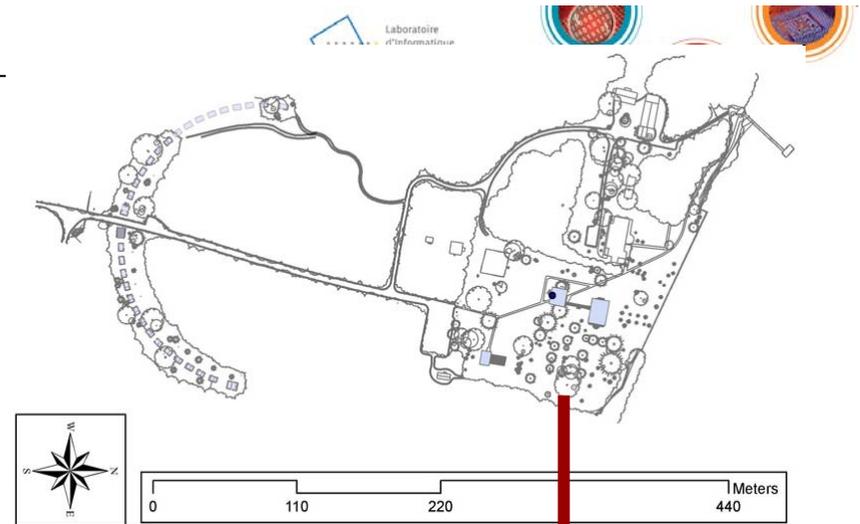
- numérisation par scanner 2D, 3D

Difficulté :

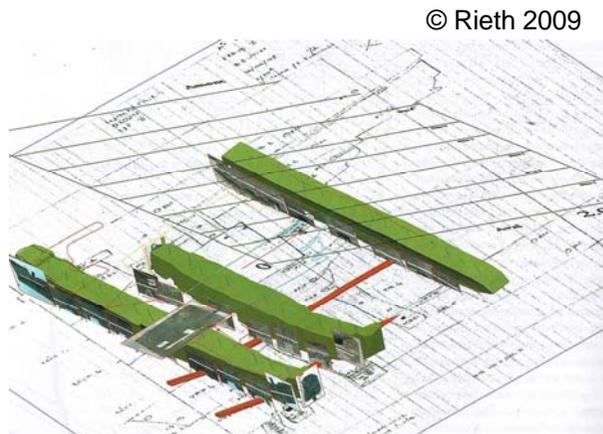
- Articuler les différents plans 2D

Outils :

- scanner 2D, 3D
- Appareil photo numérique



<http://sketchup.google.com/intl/fr/>





2. Que numériser ?

1. Objets, artefacts, ecofacts
2. Architectures, grottes
3. Documentation archéologique
- 4. Environnement de fouille, site**
5. Paysage

Accès aux données :

- *in situ* au cours des fouilles, avant et/ou après

-

Méthodes :

- numérisation par scanner 3D
- numérisation par tachéomètre laser (*géolocalisation de structures ou d'artefacts*);

- redressement d'images ;

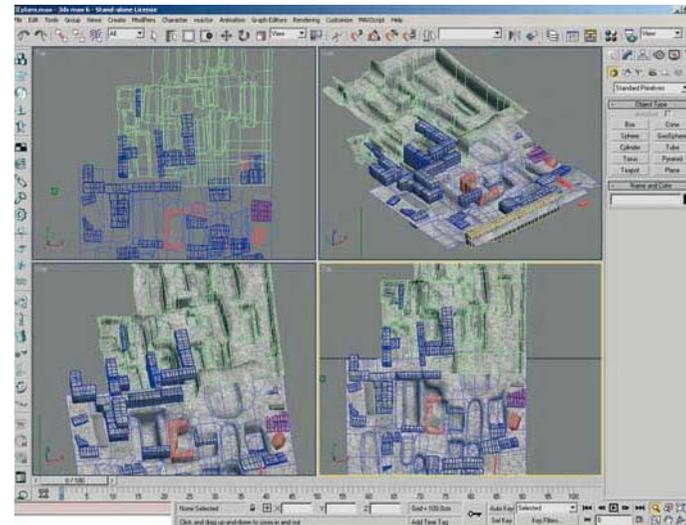
Difficulté :

- Diversité des objets/tailles

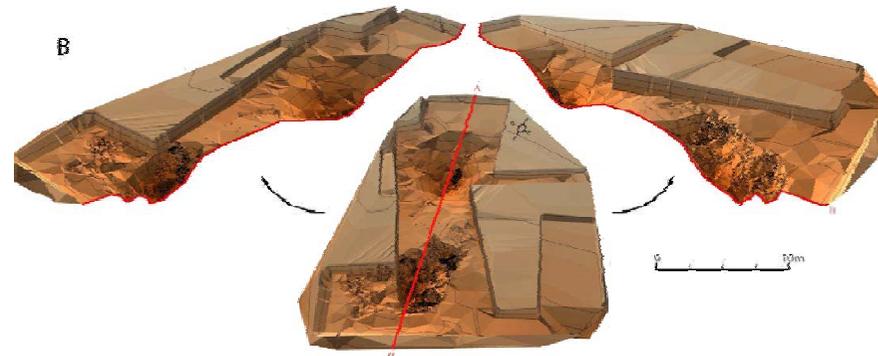
Outils :

- scanner 3D
- Tachéomètre

© Univ. Libre de Bruxelles

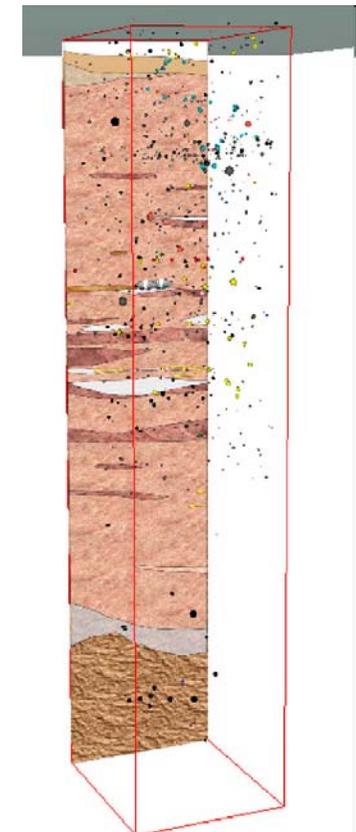


Site de fouille / emplacements de découvertes :
Structures / mobilier



Jarry *et al.* 2007

Stratigraphie :



© univ. queensland





2. Que numériser ?

1. Objets, artefacts, ecofacts
2. Architectures, grottes
3. Documentation archéologique
4. Environnement de fouille, site
5. **Paysage**

Accès aux données :

- Prospections (aériennes)
- Images raster

Méthodes :

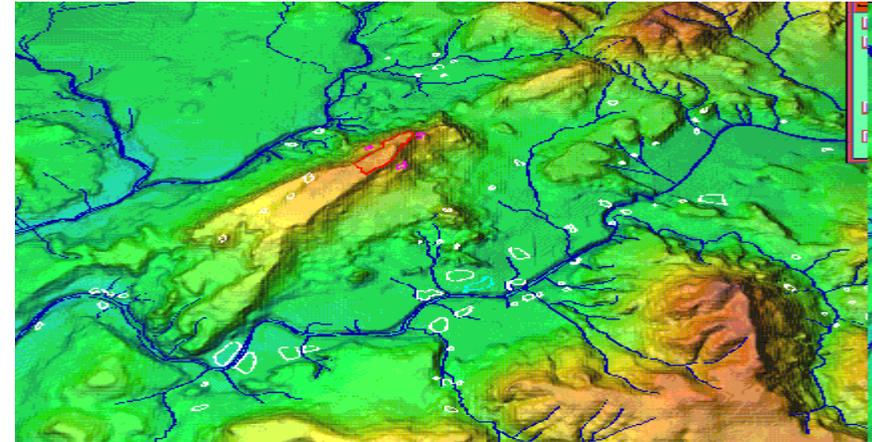
- **LIDAR**
- Topo25 (ign)
- Modèles Numériques de Terrain (MNT – DEM)

Difficulté :

- Grands espaces - détails

Outils :

