



relevé et restitution lasergrammétriques appliqués au Patrimoine Culturel

Bertrand Chazaly
Ingénieur Géomètre Topographe

Janvier 2006



Numérisation 3D du théâtre antique d'Aix-en-provence au Riegl LMS Z 420i – ATM3D, octobre 2005

Sauf mention contraire, toutes les illustrations de ce document sont issues de travaux réalisés par ATM3D

A C Q U I S I T I O N T R A I T E M E N T M O D E L I S A T I O N 3 D
s.a.r.l au capital de 40 000 €

Savoie Technolac – Bât. Alouette II – B.P. 269 – 73 375 Le Bourget du Lac Cedex
Tél : 04 79 25 11 73 – Fax : 04 79 60 41 30 – Mèl : contact@atm3d.com

ATM3D Méditerranée : 1, place de la République – 30250 Sommières – Tél/Fax : 04.66.51.47.03

Site internet : <http://www.atm3d.com>

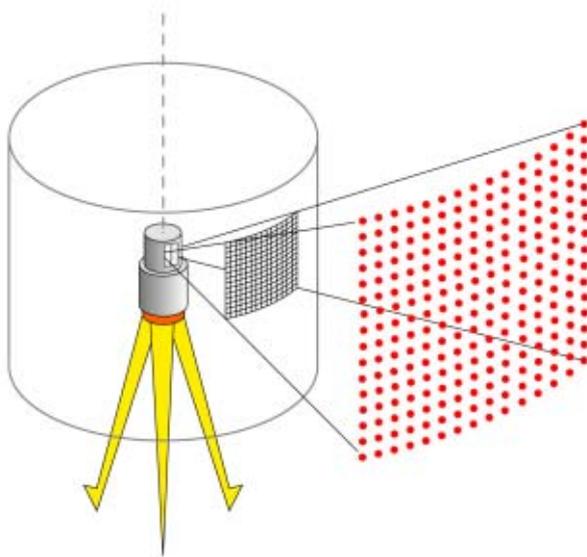
SIRET 424 870 145 000 36 APE 742 C

La technologie de mesure

La lasergrammétrie est une nouvelle technologie qui bouleverse les méthodes de relevé. Elle utilise une nouvelle génération d'instruments de mesure, les scanners 3D, capables d'enregistrer plusieurs millions de points en trois dimensions en quelques minutes, avec une précision de quelques millimètres et une portée dépassant pour certains plusieurs centaines de mètres. Le bond technologique réside dans la capacité de ce type d'appareil à collecter un très grand nombre d'informations très rapidement et à distance.

La technique de numérisation diffère selon les capteurs. On distingue deux grandes familles :

- la mesure par triangulation, qui projette des points ou des lignes laser visibles sur l'objet à numériser et enregistre sur un capteur CCD l'image de ces points ou de ces lignes. Un calcul mathématique transforme l'information en une série discrète de coordonnées 3D. Cette technique permet d'obtenir des mesures très précises, de l'ordre du dixième de millimètre. En revanche, la portée du capteur est limitée à quelques mètres et le mode opératoire demande une luminosité faible, obligeant souvent à intervenir de nuit.
- La mesure par temps de vol, qui envoie une impulsion laser et enregistre le temps mis par cette impulsion pour atteindre l'objet à numériser et revenir au capteur. Ce temps de vol est converti en distance puis associé à l'enregistrement de l'incidence du rayon pour être transformé en coordonnées. La précision est un peu plus faible, de 5 à 10mm, mais les portées peuvent dépasser 500m et la mesure peut être réalisée quelles que soient les conditions de luminosité.



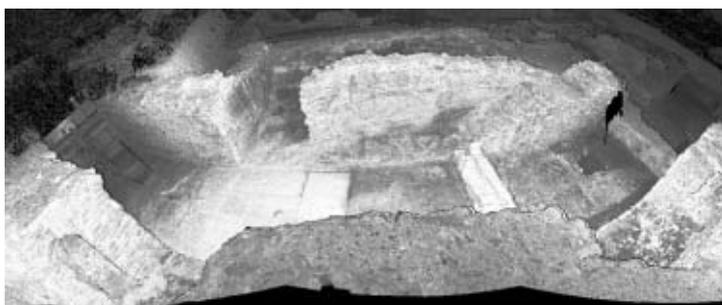
Comme un scanner à plat, un scanner 3D enregistre une série de mesures en lignes et en colonnes, une image. A chaque élément de l'image, chaque 'pixel', est associé l'information de la distance entre l'appareil et l'objet numérisé. La connaissance de la position et de l'orientation du scanner, qui s'obtient généralement par la numérisation préalable de repères connus en coordonnées, permet de convertir ces pixels en points 3D. L'information enregistrée par l'appareil est donc une image numérique. Le pas entre chaque ligne correspond à une résolution angulaire horizontale, entre chaque colonne à une résolution angulaire verticale. Ce pas est réglé par l'opérateur et fixe la densité des points 3D, en fonction de la distance scanner-objet.

Selon les appareils, le champ de numérisation peut être cylindrique (360° horizontal et limites verticales, 80° par exemple), sphérique (360° horizontal et 180° vertical) ou ne couvrir qu'une fenêtre fixe (capteur non rotatif).

