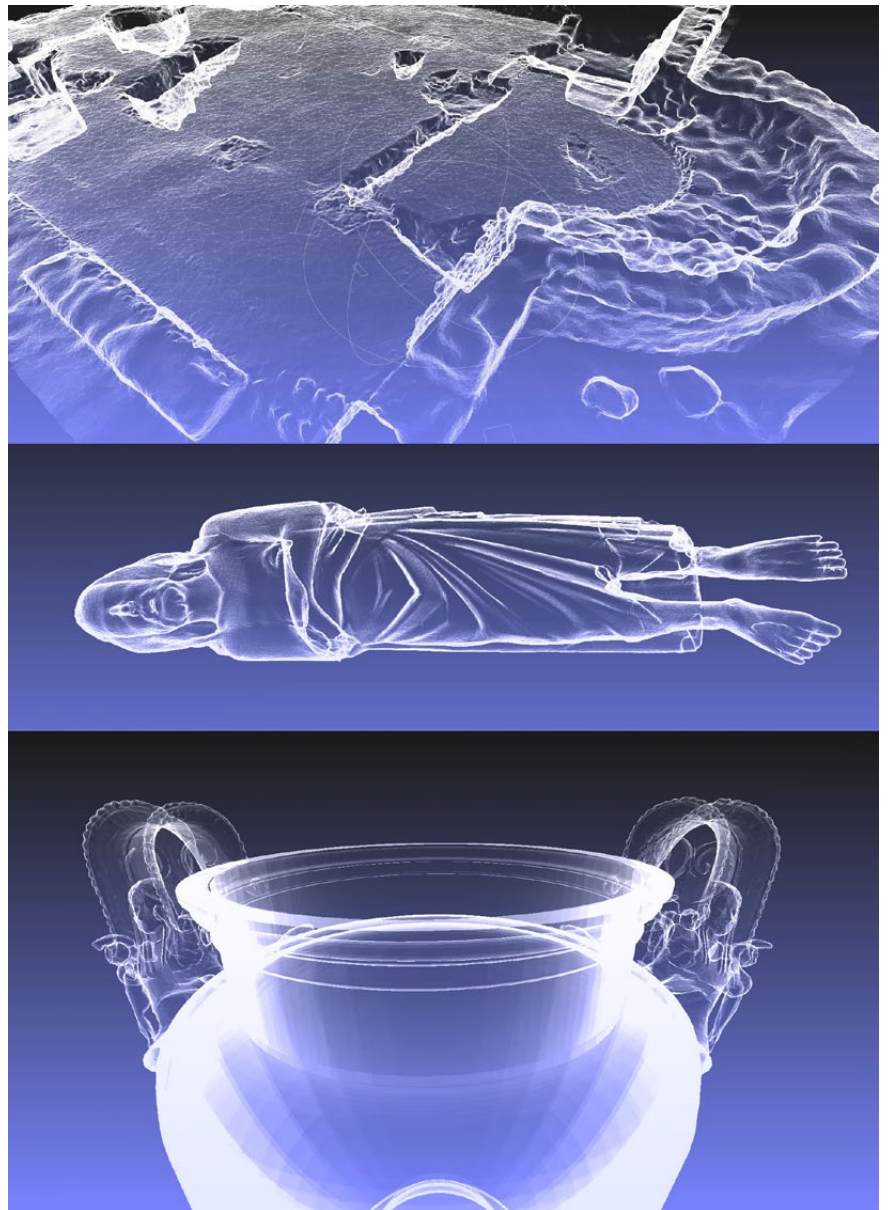


# Mesures 3D. Avancées décisives pour l'archéologie et la conservation du patrimoine.

Introduction .....	p. 2
Topographie de sites .....	p. 3
Monuments historiques .....	p. 5
Patrimoine en péril .....	p. 9
Fouilles archéologiques .....	p. 10
Analyse du bâti .....	p. 13
Mosaïques .....	p. 14
Paléontologie Anthropologie .....	p. 15
Mobilier archéologique .....	p. 16
Détails .....	p. 19
Sculptures .....	p. 20
Modélisation 3D-4D .....	p. 22
A la mesure du futur .....	p. 24



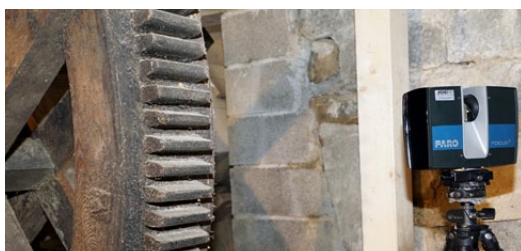
## Technologie d'avant-garde, expérience internationale

Archéotech SA est spécialisée dans les relevés archéologiques et architecturaux depuis 1979. A son actif plusieurs milliers de relevés, notamment d'œuvres d'art, de monuments historiques en Suisse et à l'étranger.

Partenaires de fabricants leaders mondiaux en matière de laserométrie, Archéotech SA dispose d'un parc de scanners laser 3D court et long métrage pouvant couvrir des plages de mesures allant de quelques microns à plusieurs kilomètres et de drones équipés de différentes caméras métriques. Ses logiciels, ses puissantes stations de travail équipées de programmes de rétro-conception sont constamment mis à jour.

Avec la numérisation laser 3D, le temps consacré aux relevés est dix fois moins long qu'auparavant, la précision est inégalable. Les bases de données sont directement opérationnelles pour les analyses et créer des plans, des coupes, des projections, des volumes, des modélisations 3D, des visites virtuelles ...

Archéotech SA est compétente grâce à une large équipe pluridisciplinaire constituée de professionnels de l'archéologie, de l'architecture, de la géomatique, de la photographie et de l'imagerie virtuelle.

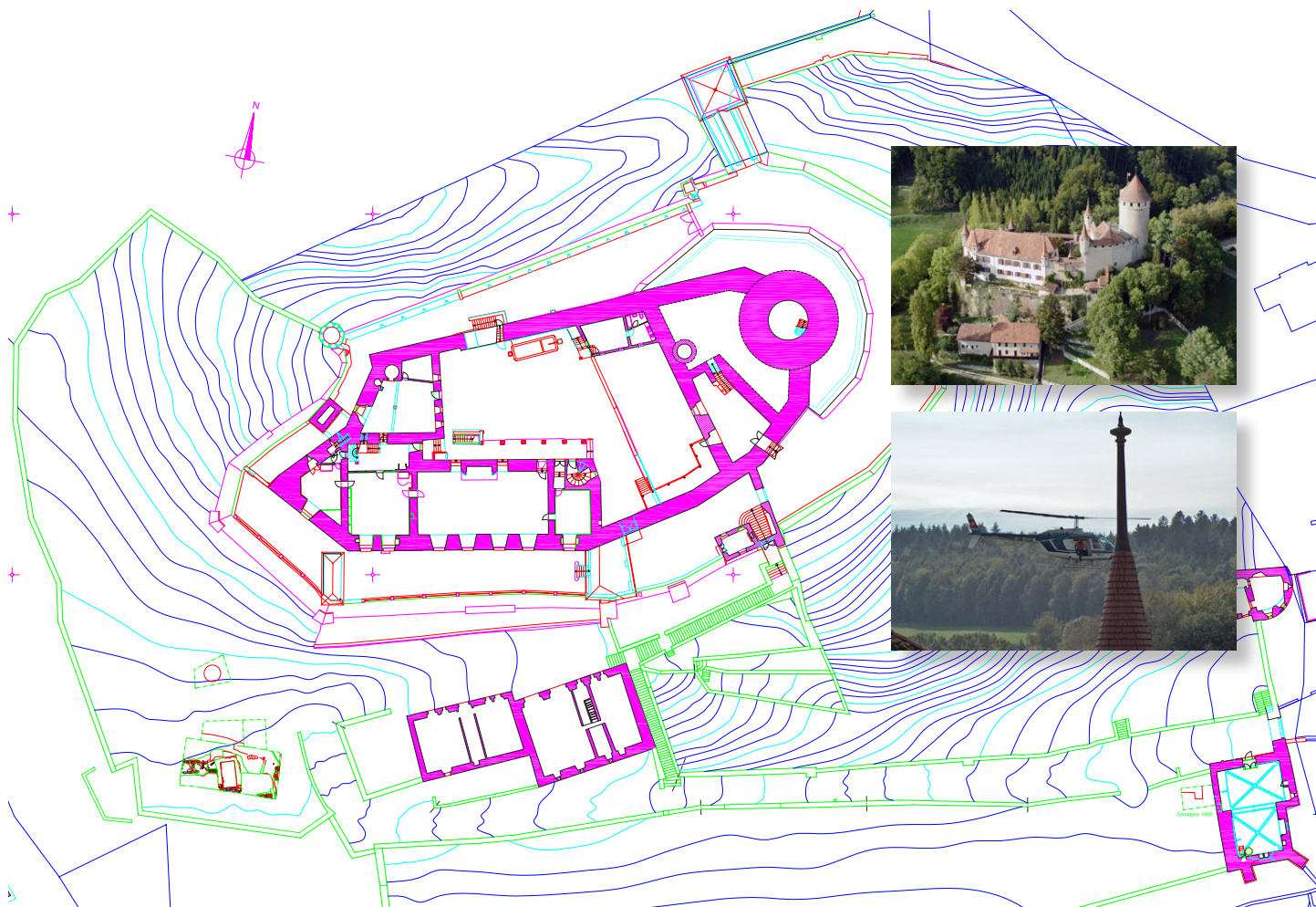


Archéotech SA est membre du CIPA/ICOMOS (Comité international pour la photogrammétrie architecturale). Elle est également partenaire conventionné du C2RMF (Centre de recherche et restauration des musées de France, Le Louvre, Paris).

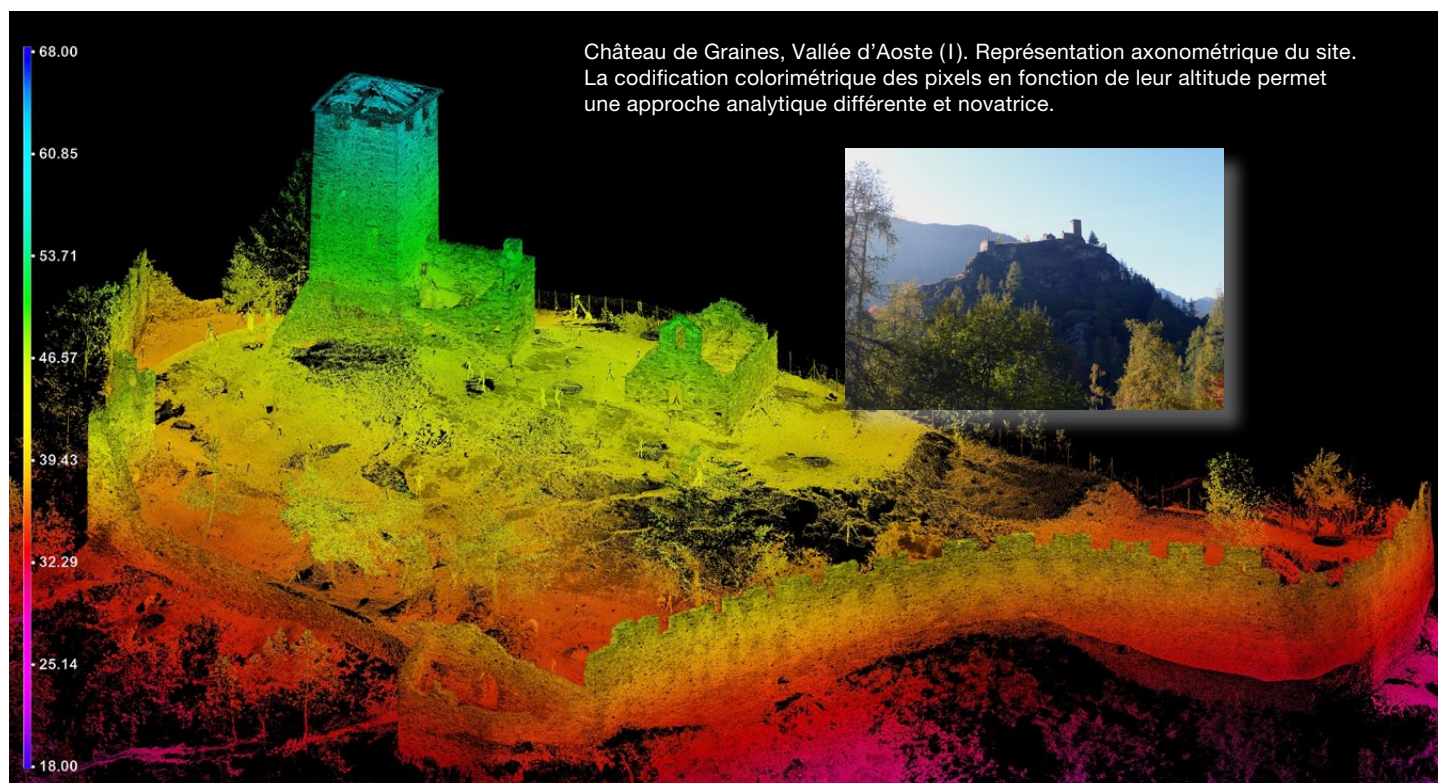


## Topographie de sites

Mesures aérienne ou terrestre en environnements complexes, avec ou sans végétation abondante, la numérisation laser 3D garantit des performances jamais atteintes auparavant.

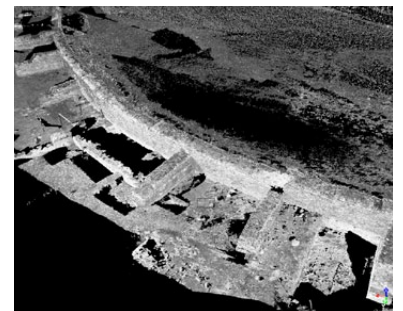
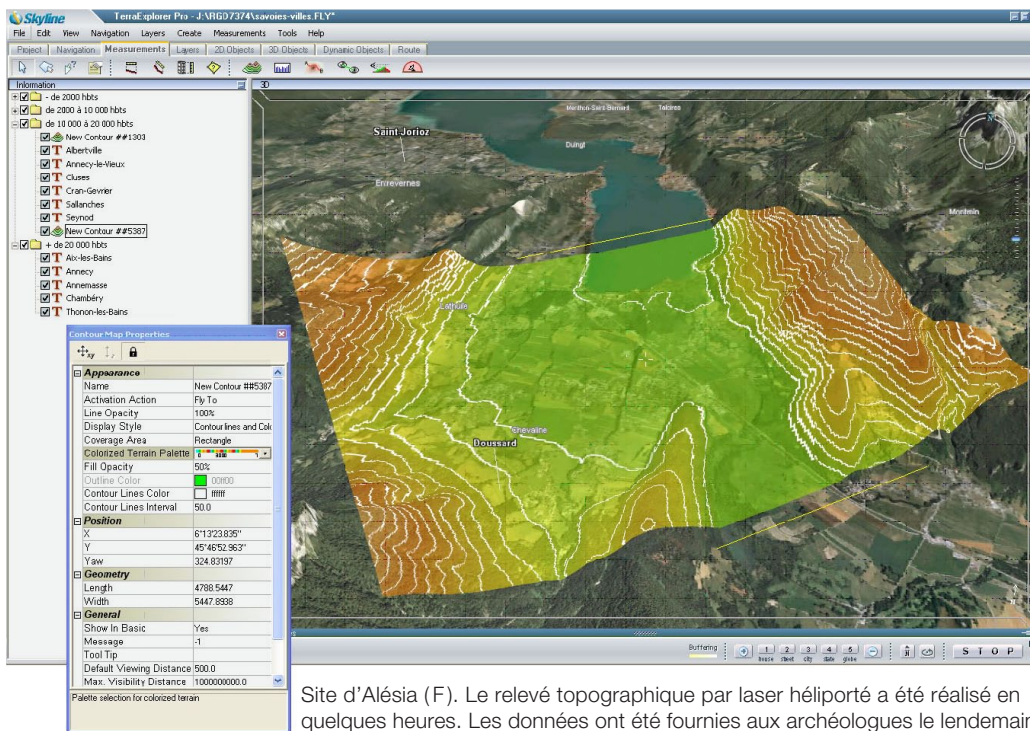


Château de Lucens (VD). La réalisation du plan topographique du site a été grandement facilitée grâce aux mesures laser directement exploitables sitôt les prises de vues réalisées.