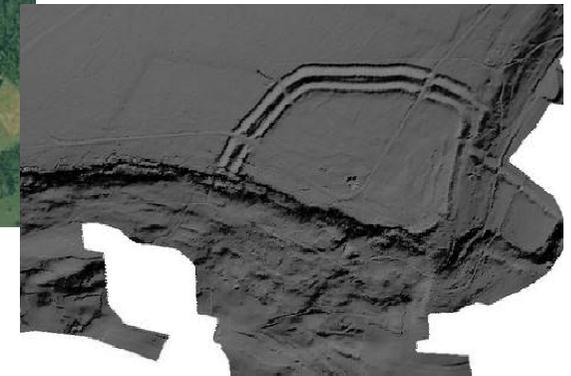
- SIG

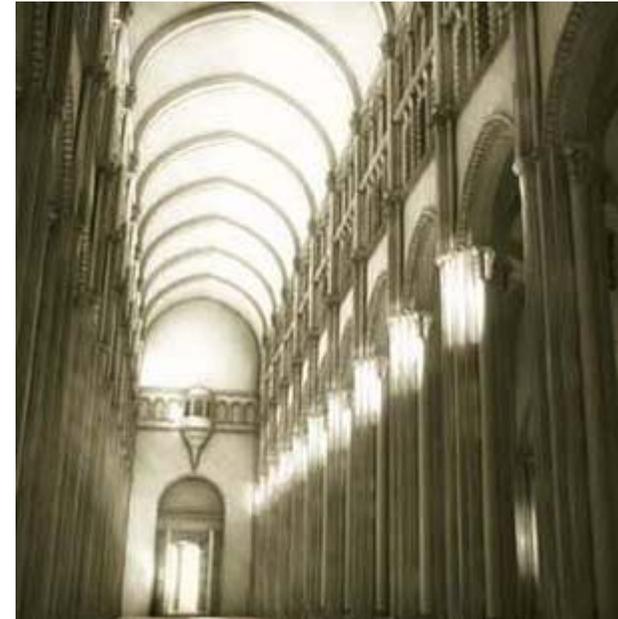


© Forte : mosaic.infobyte.it



© Georges-Leroy 2009:





Donc, selon l'objet de l'acquisition :

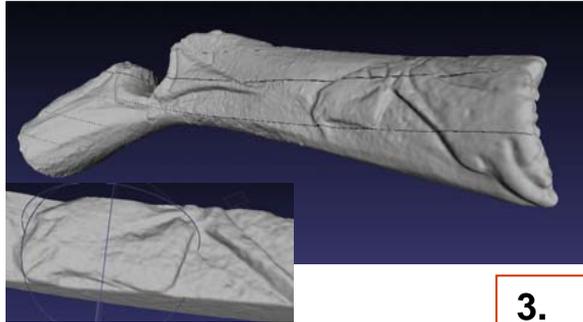
Numérisation :

- Quelle **taille/volume** d'objet ?
- Quelle précision de **détail** ?
- Quelle précision de **texture** ?
- Quelle portabilité/encombrement du **matériel** ?
- Quel **prix** ?
- Quelle **vitesse** ?
- Automatique / manuel ?



Différents **procédés de numérisation**





3. Acquisition des données : numérisation & modélisation

1. Représentation surfacique
2. Représentation volumique

Représentation 3D des objets virtuels

Surfacique :

- maillage à base de sommets formant des triangles
- + couleur (texture)
- nuage de points (non structuré)
- primitives géométriques et/ou surfaces

continues (paramétrique, CAO)

Volumique :

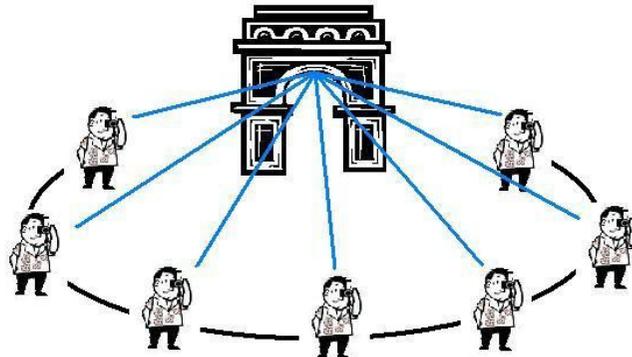
- tétraèdres (simulation physique)
- image 3D (empilement d'images 2D, imagerie médicale)
- volumique \Leftrightarrow surfacique





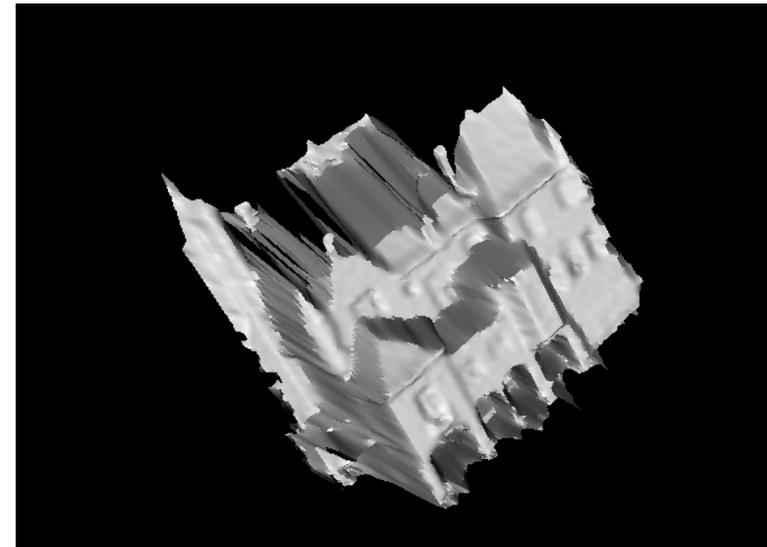
3. Acquisition des données : numérisation 3D

1. Surfacique
2. Volumique



Par appareil photo/caméra :

- acquisition de **plusieurs vues**
- **correspondance** des points de vue
- utilisation éventuelle d'un motif projeté
- **calibration** des caméra (focale)
- stéréovision → carte des **profondeurs**
- pas toujours d'échelle absolue
- principe de la **photogrammétrie**
- texture à haute définition par projection des photos
- résolution et précision dépendantes de la calibration, des défauts d'acquisition (optique)



<http://www.arc3d.be/>

Logiciels :

- PhotoModeler (payant)
- Arc3D (gratuit en ligne)



La réalité virtuelle en Archéologie

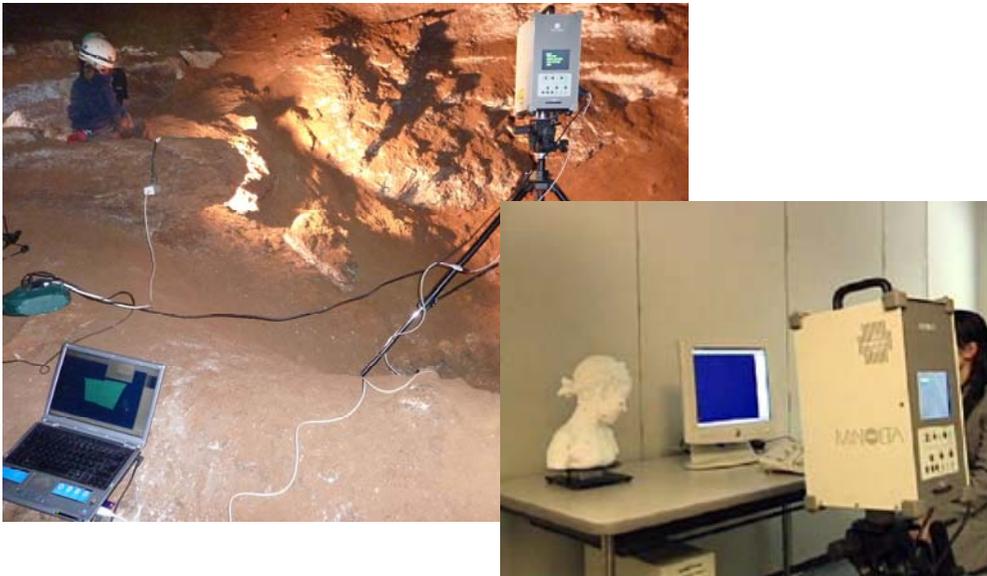
3. Acquisition des données : numérisation 3D

1. Surfactive
2. Volumique

Par scanner laser :

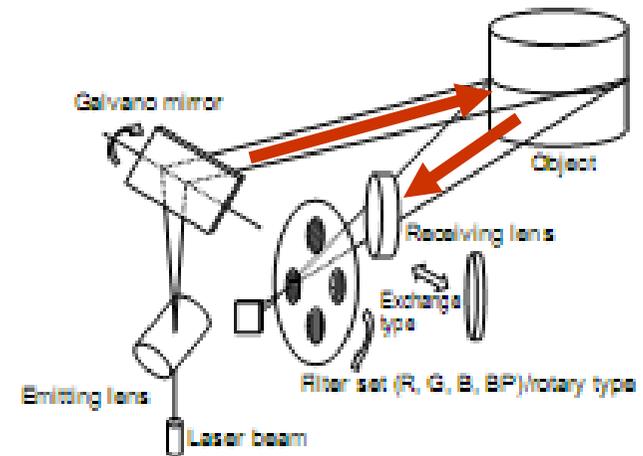
- Laser 3D : **triangulation**
- Laser 3D : « **temps de vol** »
- possibilité de texture par projection d'images

Taille intermédiaire (cm – m)



Exemple : vase

Démo : Minolta Vivid 910 (17h00 dans la hall)



Grands volumes (m – km)



Exemple : grotte de Tautavel

Démo : FARO (17h00 dans la hall)





3. Acquisition des données : numérisation 3D

1. Surfacique
2. Volumique

• <http://www.david-laserscanner.com/>



- A camera (e.g. web cam)
- A hand-held line laser (starting at €19.90)
- Two plain boards in the background
- A Windows PC
- Our free software DAVID-laserscanner



Kit : 399,00 €



www.nextengine.com
2,995 \$ ~ 2 000 €

- "Soda can" and "shoebox" sizes, respectively
- Accuracy: ~0.1 mm
- 50,000 processed points/sec throughput. Typically 2 minutes per scan of each facet.

