

L'espace 3D : de la photogrammétrie à la lasergrammétrie

Michel Maumont



Édition électronique

URL : <http://journals.openedition.org/insitu/6413>

DOI : 10.4000/insitu.6413

ISSN : 1630-7305

Éditeur

Ministère de la culture

Référence électronique

Michel Maumont, « L'espace 3D : de la photogrammétrie à la lasergrammétrie », *In Situ* [En ligne], 13 | 2010, mis en ligne le 16 avril 2012, consulté le 19 avril 2019. URL : <http://journals.openedition.org/insitu/6413> ; DOI : 10.4000/insitu.6413

Ce document a été généré automatiquement le 19 avril 2019.



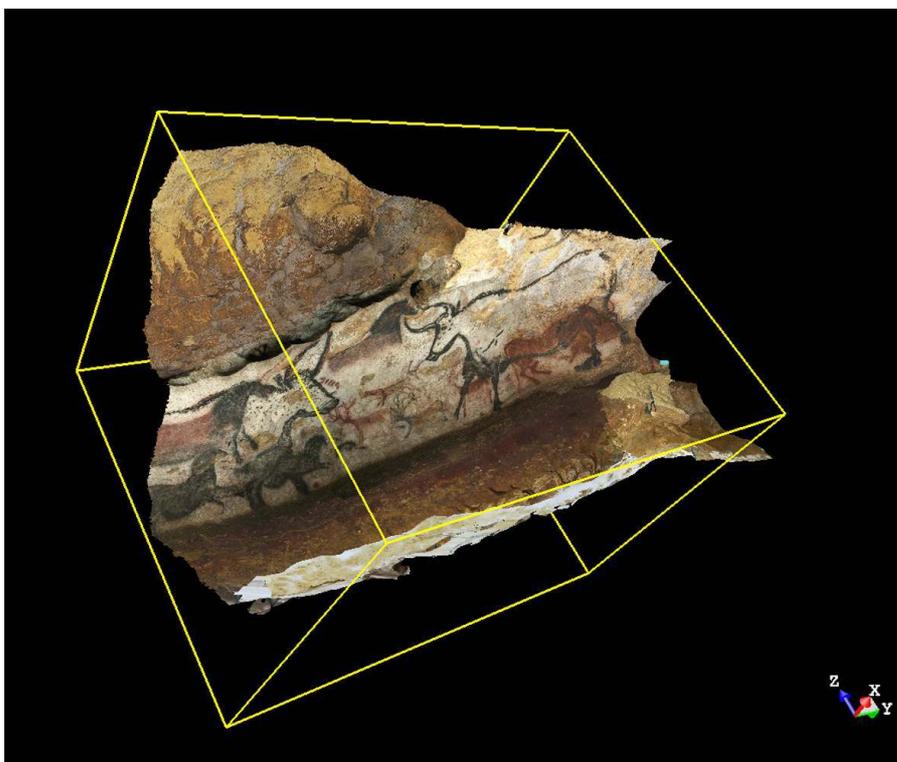
In Situ Revues des patrimoines est mis à disposition selon les termes de la licence Creative Commons Attribution - Pas d'Utilisation Commerciale - Pas de Modification 4.0 International.

L'espace 3D : de la photogrammétrie à la lasergrammétrie

Michel Maumont

Introduction

Figure 1



Projection isométrique 3D. CNP d'après MNT Cabinet Perazio
© Ministère de la Culture/DRAC Aquitaine

- 1 Dans les domaines de la représentation virtuelle en trois dimensions, nous disposons aujourd'hui de produits très attractifs qui révèlent le plus souvent une grande exhaustivité. Il est cependant nécessaire de connaître la nature et la genèse de ces produits, afin de s'assurer de leur véracité alliant conformité et exactitude par rapport à la réalité (**fig. n° 1**).
- 2 Parallèlement, les techniques actuelles, à travers leurs récentes offres technologiques et leur mise en application, permettent aux différents intervenants, techniciens de la mesure et chercheurs/archéologues, d'être souvent plus indépendants, ce qui ne doit pas les autoriser à s'affranchir pour autant des compétences nécessaires et des exigences inhérentes à chaque domaine. Depuis une vingtaine d'années, parmi les différents systèmes de saisie tridimensionnelle, deux techniques de mesure et d'enregistrement 3D, aboutissant à l'élaboration de relevés numériques, ont été ou sont principalement utilisées dans le domaine patrimonial, car les plus efficaces : la photogrammétrie et la lasergrammétrie¹. Avec l'assistance de l'informatique, ces deux procédés permettent depuis environ trois décennies d'appréhender la restitution des relevés TQS (*Tel Que Saisi*) de manière tridimensionnelle et de donner naissance aux représentations virtuelles.
- 3 Force est de constater que dans leur mise en œuvre actuelle, une technique semble supplanter l'autre. Dans le même temps, la littérature spécialisée récente fait état d'un certain nombre d'études prolixes en comparaisons de méthodes de relevé, à travers des applications diverses. Ces études rapportent un solde de résultats – quelquefois un peu surprenants – qui peut donner lieu à quelques interrogations.

- 4 Notre propos est ici, tout en replaçant ces deux techniques dans une perspective historique, d'en comparer les qualités respectives. Adaptée au domaine de l'art rupestre, cette réflexion repose sur l'analogie et l'analyse critique – objective – de ces deux techniques à travers leur évolution, leur spécificité, leur capacité de rendu et de précision, leurs points forts et leurs limites. Dans cette approche seront volontairement occultés les modes opératoires qui sont – certes liés aux techniques – mais aussi inhérents à chaque cas de figure et chaque spécialiste. Il en sera de même pour la notion de coût dans ses détails.
- 5 Il convient toutefois de souligner qu'à travers les nouvelles offres proposées, nous sommes de plus en plus exigeants dans l'exhaustivité des produits restitués. Nous devons garder à l'esprit que ces ressources génèrent le plus souvent des coûts, lesquels sont également dépendants de chaque cas de figure, site, produit, technique mise en œuvre et de chaque prestataire. Si cependant nous devons lier les coûts afférents aux techniques utilisées, nous retiendrons que de manière générale, ces derniers ont un rapport direct avec la précision topographique et la richesse des produits. Avant de comparer ces deux techniques et leur apport dans le domaine du relevé, il convient d'appréhender la 3D numérique, de circonscrire ses capacités afin de bien fixer les finalités des projets.