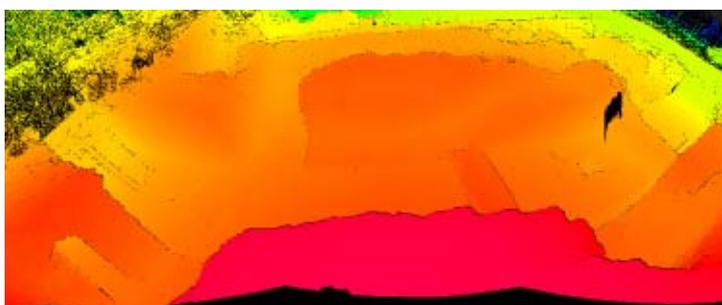
Le paramètre de base étant la résolution angulaire de l'appareil, la densité des points mesurés à la surface de l'objet à numériser varie beaucoup selon la distance et l'orientation de chaque élément de surface de l'objet. Si le scanner n'est pas face à l'objet et si la surface est irrégulière, la densité ne sera pas homogène et des masques vont apparaître. C'est systématiquement le cas. Pour compenser ce problème, il faut multiplier les positions de numérisation autour de l'objet, pour assurer la couverture la plus dense et la plus homogène possible.

Quel que soit le type de capteur utilisé, le résultat d'une opération de numérisation est avant tout un fichier numérique contenant une série de coordonnées géométriques (X, Y, Z), constituant ce qu'on appelle un « nuage de points » 3D. Les capteurs utilisant la mesure par temps de vol peuvent aussi enregistrer l'intensité de réflexion du signal, qui peut varier selon le type de matériau numérisé. Enfin, il est possible de coupler les capteurs laser à des appareils photo numériques calibrés. On peut alors attribuer l'information de la couleur à chaque point du nuage.

Le nuage de points 3D, l'intensité de réflexion et les prises de vues numériques calibrées et géoréférencées, issus d'une campagne de relevé, sont alors les informations de base, vierges de tout traitement, pouvant constituer une archive 3D brute du site ou du monument numérisé, aux critères de résolution (densité de points au mètre carré et résolution des prises de vues numériques) et d'accessibilité visuelle près.



Intensité de réflexion

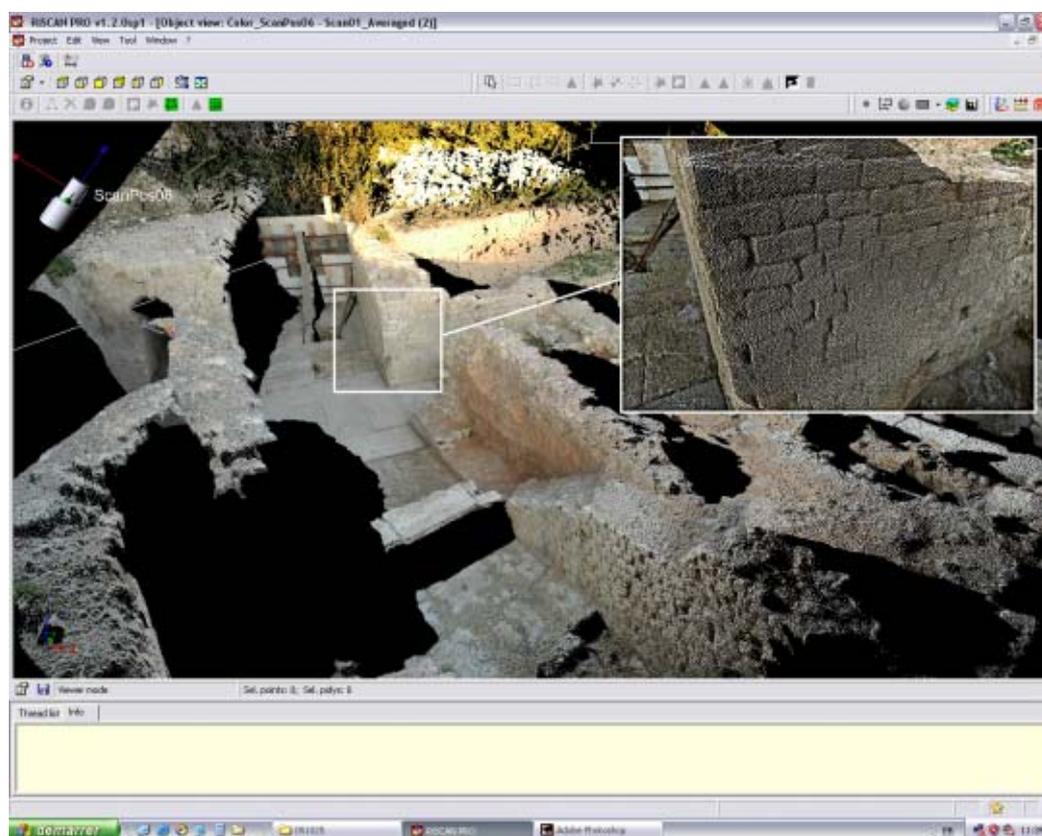


Distance



Couleur

Les informations enregistrées par le scanner 3D depuis une position d'acquisition, sur le site du théâtre antique d'Aix-en-Provence



Le nuage de points 3D colorés correspondant

Quelques exemples de capteurs

Capteur	Mensi S10 et S25 (ex Soisic)	Minolta Vi 9i	Leica cyrax HDS 3000	Riegl LMS Z 420i
Précision	0.2 mm	0.05 à 0.2 mm	5 mm	5 à 10 mm
Portée	10 à 25 m	2 m	50 à 80 m	500 à 800 m
Méthode de mesure	triangulation	triangulation	Temps de vol	Temps de vol
Vitesse d'acquisition	100 points / seconde	?	1 800 points / seconde	10 000 points / seconde
Champ h x v	46° x 320°	20° x 27°	360° x 135°	360° x 80°
Inclinaison de la tête	0 à 90°	0 à 90°	non	0 à 90°
Exemple d'utilisation	Grotte Cosquer Grotte de Lascau Barques gallo-romaines du Parc Saint-Georges à Lyon	Éléments du Colisée de Rome	Vestiges de Pompei Ramesseum à Louxor	Thermes de Cluny Colonnes de la Grande Salle Hypostyle à Karnak Théâtre antique d'Aix en Provence
Plus d'info	http://www.mensi.com	http://www.minolta3d.com	http://www.cyra.com	http://www.riegl.com

Le traitement des mesures

Selon les besoins exprimés, le traitement des nuages de points sera différent. Il nécessite toujours l'utilisation de logiciels spécifiques, développés exclusivement pour la gestion de données 3D denses.