Petits volumes : cm - dm

Exemple : bâton percé



347,277 vertices / 329,210 faces
+ texture!





3. Acquisition des données : numérisation 3D

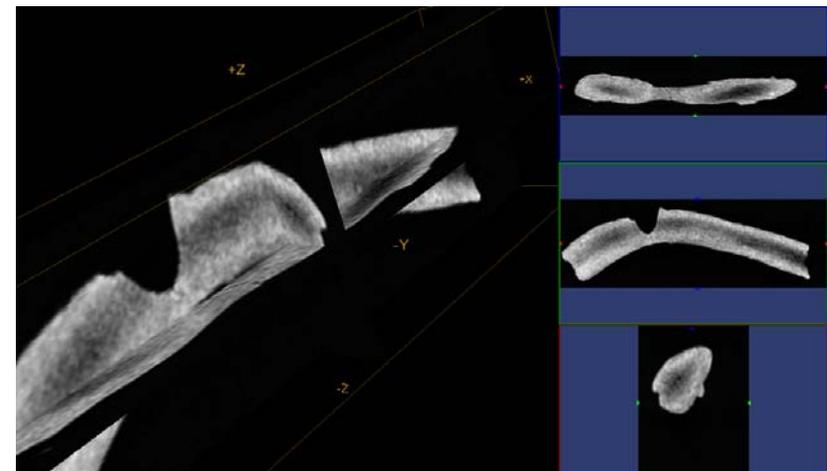
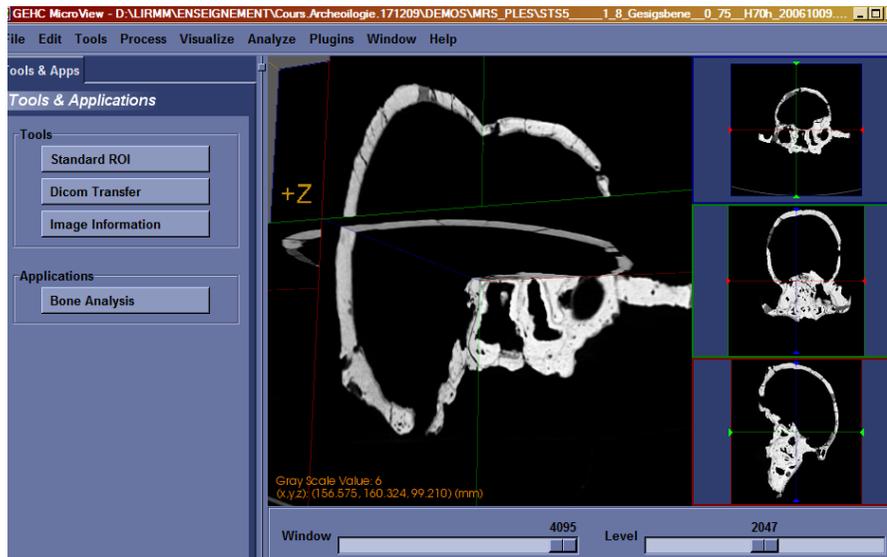
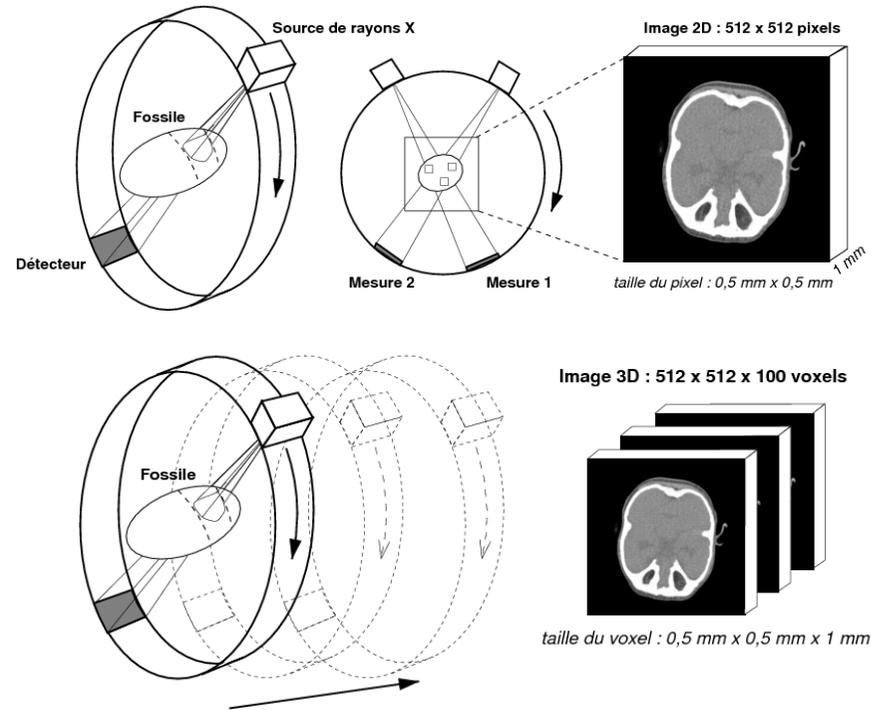
1. Surfacique
2. Volumique

Tomodensitométrie X (centres hospitaliers/cliniques) :

- 1 acquisition CT : 150 €
- 1 acquisition μ CT 1000 coupes : 200 €

[-http://www.gehealthcare.com/user/fun_img/pcimaging/products/microview.html](http://www.gehealthcare.com/user/fun_img/pcimaging/products/microview.html) (gratuit)

Petits volumes : μm - m



Exemples :

- Mrs Ples STS5 (Australopithecus africanus : 2,5 Ma)
- bâton percé



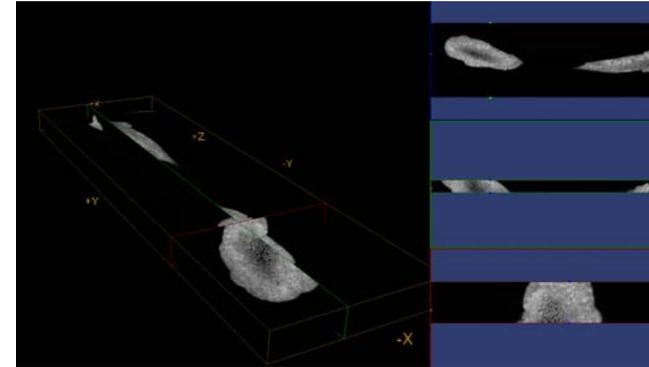
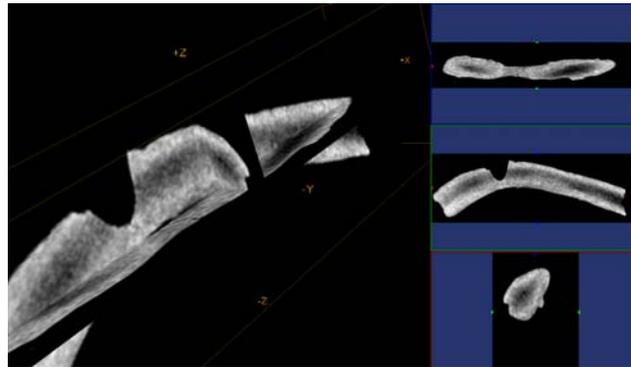