Définition de la 3D

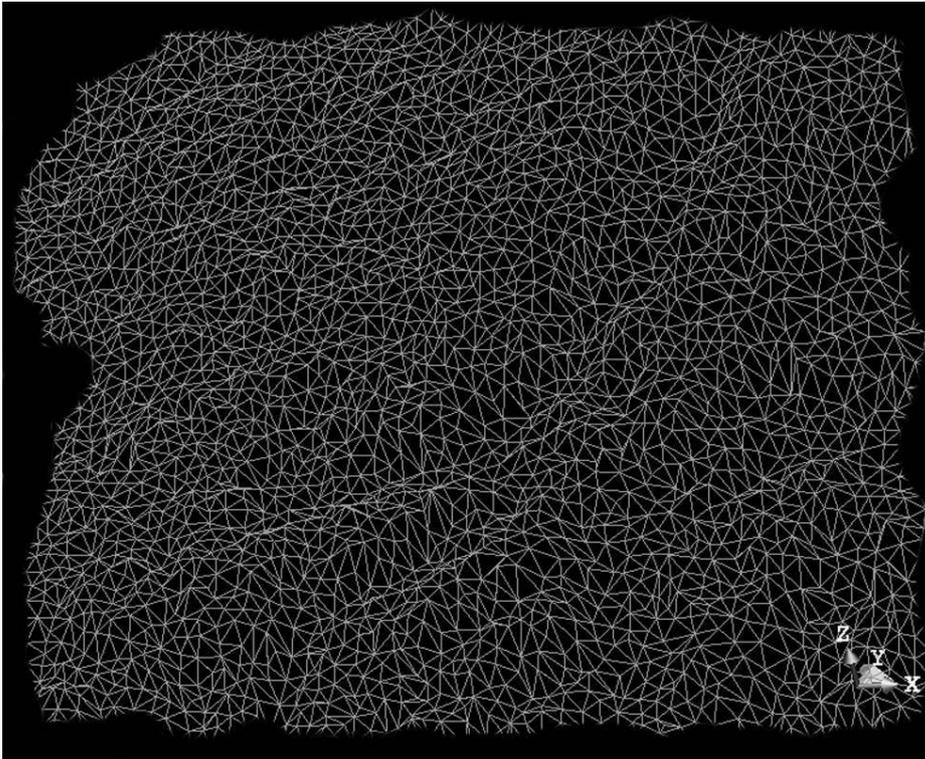
- 6 Le relevé d'un objet consiste en un enregistrement de données spatiales collectées et restituées sur un support, graphique ou numérique. On peut noter que les technologies actuelles permettent l'acquisition et le rendu d'échelles, de mesures et de textures virtuellement identiques à l'objet initial. Dans le vocabulaire du relevé, la 3D est devenue une locution très usuelle. Nous devons imaginer que c'est d'abord la représentation de l'espace appréhendé grâce à notre vision binoculaire et à la perception du relief. Dans les domaines qui nous intéressent, il s'agit surtout de la représentation numérique d'un objet dans l'espace, dans son environnement et, implicitement, suivant un référentiel isométrique qui soit, en outre, mesurable suivant ses trois axes.
- 7 La mesure réelle en 3D – dans un concept géométrique – n'est pas une notion nouvelle ; elle est usuelle dans les périodes antiques et nous pouvons imaginer que sa perception est liée à l'appréhension de la notion de droite par l'être humain. L'innovation depuis deux décennies repose sur les méthodes d'enregistrement et de restitution de cette mesure qui sont dues essentiellement au développement récent et aux capacités de l'informatique. Le relevé en 3D n'est pas une seule entité : c'est une élaboration – une chaîne opératoire – à partir de points tridimensionnels saisis (communément appelé MNT²), jusqu'à un produit défini préalablement suivant les besoins et les applications.

Figure 2



Semis de points XYZ. CNP d'après MNT Cabinet Perazio
© Ministère de la Culture/DRAC Aquitaine

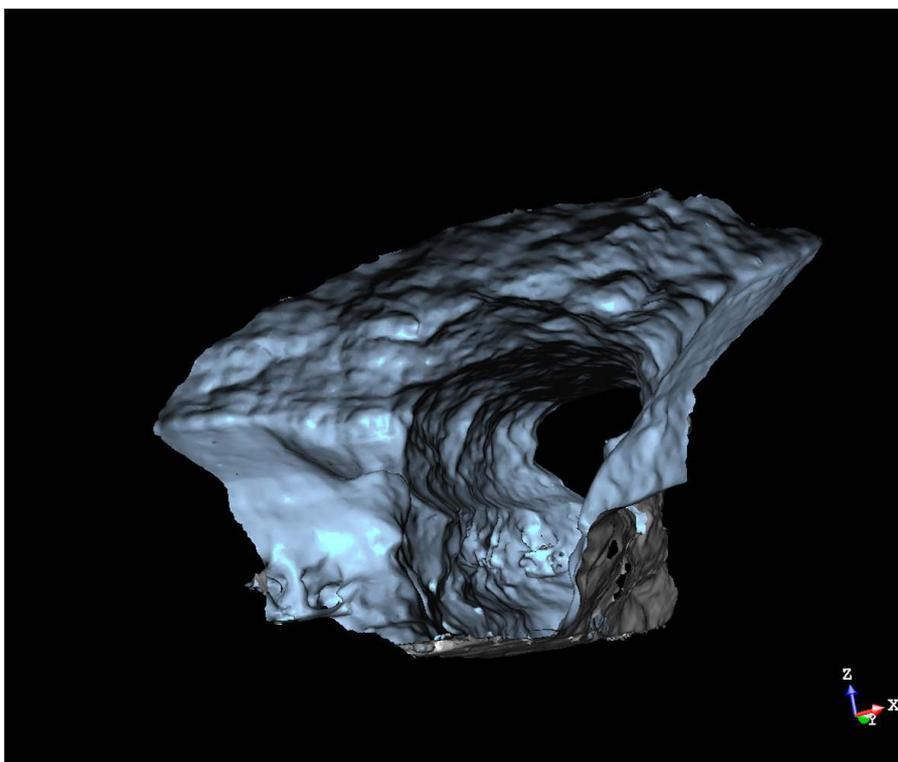
Figure 3



Maillage triangulé. CNP d'après MNT Cabinet Perazio
© Ministère de la Culture/DRAC Aquitaine

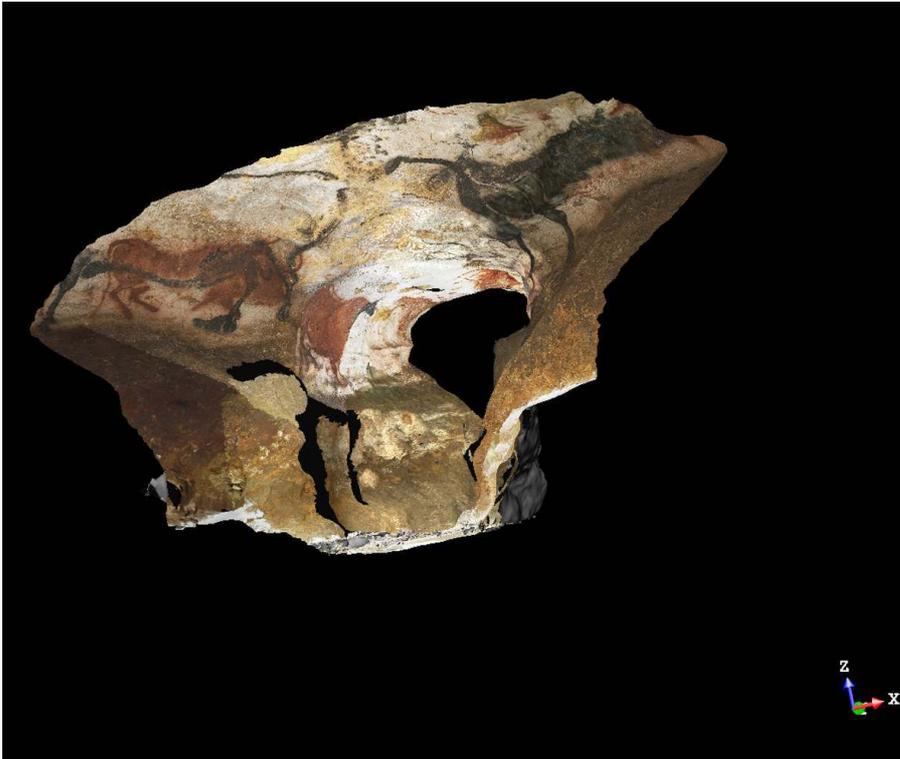
- 8 La 3D ou les modèles numériques de terrain appliqués aux figures pariétales peuvent être représentés par :
- un semis de points en coordonnées XYZ (**fig. n° 2**) ;
 - un maillage fil de fer (représentation apparentée à une surface polyédrique connexe) ; notons que ces maillages ressemblent aux calques froissés qu'utilisaient certains anciens spécialistes pour réaliser des relevés développés (**fig. n° 3**) ;
 - un maillage surfacé (créé à partir de facettes analytiques) à l'aide de modeleurs de surface (algorithme informatique) (**fig. n° 4**) ;
 - une texturation (habillage) qui restitue une image plus réelle de l'objet ; laquelle peut être, soit artificielle (informatique), soit conforme à l'existant et saisie sur site photographiquement (**fig. n° 5**).