Les besoins sont généralement de trois types :

- **Extraction d'informations cartographiques**

- **Cartographie filaire**

Le résultat peut paraître identique à celui d'un relevé photogrammétrique ou tachéométrique : restitution filaire, profils, coupes et courbes de niveaux. L'apport de la lasergrammétrie réside dans la rapidité d'acquisition et surtout dans la densité de l'information acquise. Le produit cartographique est extrait directement du nuage de points : les lignes cartographiées collent à la réalité au centimètre près. Les coupes extraites peuvent être nombreuses et générées de manière quasi-automatique à partir de tranches isolées du nuage.

- **Orthophotographie**

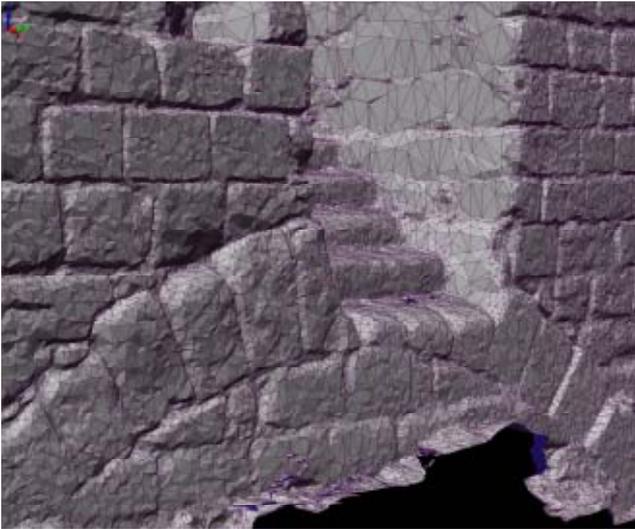
Une orthophotographie est une représentation photographique d'un objet tridimensionnel, corrigée de toutes déformations géométriques dues aux conditions de prises de vues et au relief de l'objet, et projetée dans un plan de référence perpendiculairement à ce plan. La richesse d'une orthophotographie est indéniable puisqu'elle restitue tous les éléments visibles sur le terrain. La production de document orthophotographique était cependant limitée par la connaissance généralement peu précise du relief de l'objet à représenter. Le traitement de mesures lasergrammétriques permet de produire un fichier 'ZOP' (Z orthophoto product), équivalent d'un modèle numérique spécialement généré pour corriger les photographies et replacer chacun de leurs pixels à leurs positions exactes dans l'orthophotographie. L'orthorectification est alors d'une extrême précision et peut gérer les prises de vues d'objets dont l'image est très déformée par le relief.

- **Génération de modèles surfaciques 3D**

- **Archives 3D surfaciques**

Certains logiciels de traitement permettent de relier les points d'un nuage acquis au scanner par des triangles. Le résultat est un modèle maillé tridimensionnel, une véritable peau numérique qui permet de reconstituer la géométrie de la surface numérisée. La densité des triangles est équivalente à celle des points acquis et le modèle généré représente une information numérique très volumineuse et lourde à gérer. Des outils permettent d'alléger la taille du modèle, en fusionnant par exemple les triangles tout en respectant certains critères fixés par l'opérateur, comme la tolérance de simplification (par exemple,

le modèle généré sur le site du théâtre antique d'Aix-en-Provence, précis à 3mm, couvre 1500 m² et pèse 410 Mo. Ramené à une précision de 1cm, il ne pèse plus que 50 Mo).

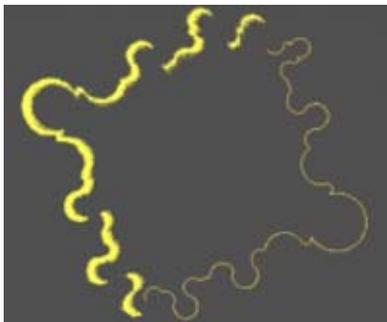


Extrait du modèle 3D généré à partir de la numérisation des salles basses du Fort Saint-Georges, à Chinon (Indre-et-Loire)

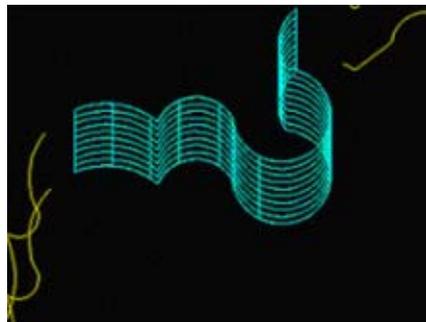
Dans la mesure où la densité du nuage de points est suffisamment importante et homogène, le modèle maillé peut couvrir l'objet numériser dans sa totalité. On dispose alors d'une archive 3D de l'objet, que certains qualifient même de clône numérique ou de modèle TQC ('tel-que-construit'). De cette archive peut ensuite être extraire n'importe quelle information géométrique : coordonnées de points particuliers, distance, pente, rayon de courbure, brisure d'axe, coupe. L'archive peut aussi être texturée afin d'ajouter l'information de la couleur. Elle peut être exportée dans un format numérique pris en charge dans des machines à commandes numériques, pour la réalisation de maquettes en plâtre ou en résine.