3. Acquisition des données : numérisation 3D

1. Surfacique
2. Volumique

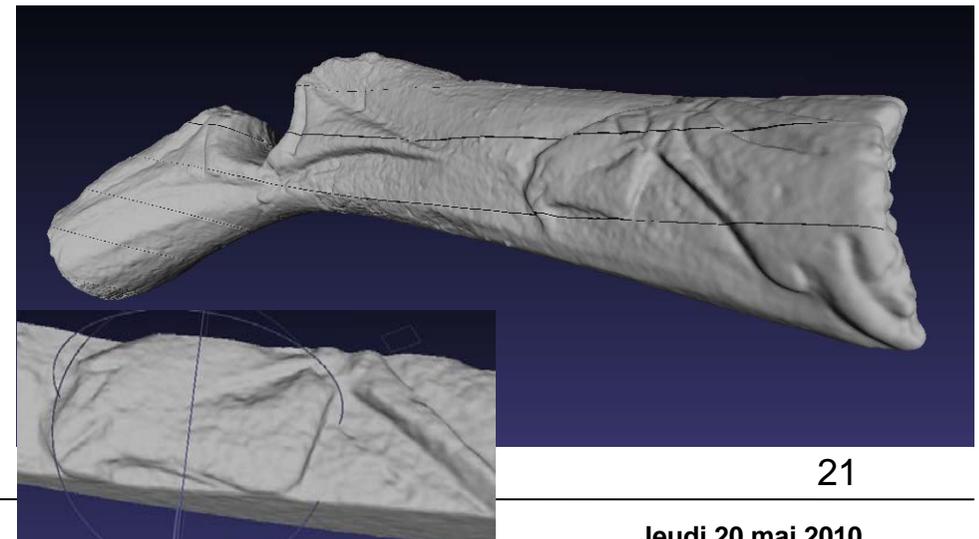
CT scan

μ CT scan



Isosurface computation + surface smoothing
102,173 vertices / 197,214 faces

Image resampling (0.5)
smoothing + isosurface computation + fusion of blocks
1,503,555 vertices / 2,614,750 faces

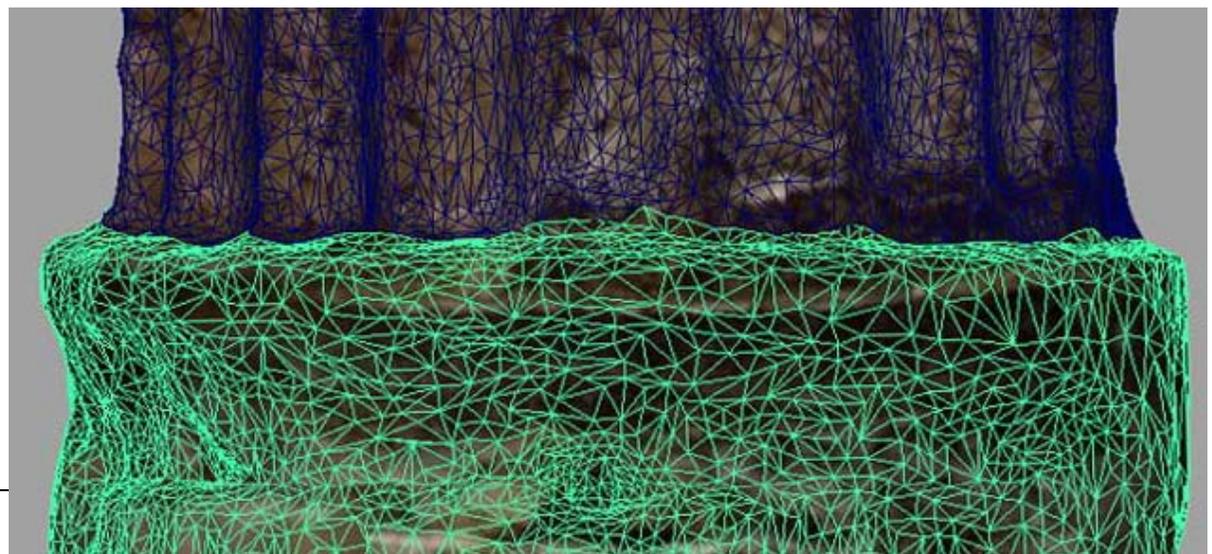




3. Acquisition des données : modélisation

1. Conversion et utilisation des données brutes
2. Méthodes de modélisation
3. Texturing, rendu et animation

- ➔ Acquisition par différents systèmes (tachéomètre, scanner, photo) nécessite :
- **normalisation** des données
 - **recalage** des données
 - **combinaison** (textures – maillages...) ;





3. Acquisition des données : modélisation
 1. Traitement des données brutes d'acquisition
 2. Méthodes de modélisation
 3. Texturing, rendu et animation

Source :

- En général, un (ou plusieurs) maillage 3D de l'objet

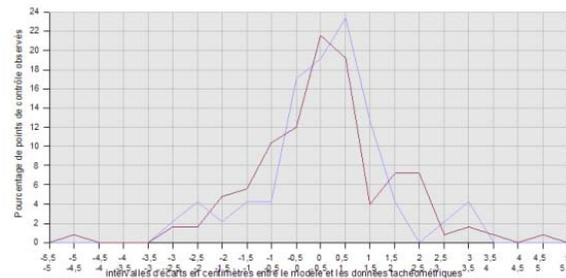
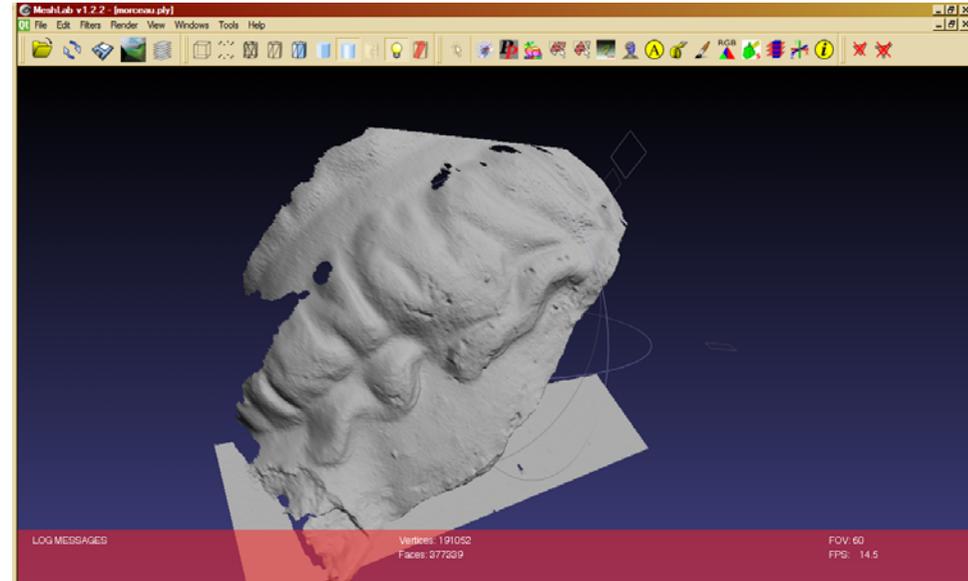


Opérations :

- **Correction** de défauts :
 - découpage
 - bouchage
 - lissage

- **Gestion** de la taille des données :
 - Décimation
 - Subdivision

- "**Placage**" de la texture





3. Acquisition des données : modélisation
 1. Traitement des données brutes d'acquisition
 2. Méthodes de modélisation
 3. Texturing, rendu et animation

Source :

- En général, un (ou plusieurs) maillage 3D de l'objet



Opérations :

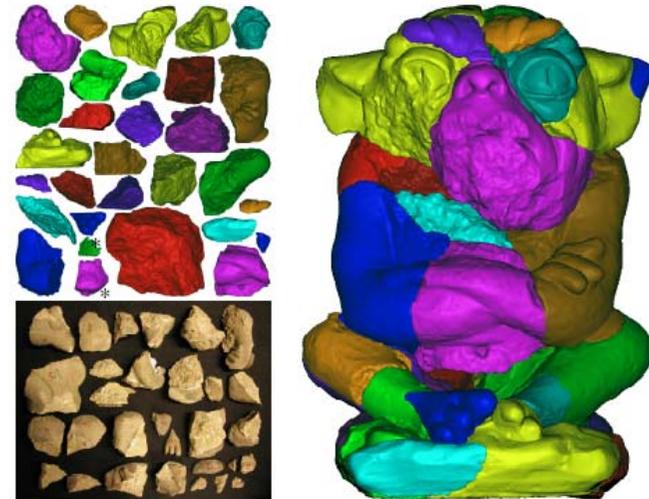
- **Recalage** de maillages :

Le recalage consiste à aligner "au mieux" plusieurs parties ou morceaux d'un objet virtuel :

- raboutage de différentes acquisitions d'un même objet
Exemple : buste <http://graphics.stanford.edu/software/scanalyze/> (gratuit)
- "puzzle 3D"

Principe on minimise la distance entre les différents morceaux.