Figure 4



Maillage surfacé. CNP d'après MNT Cabinet Perazio
© Ministère de la Culture/DRAC Aquitaine

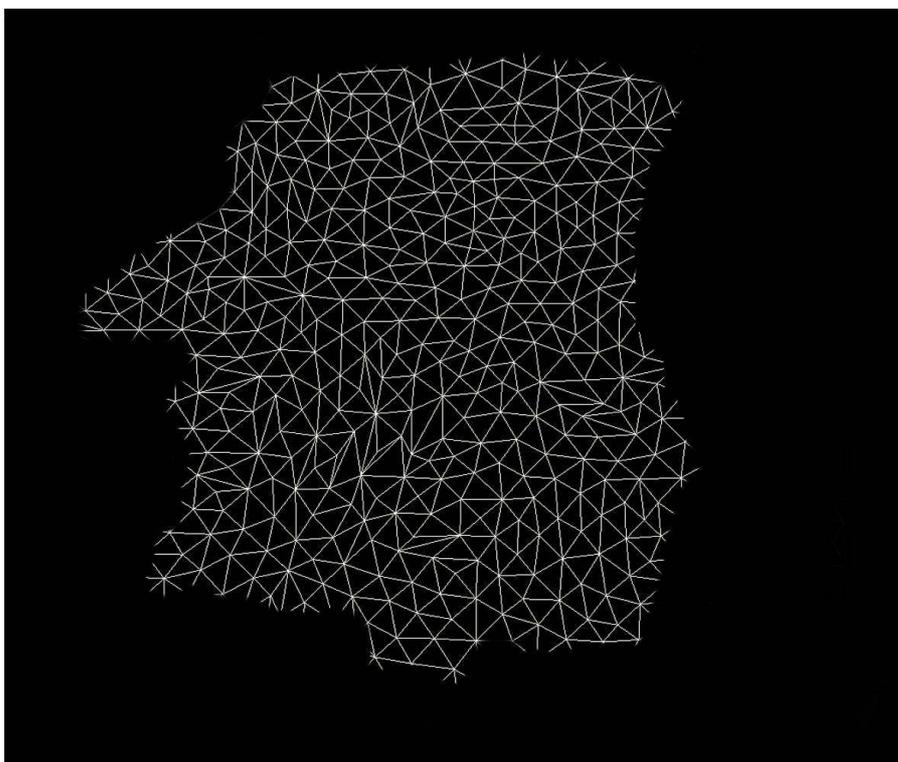
Figure 5



Maillage texturé. CNP d'après MNT Cabinet Perazio
© Ministère de la Culture/DRAC Aquitaine

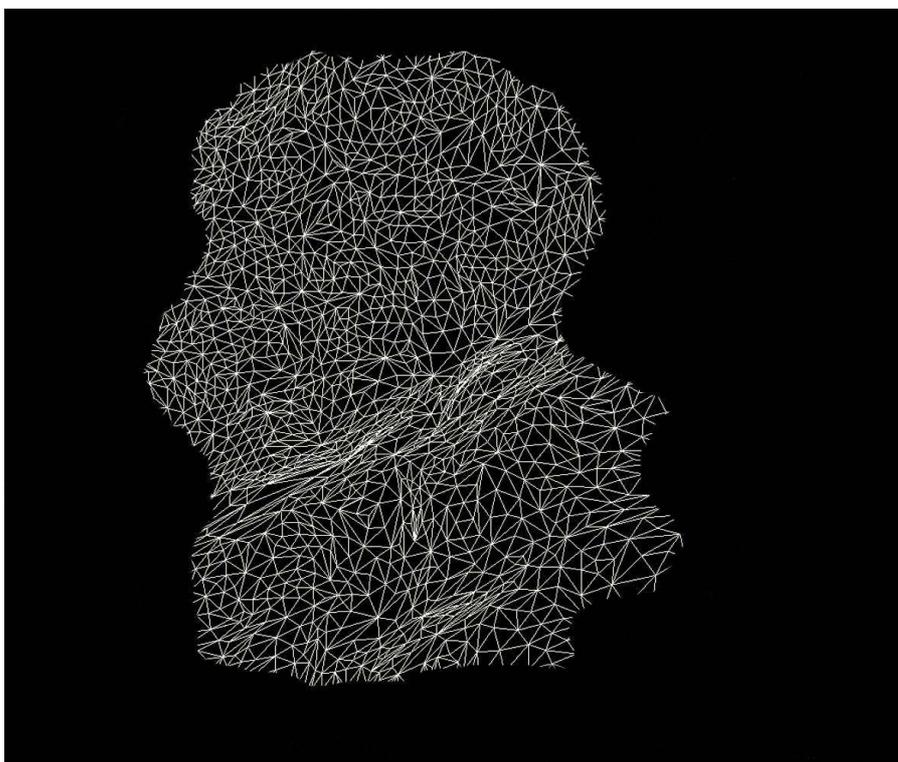
- 9 Plusieurs types de maillages peuvent être imaginés : réguliers ou tenant compte au plus près de la topographie et des caractéristiques de l'objet ou les deux réalisés complémentaires (**fig. n° 6, n° 7**). En effet, il faudra nécessairement que le MNT corrèle au plus près la structure des objets relevés. Ce problème sera le plus souvent résolu en densifiant le semis des points relevés.

Figure 6



Maillage triangulé régulier. CNP d'après MNT Atelier de Photogrammétrie
© Ministère de la Culture/DAPA

Figure 7



Maillage triangulé. CNP d'après MNT Atelier de Photogrammétrie
© Ministère de la Culture/DAPA

La texturation ou le « mappage »³

- 10 Une autre phase importante de la restitution est le *mappage* ou la superposition de texture. Dans ce contexte, il s'agit essentiellement du *mappage* de texture réelle (image), considérant que les textures artificielles (fabriquées) sont développées le plus souvent pour des applications industrielles ou architecturales.

