

Vitlycke et l'Underslös Hällristningsmuseum, Tanum, l'État suédois et le Centre National de Recherche de l'Art Rupestre du Portugal, Foz Côa. Le projet est vivement soutenu par le Comité d'Art Rupestre CAR de l'ICOMOS.

ningsmuseum, Tanum, Sweden and the Portuguese National Rock Art Research Centre, Foz Côa. The project is also strongly supported by the International Rock Art Committee – CAR of ICOMOS.

Ulf BERTILSSON

Contact pour toutes les activités :

Directeur de Projet, Dr. Ulf Bertilsson, The Swedish National Heritage Board - Tél. : 00 46 8 5191 8590, Fax : 00 46 8 660 7284, E-mail : ulf.bertilsson@raa.se

Contact person for all activities:

Project Manager Dr. Ulf Bertilsson, The Swedish National Heritage Board – Tel: +46 8 5191 8590, Fax: +46 8 660 72 84, E-mail: ulf.bertilsson@raa.se

TECHNIQUES

MODÉLISATION 3D DE LA GROTTÉ COSQUER PAR RELEVÉ LASER

« Les artistes quaternaires ont souvent exploité les accidents naturels des parois dans leurs peintures. Une analyse des œuvres demande alors de caractériser localement, en 3 dimensions, les surfaces de la caverne » (Aujoulat, 1993). Dans le cas de la grotte Cosquer (Marseille, France), l'étude était difficile à mener : une galerie immergée, dont l'entrée se situe à 37 m sous le niveau de la mer, défendait l'accès à la partie émergée de la grotte (Clottes & Courtin, 1994).

La Ville de Marseille a dans un premier temps envisagé la réalisation d'un fac-similé. Dans ce but, elle a obtenu du ministère de la Culture l'autorisation d'effectuer un relevé photogrammétrique. Dans le cadre de ses actions en faveur du patrimoine, Électricité de France (EDF) a proposé de compléter la campagne par un relevé laser tridimensionnel. En effet, EDF utilise en maintenance industrielle un système de mesure également capable de saisir les formes et les couleurs d'une grotte.

Ce système (Brunet & Vouvé, 1996) comprend un capteur laser (SOISIC) et un logiciel de traitement (3Dipsos) conçus par les sociétés MENSi et EDF. SOISIC permet de faire des relevés rapides, précis et denses : à la cadence de 100 mesures par seconde, il fournit les coordonnées (x,y,z) des points touchés par un faisceau laser, entre 0,5 et 40 m, avec une précision de 1 mm à 5 m pour des surfaces recouvertes de calcite. Ceci produit de véritables « nuages de points ». Le laser, de très faible intensité, n'affecte pas la matière et autorise la reproduction d'objets ou de scènes fragiles, à la place d'un moulage. SOISIC embarque également une caméra vidéo couleur. Il est raccordé à un PC portable pour commander la saisie à distance.

Le logiciel 3Dipsos permet la création de surfaces géométriques au plus près des points, pour être au plus près des formes réelles. Le logiciel permet de visualiser simultanément les points, les images couleur et les surfaces. Ces informations sont utilisables pour les études scientifiques et la communication grand public en réalité virtuelle.

En novembre 1994, le capteur a été acheminé par caisson étanche dans la grotte, et mis en position par un plongeur (fig. 1).

Le plongeur était en contact avec un technicien installé dans une cabane établie à flanc de calanque. Le superviseur contrôlait la saisie au travers d'un câble de 300 m

3D MODELING OF THE COSQUER CAVE BY LASER SURVEY

62090
"It was a common practice among quaternary artists to use some natural reliefs of the walls in their paintings. Analyzing palaeolithic works of art requires defining locally, in 3 dimensions, the surfaces of the cave" (Aujoulat 1993). For the Cosquer cave (Marseille, France), the study was difficult to accomplish: a submerged gallery, the entrance of which was located 37 m under the level of the sea, forbade the access to the emerged part of the cave (Clottes & Courtin 1994).

The City of Marseille first contemplated the production of a replica and was thus authorized by the French Ministry of Culture to launch a photogrammetric survey in order to make it possible. Within its program of cultural sponsorship, Électricité de France (EDF) offered to help the project by surveying the cave with a 3D laser system. Actually, for the maintenance of its installations EDF makes use of a survey system that is also efficient for capturing the shapes and colors of a cave.