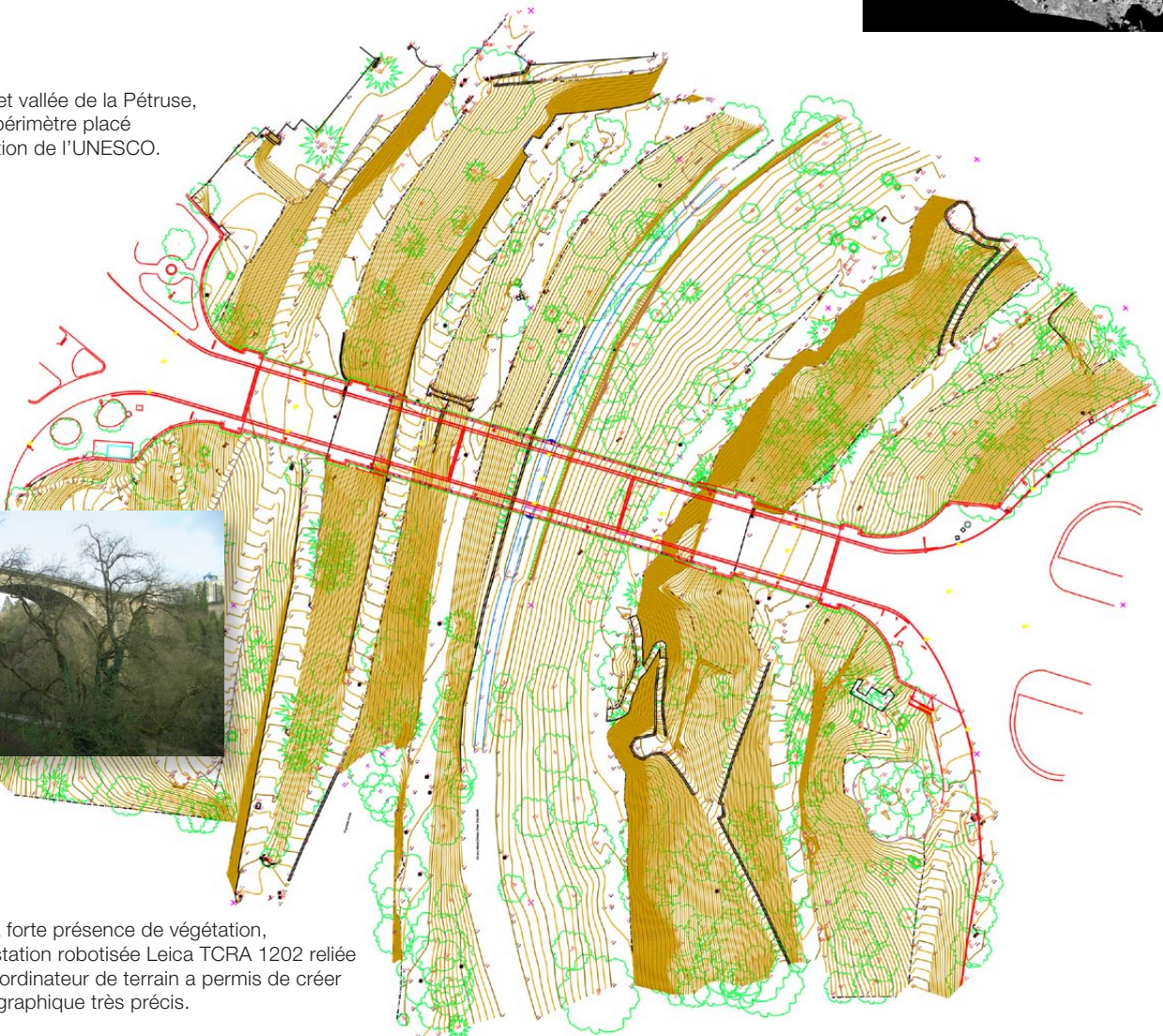


Château de Graines, Vallée d'Aoste (I). Représentation axonométrique du site. La codification colorimétrique des pixels en fonction de leur altitude permet une approche analytique différente et novatrice.





Pont Adolphe et vallée de la Pétruse, Luxembourg, périmètre placé sous la protection de l'UNESCO.

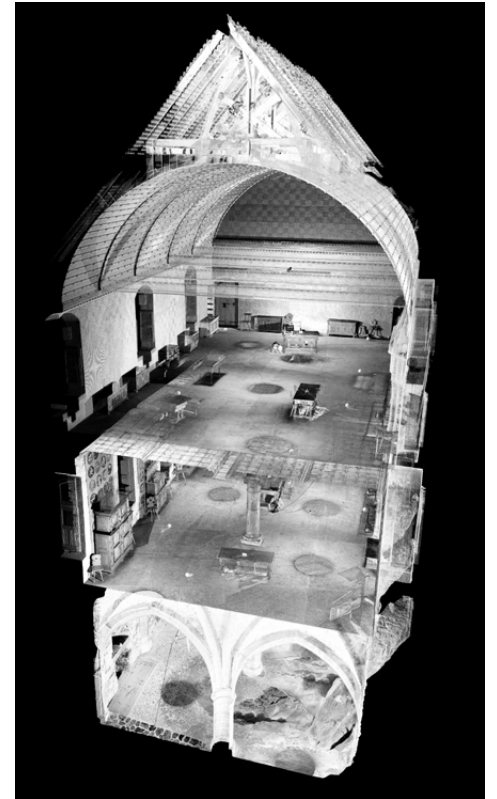
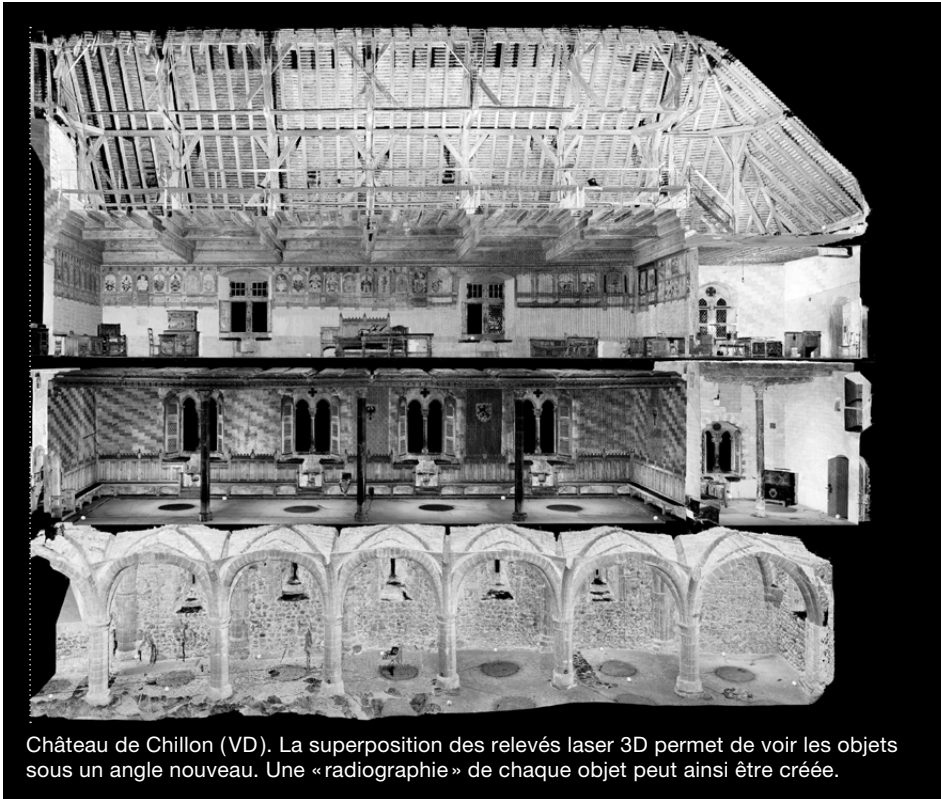


En raison de la forte présence de végétation, l'apport de la station robotisée Leica TCRA 1202 reliée par radio à un ordinateur de terrain a permis de créer un relevé topographique très précis.

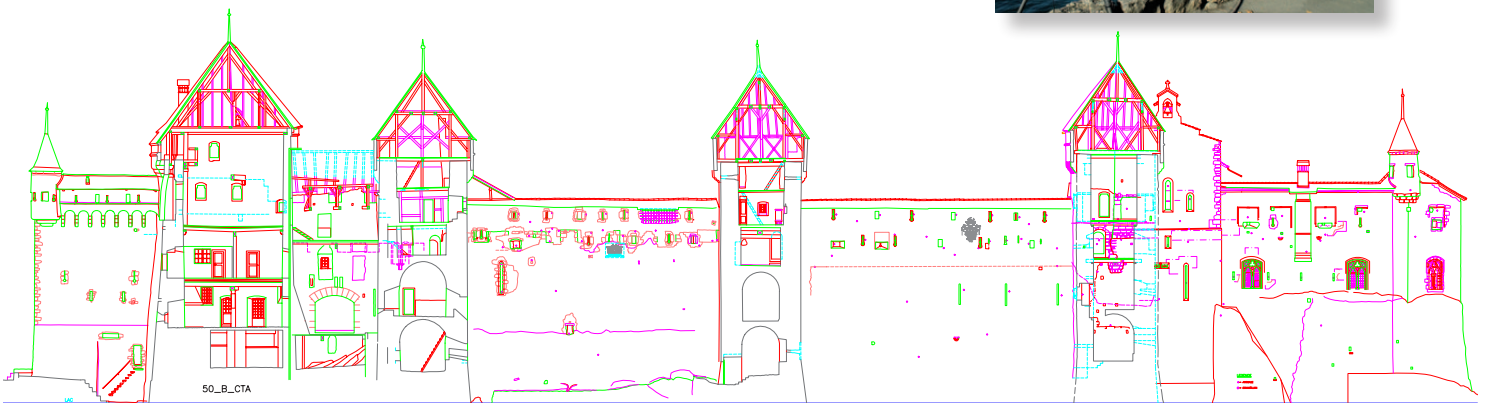


## Monuments historiques

L'époque des dessins qui nécessitaient un temps important est révolue. En quelques heures, les relevés extérieurs et intérieurs sont établis. Il est aisé d'obtenir pour chaque bâtiment des données homogènes et exhaustives.



La numérisation des façades du front «fossé» a été réalisée à une distance de 150 mètres de l'édifice avec le scanner à longue portée Trimble GS200. Le nuage de points obtenu est très dense en informations géoréférencées. La restitution vectorielle s'en trouve facilitée.





Pour répondre aux exigences fixées par le cahier des charges de nos clients, des méthodologies de saisie pertinentes et rationnelles sont privilégiées. Les données fournies ensuite sont toujours cohérentes et directement exploitables.

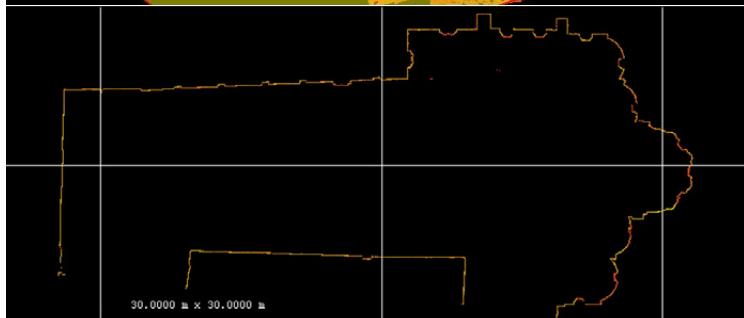
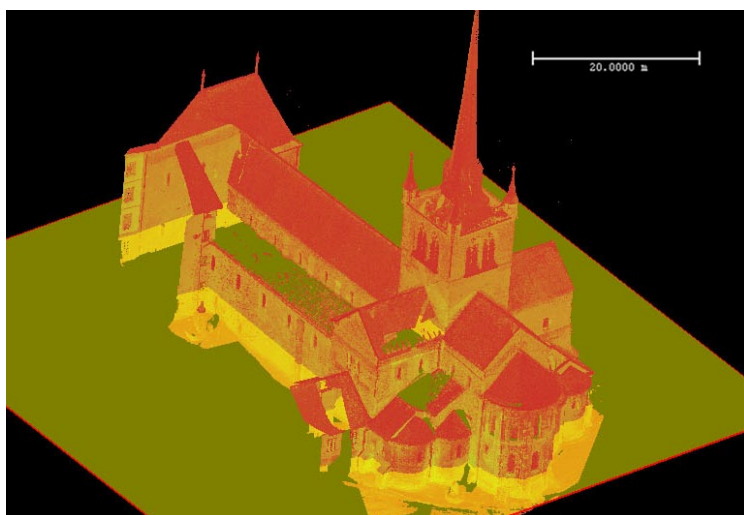


360°

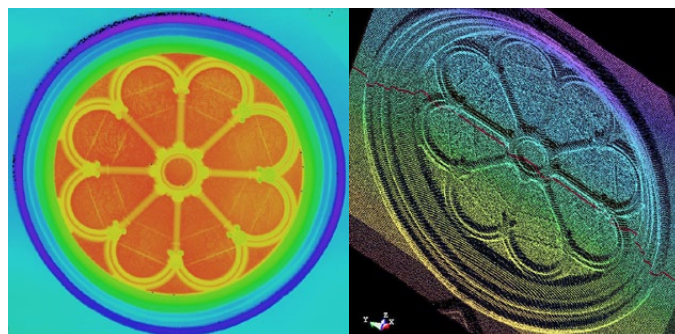
180°

360°

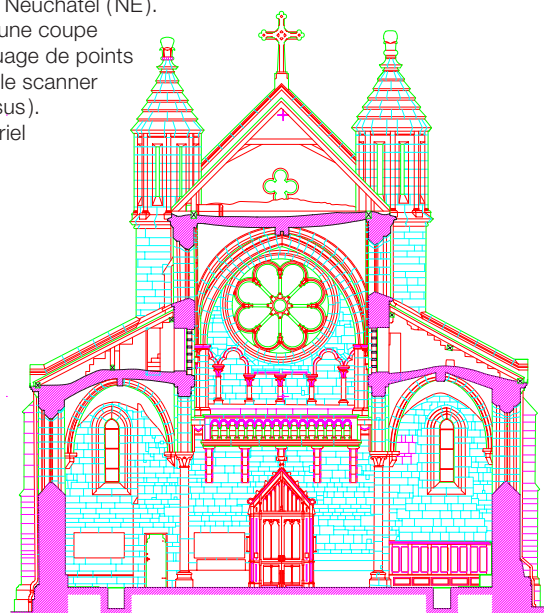
Eglise Saint-Etienne de Moudon (VD). Les scanners laser Faro 80 et 120 offrent le grand avantage de pouvoir fixer dessus une caméra Nikon. Les données du scanner et les photos de la caméra Nikon sont parfaitement synchronisées. En une fois, on obtient un relevé laser 3D précis ainsi que des photos de haute qualité. Ci-dessus, un exemple d'un panorama laser constitué de 8 prises de vues géoréférencées et colorisées.



Abbatiale de Payerne (VD). Des profils horizontaux et verticaux peuvent être tracés à n'importe quel endroit d'un édifice (ci-dessus) ou de tout objet. Les relevés laser 3D permettent d'innombrables possibilités d'investigations, notamment la perception d'anomalies dans la construction.

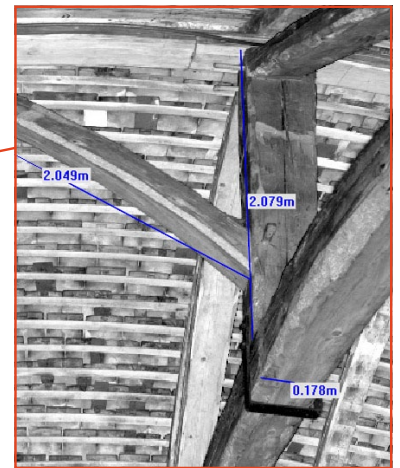
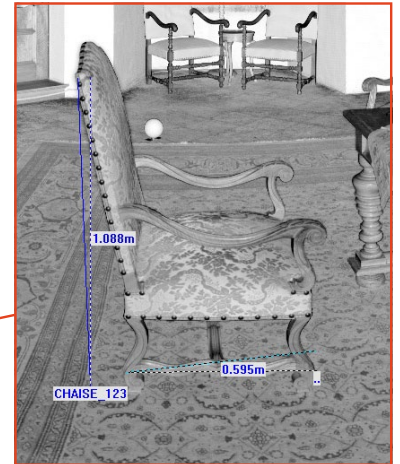


Collégiale de Neuchâtel (NE).  
Extraction d'une coupe à partir du nuage de points obtenu avec le scanner Faro (ci-dessus).  
Dessin vectoriel (à côté).