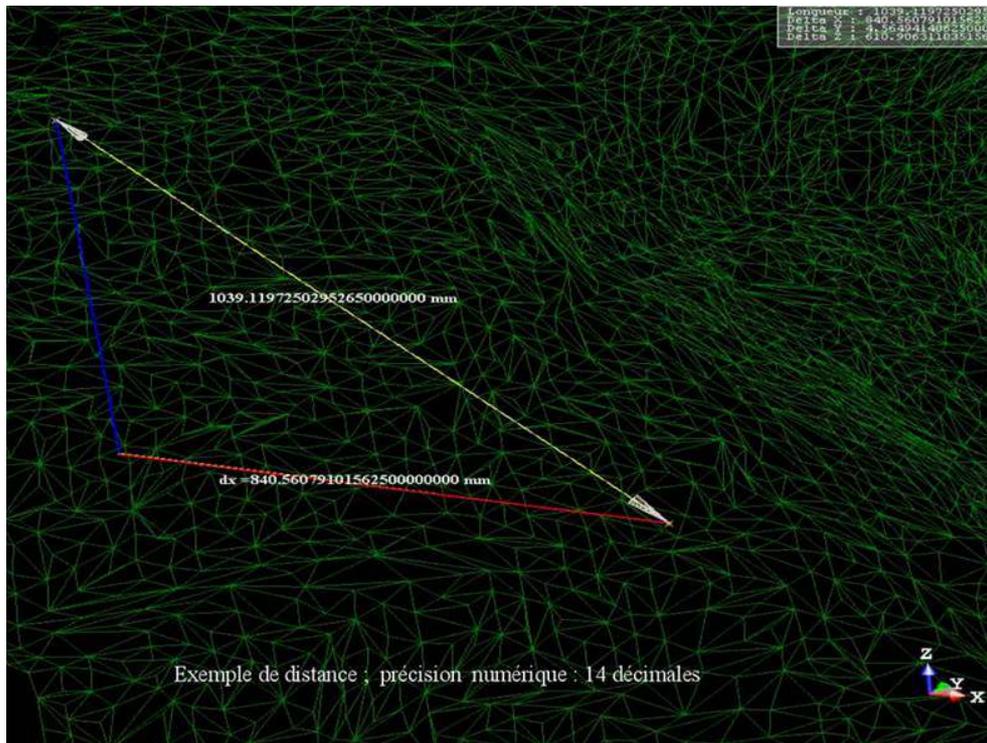
Figure 8



Texturation photographique. CNP d'après MNT Cabinet Perazio
 © Ministère de la Culture/DRAC Aquitaine

- 11 Le *mappage* idéal réside dans l'association du modèle numérique de terrain et de l'image numérique correspondante à la surface saisie : ce produit restitue un maximum d'informations et s'impose en premier lieu comme un constat objectif (**fig. n° 8**). Toutefois, si un MNT texturé restitue une image attractive, il demeure artificiel et peut présenter des imprécisions. Superposer l'image d'un objet issue d'une perspective conique sur une surface polyédrique développée est en effet un exercice qui présente de grandes difficultés mathématiques. Dans l'état actuel des procédés appliqués, l'image obtenue est toujours anamorphosée donc déformée. Dès lors, sa géométrie n'est plus respectée et il conviendra d'être prudent avec les mesures prises sur l'image restituée en 3D.
- 12 Dans les faits, nous savons que l'association d'un modèle numérique de terrain bien réalisé et d'images de grande définition réduisent qualitativement ce principe de fausseté.

Figure 9



Précision numérique. CNP d'après MNT Cabinet Perazio
© Ministère de la Culture/DRAC Aquitaine

- 13 Mais nous savons aussi que le numérique propose toujours des résultats. Il peut avoir des effets artificieux : les images restituent, les vecteurs et les maillages se raccordent, les valeurs numériques peuvent présenter des décimales sans fin (**fig. n° 9**). Aujourd'hui, certains outils permettent de coller une image d'origine quelconque sur un MNT qui ne lui correspond pas, et même de mesurer sur cette image....
- 14 Il faut aussi reconnaître que nous attribuons au numérique une résonance particulière, quelque chose d'un peu « spéculaire » dans ses facultés. Nous imaginons toujours que les chiffres sont plus précis que le graphique. Or le graphique et ses représentations génèrent des questions, alors que le numérique a tendance à les occulter. Pourtant, ce *mappage*, cette texturation « vraie », s'avère absolument indispensable pour se repérer dans la représentation d'un objet en trois dimensions. C'est le produit vers lequel il faut tendre et œuvrer pour ses développements.

Champs d'application de la 3D

- 15 La 3D permet d'appréhender, par la visualisation et par la mesure, la volumétrie d'un objet.
- 16 Dans la démarche d'étude et de conservation du patrimoine, le relevé d'art rupestre pose depuis toujours de grandes difficultés dues à :
- la complexité des formes naturelles ;
 - les contraintes d'accès au milieu souterrain ;
 - le manque d'orthogonalité géométrique sans plan de projection référencé ;