The system (Brunet & Vouvé 1996) includes a laser sensor (SOISIC) and a processing software program (3Dipsos) designed by MENSi and EDF companies. SOISIC allows quick, precise and dense surveys: at a rate of 100 dots per second, the sensor gives the coordinates (x, y, z) of points reached by the laser beam, ranging from 0.5 to 40 m, with an accuracy of 1 mm at a 5 m distance for the surfaces in a cave. This produces genuine "clusters of 3D dots". The low-powered beam does no harm and allows the copying of fragile objects or scenes, instead of casting. SOISIC also includes a color video camera. It is connected to a remote portable PC to monitor the scanning from a distance.

The 3Dipsos program computes surfaces close to the dots to be really close to the real shapes (best fit). The software provides simultaneous visualization of dots, color images and surfaces. The processed data can then be exploited for scientific studies with virtual reality as well as for communication needs for the general public.

In November 1994, a diver introduced the sensor into the cave in a buoyancy tank (Fig. 1) and set it in its proper place.

The diver was in contact with a technician working in a small cabin set up on the side of the creek. The technician could monitor the scanning through a 300 m long cable lin-



Fig. 1. Le capteur laser SOISIC dans la grotte Cosquer.

Fig. 1. The laser sensor SOISIC in the Cosquer cave.

reliant le PC de commande (dans la cabane) au capteur (dans la grotte). L'objectif a été de saisir le maximum de mesures durant la campagne. 4 700 000 coordonnées (x,y,z) et 128 images couleur ont été engrangées. Le travail dura 67 heures pour 28 saisies. L'erreur de mesure est de l'ordre du millimètre. La couverture obtenue est d'un point tous les 2,5 cm en moyenne, voire d'un point tous les millimètres dans certaines zones de tracés. Cette forte densité de mesures assiste l'analyse du protocole de réalisation par l'observation de la disposition de la matière à l'intersection entre traits (fig. 2).

La densité des points conditionne les résultats. Par exemple, pour le puits inondé, 100 000 points couvrent les parois avec un point tous les 2,5 cm en moyenne, 1 000 points couvrent les parois d'un point tous les 30 cm, et 100 points correspondent à un point tous les mètres (fig. 3)

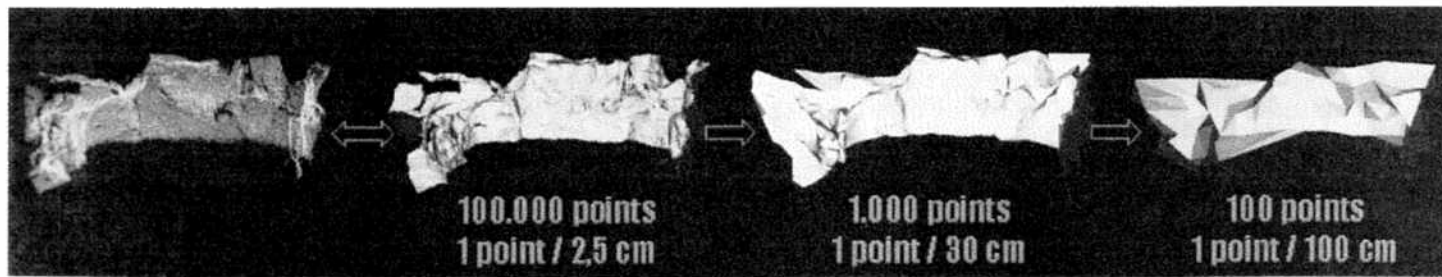


Fig. 3. Nuage de 100 000 points sur les parois du grand puits et 3 maillages en pleine, moyenne et basse résolutions.

Fig. 3. A cluster of 100,000 dots for the walls of the big well and 3 meshes in full, medium and low resolutions.

Convertir le relief en un modèle virtuel structuré

Pour créer une représentation surfacique des reliefs échantillonnés par les points, le nuage a été maillé sous la forme d'un réseau de triangles. Ce maillage a été texturé par projection centrale des images couleur. Ces 2 traitements réalisés avec 3Dipsos minimisent l'écart entre la grotte réelle et sa copie virtuelle (fig. 4).

Les calculateurs permettent de visualiser sous tous les angles le maillage texturé, avec des ajouts virtuels (reflets dans l'eau, effets de lampe frontale) et en relief pour restituer les formes ornées tridimensionnelles (fig. 5).