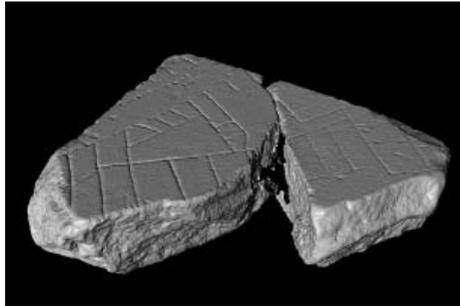
- ICP : Iterated Closest Point
- rigide / non-rigide
- Comparaison modèle après recalage / données réelles



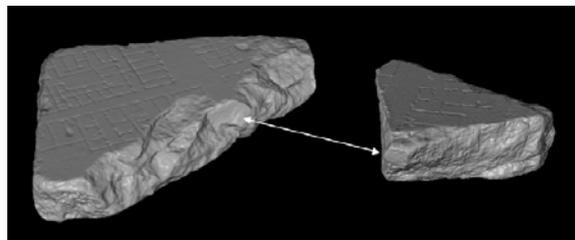


3. Acquisition des données : modélisation
 1. Traitement des données brutes d'acquisition
 2. Méthodes de modélisation
 3. Texturing, rendu et animation

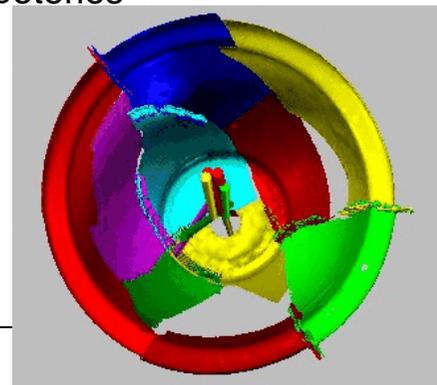
Un défi : 1 186 fragments ! Le projet '*Stanford Digital Forma Urbis Romae*'



<http://formaurbis.stanford.edu/>



Plusieurs applications pour la reconstruction de poteries





3. **Acquisition des données : modélisation**
 1. **Traitement des données brutes d'acquisition**
 2. Méthodes de modélisation
 3. Texturing, rendu et animation

Formats bruts d'acquisition :

.pts, .msh (Leica)
.cdm (Minolta)
.csv
.rmr
.poly
.pbi
...



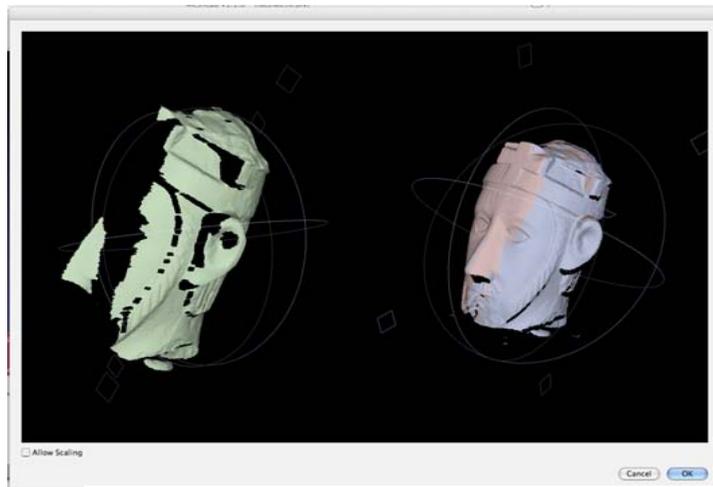
Formats de traitement/modeleurs :

.obj
.ply
.3ds
.dxf
.tri
.xyz
.pov
...



Formats d'affichage:

.vrml
.xml
.x3d
.kml
...



<http://meshlab.sourceforge.net/> (gratuit)

Logiciels de traitement :

- **Propriétaires** (vendu avec scanner)
 - RapidForm ;
 - 3D Reshaper ;
 - QT Sculptor

- **Libres** :
 - Scanalyze
 - MeshLab





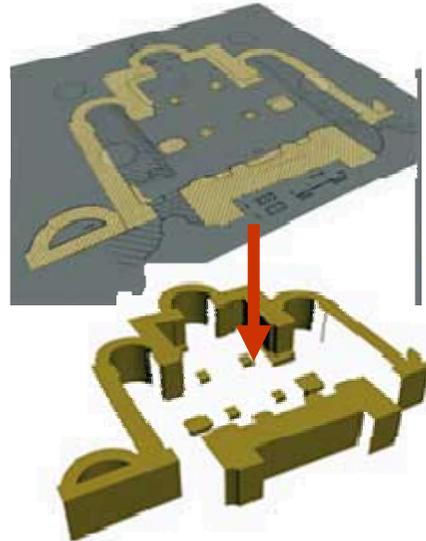
3. Acquisition des données : modélisation

1. Traitement des données brutes d'acquisition
2. **Méthodes de modélisation**
3. Texturing, rendu et animation

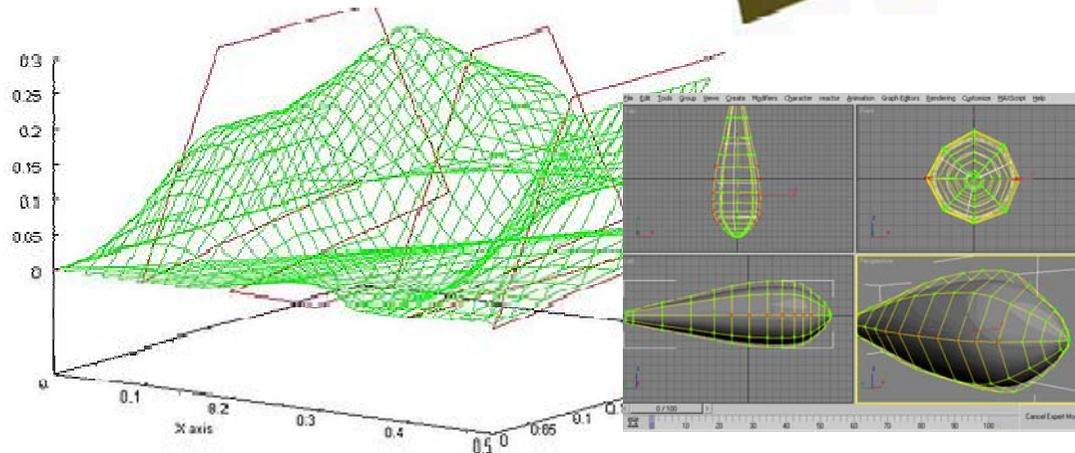
Modélisation filaire

Modélisation polygonale

- Extrusion
- Coupe
- Soudure
- Révolution
- ...



Modélisation par courbes



Logiciels modeleurs :

- AutoCAD
- 3ds Max
- Maya

Démo :

- SketchUp
- **Blender**

<http://sketchup.google.com/intl/fr/>

<http://www.blender.org>

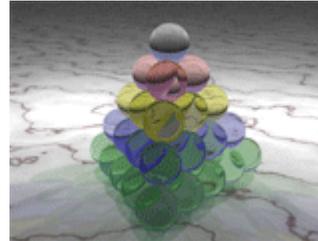




3. (suite) Acquisition des données : la modélisation

1. Conversion et utilisation des données brutes d'acquisition
2. Méthodes de modélisation

3. Texturing, rendu et animation



Texturing (texture mapping) :

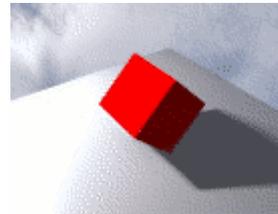
- caméra mapping

Rendu :

- **Lancer de rayon** : trajet inverse de la lumière
- **Shader** :

Animation :

- IPO curves
- armaturage
- linéaire / non-linéaire (actions)
- contraintes
- corps souples / rigides
- **collisions**
- fluides, particules



➔ Modélisation physique **grossière**

➔ Modélisation physique **fine**

Logiciel 3D :

Personnages (propriétaires) :

- Crazy Talk
- DAZ Studio
- MakeHuman (libre)
-

Animation :

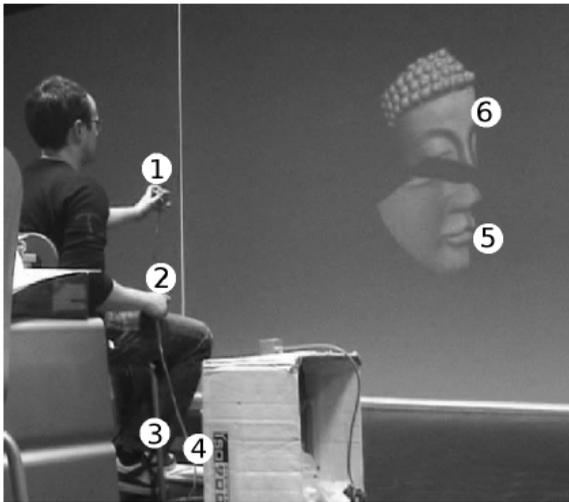
(propriétaires)