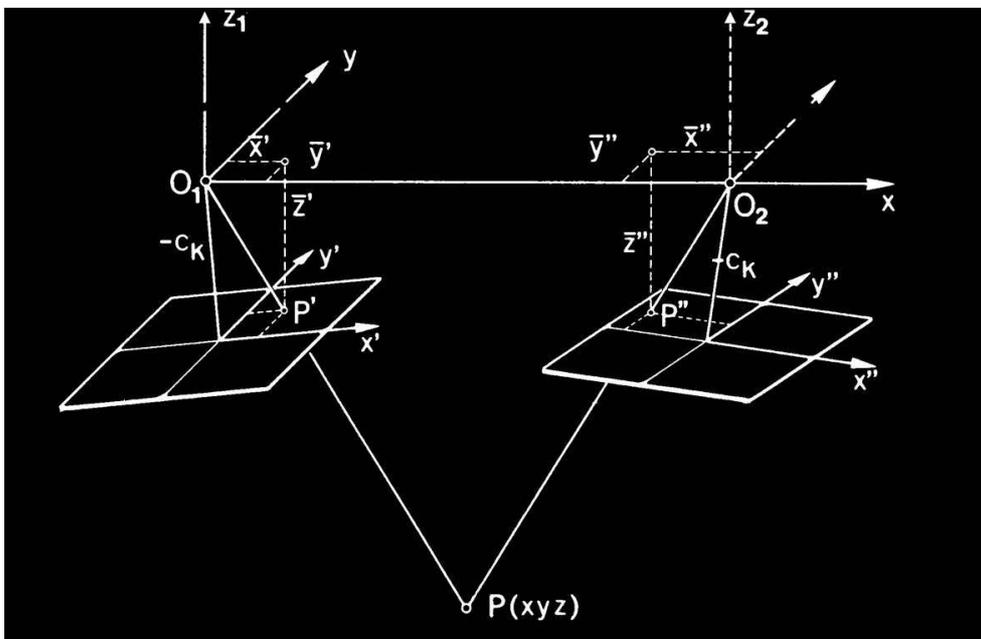
- la nécessité d'associer sur un seul relevé, à la fois l'ensemble des surfaces (parois, sols et plafonds) pour obtenir une vision globale de la cavité et l'ensemble des observations effectuées sur ces surfaces (aspect et morphologie du support, des représentations, états de conservation de l'un et de l'autre, présence de traces et de vestiges archéologiques au sol ou sur les parois, etc.).
- 17 L'avantage de la 3D est tout d'abord de s'affranchir des difficultés des plans de projection rencontrés lors de la mise en œuvre de techniques auparavant utilisées et d'offrir une possibilité de déplacement virtuel sur ou dans l'objet (grottes). La 3D numérique délivre des problèmes de représentations erronées du 2D (géométral isométrique ou vue perspective) ou plus ou moins bien développées (saisie sur transparent).
- 18 Nous devons toutefois faire abstraction du paradoxe suivant : le plus souvent cet espace, ce relief, cette 3D sont restitués ou visualisés sur un écran en deux dimensions. Nous observons toujours une image plane – au plus près d'une projection frontale – ou des images planes successives qui représentent une volumétrie, mais nous pourrions mesurer cet espace suivant un référentiel tridimensionnel.
- 19 Le relevé en 3D s'avère opérant pour l'aide à la protection, comme support scientifique, comme outil pédagogique et comme support de SIG⁴ :
- 20 – Aide à la protection :
- 21 Dans le cadre de la conservation et de la gestion des sites, il permet de localiser et mesurer les altérations de tous ordres, d'évaluer leur évolution et de situer toute intervention, analyse et prélèvement. Le relevé spatial constitue un outil de gestion de travaux et d'interventions sur site. Il restitue les mensurations exactes des cavités, la localisation de réseaux ou d'appareillages (passerelles, escaliers, échafaudages ...). Il permet le calcul linéaire, surfacique et volumétrique des espaces.
- 22 – Support scientifique :
- 23 Dans l'étude de l'art, le relevé 3D autorise la représentation fidèle, la localisation sur leur support des traces anthropiques et des entités pariétales, ainsi que la restitution des associations entre la figure, son support, le panneau et sa localisation dans l'espace. Dans l'étude géomorphologique et archéologique, il permet de restituer une forme disparue, **d'évaluer les évolutions** et transformations subies par l'environnement sous l'action de phénomènes naturels (érosions, éboulements...) ou anthropiques (désobstructions, fouilles...). Il donne accès à des modélisations numériques qui permettent, à des fins de recherche spécifique, de simuler la circulation de flux naturels (eau et air) ou d'éléments nuisibles (spores) ; il est ainsi un support à la connaissance de la climatologie souterraine. Nous pouvons citer le simulateur Lascaux (modélisation de Lascaux réalisé par D. Lacanette du Laboratoire TREFLE de l'UMR 8508).
- Outil pédagogique :
Le relevé 3D peut aussi servir de base à la fabrication de fac-similés virtuels ou physiques, comme support de produits culturels, éducatifs ou touristiques à destination de tous les publics.
 - Support de SIG :
Couplé avec des outils ou progiciels d'information géographique, le relevé 3D pourrait offrir ainsi des capacités de visualisation dynamique et interactive par géoréférencement de l'ensemble des données collectées (informatives et descriptives) inhérentes aux grottes ornées et à l'art rupestre.

Les techniques de relevé tridimensionnel

La photogrammétrie

- 24 La photogrammétrie permet la mesure d'un objet par l'étude de sa reproduction en perspective, généralement à l'aide de photographies ou d'images numériques. Même si la technique s'avère ancienne, elle demeure encore opérante dans certaines de ses applications, notamment dans la réalisation **d'orthophotographies numériques**⁵. La photogrammétrie est une technique rigoureusement exacte, c'est-à-dire que tous les points saisis par la méthode ont une définition mathématique (**fig. n° 10**). Cette technique est utilisée depuis pratiquement un demi-siècle dans les domaines les plus divers, notamment dans le domaine cartographique (*cartes au 25 000e*) et beaucoup d'applications terrestres, industrielles et notamment architecturales (**fig. n° 11**). Elle est également utilisée dans le domaine de l'archéologie, surtout pour l'étude du bâti, mais aussi pour certaines applications particulières, et non des moindres, plus proches de notre propos actuel : le relevé de la Salle des Taureaux de Lascaux réalisé au début des années 1970 par l'IGN.

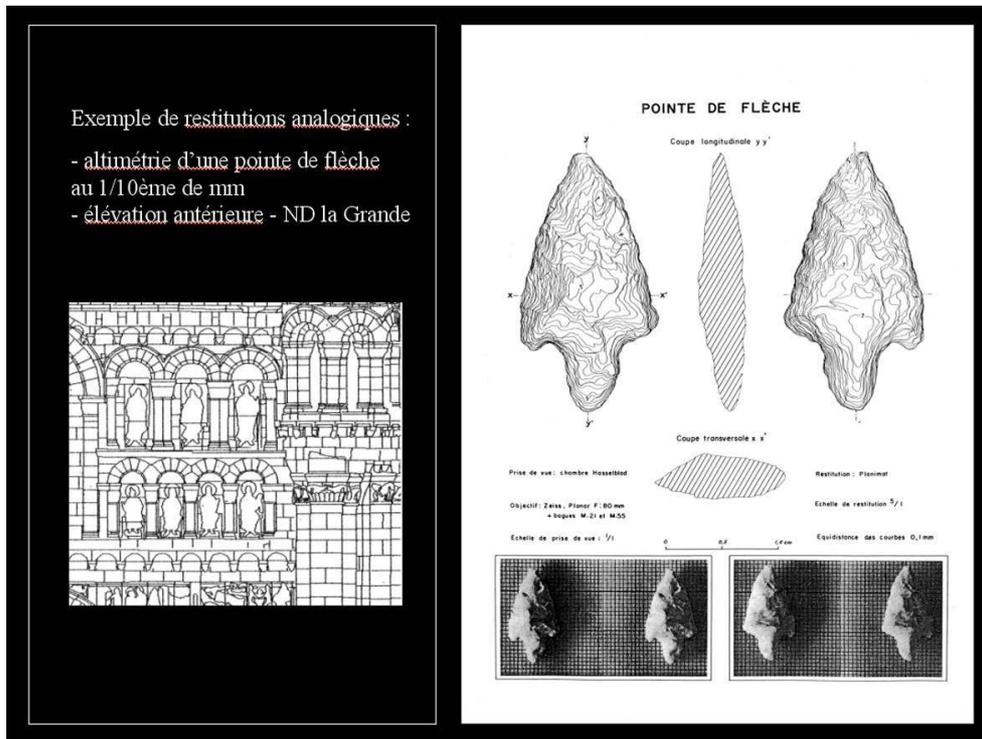
Figure 10



Photogrammétrie ; schéma de principe. Atelier de Photogrammétrie

© Ministère de la Culture/DAPA

Figure 11



Relevés photogrammétriques. Atelier de Photogrammétrie
© Ministère de la Culture/DAPA et IGN - crédit photo IGN

Figure 12



Photogrammétrie ; restituteur analogique
Phot. L. Polidori, droits réservés

- 25 La photogrammétrie a également connu une évolution dont nous souhaitons ici rappeler l'historique :

- la photogrammétrie analogique fut utilisée pendant des décennies : elle présentait des contraintes physiques (angulaires et linéaires) d'orientation relative et absolue dues aux appareillages optico-mécaniques (**fig. n° 12**) ;

Figure 13



Photogrammétrie ; restituteur analytique
Phot. L. Polidori, droits réservés

- la photogrammétrie analytique annihile les exigences de l'analogie physique ; le modèle se fabrique numériquement, toujours à partir de photographies, leur géométrie étant le plus souvent connue (**fig. n° 13**). Aujourd'hui, l'image numérique supplante la photographie. Le pixel tente de succéder au grain d'argent comme unité de mesure.

