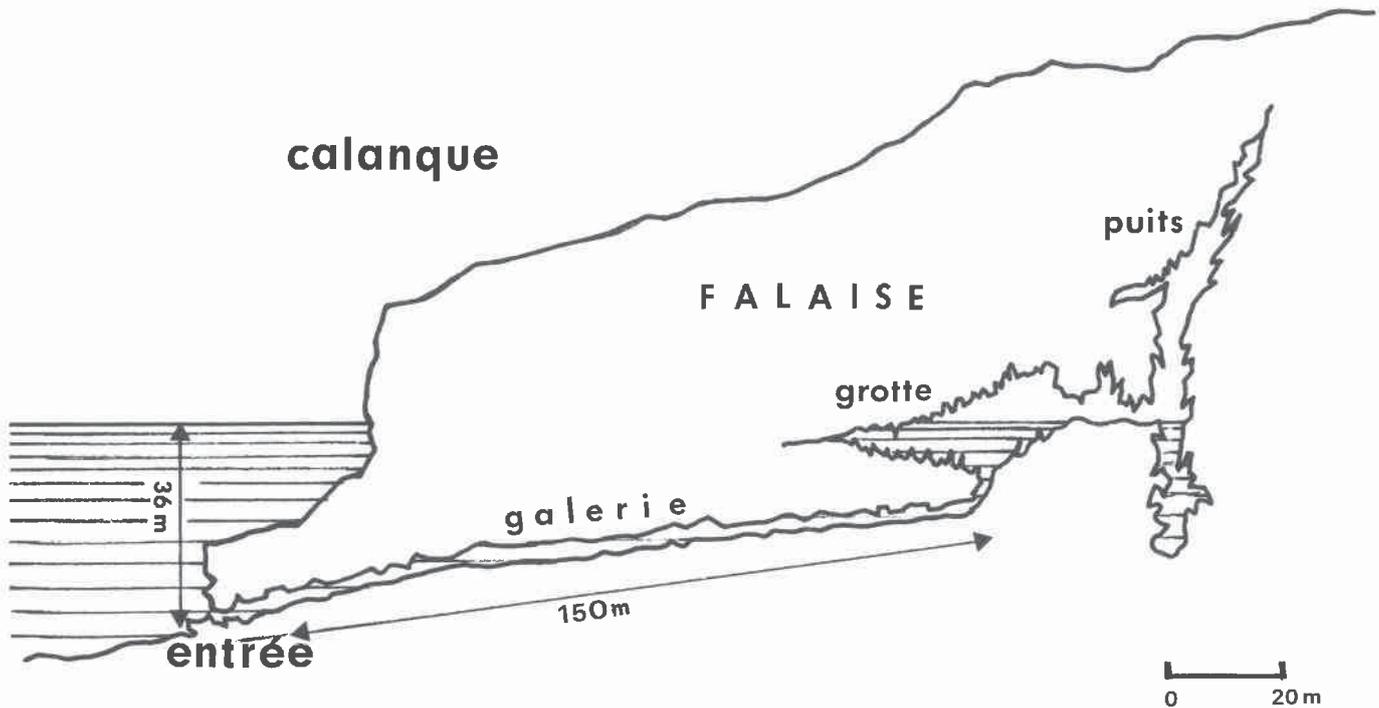


grotte cosquer

relevé
intérieur
par le
capteur
soisic

Michel Paramythioti (société Mensi)



Ce document décrit la campagne de relevé tridimensionnel des parois internes de la grotte COSQUER réalisée en novembre et décembre 1995 dans le cadre des actions de Mécénat Technologique et Scientifique d'EDF. Le capteur SOISIC, développé par MENSIS pour les simulations de maintenance nucléaire, a trouvé là une application nouvelle et originale : 4,7 millions de points 3D ont été relevés dans la grotte engloutie et acheminés en surface en temps réel par ombilical de 300 mètres ; la couverture obtenue correspond à une maille moyenne inférieure à 3 cm.

INTRODUCTION

La recherche du volume est constante dans l'art quaternaire qui utilise communément les reliefs de la paroi et apparaît comme un art en trois dimensions.