Les structures du bâti et tous les objets (meubler, tapisseries, tableaux, etc.) sont scannés. Chaque point contenu dans l'image obtenue est géoréférencé. Il est aisé, depuis son ordinateur, d'extraire cotes et surfaces de tous les éléments visibles.



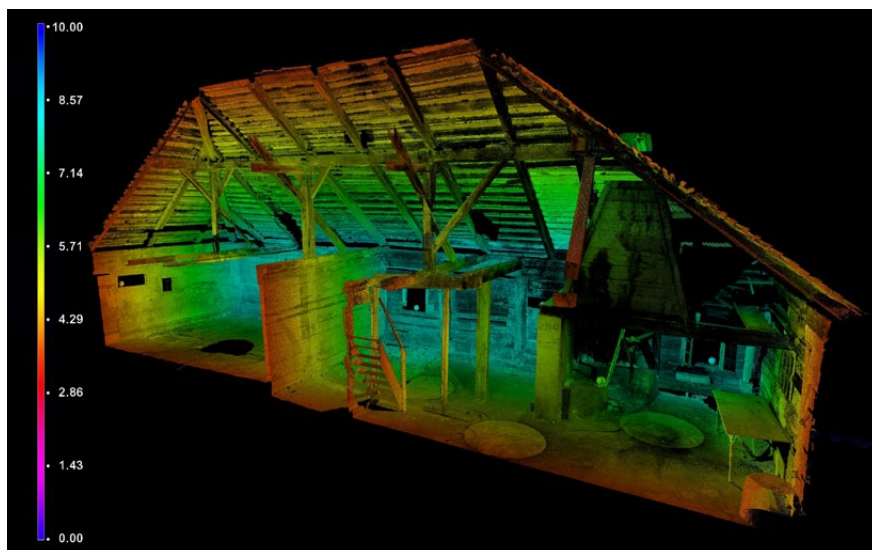
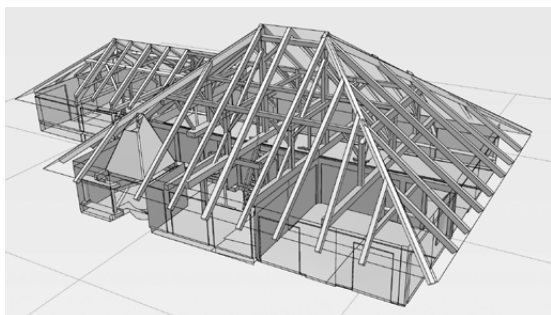
360° 180° 360°

Château de Grandson (VD). Vues panoramiques 3D saisies avec le scanner laser Faro Photon 120. A l'aide d'un logiciel gratuit, il est possible de se promener dans le bâtiment et d'extraire cotes et surfaces de tous les éléments visibles en passant d'une vue à l'autre comme dans un jeu virtuel. Indépendamment de l'aspect géométrique très précis, ce type de relevé peut également être utilisé pour créer un inventaire informatisé du contenu (meubler, tableaux, objets et infrastructures).

Le logiciel gratuit fourni avec nos fichiers permet en tout temps de visualiser en 3D n'importe quelle zone mesurée, par exemple, cette cage d'escalier.



Les technologies de laserométrie 3D permettent de mesurer des structures d'une grande complexité. On peut aussi établir la cartographie détaillée des érosions sur les façades.

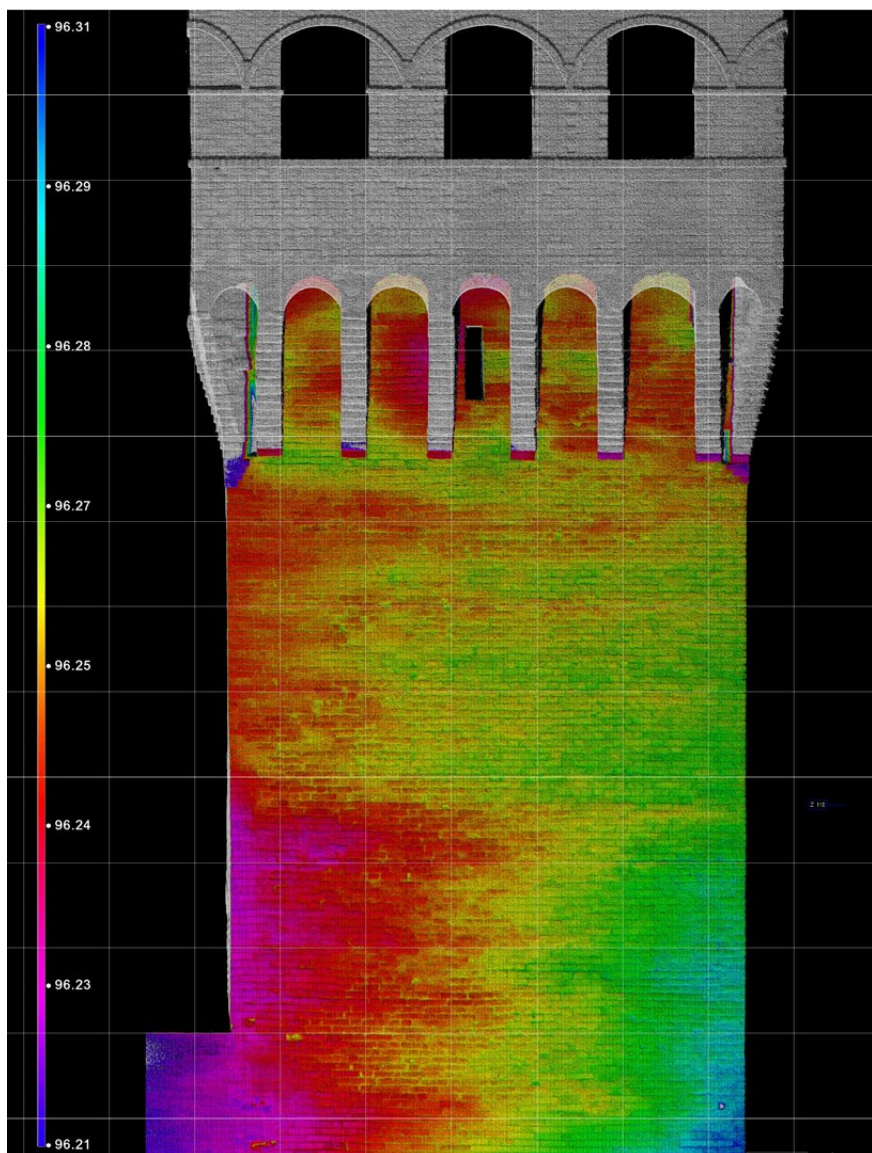


Chalet du Crêt de la ville, Moléson (FR). Bâti en 1690, c'est le plus vieux chalet d'alpage de la commune de Gruyères. Les relevés par laserométrie 3D conviennent parfaitement pour ce type d'étude. Relevé laser (ci-dessus) et modélisation 3D de la structure (à gauche).

Château de Vufflens (VD).

Construit en briques au début du XV<sup>e</sup> siècle par des maçons venus de Lombardie. L'érosion des parements a nécessité le remplacement de plusieurs milliers de briques. La numérisation fine des élévations a été réalisée avec les scanners Faro 80 et 120.

Un relevé brique à brique de l'ensemble et l'établissement de façon automatique de la cartographie de l'érosion de ses façades a ainsi été obtenu. Cette procédure de travail a permis d'éviter la pose prolongée et coûteuse d'échafaudages.



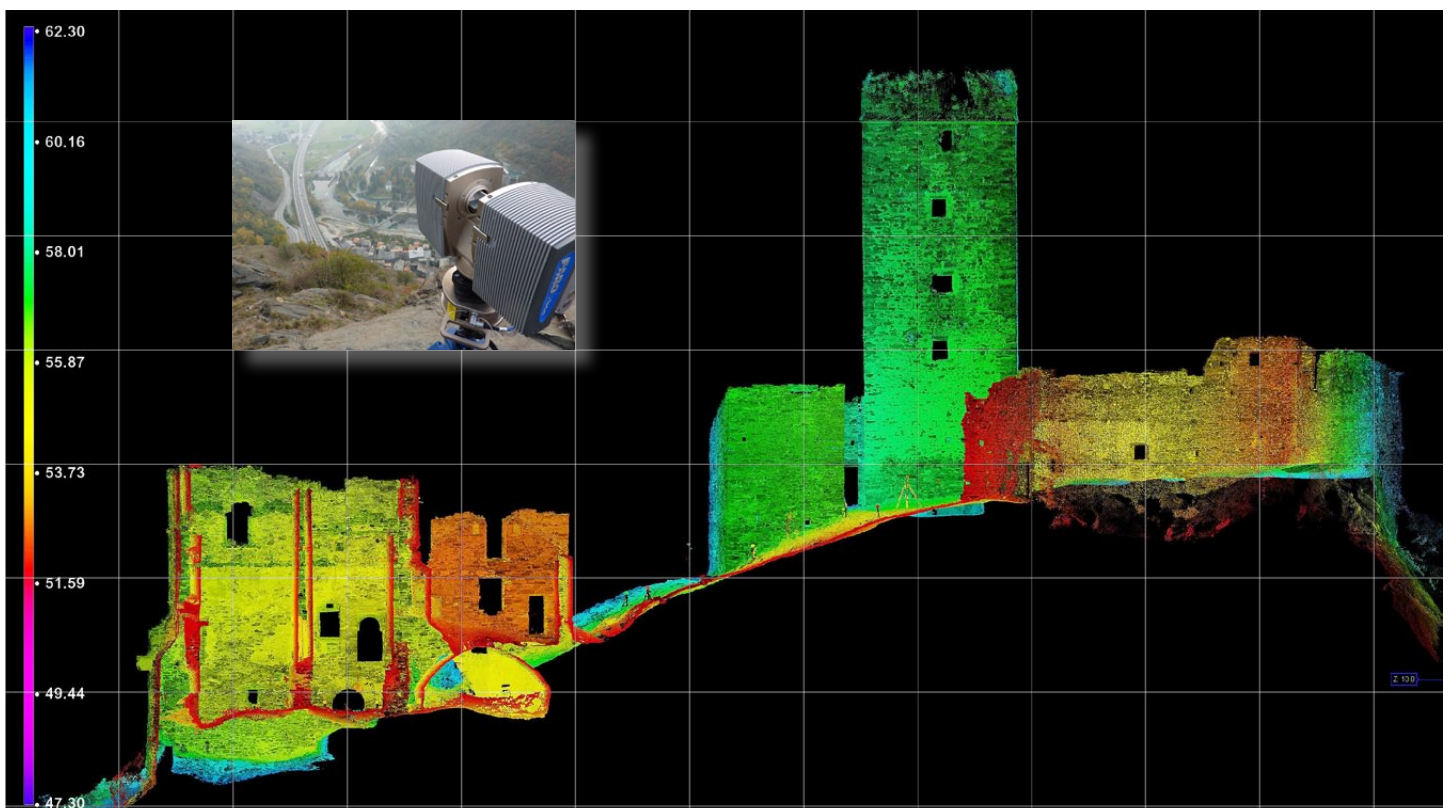
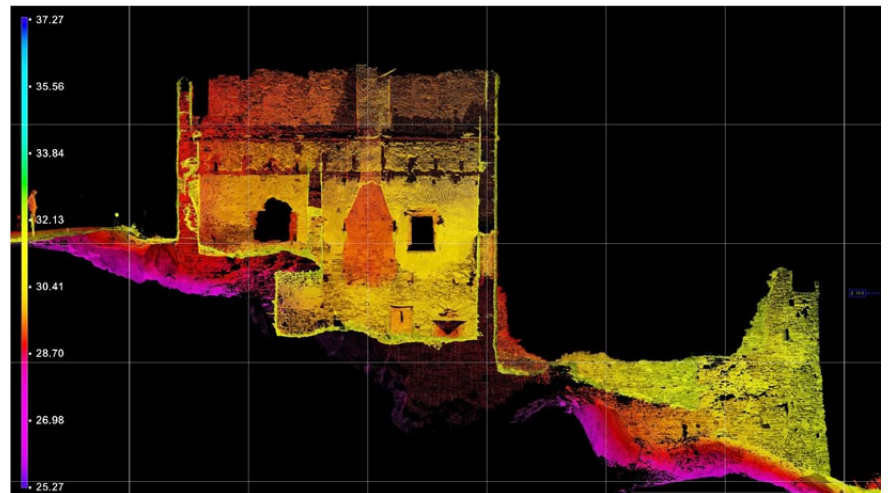
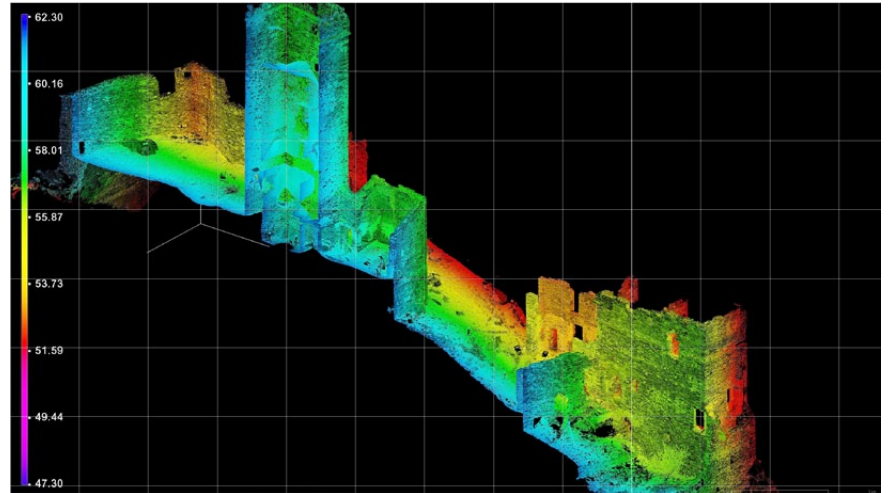


## Patrimoine en péril

Les mesures dans des endroits difficilement accessibles sont facilitées. Des données indispensables aux travaux des archéologues sont fournies sous forme d'orthoplans. La dégradation progressive des ruines peut être étudiée à intervalles réguliers.



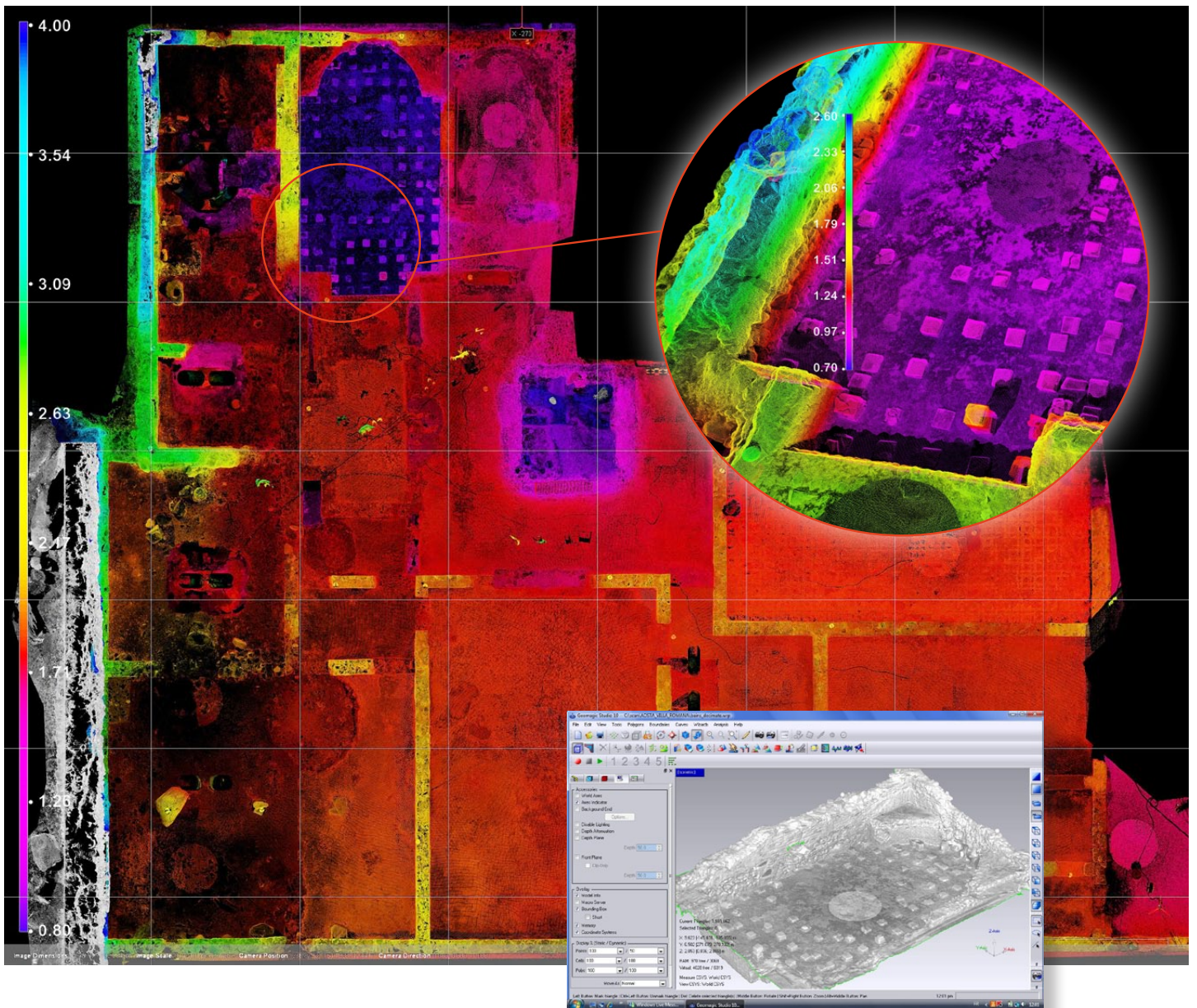
Site du château de Montjovet-Saint-Germain, Vallée d'Aoste (I). L'ensemble de cette ruine de plus de 150 mètres de côté, établie sur une colline inaccessible a été entièrement mesurée en moins d'une semaine. Avec ce type de relevé, après l'acquisition des données, les représentations sous forme d'orthoplans peuvent être fournies aux archéologues chargés de l'étude.