○ Modèles infographiques

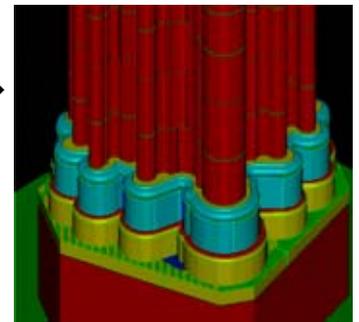
Ce sont des modèles 3D beaucoup plus légers que les maillages 3D denses. L'objet modélisé est décomposé en primitives géométriques (plans, parallélépipèdes, portions de cylindre ou de sphère, cônes, surfaces splines, etc.). Ces primitives sont digitalisées dans le nuage de points 3D à l'aide d'outils spécifiques. Les images texturant chaque primitive sont extraites des prises de vues calibrées. Le modèle résultant ressemble donc à l'objet qu'il représente, de manière parfois très réaliste. Il n'est pas forcément précis, mais il offre une restitution facile à gérer en infographie 3D (imagerie de synthèse, visites virtuelles).



Extraction de profils dans le nuage de points



Extrusion de surfaces génératrices



Assemblage des primitives

Modélisation infographique de la Cathédrale St. Stephans, Autriche – Riegl, 2005

● Auscultation 3D

Le traitement consiste à comparer deux séries de mesures, pour détecter et comparer les mouvements d'un monument. Les résultats d'une auscultation s'appuyaient jusqu'à présent sur la mesure régulière de quelques cibles repères. Entre ces cibles, l'information était extrapolée. La lasergrammétrie apporte une information dense, pour ne pas dire continue, sur la manière dont une surface bouge, gonfle, s'affaisse. Elle permet aussi de comparer des mesures à un modèle théorique, ou de dresser des bilans volumétriques précis.

Les apports de cette nouvelle technologie

- un volume d'information en 3D d'une extrême densité
- une grande rapidité d'acquisition : plusieurs millions de points peuvent être numérisés en quelques heures.
- la visualisation en 3D in situ des données acquises.
- échelle d'acquisition 1/1 : les distances peuvent être mesurées directement en 3D dans le nuage de points.
- l'assurance de ne commettre aucun dommage sur l'objet pendant le relevé : les mesures se font sans contact physique, à l'aide d'un laser de classe I (eye safety) ou II.
- la possibilité d'accéder virtuellement à des parties inaccessibles physiquement : les mesures au laser sans réflecteur peuvent être réalisées à plusieurs centaines de mètres du monument.
- une plus grande liberté d'exploitation des mesures. Le relevé devient plus objectif et se rapproche du document photographique : l'analyse, l'observation minutieuse et l'extraction de l'information se faisant désormais en aval, une fois le relevé réalisé.
- une documentation révolutionnaire, un archivage 3D des monuments et sites scannés : les données acquises pourront être exploitées avec précision même si l'objet scanné venait à être endommagé ou détruit.
- La possibilité de piloter le capteur à distance : via un câble réseau ou une connexion sans fil, le scanner est piloté depuis un ordinateur portable.

Les contraintes liées à cette méthode d'acquisition

- Les scanners 3D enregistrent tout ce qu'ils voient, y compris les objets parasites : la végétation, les passants, les câbles électriques, la pluie, la poussière. Pour obtenir un modèle propre, il faut presque systématiquement démarrer le traitement par une phase de nettoyage. Des procédés de filtrage semi-automatiques peuvent être utilisés, mais il faut souvent l'intervention d'un opérateur pour éliminer tous les points faux. Les masques qu'ils génèrent parfois engendrent des trous dans les modèles, qu'ils est parfois possible de combler en prolongeant les surfaces voisines.
- Les mesures sont réalisées de manière automatisée. L'opérateur fixe la résolution du capteur mais ne peut pas diriger la mesure sur des éléments particuliers comme les arêtes d'un mur. La densité de points est généralement élevée, mais au droit d'une arête, les points sont mesurés quelques millimètres avant ou quelques millimètres après, rarement dessus. Les modèles 3D interpolés à partir des mesures ont donc tendance à effriter artificiellement les arêtes vives. Il faut l'intervention d'un opérateur lors de la modélisation pour corriger cet effet, ce qui alourdit parfois considérablement cette phase de traitement.
- La technologie complète a un coût très élevé. Le montant de l'investissement est encore de l'ordre de 120.000 à 150.000 euros HT pour un capteur et un logiciel de traitement.
- Il est nécessaire d'utiliser des solutions logicielles spécialement dédiées à cette technologie pour pouvoir exploiter pleinement le volume et le type de mesure qu'elle génère. Ces solutions sont encore aujourd'hui très onéreuses (de 10.000 à 25.000 euros HT la licence) et ne permettent pas une démocratisation de l'activité. Elles doivent être installées sur des ordinateurs puissants (stations graphiques), dont le coût est aussi à prendre en compte. Ce problème provoque un problème de diffusion des données 3D. Le prestataire reste souvent le seul à pouvoir gérer l'information acquise. Pour palier ce problème, les éditeurs de ce type de logiciel livrent gratuitement des visionneuses (viewer), petits logiciels permettant la visualisation des nuages de points et des modèles maillées, et l'extraction d'informations simples (coordonnées de points, distances, coupes).