M. LORBLANCHET

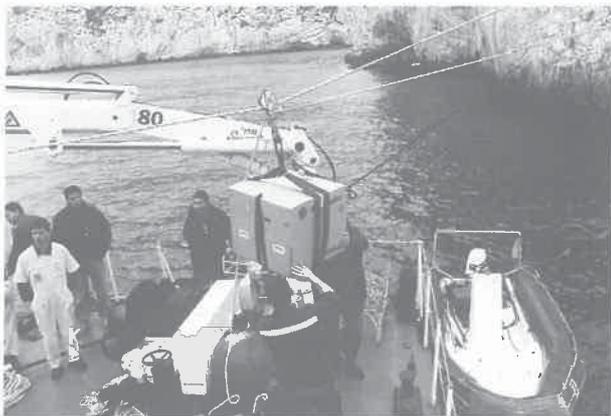
Les artistes quaternaires exploitent (et choisissent) les reliefs naturels des parois qui participent à l'œuvre achevée ; une analyse complète implique donc de caractériser les tracés (gravures, peintures,...) et les surfaces supports, ce qui est impossible par la photographie et exige soit une étude sur place soit, à défaut, l'étude sur un fac simulé tridimensionnel aussi fidèle que possible.

Par ailleurs, l'accès des grottes paléolithiques ornées étant désormais interdit au public (depuis l'expérience fâcheuse de LASCAUX), et l'intérêt touristique étant de plus en plus évident pour ce type de site, la réalisation d'une copie conforme en dur s'est avérée possible et

éminemment rentable (voir LASCAUX II) : de ce fait, l'intérêt d'un modèle numérique 3D très précis et fidèle (incluant la couleur et les peintures) est évident pour permettre soit la réalisation d'un "clône" en dur destiné au tourisme (COSQUER II), soit la "visite virtuelle" que les progrès rapides de l'informatique rendent concevables.

La grotte COSQUER, découverte en 1991 par Henri COSQUER, est défendue par un goulet sous-marin dont l'entrée très étroite débouche par 36 mètres de fond dans les falaises de Morgiou ; les spécialistes d'art pariétal ne pourront donc pas y accéder davantage que le public (à part quelques plongeurs émérites comme J. COURTIN), et un relevé 3D précis et exhaustif prend, ici plus encore qu'ailleurs, tout son sens.

Ces considérations avaient conduit les autorités responsables (Ministère de la Culture, Région PACA et Mairie de Marseille) à coupler une campagne de relevés

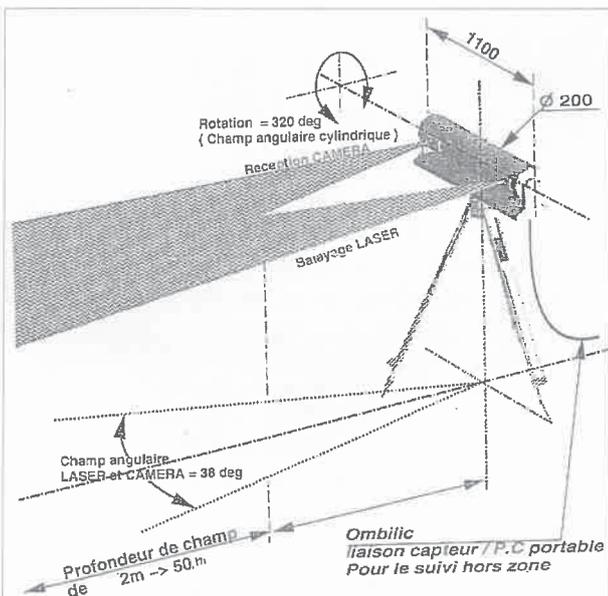


photogrammétriques avec une mission d'étude et de sauvegarde de la grotte prévue pour 1994 ; la recherche de concours financiers complémentaires auprès d'EDF conduisit le responsable du Mécénat Technologique et Scientifique à proposer la mise en œuvre du capteur SOISIC en complément de la photogrammétrie, proposition acceptée par les responsables malgré certaines réticences liées à leur totale ignorance du procédé.

LE CAPTEUR SOISIC

La description technique de cet équipement a déjà été publiée dans ces colonnes (XYZ n°63, 2ème trimestre 1995) ; nous nous contenterons donc d'en rappeler les grandes lignes :

Le capteur SOISIC est un "scanner télémétrique" basé sur la triangulation laser plane complétée par un balayage cylindrique du volume ; il a été développé par MENSI avec l'appui financier d'EDF pour permettre la modélisation 3D de sites nucléaires afin d'optimiser les opérations de maintenance grâce à des simulations préalables.