- 3ds max
- Maya
- XSI
- Houdini
- Massive (foules)
- Unity 3D
- Cinema 4D
- iclone 3D

(libres)

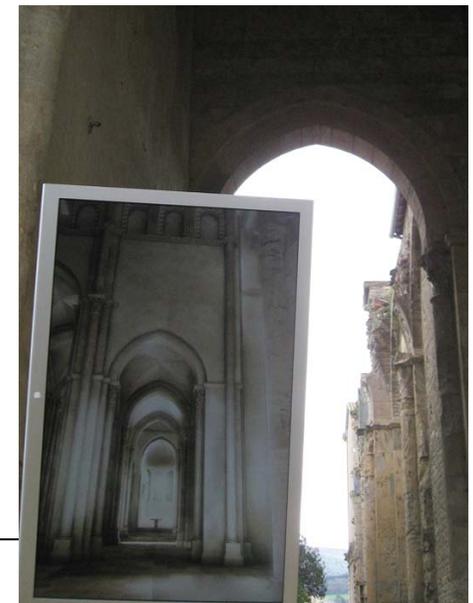
- Ogre3d
- delta3d
- Blender





4. Visualisation et interaction

1. Manipulation des données 3D
2. Images, documents de travail, animation web, films
3. Réalité augmentée, systèmes de visualisation





4. Visualisation et interaction

1. **Manipulation des données 3D**
2. Images, documents de travail, animation web, films
3. Réalité augmentée, systèmes de visualisation



Programme ArcheoTUI (Mellado *et al.* 2009)

- **Interfaces** pour manipuler les modèles

- Modèles **déformables** : interactions : **fouille virtuelle**

Démo ArcheoTUI



La réalité virtuelle en Archéologie

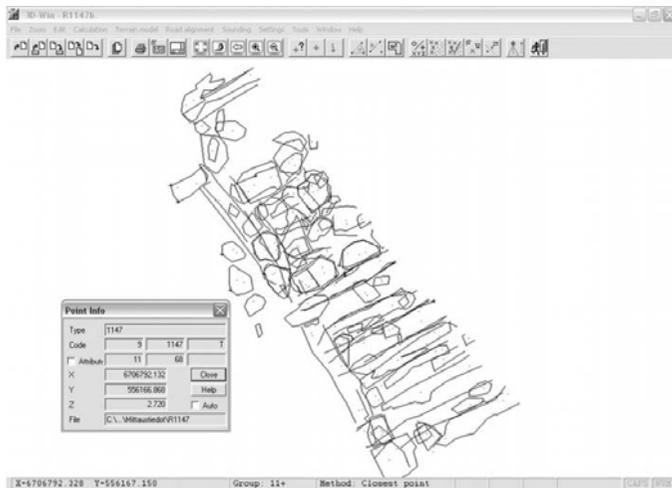
4. Visualisation et interaction

1. Manipulation des données 3D
2. **Images, documents de travail, animation web, films**
3. Réalité augmentée, systèmes de visualisation

Images :



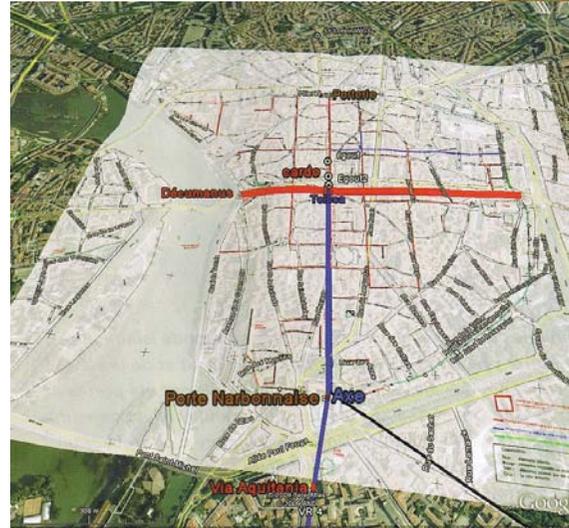
Documents de travail :
(gestion des données de fouilles – SGBD - SIG)



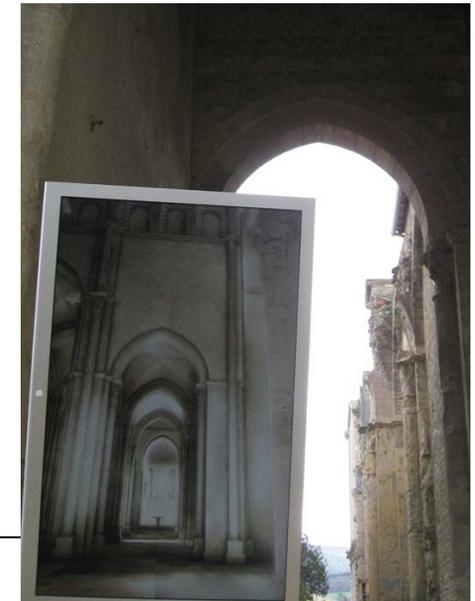
Animations web :

Démo Google Earth

.vrmf, .x3d, .xml...



Cluny



Films / bornes de musées :

Lehtonen *et al.* 2004





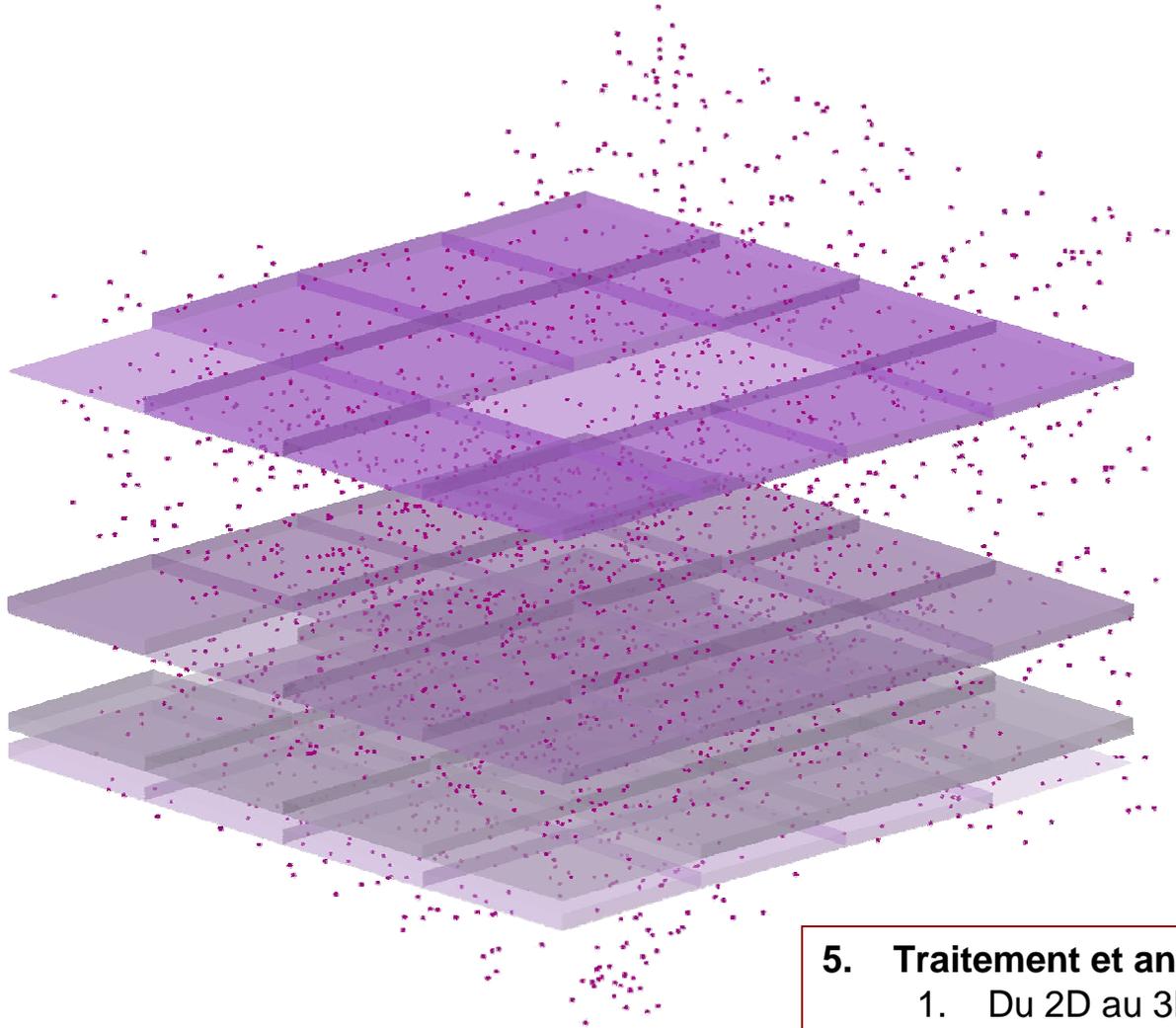
4. Visualisation et interaction

1. Manipulation des données 3D
2. Images, documents de travail, animation web, films
3. **Réalité augmentée, systèmes de visualisation**