Les points à préciser en préalable à une opération de numérisation

- Le produit attendu : une restitution d'élévation, un plan microtopographique, des coupes sériées, un modèle 3D infographique, une véritable archive 3D ? En désignant au préalable le produit attendu, on permet à l'opérateur de définir une stratégie d'acquisition et de traitement, et d'adapter ainsi au mieux le coût de l'intervention.
- La résolution de l'archive et/ou du modèle 3D à générer. C'est un point très important, qui explique que certaines opérations de numérisation n'ait pas répondu aux attentes de leur prescripteur. Pour conserver la qualité d'un signal, la fréquence d'échantillonnage du signal (sa forme numérique) doit être égale ou supérieure au double de sa fréquence analogique (sa forme physique). C'est une loi tirée des sciences du traitement du signal, que très peu de prestataires en France connaissent et appliquent. Cette loi mathématique oblige pourtant à appliquer une densité de points à mesurer à la surface d'un objet qui soit en principe le double de la précision attendue (pour modéliser un objet à une précision de 10mm, il faut numériser à une résolution de 5mm). Ce principe doit être appliqué surtout si la surface de l'objet à numériser est très irrégulière.
- La précision des informations à extraire : elle fixe le choix du type de capteur à mettre en œuvre, inframillimétrique, millimétrique, centimétrique.

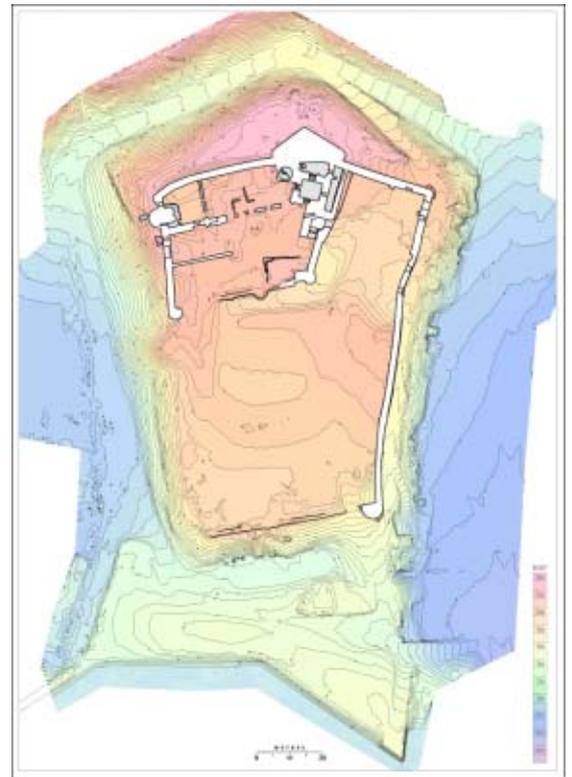
Quelques cas d'études dans le domaine du Patrimoine Culturel

Relevé microtopographique : l'éperon du Château de Talmont-Saint-Hilaire (Vendée)

Problématique : compléter le plan du château par une cartographie fine du sol pour restituer les caractéristiques particulières de son environnement topographique.



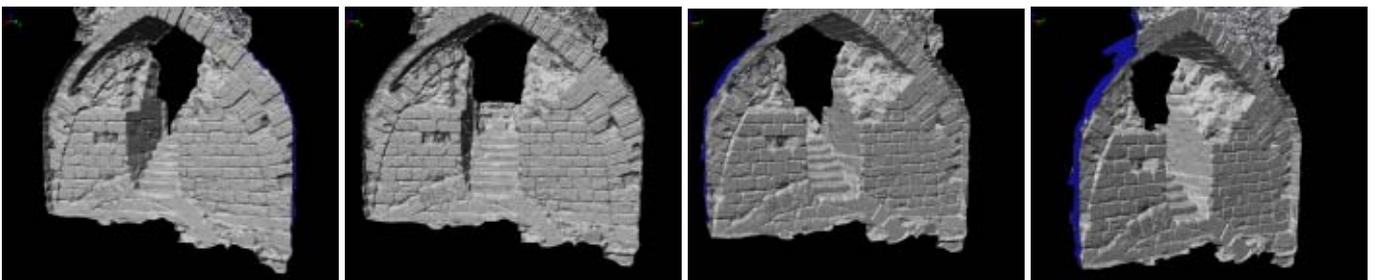
aperçu du nuage de points 3D acquis à l'extérieur du site



Levé dense de l'éperon et du sol des terrains environnant le château. Filtrage de la végétation. Interpolation d'un modèle 3D du sol nu. Extraction de courbes de niveau tous les 50cm. Extraction d'un plan masse du château. Calage du plan du château sur les courbes. Fourniture de la cartographie résultante (précision : 1cm).

Archéologie du Bâti : Les salles basses du Fort Saint-Georges à Chinon (Indre-et-Loire)

Problématique : restituer rapidement les élévations de deux salles avant la mise en place d'échafaudages



Numérisation 3D et couverture photographique des élévations du site en 48h. Restitution du pierre à pierre des élévations sous forme de modèles maillés 3D, de courbes de niveaux et d'orthophotographies couleur au 1/20.

Archéologie du Bâti : L'Abbaye d'Arles-sur-Tech (Pyrénées-Orientales)

Problématique : acquérir le plus d'information possible sur la géométrie de l'Abbaye pour en extraire des éléments caractéristiques des grandes étapes de sa construction.