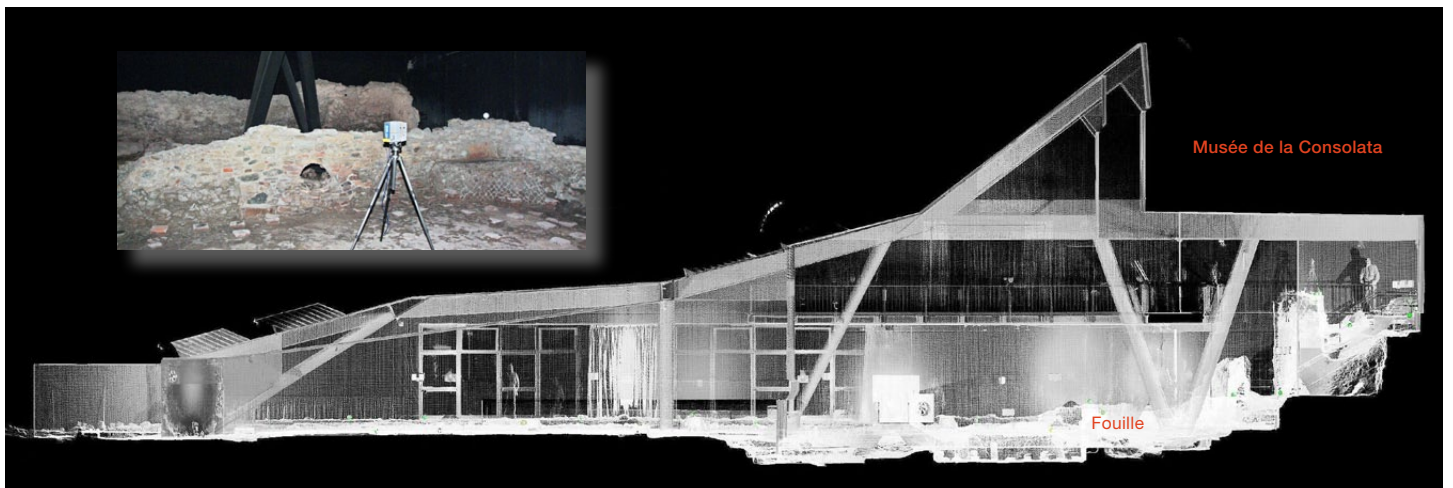


## Fouilles archéologiques

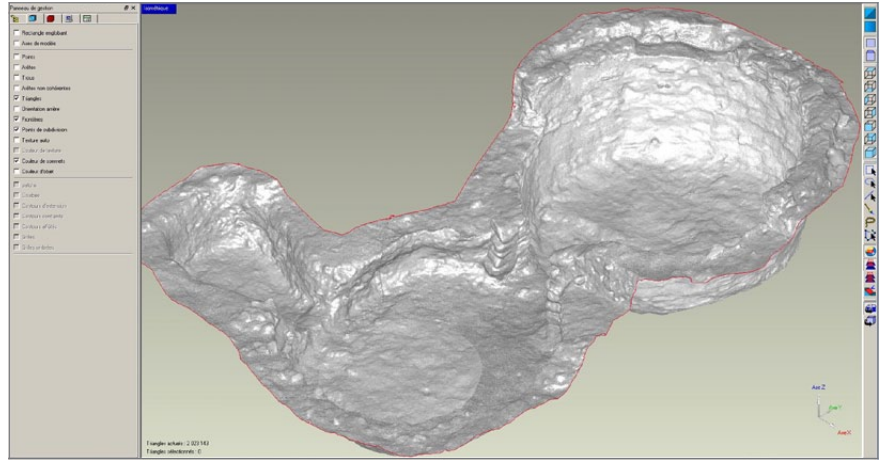
Vitesse et précision des relevés 3D caractérisent désormais la nouvelle archéologie. Des modélisations opérées dans Geomagic sont extraits profils horizontaux, transversaux et orthoplans.



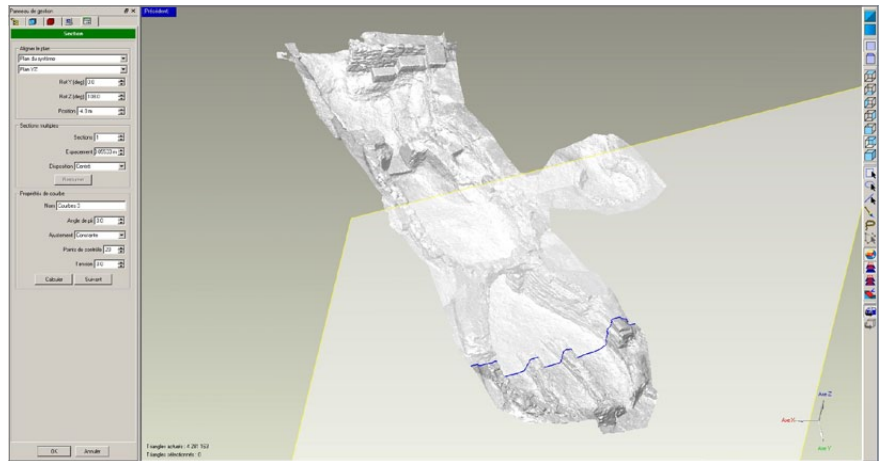
Villa romaine de la Consolata, Aoste (I). Le relevé laserométrique 3D de la fouille de la villa romaine et du musée a été réalisé en moins d'une journée. La fouille a été modélisée dans Geomagic, les profils horizontaux et transversaux ainsi que les orthoplans ont été extraits automatiquement. Les données sont exploitables avec les logiciels de DAO courants.



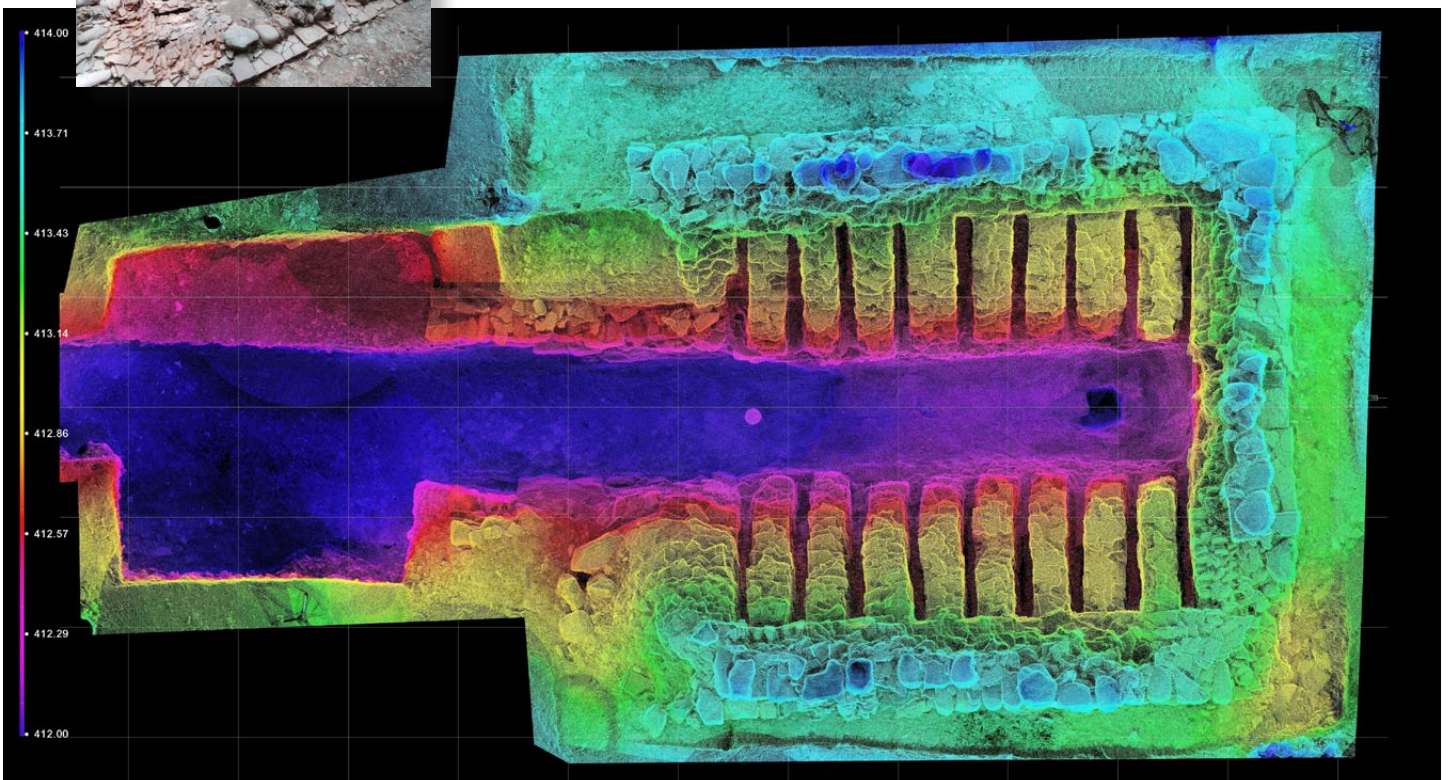




Fours de potiers à Beaucaire/Nîmes (F). Chacun des trois fours a été relevé par laserométrie 3D et ensuite modélisé dans Geomagic. Les profils horizontaux et transversaux extraits automatiquement (à droite) ont été très rapidement exportés vers les logiciels de DAO en vue des analyses. Le relevé des trois fours de potiers a été effectué en moins d'une journée.

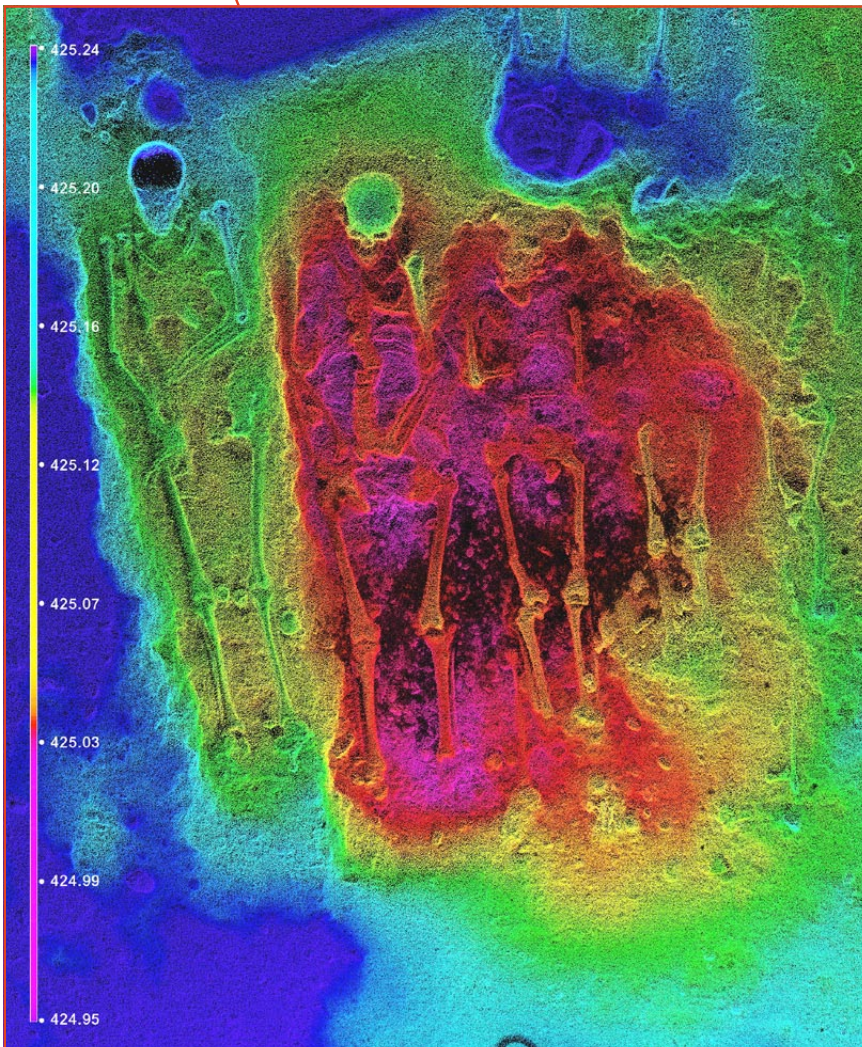
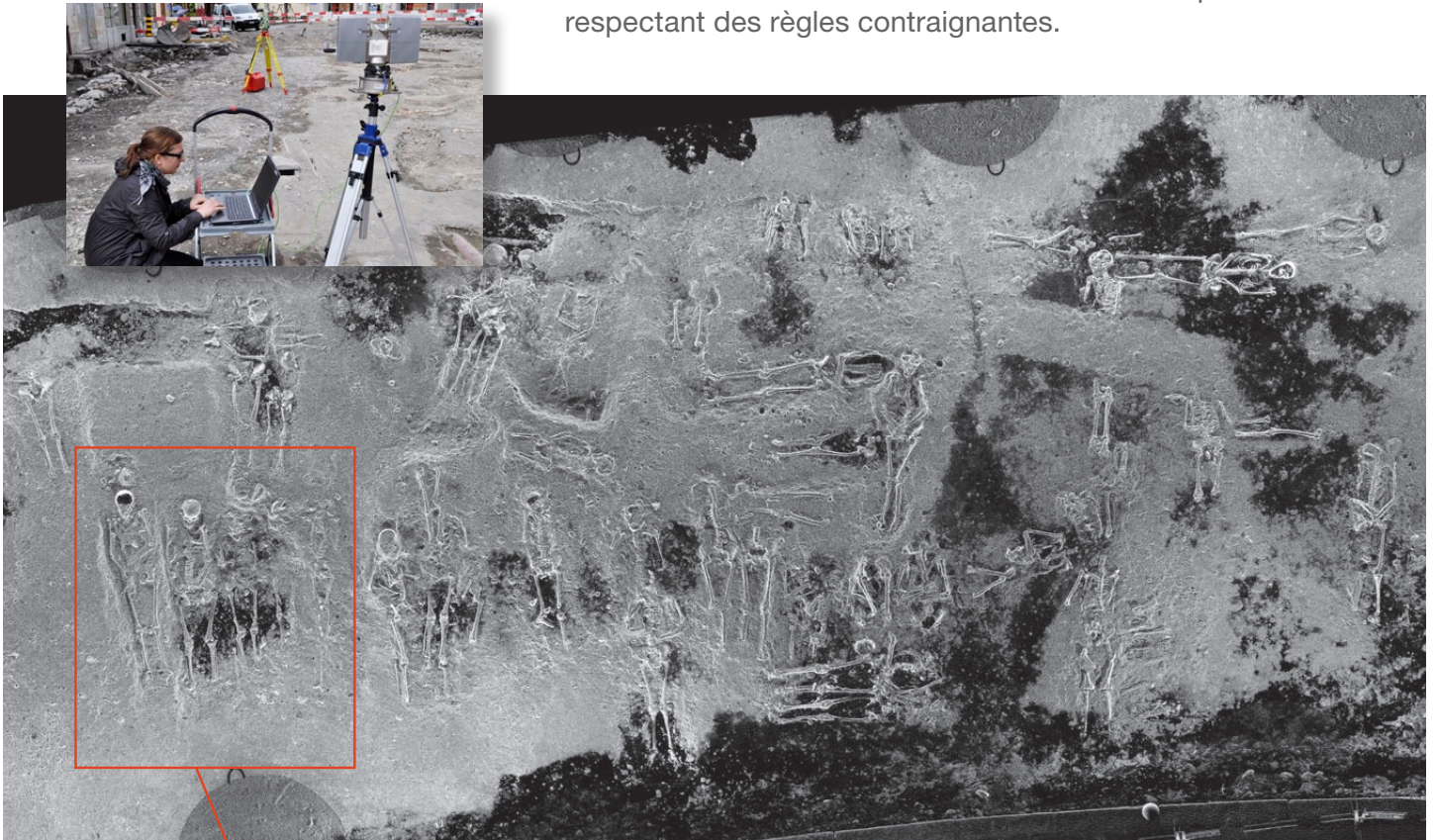


Four de tuiliers gallo-romains à Chancy (GE). La numérisation laser 3D est particulièrement performante pour le relevé de ce type de site fragile qui exige beaucoup de précautions.