Pour la saisie fine d'un site difficile d'accès, vaste et très complexe comme la grotte COSQUER, ce capteur présente de nombreux avantages :

- appareil mobile et maniable (sur trépied ou posé au sol),
- forte densité des points 3D relevés,
- précision des mesures (1 mm à 5 m sur le point élémentaire),

- champ très important, 35°x320°,
- grande profondeur de champ, 2,5 m à 40 m,
- cadence de saisie de 100 points par seconde,
- commande à distance du capteur par un PC,
- saisie d'images vidéo couleur reliées aux points 3D.

SOISIC est complété par le logiciel 3Dipsos, développé par MENSI avec l'appui scientifique et financier d'EDF : c'est un logiciel graphique d'interprétation de grands nuages de points. Il permet de fusionner plusieurs nuages de points 3D partiels (correspondants aux différentes positions du capteur) et de créer des entités mathématiques (primitives géométriques, facettes) appuyées sur les points relevés afin de reconstruire la surface au plus près du réel ; il permet également de plaquer les images couleur sur les surfaces (texture mapping).

PRÉPARATION DE LA CAMPAGNE

Les négociations ayant duré tout l'été 94, la décision de faire intervenir SOISIC dans la grotte ne fut prise que début septembre: il s'agissait de mettre en œuvre un appareil prototype, absolument pas conçu pour ce type d'application, dans un lieu passablement agressif où les opérateurs habituels ne pouvaient avoir accès.

Certaines phases préparatoires essentielles avaient été effectuées avant la décision, en particulier la vérification de l'innocuité du laser utilisé sur les surfaces fragiles (lichens ou peintures pariétales) : des essais préliminaires près de LASCAUX (grotte de Vielmouly) complétés par une étude du Laboratoire du Musée du Louvre ont permis de lever cette réserve.

Le principal choix technique portait sur la procédure de pilotage du capteur dans la grotte : 3 solutions s'offraient :

1°) Faire passer ses diplômes de plongée à l'opérateur habituel de SOISIC.

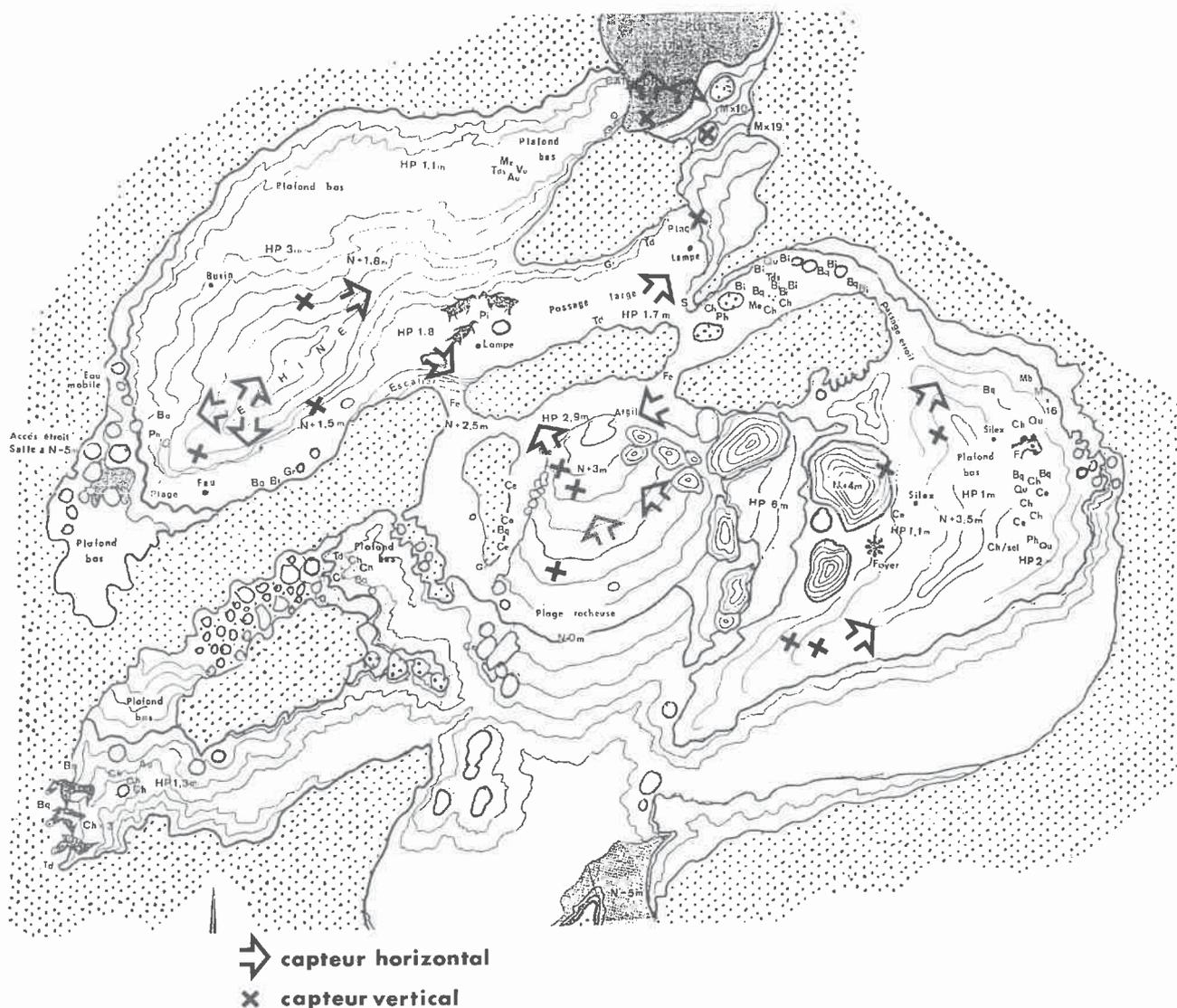
2°) Enseigner le pilotage du capteur à un plongeur de la DRASM (Direction Régionale d'Archéologie Sous-Marine).