Figure 14



Photogrammétrie ; restituteur numérique
Phot. L. Polidori, droits réservés

- la photogrammétrie numérique fonctionne suivant le principe de la corrélation d'images (**fig. n° 14**). La corrélation est la reconnaissance automatique de pixels homologues sur une surface définie. Des algorithmes d'analyse d'images se substituent à la vision humaine en associant à tout point d'une image G1 (gauche) un point homologue dans l'autre image D1 (droite). Il est toujours essentiel que les clichés présentent des qualités géométriques et photographiques analogues. Ces caractéristiques sont garanties dans le cas d'images réalisées avec des chambres métriques équipées de matrices DTC⁶. À ce stade, une observation virtuelle stéréoscopique va permettre la détermination de points XYZ et la création de modèles numériques de terrain, soit d'une manière manuelle en fusionnant et en saisissant des points caractéristiques de l'objet, soit de manière automatisée en corrélant les images suivant un maillage fixe programmé.

26 En 1992, l'atelier de photogrammétrie de la direction du Patrimoine réalisait le relevé de la frise du Roc-aux-Sorciers d'Angles-sur-l'Anglin.

27 Les données de précision à partir d'un couple d'images corrélées sont estimées de la manière suivante :

Rapport (Y/b) = 1 à 3

Y = distance moyenne à l'objet

b = distance entre axes optiques des images

$dXY = Ec \times Dp \times 0.7 \times 10^{(-6)}$

$dZ = Ec \times Dp \times (Ck/b) \times 0.5 \times 10^{(-6)}$

(suivant les formules du DSGT de l'université de Laval)

dXY = Précision en planimétrie

dZ = Précision en altimétrie

Ec = Dimension du pixel (en microns)

Ck = Distance principale de l'objectif de la caméra (mm)

b = Distance entre les points principaux du couple stéréoscopique (mm)

28 Soit une précision,

- planimétrique : $dXY = 26 \times 10.2 \times 0.7 \times 10^{(-6)} = 0.184 \text{ mm}$

- altimétrique : $dZ = 26 \times 10.2 \times (103.32/31) \times 0.5 \times 10^{(-6)} = 0.439 \text{ mm}$

29 La capacité principale de la photogrammétrie réside dans l'enregistrement de l'image (donc de l'objet) avec toutes ses caractéristiques (topographique, spatiale et archéologique). L'image en tant qu'archive tridimensionnelle autorise - dans le temps - tous les traitements ou reprises ultérieurs. La précision demeure totalement maîtrisée avec l'utilisation de caméras métriques. À partir de caméras non métriques, il conviendra de définir la géométrie des images, ce que certains progiciels de photogrammétrie sont aujourd'hui capables de traiter de manière relativement performante. Nous conserverons néanmoins l'idée d'utiliser des formats conséquents et surtout des objectifs à focale fixe, afin d'optimiser la géométrie des images.

30 Pour la réalisation de modèle numérique de terrain, la corrélation d'images permet la saisie manuelle de points et donc la possibilité de maîtriser au plus près leur fabrication en densifiant ces points suivant les reliefs (crêtes, ruptures ou failles) ou les zones vierges. La surcharge sera plus précise puisque que le principe sollicite les caractéristiques de la même image pour le calcul du modèle numérique et pour la texture photographique.

31 La première difficulté que présente la photogrammétrie, c'est qu'elle fait appel à des technicités spécifiques, au niveau de la prise de vues d'abord, mais aussi pour les

traitements de restitution non automatisés. Le temps de saisie sur site (prises de vues, éclairage, travaux topographiques), le rapport temps de traitement/nombre de points saisis, n'est pas à son avantage. En outre, la méthode n'est pas applicable dans tous les sites (contraintes de recul, espace, humidité, éclairage dans une cavité), quoique certains impératifs physiques soient réduits avec le numérique (le matériel est moins lourd, les calages topographiques plus légers). L'éclairage demeure un élément important. L'ensemble de ces contraintes (spécialistes, temps, matériel et mise en œuvre) engendre un coût conséquent.

La lasergrammétrie

- 32 La lasergrammétrie ou le relevé par capteur laser est la technique d'acquisition – a priori – appropriée pour confectionner un modèle numérique de terrain dans les différents domaines de relevés terrestres (le procédé, dans une de ses applications – le relevé du Pont neuf à Paris – a été présenté à la DAPA dès octobre 1991 par la société MENSI). Un des avantages immédiats du mode de relevé est surtout la rapidité d'acquisition (pratiquement dans tous les cas de figure) et une précision homogène quoique relative.
- 33 La lasergrammétrie fait appel à des capteurs numériques motorisés, ou scanners, qui vont permettre de relever des points en coordonnées en enregistrant certaines informations radiométriques. Pour saisir et calculer ces points en XY et Z, il est nécessaire d'obtenir des mesures de distances et des valeurs angulaires.
- 34 En schématisant, un capteur 3D est composé :
 - d'un élément d'émission laser dont la faible dispersion spatiale des rayons et leur grande précision temporelle autorise les mesures de distances avec exactitude (laser de classe 2 ou 3) ;
 - d'éléments mécaniques (miroirs rotatifs et encodeurs électromécaniques) qui vont en temps réel diriger le faisceau laser suivant des valeurs angulaires zénithales et azimutales, programmées par un maillage défini (balayage).
- 35 L'ensemble est couplé à une unité d'enregistrement (le plus souvent un PC portable) maintenant souvent intégré au matériel. Certains scanners sont associés à un capteur vidéo ou appareil photo haute résolution afin de saisir de manière simultanée une image de l'objet. À ce jour, il existe – dans les domaines qui nous intéressent – trois grands principes de scanners 3D qui présentent des technologies différentes.