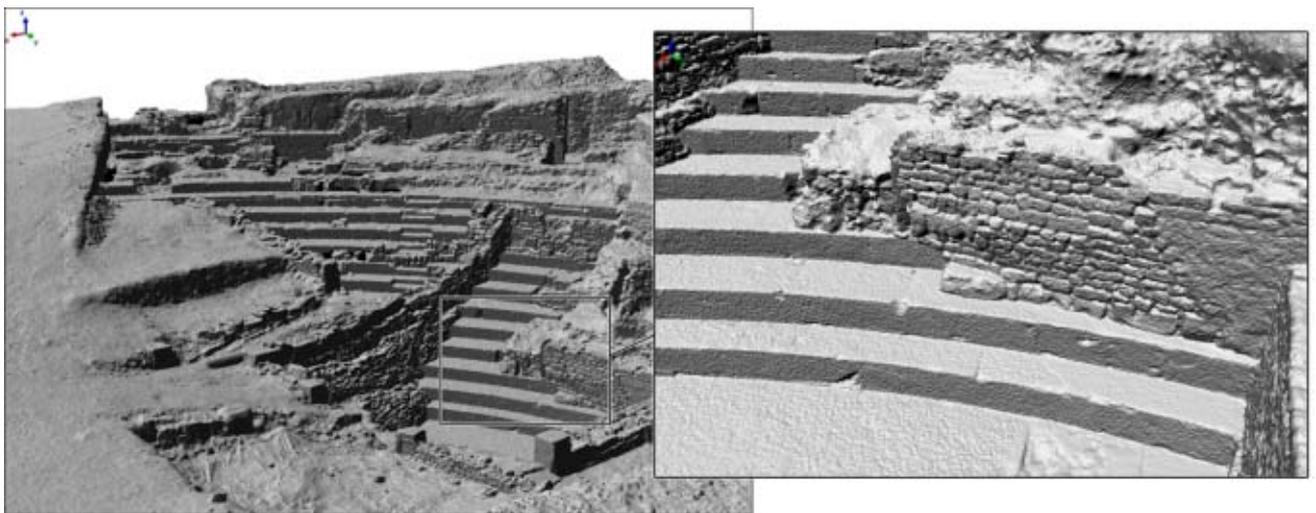


Le modèle 3D de l'Abbaye d'Arles-sur-Tech

Numérisation 3D des élévations extérieures et des volumes intérieurs de l'Abbaye et du Cloître. Restitution d'un modèle maillé 3D centimétrique. Extraction de coupes horizontales et verticales tous les 20cm. Extraction de coupes particulières lors de réunions d'études avec les archéologues. Cartographie micro-topographique du sol du cloître pour caractériser un pendage.

Archivage 3D : Le théâtre antique d'Aix-en-Provence (Bouches-du-Rhône)

Problématique : Figer le plus finement possible la géométrie du site avant un éventuel remblaiement.



L'archive 3D du théâtre antique d'Aix-en-Provence

Numérisation 3D et couverture photographique du sol et des élévations d'un site. Restitution d'un modèle maillé 3D couvrant la zone de fouille à la précision de 4mm. Livraison de l'archive fondamentale (nuages de points 3D et prises de vues numériques). Livraison du modèle précis et de modèles allégés aux précisions de 1 puis 2cm. Livraison d'un logiciel permettant la visualisation des modèles et l'extraction de coupes. Livraison d'orthophotographies au 1 :20^{ème} couvrant le sol et les principales élévations.

Bilan architectural : les élévations des Thermes Antiques de Cluny (Paris)

Problématique : produire des orthophotographies fines permettant la restitution d'informations archéologiques et architecturales sur des élévations fortement ruinées, et anticiper une étude préalable à l'aménagement du site.

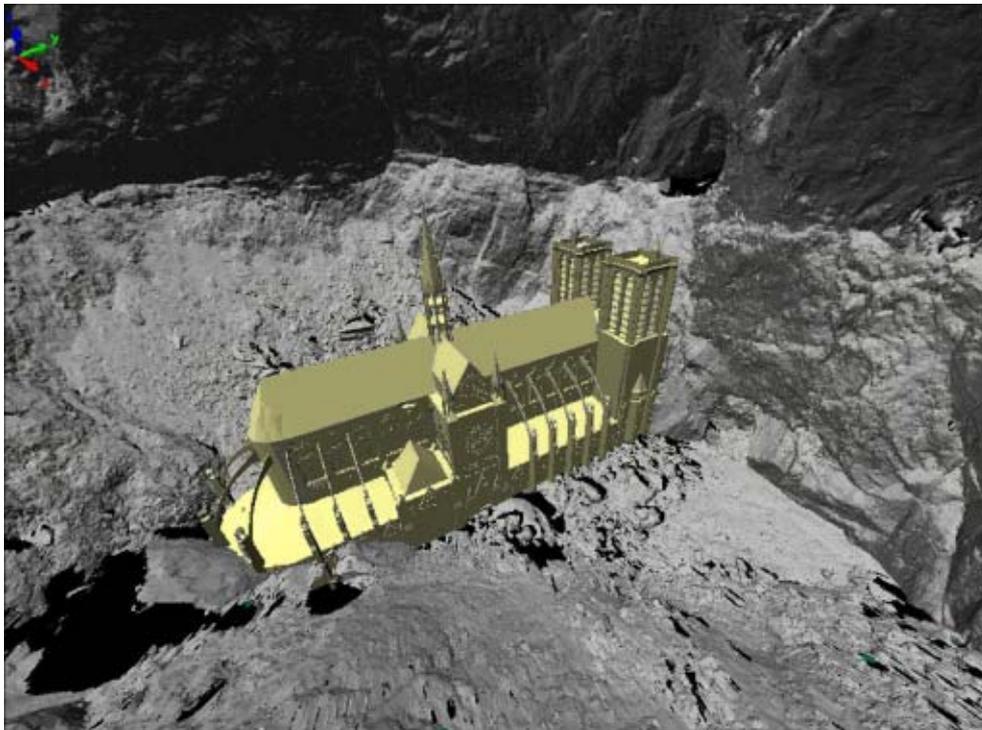


Thermes Antiques de Cluny (Paris) - Orthophotographie au 1/20^{ème}

Numérisation 3D et couverture photographique des élévations extérieures des thermes. Calcul des modèles numériques nécessaires à l'orthorectification des prises de vues photogrammétriques. Restitution des élévations sous la forme d'orthophotographies au 1 :20^{ème}.