Démos Raptor





5. Traitement et analyse des informations

1. Du 2D au 3D et vice-versa
2. Corrélations, reconstitutions, manipulations
3. Simulations mécaniques, environnementales, comportementales

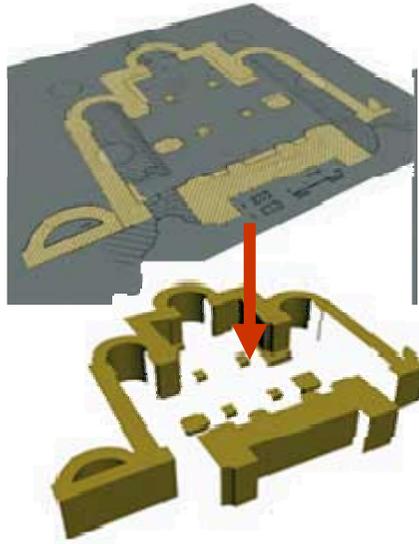




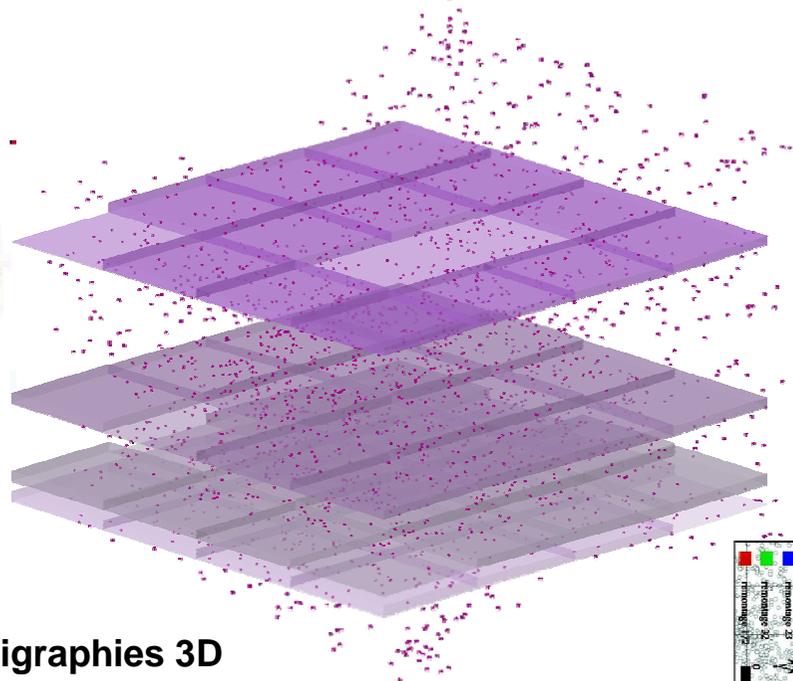
5. Traitement et analyse des informations

1. Du 2D au 3D et vice-versa
2. Corrélations, reconstitutions, manipulations
3. Simulations mécaniques, environnementales, comportementales

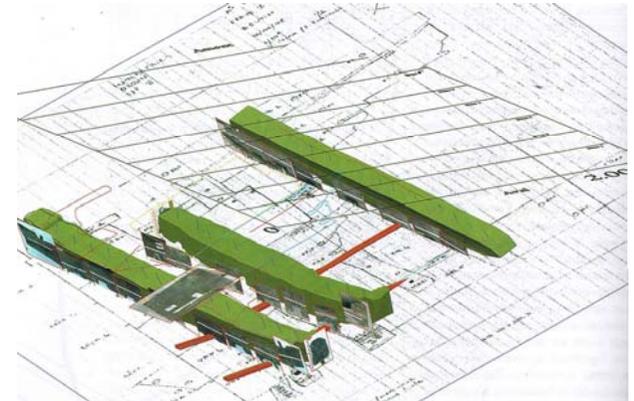
© Rieth 2009



: Formulations d'hypothèses d'élévations

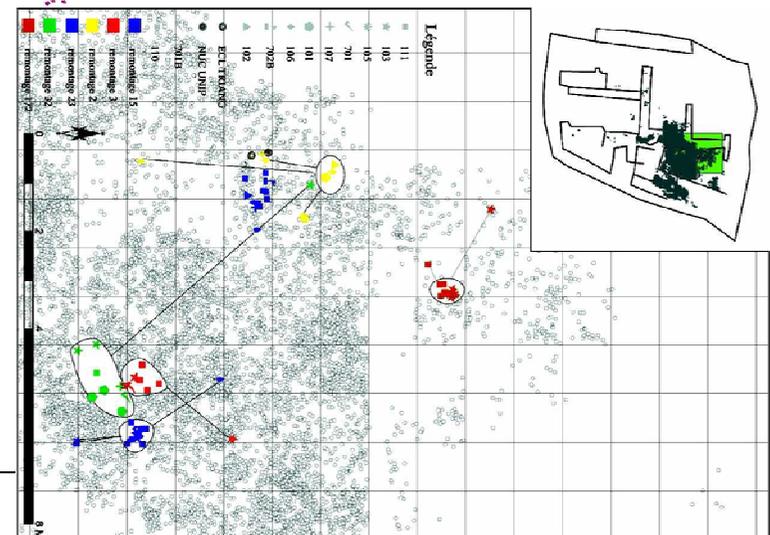


: Stratigraphies 3D



- Recalage de relevés

Jarry et al. 2007



Remontages 3D





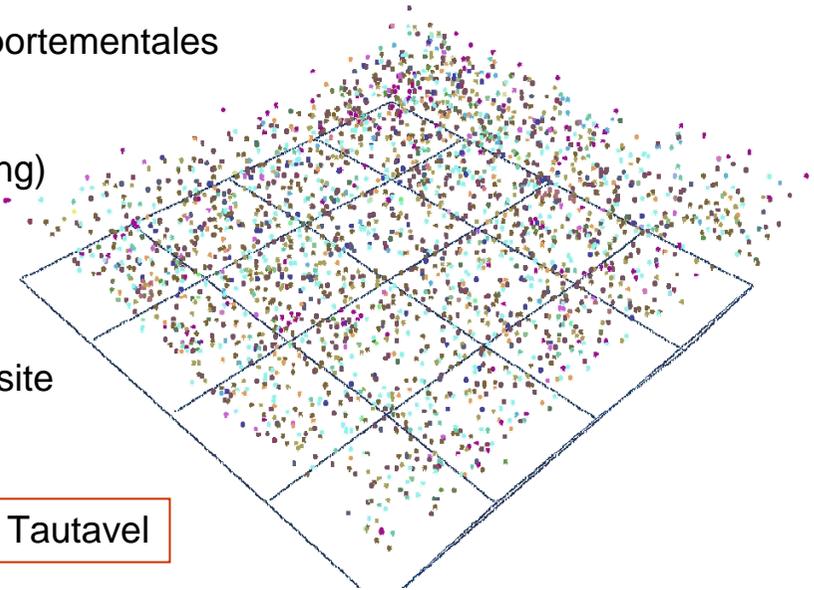
5. Traitement et analyse des informations

1. Du 2D au 3D et vice-versa
2. **Corrélations, reconstitutions, manipulations**
3. Simulations mécaniques, environnementales, comportementales

- Recherche de **groupements** / d'ensembles 3D (clustering)

- **Analyses spatiales 3D :**

- remontages *inter US*
- viewshed, expositions
- organisation *intra* site : ethnospatial, formation de site
- organisation des territoires