3°) Piloter SOISIC depuis la surface.

Dans les délais impartis, seule la troisième solution semblait jouable : il fallut vérifier la faisabilité d'une liaison de 300 m entre le capteur et le PC (la liaison normale est de 15 m), puis faire réaliser un ombilical de 300 m assurant les liaisons normales SOISIC (alimentation, liaisons numérique et vidéo) complétées par une liaison audio entre l'opérateur SOISIC et plongeur affecté aux déplacements du capteur dans la grotte ; les principales difficultés sont venues de la vidéo (nécessité d'amplifier le signal dégradé par la distance) et de la liaison audio (sans doute trop sophistiquée) qui devait être la principale source de difficultés pendant toute la mission.

A noter qu'une cabane en dur avait été aménagée sur la falaise pour abriter des dispositifs de contrôle ; elle allait également servir de base aux opérateurs SOISIC et à leur matériel (PC de pilotage et station de travail SILICON GRAPHICS permettant le traitement immédiat des nuages de points recueillis).

Il fallut également faire fabriquer par la COMEX un container étanche permettant d'introduire le capteur SOISIC dans la grotte et procéder à l'introduction de l'ombilical dans une gaine de protection de 300 mètres (tuyau gaz étanche à 10 bars enroulé ensuite sur un tou-



ret), opération réalisée avec succès par les services de GDF-STG Marseille (22 novembre).

Le projet global comportait un relevé photogrammétrique (société SETP) surtout orienté sur les traces anthropiques, un relevé SOISIC visant la surface intérieure globale (sauf parties inaccessibles) et un relevé géodésique de repères communs (mires et boules interchangeables sur le même support) pour permettre de raccorder les différentes "salles" de la grotte et de fusionner les relevés photogrammétrie et SOISIC dans un référentiel commun.

DÉROULEMENT DE LA CAMPAGNE

La campagne a été menée par la DRASM de Marseille avec son navire océanographique, l'Archéonaute, qui devait s'amarrer chaque jour à courte distance de la falaise pour servir de base arrière à l'ensemble de l'opération.

Les plongeurs de la DRASM, dirigés par Luc LONG, durent d'abord réaliser trois opérations délicates :

- Introduction dans la grotte du capteur SOISIC dans son container étanche : celui-ci, fort peu conforme au cahier des charges, trop grand et trop lourd, posait de gros problèmes de flottabilité et d'équilibre résolus sur le tas par les moyens du bord (23 novembre).
- Transport par câble va-et-vient de tout l'équipement informatique (PC, SILICON GRAPHICS, etc) entre le bateau et la cabane de la falaise (23 novembre).
- Passage de l'ombilical protégé par son tuyau gaz dans le chenal sous-marin jusqu'à la grotte (encore des problèmes de flottabilité) (24 novembre).