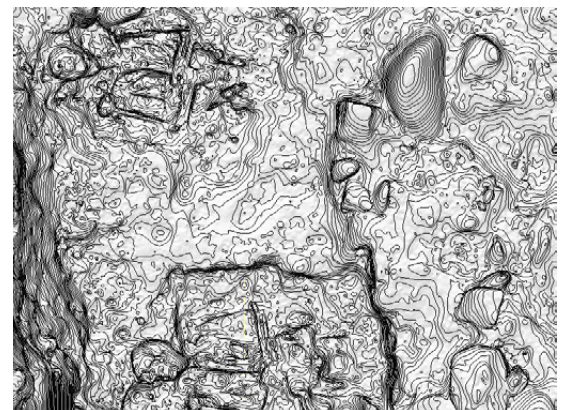
Les grands travaux routiers, la construction d'ouvrages d'art mettent souvent au jour des témoignages du passé. L'intervention sur les sites découverts doit se faire souvent au plus vite en respectant des règles contraignantes.



Nécropole médiévale, Bex (VD).

Pour ce relevé très délicat, les stations de scan laser 3D ont été rattachées au système national de coordonnées CH03. Les quelque 120 tombes de cette nécropole ont été mesurées en deux étapes d'une demi-journée.

Le lendemain de la numérisation, les archéologues disposaient d'un support métrique complet leur permettant de procéder au prélèvement de chaque individu.

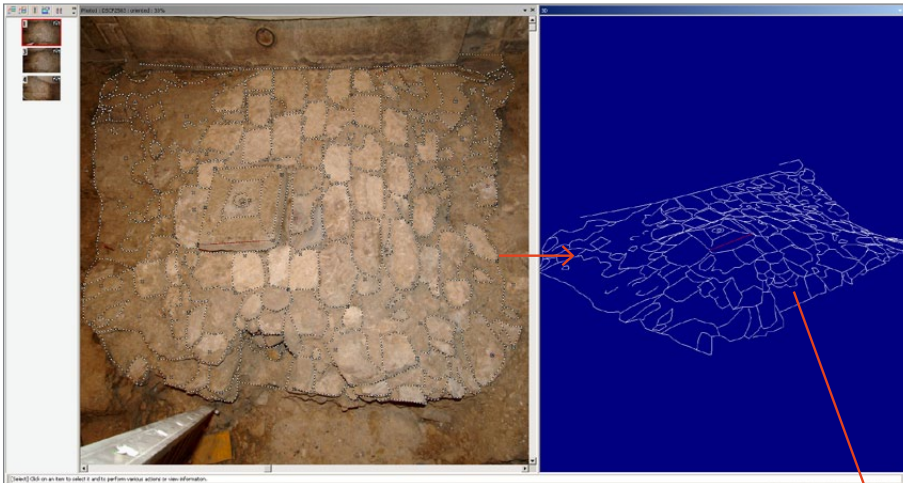
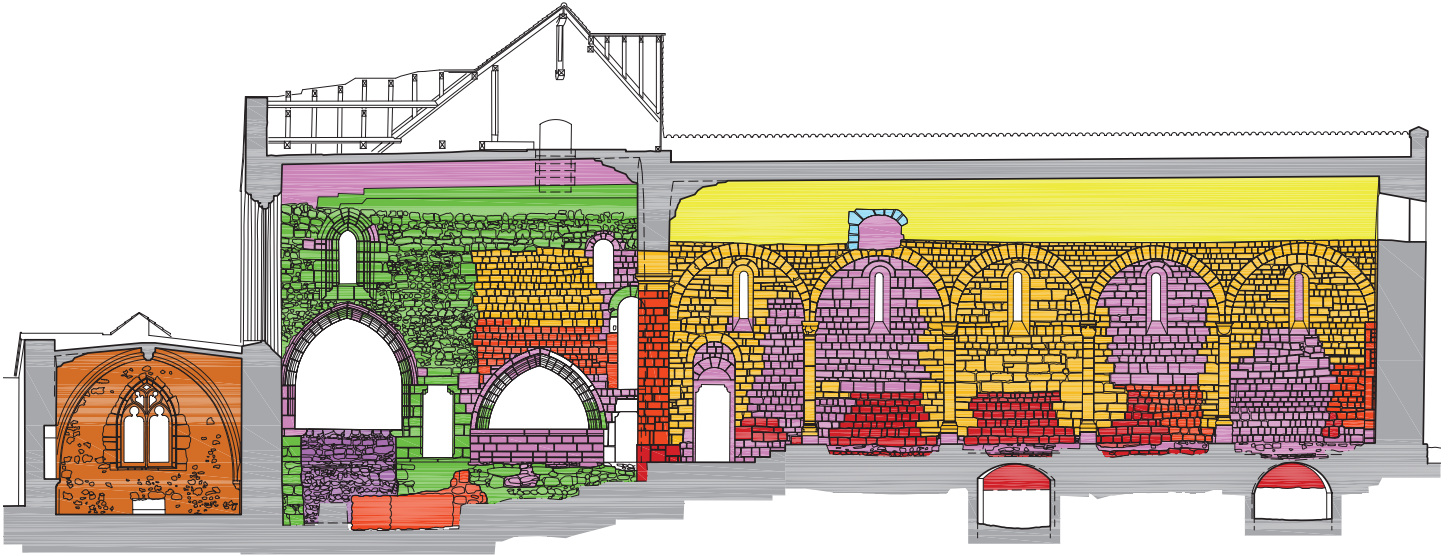




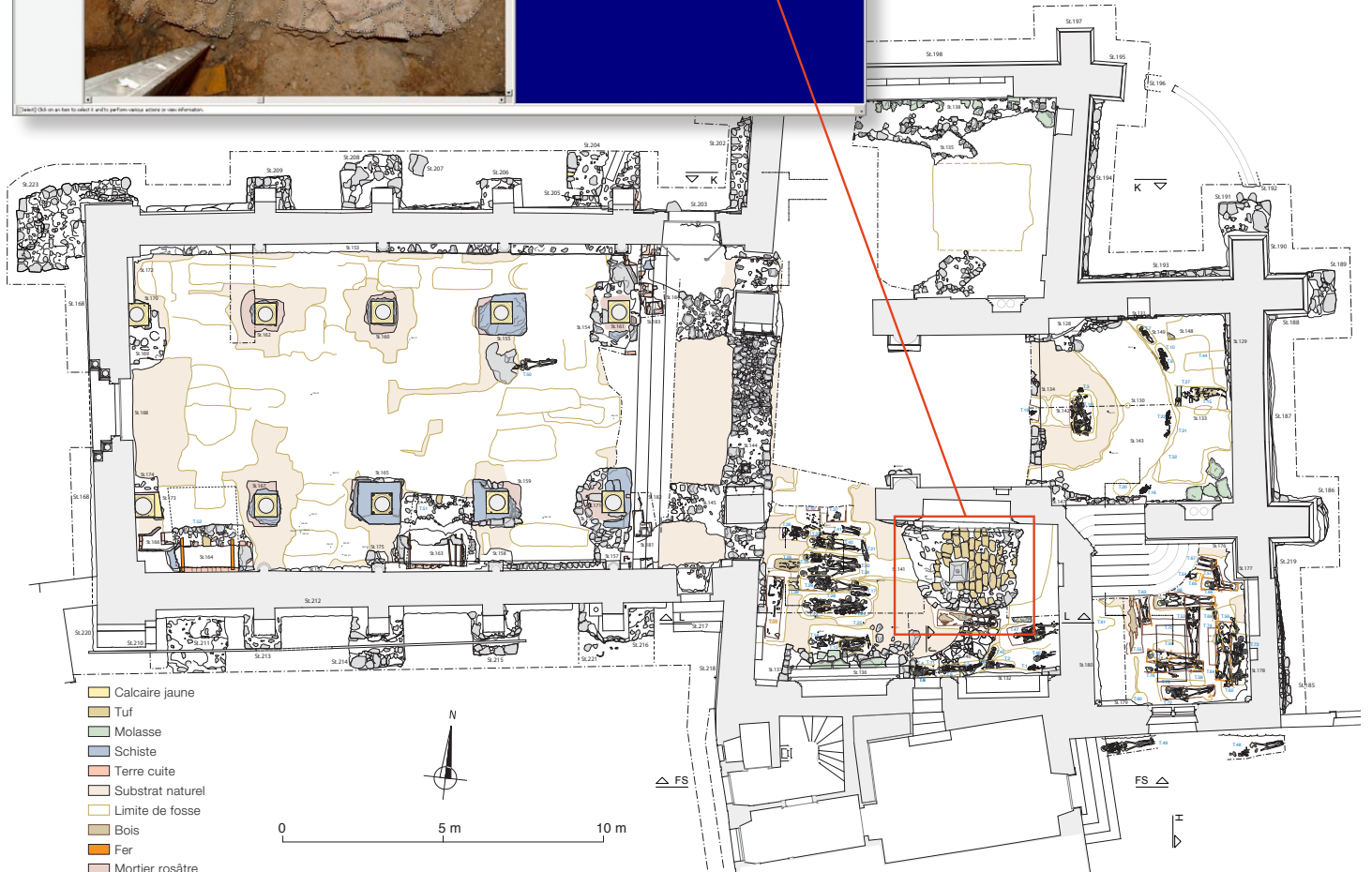
## Fouilles archéologiques

### Analyse du bâti

L'investigation des chantiers archéologique se fait généralement en plusieurs étapes. La mise en réseau de moyens importants est nécessaire pour intégrer chaque zone mesurée dans des plans d'ensemble gérés avec Autocad.



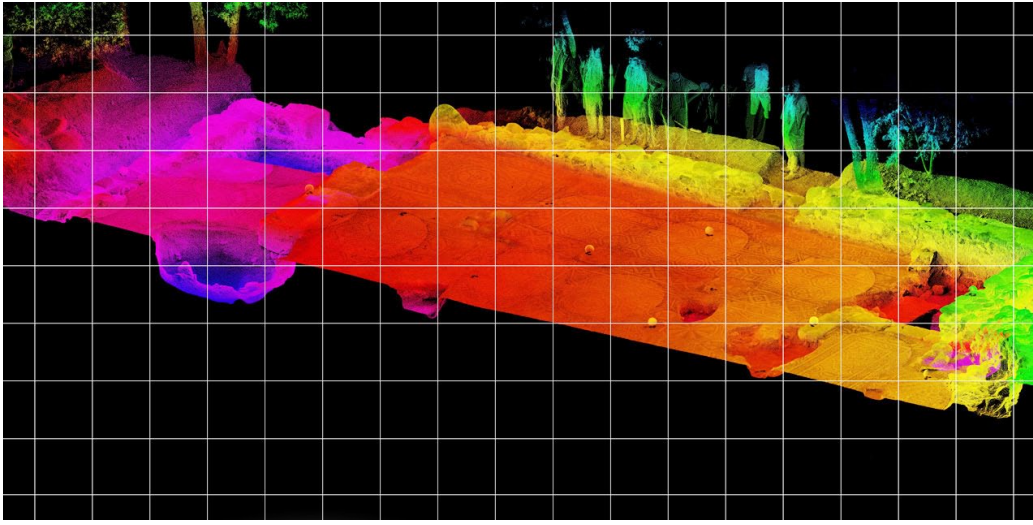
Eglise Saint-Jean de Grandson (VD). Relevés, analyses et fouilles archéologiques. Durant cette opération fractionnée en plusieurs étapes, les relevés de l'ensemble des structures ont été effectués au moyen du système EOS Photomodeler (exemple ci-contre). Les dessins de chaque zone ont été intégrés dans des plans d'ensemble gérés avec Autocad. Ci-dessus, dessin vectoriel de la coupe longitudinale D-D, vue vers le sud. Ci-dessous, dessin vectoriel du plan archéologique.





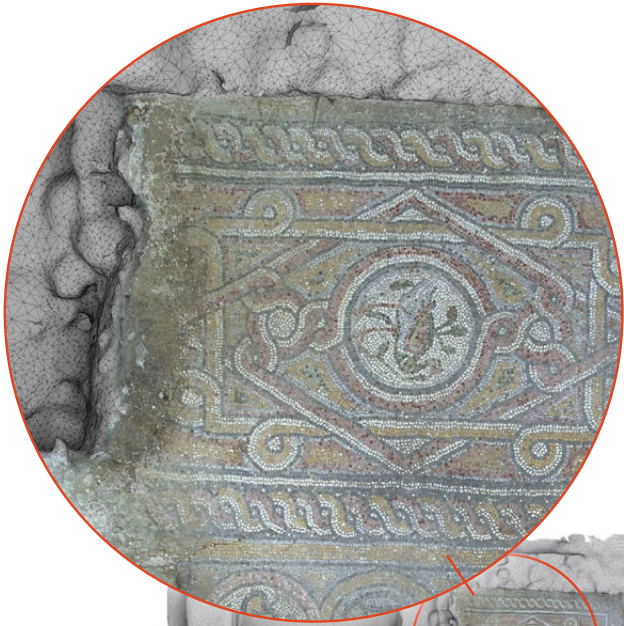
## Mosaïques

Pour la restitution de la vue d'ensemble du site de Derecik, une imagerie de qualité a été obtenue grâce à plusieurs clichés photogrammétriques d'une très haute résolution. Ces photos ont été ensuite plaquées sur le modèle 3D issu des relevés laser.