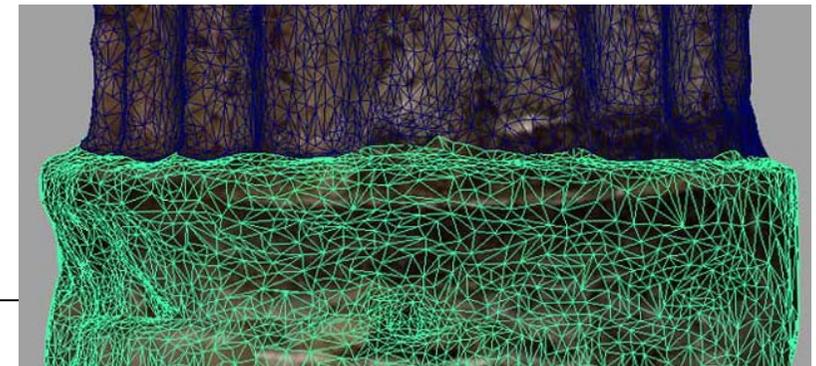
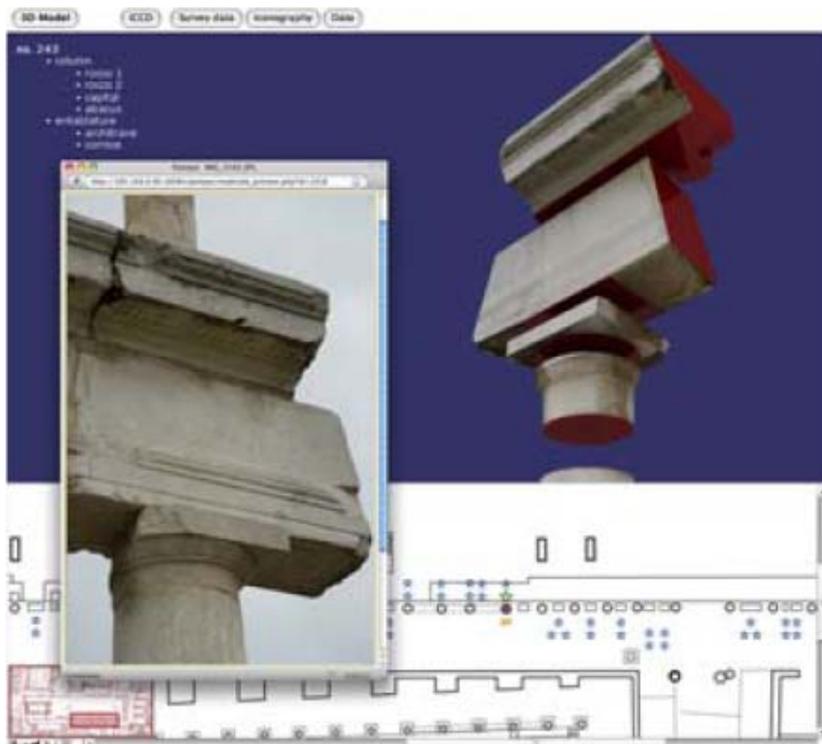


Démo Tautavel

Association **sémantique** aux points

: analyse de bâti : reconstructions virtuelles

Association **sémantique** aux maillages :





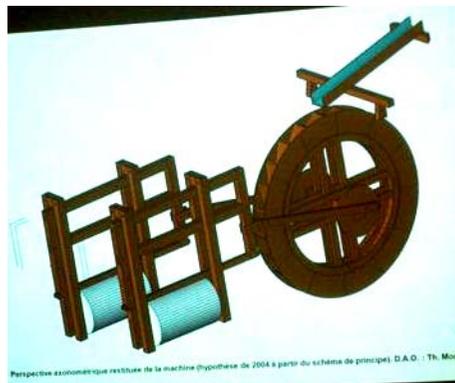
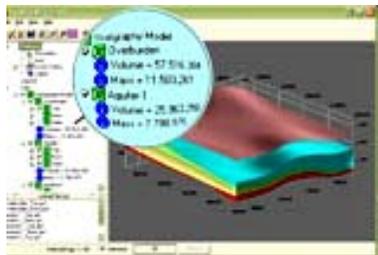
5. Traitement et analyse des informations

1. Du 2D au 3D et vice-versa
2. Corrélations, reconstitutions, manipulations
3. **Simulations mécaniques, environnementales, comportementales**

→ Restitution

→ **Analyse de comportement : validation d'hypothèses**

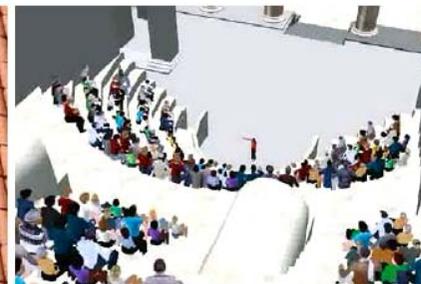
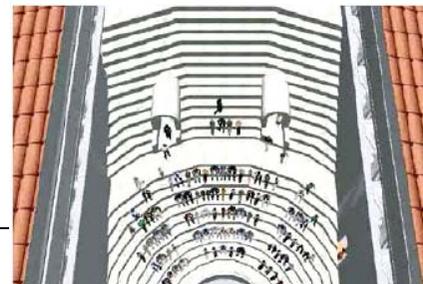
- Déformations **géologiques** : compressions, mouvements...
- Assemblages **mécaniques** : vitesses, engrenages...
- Comportement de foules



(a)



(b)



Logiciel 3D :

Mécanique :

- SolidWorks
- Solid Edge ST
- Pro/ENGINEER

...

Géologie :

- Surfer
- Rockworks

Humains :

- Massive

**Démos
Pompei**



Conclusions

Statut juridique des modèles 3D

Objet réel → Numérisation brute → Objet virtuel numérisé → **Objet virtuel modifié**

Pas des images : http://www.culture.gouv.fr/culture/mrt/numerisation/fr/f_05.htm

Œuvre multimédia ? (jeux video) : Commission sur les aspects juridique des œuvres multimédia

<http://www.cspla.culture.gouv.fr> Avis : 2005 - 1

Différentes législations selon les états

http://ec.europa.eu/information_society/activities/digital_libraries/doc/communications/next_steps_2009/fr.pdf

Questionnements : Ex. la paléo-anthropologie

"Virtual Anthropology (VA):

A Call for Glasnost in Paleoanthropology" THE ANATOMICAL RECORD (NEW ANAT.) 265:193–201, 2001

"Many methodologies have become established but, for various reasons, access to both the actual and the digitized fossils is still limited. It is time for more transparency, for a glasnost in paleoanthropology."

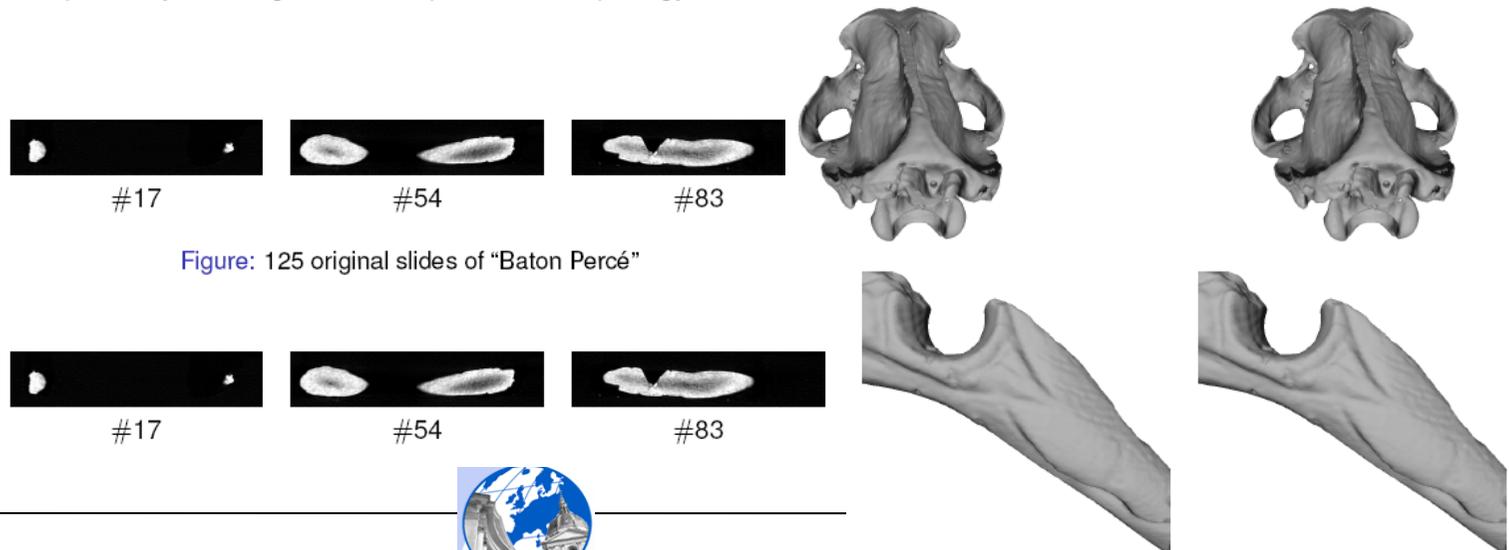


Figure: 125 original slides of "Baton Percé"



Conclusions



Évaluation des besoins/objectifs cruciale

Intégration aisée
dans un **protocole de fouille / post fouille / conservation**

Possibilité de mettre en œuvre à peu de frais et rapidement

Compagnies spécialis

- Arctron 3D
- Aristeas (Archeo 3D)



www.arctron.com
stantine project



© www.archeo3d.fr
Basilique de Saint-Denis