La campagne de saisie devait se dérouler du 25 novembre au 21 décembre : les opérations se décomposent comme suit :

- L'opérateur SOISIC (Luc SERGENT, *Mensi*) dialogue avec le plongeur (Manuel ROSSET, *Afan*) en s'aidant de son écran vidéo qui lui donne l'image vue

par le capteur pour décider du prochain point de vue (position du capteur et des boules de calage destinées à la consolidation des points de vue).

- Le plongeur déplace le trépied et le capteur pour le mettre dans la bonne position et dispose les boules de calage.

- L'opérateur SOISIC procède au relevé spécifique (scanning fin) des boules de calage.

- L'opérateur SOISIC déclenche l'opération de scanning de la scène et en suit le bon déroulement sur l'écran du PC.

- L'opérateur SOISIC procède ensuite (sans bouger le capteur) à la saisie du cliché vidéo correspondant à la saisie 3D (un petit projecteur est attaché au trépied pour l'éclairage).

- L'opérateur SILICON GRAPHICS (Guillaume THIBAUT, EDF-DER) récupère les nuages de points successifs et réalise la consolidation pour vérifier en temps réel la bonne couverture du site (et montrer les résultats aux visiteurs).

Les opérations furent souvent perturbées (ou même empêchées) par le mauvais temps qui empêchait la mise en place du bateau, d'où de nombreuses journées perdues ; par contre, il s'avéra possible de faire tourner le capteur seul dans la grotte dans la position où le plongeur l'avait laissé, donc de prolonger la journée de scanning au delà de la durée de travail effective des plongeurs (6 heures), moyennant une arrivée matinale ou un départ tardif des opérateurs sur la falaise par voie de terre !

RÉSULTATS OBTENUS

Malgré des aléas liés à la liaison audio (remplacée finalement par un système plus rustique) et à la saison (il serait préférable de mener les négociations en hiver et de faire les opérations en extérieur pendant l'été), le capteur a pu fonctionner pendant 67 heures effectives et réaliser la saisie de 4.700.000 points, dont 1.000.000 en maillage fin sur des traces anthropiques.

La couverture complète de la grotte n'a pu être complètement réalisée, certaines surfaces (contre-dépouilles) restant inaccessibles et le temps ayant manqué sur la fin (proximité des fêtes de Noël) : le diverticu-

le Est de la salle Sud n'est que partiellement saisi, le diverticule Ouest n'a pas été saisi.

Le nuage de points global obtenu assure une couverture des parois avec une maille d'environ 3 cm, certaines surfaces intéressantes ayant été scannées beaucoup plus fin pour tester les possibilités d'analyse fine en 3D sur le modèle reconstruit.

La seconde phase des travaux consiste dans la reconstruction des surfaces internes de la grotte à partir du nuage de points en mettant en œuvre le logiciel 3Dipos : la Direction des Etudes et Recherches d'EDF a pris en charge cette opération très lourde qui constitue une première mondiale et préfigure les possibilités de visite en "réalité Virtuelle" qui seront sans doute offertes au public pour le siècle prochain.

CONCLUSION

SOISIC appartient à une nouvelle génération d'outils apparue avec les progrès de l'opto-électronique et de l'informatique ; il permet d'obtenir rapidement des nuages de points précis qui permettent ensuite la réalisation de la réplique numérique fidèle d'une réalité matérielle ; bien qu'il n'ait pas été conçu pour les relevés archéologiques, et malgré un préavis très bref, SOISIC s'est fort bien comporté dans la grotte COSQUER, délivrant un total de 4,7 millions de points 3D d'excellente qualité.

Amener une petite merveille d'optique et d'électronique comme SOISIC, absolument pas étanche, dans un lieu aussi hostile qu'une grotte à l'entrée engloutie et le contrôler à distance depuis la surface constituait un pari technique et humain audacieux qui n'a pu être gagné que grâce au dévouement de nombreuses personnes et à une certaine dose de chance (une chute du capteur dans l'eau de mer eut été irrémédiable !).

La mise en valeur des résultats obtenus relèvera d'un prochain article devant être publié dans ces colonnes par EDF (Guillaume THIBAUT) qui rendra compte du travail de construction du "clône" informatique de la grotte COSQUER, peut-être complété par les données issues de la photogrammétrie si le projet initial est effectivement mené à son terme.