Figure 15

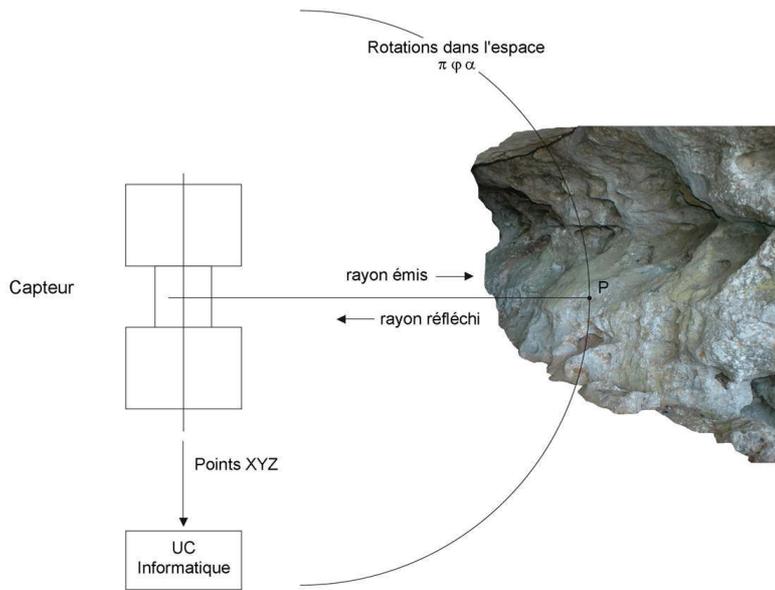


Schéma Capteur laser
Détermination du point P par mesure de temps de vol et codeurs angulaires

Schéma capteur laser par mesure de temps de vol
© CNP/MCC

36 La détermination de points peut se faire par :

- mesure du temps de vol : il s'agit d'une mesure télémétrique (mesure du temps de vol A/R). La différence de temps entre l'émission et la réception du rayon laser est proportionnelle à la distance. Les angles sont définis par des miroirs ou prismes rotatifs et encodeurs électromécaniques ; **(fig. n° 15)**

- triangulation : cette mesure est le résultat d'un calcul trigonométrique à partir d'une base fixe, selon le principe d'une triangulation plane : un rayon laser est défléchi par un miroir mobile ; l'angle incident est mesuré à la source par une caméra CCD⁷ ; l'angle réfléchi qui correspond à la position du spot laser sur l'objet est observé par une autre caméra CCD disposée dans le plan de balayage du miroir ; **(fig. n° 16)**

Figure 16

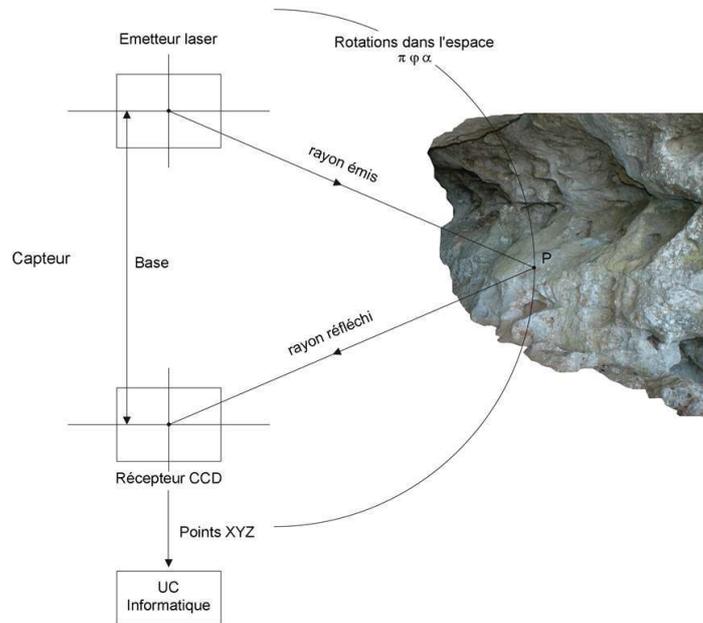


Schéma Capteur laser
Détermination du point P par triangulation

Schéma capteur laser par triangulation

© CNP/MCC

- mesure de différence de phases : le balayage laser à mesure de phase s'effectue en imprimant au faisceau laser une modulation et en mesurant le décalage de phase entre les signaux de la lumière émise et de la lumière reçue (**fig. n° 17**).

Figure 17

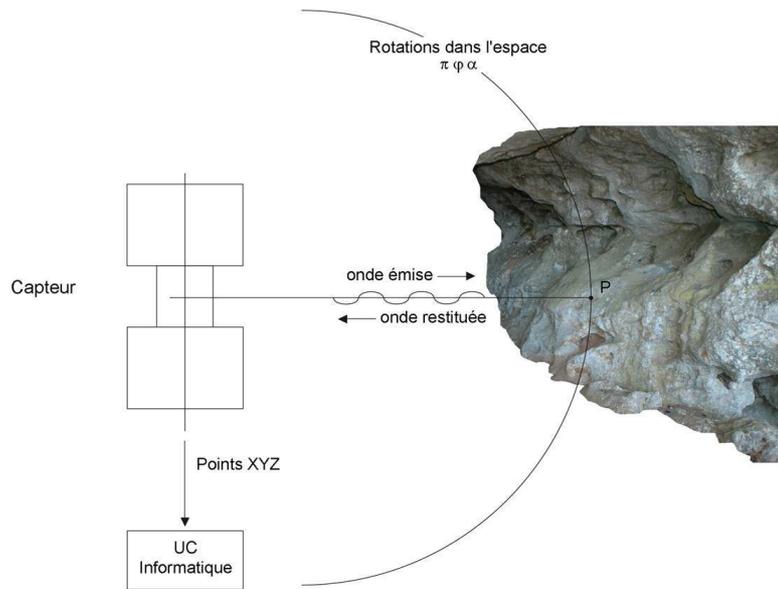


Schéma Capteur laser
Détermination du point P par mesure de phase et codeurs angulaires

Schéma capteur laser par mesure de phases

© CNP/MCC

- 37 De nombreux critères doivent être pris en compte pour analyser la qualité d'un scanner laser : précision angulaire, précision sur la mesure de distance, résolution, taille du spot laser, intervalle minimum angulaire, influence de la réflectivité des surfaces et conditions environnementales.
- 38 Depuis les années 1990, la concurrence commerciale a permis de faire évoluer ce matériel à la fois dans ses capacités techniques et dans son coût à l'achat. Aujourd'hui, certains de ces scanners permettent de lever 500 000 points par seconde dans un champ de captage presque spatialement intégral ($360^\circ \times 310^\circ$) et nous pouvons considérer que le coût de ce matériel a chuté de 50 % depuis 10 ans.
- 39 Parallèlement, ces capteurs sont de plus en plus évolués : compacts, pouvant être commandés à partir d'un écran tactile résident ou à distance avec un PDA⁸, topographiquement informatifs en restituant des informations d'orientation absolue (horizontalité et verticalité) et gisement angulaire.
- 40 Le principal atout de la lasergrammétrie est sa rapidité d'exécution dans la saisie de points ainsi que sa relative facilité de mise en application. La mise en station d'un scanner est topographiquement simplifiée, la configuration des paramètres d'acquisition est intégrée dans le logiciel dédié, ainsi que le champ à couvrir et la densité du balayage désirée. Utilisables par des non-spécialistes, certains systèmes de saisie laser se louent aujourd'hui, avec seulement quelques heures de formation. La technique offre une bonne précision relative (une calibration régulière du matériel est impérative) et fait appel à une instrumentation en pleine évolution, ce qui laisse imaginer des progrès à venir.