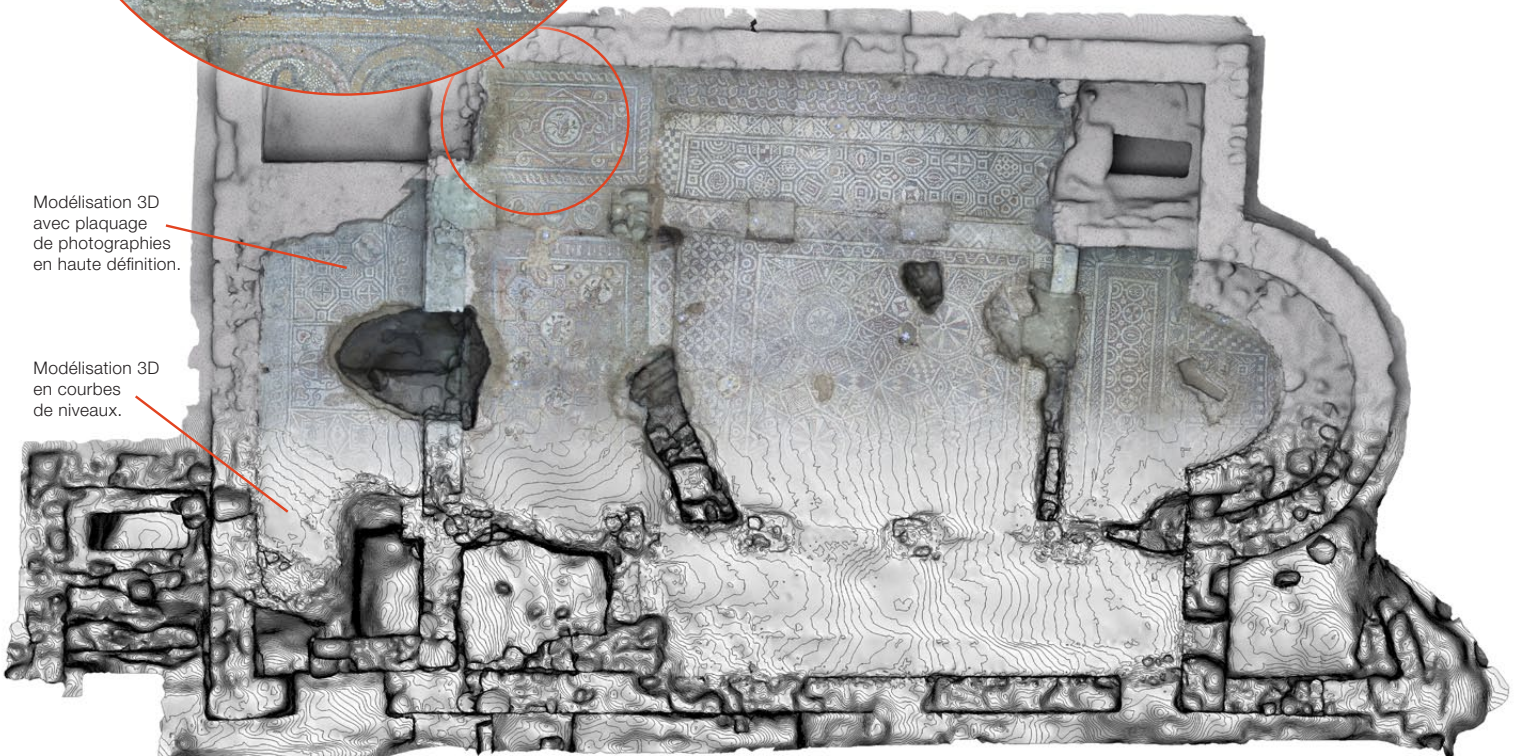
Site et mosaïques de l'église paléochrétienne de Derecik (Büyükorhan, province de Bursa, Turquie). Relevé, fouille, étude et restauration.

Le scanner à décalage de phase Faro Photon 120 utilisé pour ce relevé délicat est très performant. La fouille a été mesurée en une journée depuis une trentaine de points de vue pour assurer une grande précision. Les stations de scan ont été rattachées au système de coordonnées du site au moyen de repères sphériques mesurés avec une station totale Leica TCRM 1105. Afin d'assurer une imagerie de qualité pour la mosaïque, 45 clichés photogrammétriques d'une résolution de 14 millions de pixels chacun ont été pris avec la caméra Kodak DCS14NX. Le modèle 3D de la fouille a été généré dans Geomagic. Les photographies ont été ensuite plaquées sur le modèle 3D à l'aide du logiciel 3DSMAX. Comme pour tous nos modèles 3D, celui-ci peut être visualisé avec le logiciel gratuit Meshlab. <http://meshlab.sourceforge.net>



Modélisation 3D avec plaquage de photographies en haute définition.

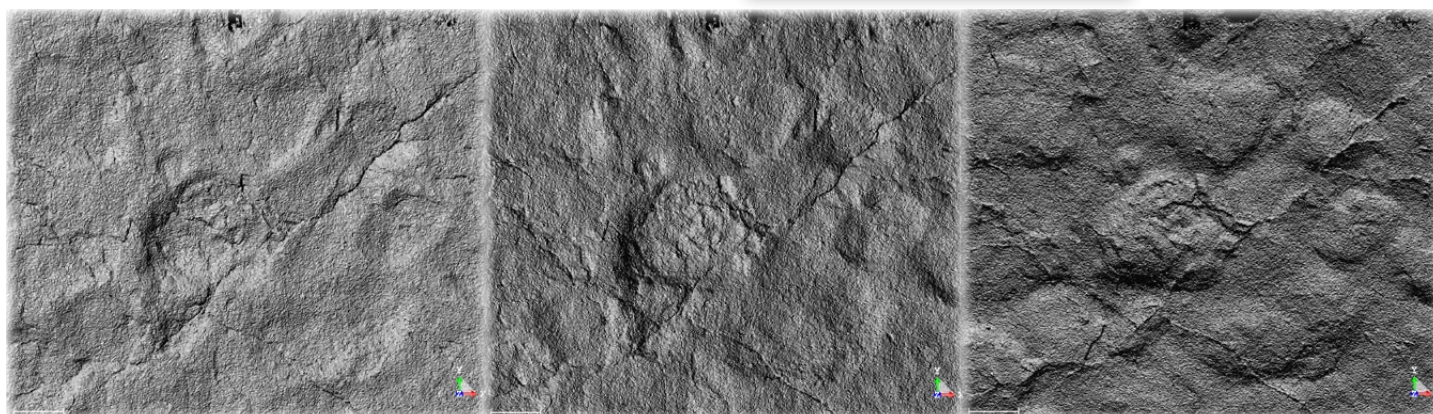
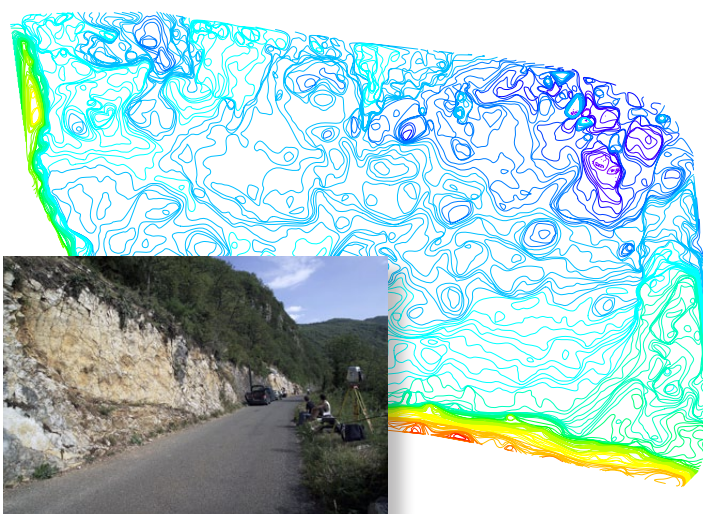
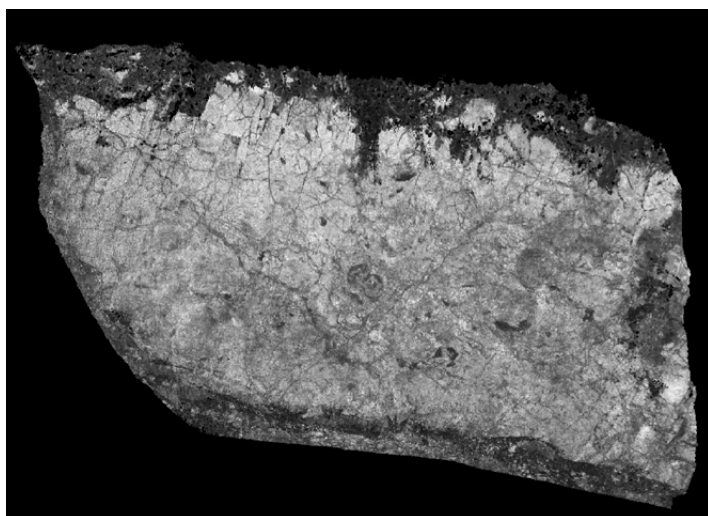
Modélisation 3D en courbes de niveaux.





## Paléontologie Anthropologie

Les technologies de mesures et de numérisation 3D offrent aux sciences de nouveaux outils d'investigation lors de découvertes et des reconstitutions notamment.

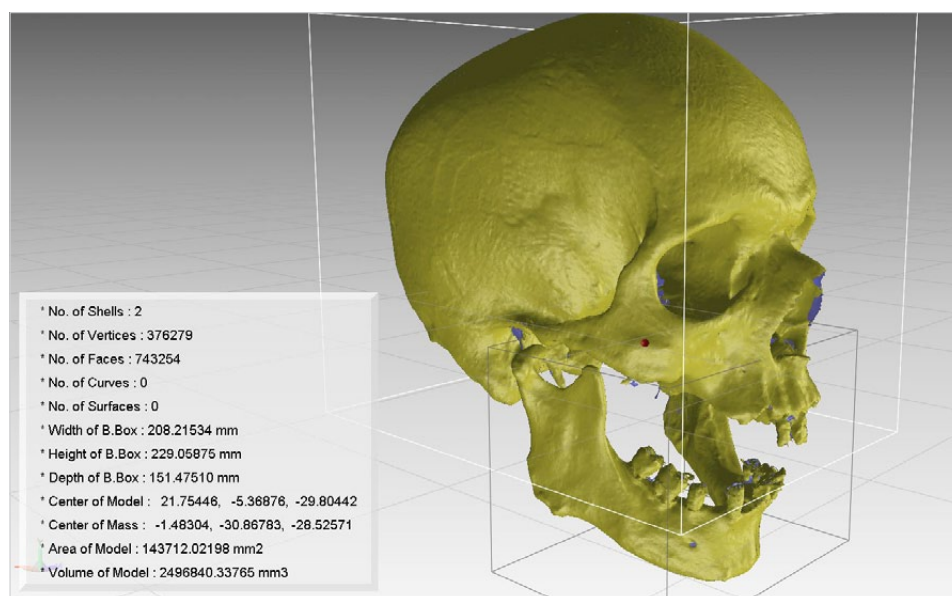


Sites à pistes de dinosaures de Coisia (F). Découvert fortuitement lors de l'élargissement de la route, ce site comporte trois dalles à pistes de sauropodes. Elles ont été mesurées par laserométrie en une journée avec une densité de 25 points par cm<sup>2</sup>. Ces traces de dinosaures seraient les plus grandes connues à ce jour, selon le Centre national de la recherche scientifique.

Représentation de la même zone de détail d'une surface d'environ deux mètres sur deux avec un positionnement différent de l'éclairage virtuel (ci-dessus).



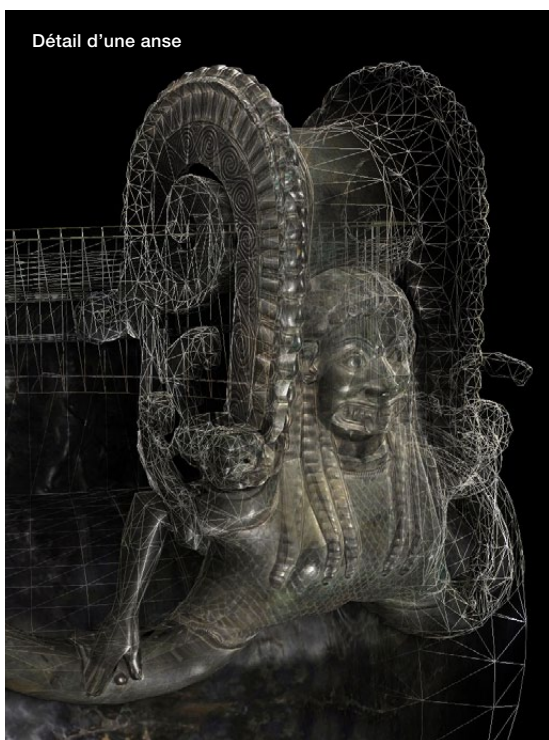
Mesure tridimensionnelle d'un crâne à des fins d'identification médico-légale. Archéotech SA a procédé à la numérisation 3D du crâne présumé d'un anglais vivant au XVIII<sup>e</sup> siècle. A partir de ces données, l'institut d'anthropologie de l'université de Southampton a réalisé une reconstitution du visage.





## Mobilier archéologique

La numérisation du grand vase de Vix a nécessité la mise en œuvre de moyens spécifiques. La difficulté était de mesurer des aspects de type architectural et des niveaux de détails (frise, anses) imposant des outils de mesure propre à l'orfèvrerie.



Détail d'une anse



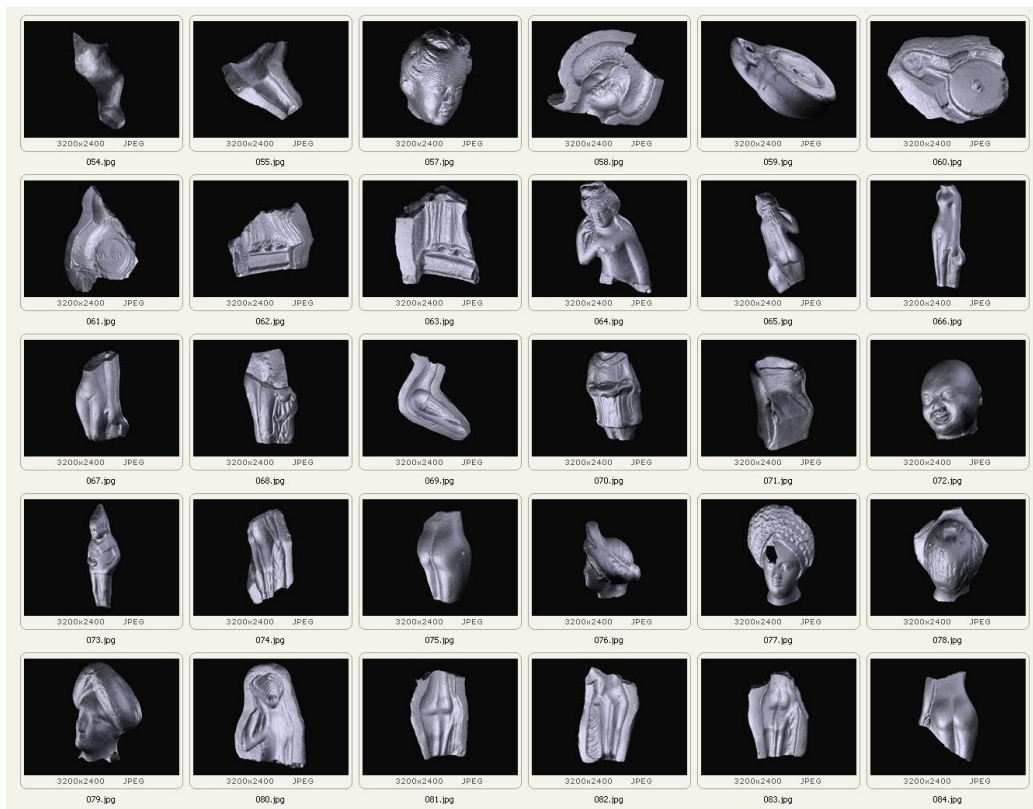
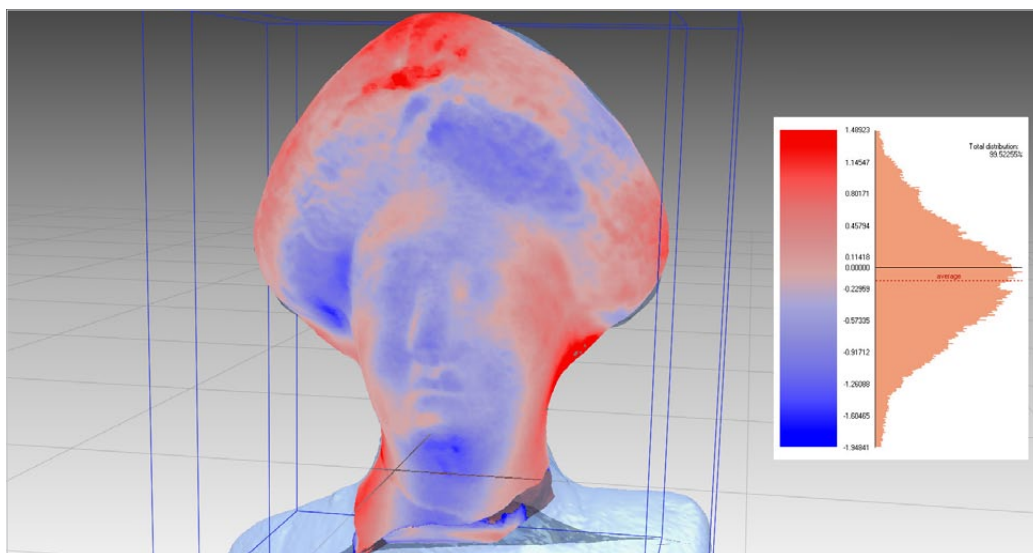
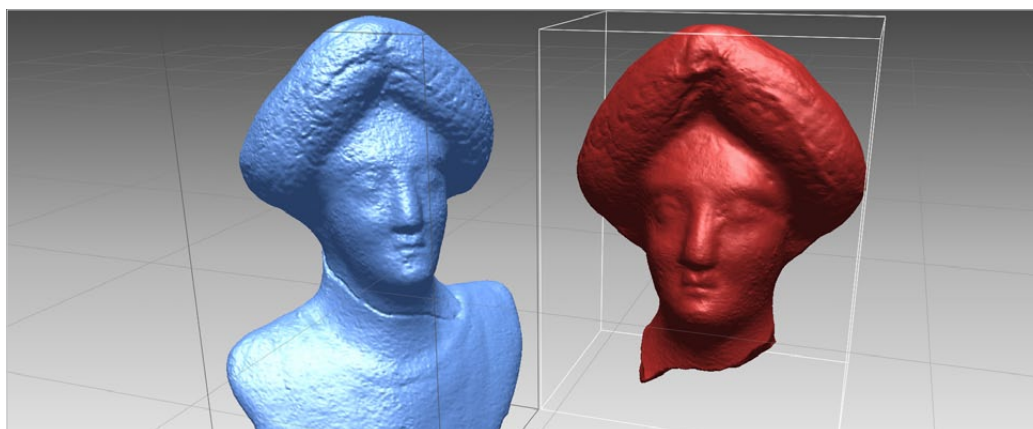
1,64 m

Cratère et mobilier de la tombe princière de Vix, Châtillon-sur-Seine (F). Fabriqué vers 530 avant notre ère en Grande Grèce (Italie du Sud), le cratère est le plus grand vase en bronze connu à ce jour dans le monde grec. Dans le cadre du projet Divine, l'ensemble a été numérisé et modélisé pour fournir des supports tridimensionnels au nouveau système de guide muséographique. La principale difficulté de la mesure du vase résidait dans sa taille qui a nécessité des moyens spécifiques à l'architecture alors que le niveau de détails de la frise et des anses imposait ceux propres à l'orfèvrerie.