Volumétrie : la salle monumentale de la grotte de la Verna

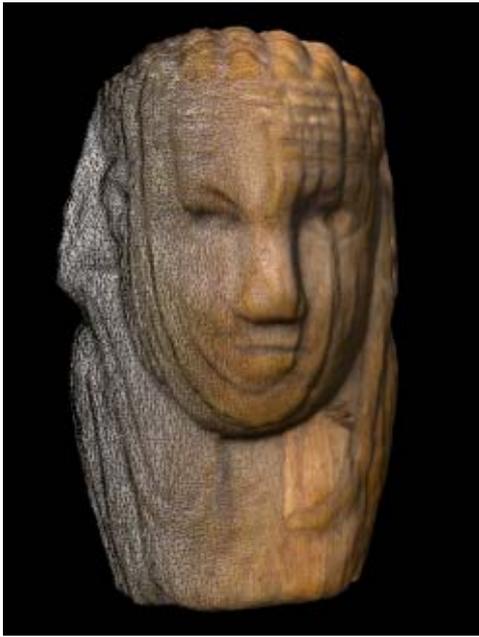
Problématique : Mesurer précisément et restituer en 3D le volume de l'une des plus grandes grottes d'Europe.



Acheminement du matériel dans la cavité souterraine. Numérisation 3D du site. Restitution d'un modèle maillé 3D. Calcul précis du volume. Insertion virtuelle d'un modèle de la cathédrale Notre-Dame de Paris à l'échelle et réalisation d'une animation vidéo.

Muséographie

Problématique : restituer et diffuser les images 3D d'objets archéologiques



*Tête canopée, numérisée et modélisée
par le laboratoire Ausonius.*

- Scannage inframillimétrique et modélisation 3D fine d'objets archéologiques (maquettes virtuelles).
- Numérisation et modélisation 3D de l'espace muséographique (visites virtuelles)
- Allègement des modèles 3D et diffusion sur bornes multimédia ou internet.

Quelques références ATM3D en matière de numérisation 3D

Patrimoine Culturel

- Temple d'Opet (Karnak, Egypte). Numérisation, modélisation 3D, cartographie, orthophotographies.
CNRS, Centre Franco-Egyptien d'Etude des Temples de Karnak
- Grande Salle Hypostyle (Karnak, Egypte). Numérisation d'une colonne, modélisation 3D, extraction de coupes, restitution de l'épigraphie sous la forme d'un déroulé orthophotographique au 1 :20^{ème}.
CNRS, Centre Franco-Egyptien d'Etude des Temples de Karnak
- Thermes Antiques de Cluny (Paris). Numérisation, modélisation numérique, orthophotographies au 1/20 des élévations extérieures.
Ministère de la Culture – Direction de l'Architecture et du Patrimoine – INRAP Centre Ile-de-France
- Mosquée Al Karaouyne (Médina de Fès, Maroc). Numérisation des coupes et des portes, modélisation, orthophotos.
Ministère marocain de la Culture
- Théâtre antique d'Aix-en-Provence. Numérisation, modélisation 3D, archivage 3D, coupes, orthophotographies
Ville d'Aix-en-Provence, Service municipal d'Archéologie
- Château de Chinon (Indre et Loire). Intervention en urgence, numérisation avant travaux, orthophotographies.
Conseil Général d'Indre et Loire, service archéologique départemental
- Château du Grand Pressigny (Indre et Loire). Numérisation des caves, orthophotographies, coupes.
Conseil Général d'Indre et Loire, service archéologique départemental
- Abbaye d'Arles-sur-Tech (Pyrénées-Orientales). Numérisation, cartographie, coupes.
Direction Régionale des Affaires Culturelles Languedoc-Roussillon
- Château de La Brigue (Alpes-Maritimes). Numérisation, cartographie et orthophotographies.
Conseil Général des Alpes-Maritimes, Direction des actions culturelles et des musées
- Monuments mégalithiques en Ardèche. Numérisation, archivage 3D, cartographie.
Direction Régionale des Affaires Culturelles Rhône-Alpes
- Grotte de la Verna (Réseau souterrain de la Pierre-Saint-Martin, Pyrénées-Atlantiques). Numérisation, modélisation 3D, insertion d'un modèle 3D de la cathédrale Notre-Dame de Paris à l'échelle dans la grotte.
Société de production « Les Films du Rêve » pour un documentaire diffusé sur France 5.