- 41 Il faut cependant tenir compte du fait que la précision est principalement donnée par l'appareillage. De la sorte, si le laser est précis pour mesurer les distances, il est nécessaire de considérer les systèmes mécaniques qui vont conduire et diriger ce rayon. Les spécifications techniques – souvent commerciales – des capteurs ne font jamais apparaître leur précision angulaire. Nous pensons qu'il est absolument indispensable de ne pas travailler en aveugle et qu'il convient d'avoir des exigences envers les prestataires. Un matériel mal calibré peut générer une déformation du modèle restitué (MNT). Notons que les études comparatives récentes ne mentionnent que peu de résultats ou rapportent des précisions obtenues qui restent souvent éloignées des précisions commerciales.
- 42 Un des problèmes sur lequel nous devons rester vigilant tient au fait que les formes inhérentes à l'art rupestre ou à l'art pariétal sont des formes quelconques, mentalement inconnues, multiples et sans aucune relation avec des formes géométriques. Il est donc très difficile de déceler des erreurs. En outre, comme cela a déjà été abordé, un semis de points régulier programmé s'avère quelquefois ne pas coller à la réalité du relief de l'objet. Il peut ne rien reproduire (on ne sait pas à quoi correspond tel point). Il faut alors obligatoirement densifier la saisie des points.
- 43 Par ailleurs, nous pensons que la précision peut ne pas être homogène en fonction de la réflexion des matériaux, des couleurs rencontrés, des angles d'incidence et de la taille du spot laser. Pour finir, ces systèmes restituent les points en format propriétaire (chaque matériel de chaque fabricant impose un format de fichier différent). Cette restriction contraint à acquérir le logiciel de traitement de la même firme afin de pouvoir exporter en format universel DXF et ASCII.

Conclusion

- 44 Les deux techniques, photogrammétrie et lasergrammétrie, sont opérantes à des degrés divers dans le domaine de l'art rupestre. Nous savons – par expérience – que les méthodes de relevé sont d'abord choisies et utilisées pour :
- leurs capacités à répondre à des demandes (en terme de résultats) ;
 - leur facilité de mise en œuvre (compétences requises) ;
 - leur coût ;
 - et dans certains cas d'urgence, pour leur rapidité d'utilisation.

Figure 18



MNT texturé. CNP d'après MNT Cabinet Perazio
 © Ministère de la Culture/DRAC Aquitaine

- 45 Nous savons également par la pratique que la photogrammétrie, encore plus précise, est plus lourde à mettre en œuvre dans le domaine des grottes. Hormis quelques cas spécifiques, nous devons aujourd'hui considérer que la lasergrammétrie présente le meilleur concept en conciliant capacité, rapidité d'acquisition (parce qu'automatisée) et bonne précision, offrant donc un coût de revient avantageux. Dans certains cas, il est néanmoins possible d'imaginer la complémentarité des deux techniques (MNT laser et MNT par corrélation avec calage topométrique succinct), notamment pour le suivi microbiologique dans certaines cavités.
- 46 Dans l'organisation d'un projet de relevé virtuel en trois dimensions, il conviendra d'appréhender son mode de fabrication, de savoir ce que la 3D apporte en termes de rendu et de précision, et tout particulièrement de mettre en adéquation ses apports avec la spécificité des problématiques. Avec le relevé numérique, il peut être facile de se perdre dans une définition supérieure à la précision de l'instrumentation qui la génère, aboutissant ainsi à une précision relative fictive et inutilement onéreuse. (**fig. n° 19**)
- 47 Nous pensons qu'il est nécessaire de définir clairement les objectifs scientifiques. C'est la finalité des besoins qui doit induire les produits à élaborer et donc la technique la plus efficace à mettre en œuvre pour les réaliser, au-delà du simple fait de fabriquer des images de synthèse sophistiquées qui risquent d'occulter toute interrogation (**fig. n° 18**).

Figure 19



Communication présentée lors du séminaire **ART RUPESTRE : LA 3D UN OUTIL DE MÉDIATION DU RÉEL INVISIBLE ?** qui s'est tenu du 4 au 6 juin 2008 à Angles-sur-l'Anglin, coordonné par l'Institut national du patrimoine, avec la participation de la direction de l'architecture et du patrimoine

BIBLIOGRAPHIE

- Chazaly, B. La lasergrammétrie appliquée à l'auscultation des ouvrages d'art, **XYZ**, n° 107.
- Honoré, C. Étude relative aux méthodes de mise en œuvre et à la précision du scanner laser dans le cadre des travaux topographiques de EDF, **PFE**, 2007.
- Maumont, Michel. Voir sur le site : http://www.culture.gouv.fr/culture/cnp/fr/photogram_02.htm.
- Ravier, C. Représentation 3D architecturale du temple d'Auguste et Livie à Vienne (Isère), **XYZ**, n° 112, 2007.
- Saint-Aubin, Jean-Paul. Le relevé des grottes et de leur décor, leur restitution par l'informatique, 1995.

NOTES

1. Il est à noter que cette dernière dénomination n'est pas officielle et connaît souvent d'autres appellations (comme relevé par scanner laser).
2. Modèle numérique de terrain (maillage de points XYZ).
3. L'expression mappage - ou mapping - est très souvent intégrée dans le langage professionnel.
4. Système d'information géographique.
5. Technique qui permet de redresser une image photographique suivant le relief de l'objet qu'elle représente à partir d'un modèle numérique de cet objet.
6. Dispositif à transfert de charge (matrice photosensible).
7. Charge coupled device.
8. Personal digital assistant (carnet électronique).

RÉSUMÉS

Dans le domaine patrimonial et notamment celui de l'art rupestre, les modes de relevé et de restitution numérique en 3D représentent aujourd'hui une ressource attractive tant pour l'aide à la conservation que comme support scientifique. L'évolution récente des techniques liées à l'apport de l'informatique a permis de mettre à la disposition des acteurs du patrimoine une offre de représentations séduisantes qui occultent souvent toute interrogation. Considérant les deux techniques les plus usitées, la photogrammétrie et la lasergrammétrie, il convient de juger de la capacité de ces technologies quant à la restitution de la mesure ainsi qu'à la représentation virtuelle de l'existant. La spécificité des problématiques et la connaissance des procédés permettent d'élaborer des produits efficaces, adaptés à chaque cas et allant bien au-delà du simple fait de fabriquer des images de synthèse.

In heritage, and especially rock art, 3D digital recording and reproduction methods are today an attractive resource for conservation assistance as much as a scientific medium. The recent technical progresses linked to advances in information technology made it possible to propose to heritage practitioners attractive reproductions that however often conceal all questioning. Considering the two techniques that are mostly used today, photogrammetry and lasergrammetry, it is necessary to assess their ability to render accurate measurements and to virtually reproduce the reality. The issues specificities and the knowledge of the processes make it possible to create products that are efficient, adapted to the specific cases, and that go far beyond the mere synthesis of digital images.

INDEX

Mots-clés : procédés de restitution virtuelle, 3D, photogrammétrie, lasergrammétrie, précision des rendus

Keywords : Virtual reproduction methods, Photogrammetry, Lasergrammetry, Rendering precision

AUTEUR

MICHEL MAUMONT

Ingénieur d'études, ministère de la Culture et de la Communication, direction de l'architecture et du patrimoine, Sdarchetis, Centre national de Préhistoire. michel.maumont@culture.gouv.fr