La numérisation laser 3D sert à l'étude comparative des objets. Des algorithmes de reconnaissance automatique des formes et la technique de «reverse engineering» sont utilisés pour comparer virtuellement les pièces et déterminer leur degré de similitude.

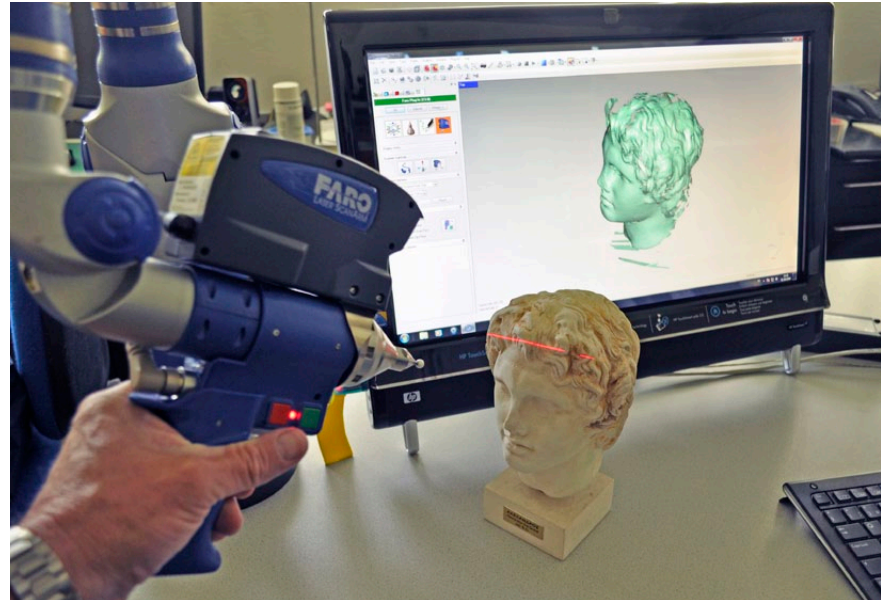
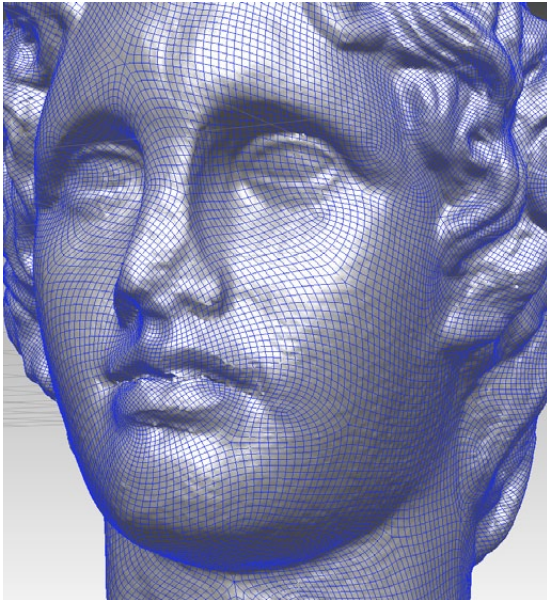


Projet européen «Sculpteur». Relevé, modélisation 3D et étude comparative des collections de céramique blanche conservées dans différents musées de France (Bourbon-Lancy, Moulins, Alésia, Châtillon-sur-Seine, Langres).

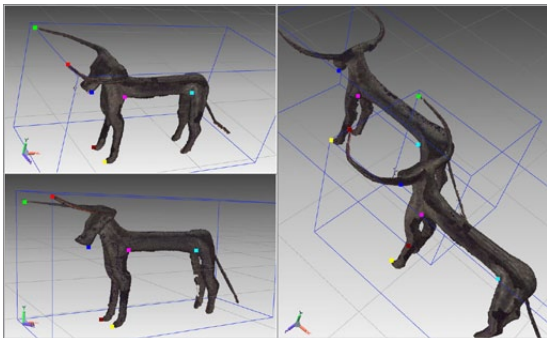
Le projet visait le développement d'algorithmes de reconnaissance automatique des formes. Le corpus des céramiques blanches étant bien connu (céramique moulée), Archéotech SA a procédé à la numérisation de plusieurs centaines de pièces et notamment des moules retrouvés en fouilles. Les pièces ont pu être comparées virtuellement grâce à des outils de «reverse engineering» issus du monde de l'automobile qui ont permis de quantifier leur degré de ressemblance. Le projet a permis la création d'une bibliothèque 3D de plusieurs milliers d'objets.



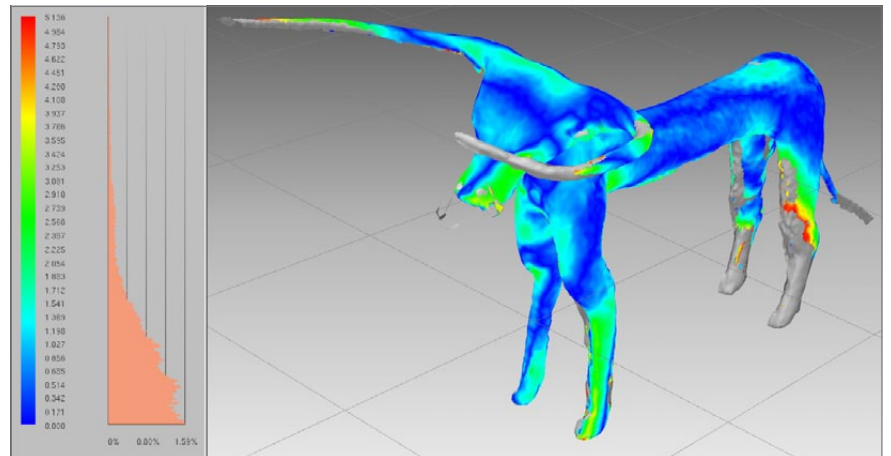
La numérisation laser permet la comparaison géométrique des objets d'art et facilite la cartographie de leurs différences. Champ d'enquête passionnante pour authentifier l'original des copies ou confronter les analyses des laboratoires.



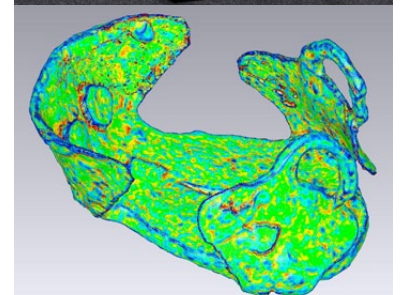
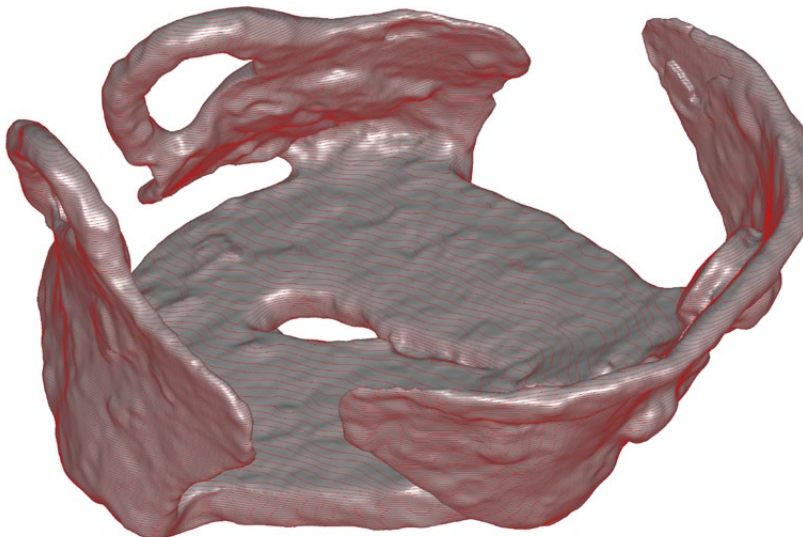
Le bras Faro Platinum doté de la tête de capture laser Line Probe III permet la saisie des objets avec une finesse et une précision inégalées.



Musée d'art et d'histoire Genève (GE).  
Numérisation et comparaison géométrique de 2 bœufs en bronze mésopotamiens. La cartographie des écarts montre la similitude des deux pièces alors qu'une différence est détectée sur la patte postérieure gauche. Les analyses en laboratoire ont montré qu'une pièce aurait été restaurée dans l'antiquité déjà.



Musée cantonal d'archéologie Sion (VS).  
Numérisation d'une hyposandale en fer de l'époque romaine dont l'état de corrosion du métal ne permet plus d'assurer sa conservation.



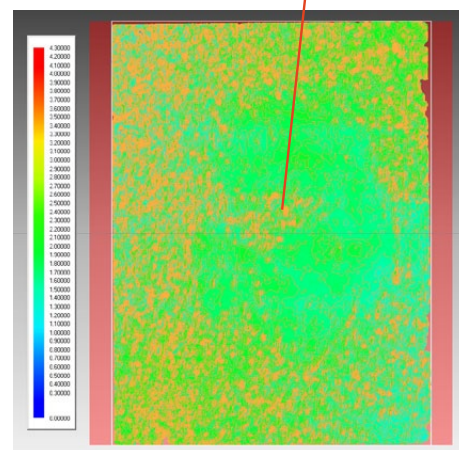


## Détails

Les capteurs des scanners 3D atteignent une précision ultrafine. Des niveaux de détails invisibles à l'œil nu sont alors détectés. De nouvelles perspectives d'exploration du réel passionnent les restaurateurs et responsables de la protection des patrimoines.



Château de Valère, Sion (VS).  
Numérisation fine des pierres de tailles des ouvertures (ci-contre). Grâce à un système de compensateur dynamique mis au point lors des mesures effectuées au CERN, il est désormais possible de numériser avec une grande précision depuis des échafaudages.



Musée Thomas Henry, Cherbourg-Octeville (F).  
Numérisation systématique de l'œuvre de François Millet. La cartographie 3D du tableau permet de mettre en évidence le maniérisme du travail du peintre (ci-dessus).



## Sculptures

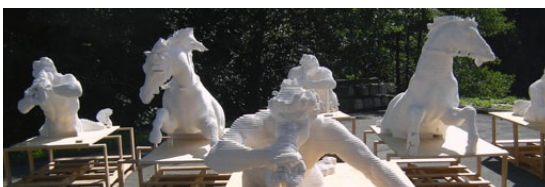
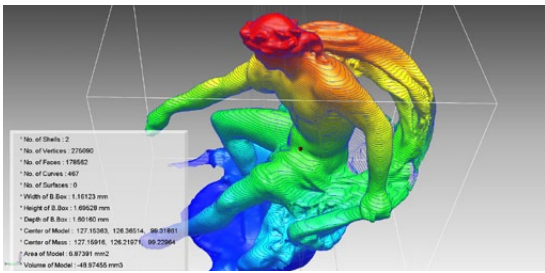
La numérisation des 14 statues du Bassin d'Apollon à Versailles a fourni les bases géométriques à la réalisation d'une reproduction de l'ensemble. Chaque statue a été modélisée, réalisée en Forex, moulée et reproduite en plâtre comme modèle pour les sculpteurs.



Bassin d'Apollon, château de Versailles (F).  
Numérisation et reproduction du groupe de statues.



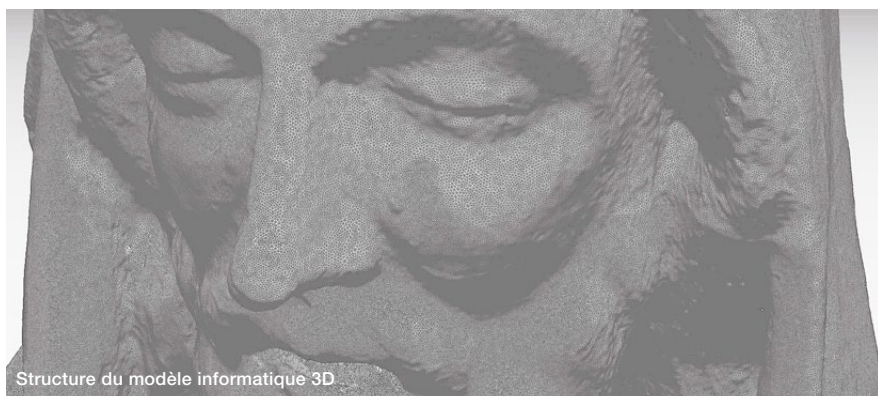
A la demande d'une fondation à Taiwan pour la découverte de l'art occidental, le cabinet parisien d'expertise d'art de Gilles Perrault a été mandaté pour réaliser une reproduction du groupe de statues (14 x 14 mètres). Archéotech SA a numérisé l'ensemble des 14 sculptures depuis les bords du bassin (diamètre d'environ 100 mètres) pour fournir une base géométrique exacte aux sculpteurs de l'atelier Perrault. Chaque statue a ensuite été modélisée dans le logiciel Rapidform. En collaboration avec l'entreprise Serex Construction Plastic à Puidoux, nous avons calculé des profils correspondant à l'épaisseur des plaques de Forex qui allaient être usinées. Elles ont été découpées et collées les unes aux autres pour reconstituer les formes de chaque statue. Sur ces bases, les sculpteurs de l'atelier Perrault ont appliqué une couche d'argile avec laquelle ils ont reconstitué tous les détails décoratifs. Ces archétypes ont été moulés et reproduits en plâtre dur afin de servir de modèles pour leur exécution en marbre par un atelier de sculpteurs à Carrare en Italie.



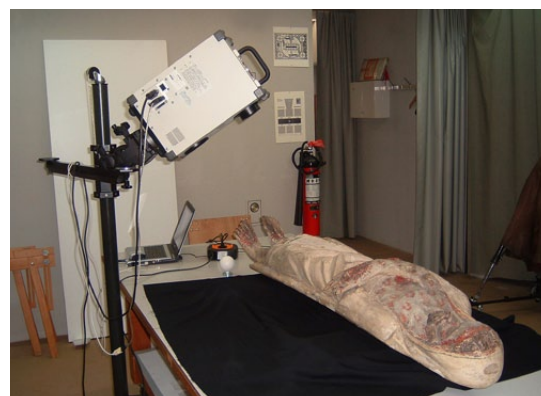
A gauche, de haut en bas : numérisation laser à longue distance du groupe de statues ; édition du modèle 3D de chaque statue dans Rapidform ; le modèle 3D de l'ensemble ; le modèle 3D d'Apollon et sa reproduction en Forex blanc ; statues produites en Forex. Haut de page : détail d'un modèle 3D généré dans Rapidform. Ci-dessus : détails décoratifs réalisés par les sculpteurs de l'atelier de Gilles Perrault par pose d'une couche d'argile sur les statues en Forex.