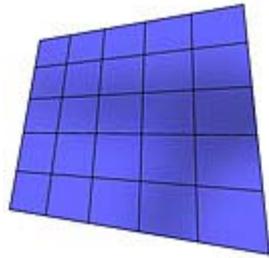
Autres domaines d'activité

- Dignes de Tarnos (embouchure du port de Bayonne). Numérisation, topographie, modélisation 3D et auscultation.
BE service maritime et fluvial, DDE de Bayonne (64)
- Barrage du Gouffre d'Enfer (Loire). Numérisation, topographie et cartographie 3D.
DDE de la Loire (42)
- Eperon rocheux du défilé d'entre-roches (Doubs). Numérisation, étude géotechnique et cubature.
CETE de Bron (69)
- Glissement de terrain de la Clapière (Alpes-Maritimes). Numérisation, auscultation.
CNRS / Université Claude Bernard – Lyon I (69)
- Aéroréfrigérant 4 de la centrale nucléaire du Cruas (Drome). Topographie, modélisation 3D et auscultation (Comparaison entre période chaude et période froide).
EDF
- Tunnel Maurice Lemaire (Alsace). Numérisation et modélisation 3D des 7 km de tunnel, test numérique du passage du Gabarit en 3D.
Groupement Bouygues - Eiffage
- Prototype du Catamaran Lagoon 500. Numérisation, modélisation et contrôle qualité du moule de la coque.
Groupe Bénéteau

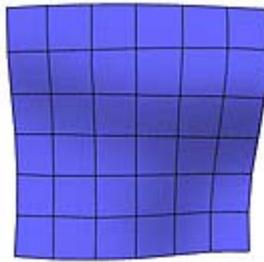
En complément : quelques informations sur l'orthophotographie

Définition : Une orthophotographie est une représentation photographique d'un objet tridimensionnel, corrigée de toutes déformations géométriques dues aux conditions de prises de vues et au relief de l'objet, et projetée dans un plan de référence perpendiculaire à ce plan.

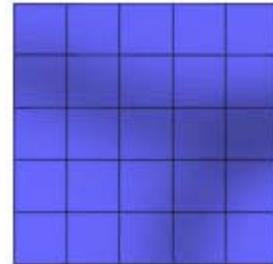
Les déformations dans une prise de vue



Prise de vue oblique avec déformations dues à la perspective



Prise de vue en vis-à-vis avec déformations dues au relief



Orthophotographie

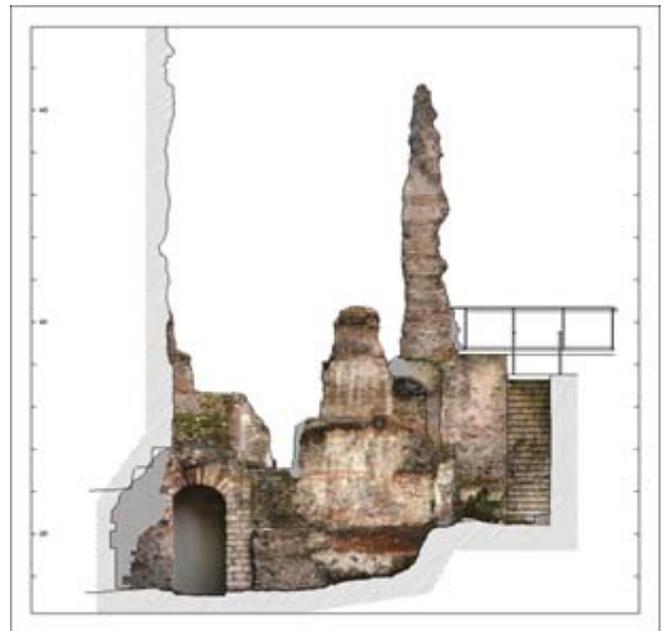
Les déformations dans une prise de vue

La richesse d'une orthophotographie est indéniable puisqu'elle restitue tous les éléments visibles sur le terrain. Les outils de traitement d'images, tels qu'Adobe Photoshop, permettent de modifier le contraste pour améliorer l'image et faire ressortir les détails qu'elle renferme. De plus, tous les logiciels de cartographie et d'édition permettent de superposer des couches d'informations vectorielles à l'orthophotographie. Il est par exemple possible de superposer des courbes de niveau, de digitaliser les contours de chaque élément visible, de mesurer des distances ou des rayons de courbure et d'ajouter des commentaires.

L'orthophoto peut aussi être utilisée comme texture d'un modèle numérique tridimensionnel et contribue au réalisme d'images de synthèse.

• Le couple ortho - courbes de niveau

Le modèle numérique utilisé lors de la phase d'orthorectification peut être aussi exploité pour produire des courbes de niveaux, plus exactement des sections verticales équidistantes dans le cas de vues en élévation. Ces courbes de niveaux s'adaptent particulièrement bien à l'expression géométrique d'élévations de monuments, qu'il s'agisse de bâtiments en bon état de conservation ou de sites ruinés. En modifiant l'équidistance des courbes, on peut parvenir à une très grande finesse de restitution. L'expérience montre que dans le cas d'élévations au relief particulièrement irrégulier (ruines, volumes complexes), l'expression en courbes de niveau est bien préférable aux tracés linéaires directs que peut donner la restitution photogrammétrique (Ex: la majorité des élévations des thermes antiques de Cluny, les élévations du Grand Temple d'Abou-Simbel). Elle permet aussi de s'affranchir de toute interprétation au moment de la restitution, ce qui n'est pas le cas de la restitution photogrammétrique (un tracé linéaire procède d'un choix du restituteur, influencé par son expérience dans le domaine du Patrimoine Culturel - sa connaissance de la problématique archéologique et architectural - et par des objectifs de rentabilité - la restitution doit être réalisée dans un temps imparti).



Thermes Antiques de Cluny (Paris)
Orthophotographie au 1/20ème – ATM3D janvier 2005

La restitution d'élévations sous forme de courbes de niveau ne suffit cependant pas à offrir tous les éléments indispensables à une analyse correcte. Son interprétation peut être complexe. L'orthophotographie n'apporte pas non plus toute l'information sur une élévation, en particulier l'information de la profondeur. L'association des deux produits fournit un formidable document cartographique.