A des fins conservatoires, les trésors originaux du sépulcre Pascal du Couvent de la Maigrauge sont devenus des copies. Nombre d'intervenants spécialisés ont collaboré à ce travail minutieux qui a conjugué artisanat et technologies d'avant-garde.



Structure du modèle informatique 3D



Le modèle informatique 3D texturé



Copie de la statue en bois à la sortie d'usage



La statue originale

Copie de la statue usinée en bois et peinte



Orthophoto de l'intérieur du sépulcre



Sépulcre Pascal du Couvent de la Maigrauge, Fribourg (FR).  
Numérisation et reproduction en fac simile du coffre, de ses peintures et de la statue du Christ (XIVe siècle).

La statue du Christ et son sépulcre sont des pièces majeures de la sculpture et de la peinture gothiques sur bois en Suisse. A des fins conservatoires, ils ont été remplacés par des copies. Le coffre, ses peintures et la sculpture du Christ ont été numérisés et reproduits physiquement en trois dimensions. Les peintures des parois du coffre ont été mesurées par photogrammétrie, les différentes prises de vues assemblées et rectifiées.

Elles ont été ensuite reproduites à l'échelle en haute définition sur un support analogue à celui du marouflage d'origine pour servir de garniture des parois de la copie. La statue du Christ a été usinée dans du bois de peuplier sur une fraiseuse à commandes numériques de l'école d'ingénieurs de Genève. A sa surface, un restaurateur d'art a appliqué une copie de la polychromie originale.



## Modélisation 3D-4D

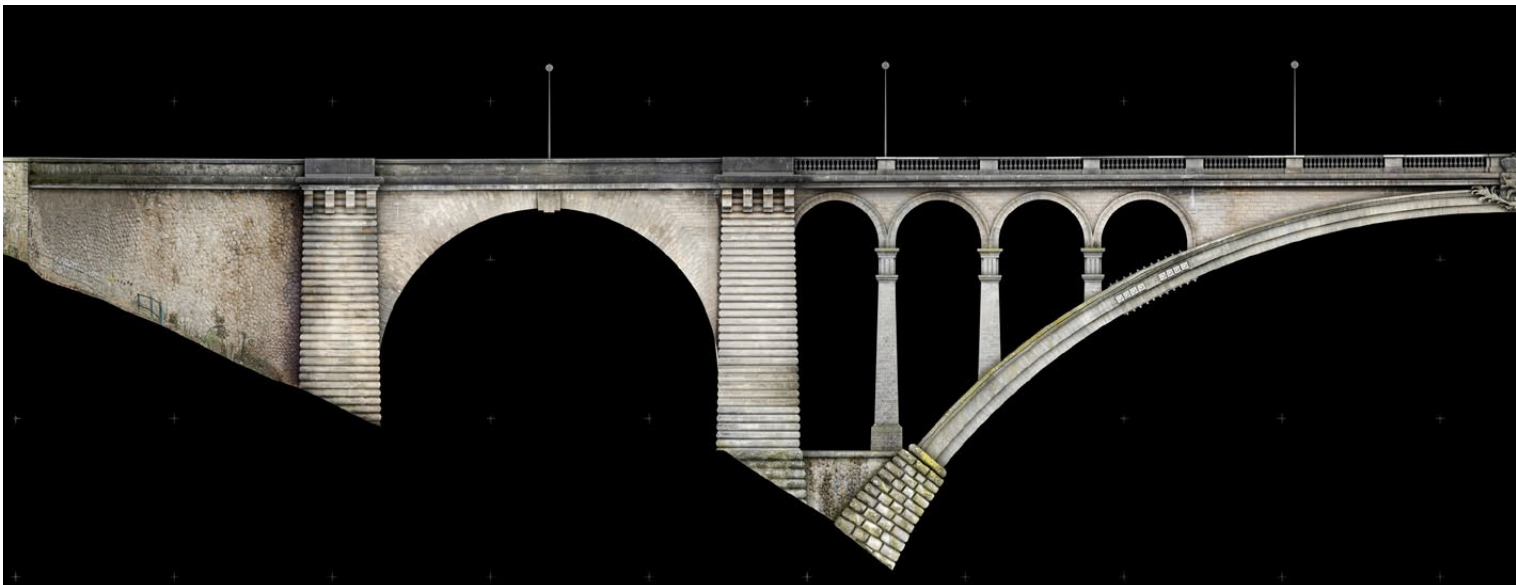
Du micro-détail révélateur de traces d'outil aux surfaces texturées en haute résolution, les modélisations 3D-4D mettent en lumière les moindres fragments. Sculptures, tout ou parties d'un édifice peuvent alors être reproduits en fac simile.



Pilier de Saint-Landry, Musée de Cluny, Paris, (F).  
Relevé laserométrique d'un bloc du pilier (ci-dessus).

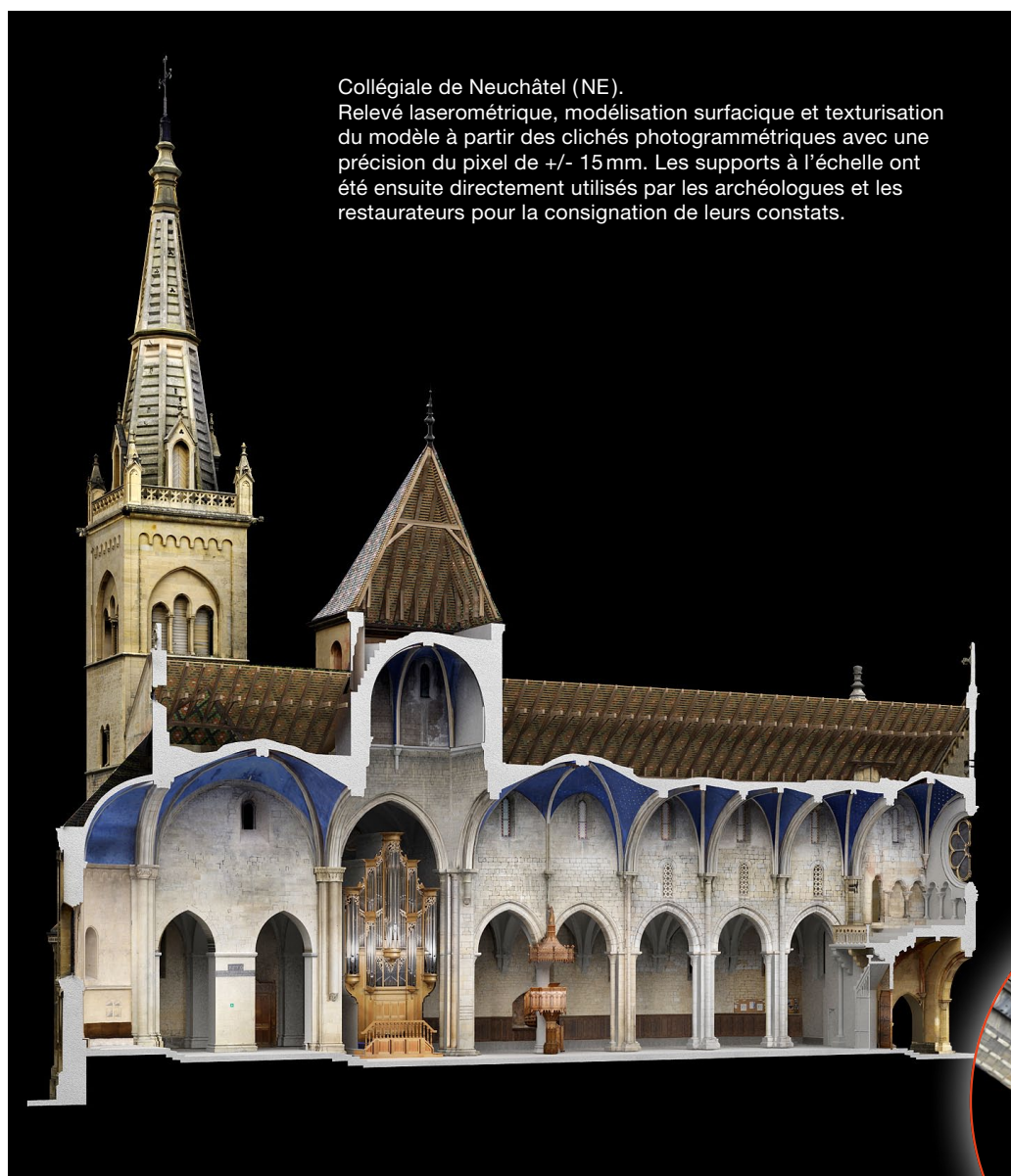
Portail sud de la Cathédrale de Lausanne (VD).  
Relevé laserométrique et création du modèle 3D texturé en haute résolution (à droite).

La modélisation 4D intègre la dimension du temps.  
Les modèles 3D sont mis en mouvement pour créer des animations, des visites virtuelles.

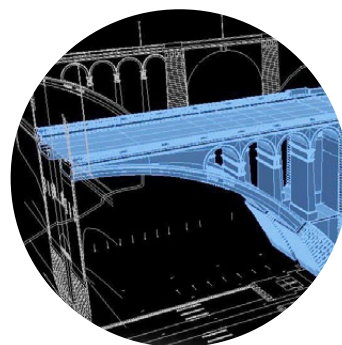
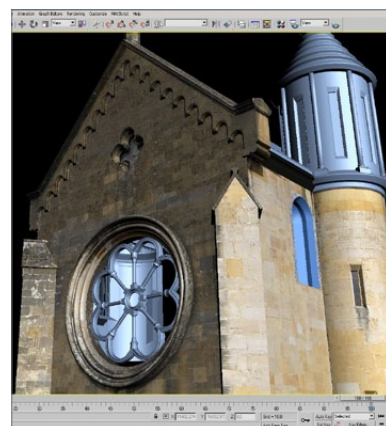




La haute résolution des relevés, la modélisation surfacique et la texturisation des objets donnent une autre vision des œuvres du patrimoine : une précision et un souci du détail recherchés par les archéologues et les restaurateurs d'ouvrages d'art.



Collégiale de Neuchâtel (NE).  
Relevé laserométrique, modélisation surfacique et texturisation du modèle à partir des clichés photogrammétriques avec une précision du pixel de +/- 15 mm. Les supports à l'échelle ont été ensuite directement utilisés par les archéologues et les restaurateurs pour la consignation de leurs constats.



Chaque pierre du pont est mesurée, dessinée et répertoriée dans le modèle 3D.

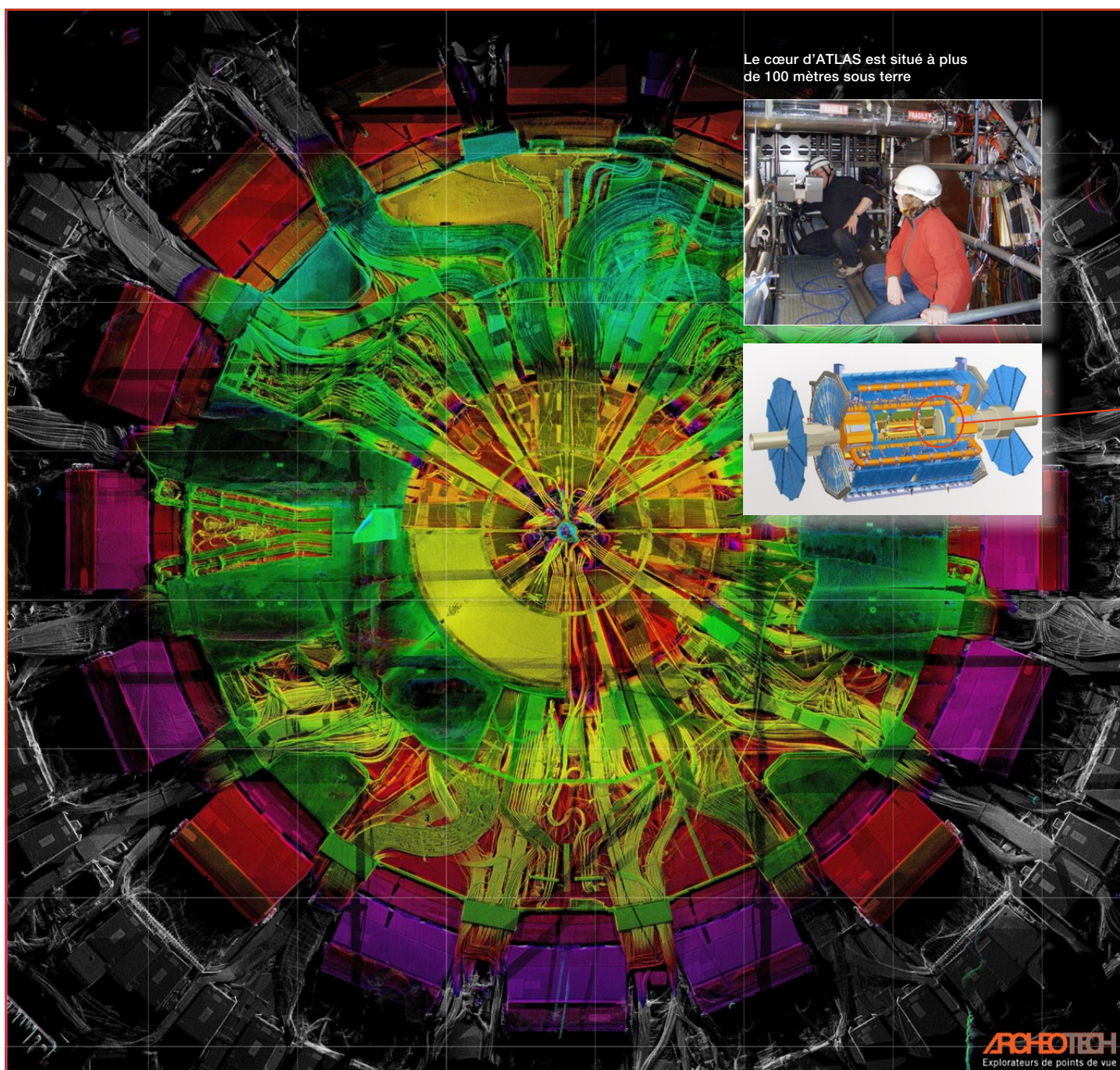
Pont Adolphe à Luxembourg.  
Relevé laserométrique et modélisation 3D.

Plus de 700 photographies métriques ont été plaquées sur le modèle 3D avec une précision de +/- 15 mm. Ces supports devront permettre l'identification de chaque pierre au moment de la réalisation du projet de déconstruction-reconstruction du pont.



## À la mesure du futur

Grande première au CERN, un relevé laserométrique 3D a été effectué au cœur d'Atlas. Les buts: cartographier au millimètre les câblages, mesurer les espaces résiduels encore utilisables afin de placer les infrastructures nécessaires à de nouveaux capteurs.



Le cœur d'ATLAS est situé à plus de 100 mètres sous terre



«La réalisation de ce projet est une « grande première » pour les services du CERN impliqués, en particulier dans les améliorations des performances et les études des futurs détecteurs!»

Christian Lasseur, chef du service de géodésie du CERN, Meyrin.

Le CERN à Meyrin (GE) et ses services de métrologie de positionnement BE/ABP/SU, d'étude et de développement des nouveaux détecteurs PH/DT et plus particulièrement d'intégration de ATLAS PH/ADO ont mandaté Archéotech SA pour un relevé laserométrique de différentes parties du cœur d'ATLAS. Les buts étaient d'obtenir une cartographie « au millimètre » des câblages et de détecter les espaces résiduels pouvant être encore utilisés pour placer les infrastructures nécessaires aux nouveaux capteurs. Douze stations de mesures réparties sur trois niveaux ont été placées.

Deux nuages de points totalisant chacun près d'un milliard de points 3D ont été enregistrés. Les principales difficultés résidaient dans le manque de recul, la complexité d'accès, l'instabilité de l'échafaudage et surtout la nécessité d'une mise en géoréférence inframillimétrique des différentes stations de mesure. La taille des fichiers obtenus a également posé des problèmes qu'il a fallu résoudre. La société HKD Géomatique SA a collaboré avec Archéotech SA sur ce mandat.