Converting the survey into a virtual textured model

To create a surface for the shapes sampled by the dots, the dot data set was meshed into a network of triangles. A central projection of the color images textured the mesh. Those 2 processes done with 3Dipsos minimize the gap between the real cave and its virtual counterpart (Fig. 4).

Graphics computers allow the viewing of the textured mesh from any angle, with special effects (water reflection, frontal lamp effect and torch effect) with stereo viewing to render the 3D shapes of painted walls (Fig. 5).

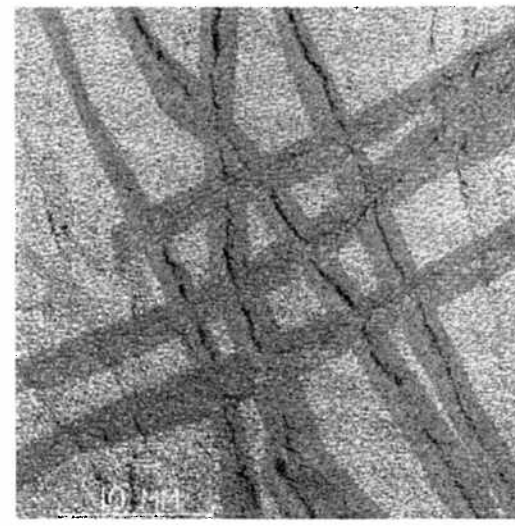


Fig. 2. Nuage de 780 000 points sur un tracé ; les traits horizontaux ont été tracés après les verticaux.

Fig. 2. A cloud of 780,000 points for a set of carvings; horizontal lines were engraved after the vertical ones.

king the command PC (in the cabin) to the sensor (in the cave). The aim was to get as many measures as possible. 4,700,000 (x, y, z) dots and 128 color pictures were registered, associated to 28 different positions of the sensor. The job lasted for 67 hours. The error of measure is no more than one millimeter. The survey corresponds to an average of one dot for every 2,5 cm, and sometimes one point every millimeter in some areas. This high density of measures helps the analysis of the protocol of production by registering the position of the paint at the intersection between different lines (Fig. 2).

The density of dots is an important feature of this operation. For instance, for the flooded well, 100,000 dots cover the walls with one every 2,5 cm in average, 1,000 dots with one every 30 cm, and 100 dots correspond to one point every meter (Fig. 3).

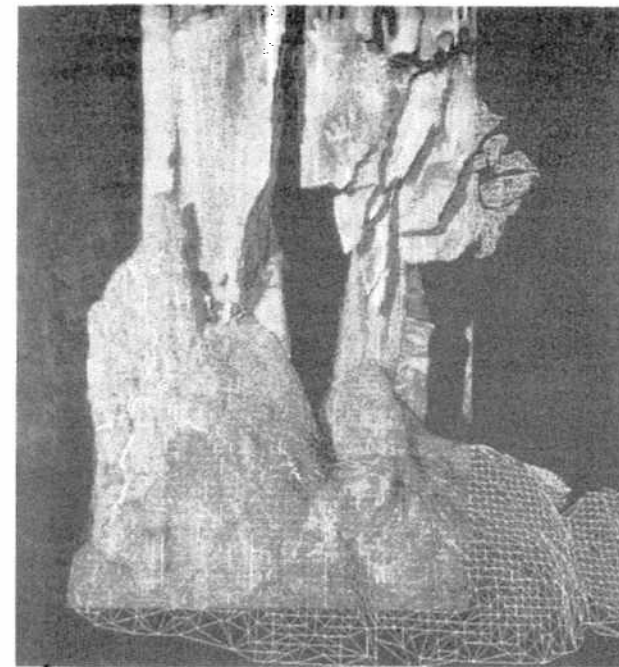


Fig. 4. Maillage de la zone des draperies porteuses de mains, avec la texture couleurs en transparence.

Fig. 4. Mesh of the drapery bearing hands, with color texture in transparency.

Deux minutes d'images de synthèse ont ainsi été produites dès mars 1995 puis des séquences en relief de 5 minutes ont été livrées en février 1997, présentant notamment la zone du grand puits en plan large : l'image est calculée en rendant transparentes certaines parois qui gênent la vision d'ensemble (fig. 6).



Fig. 5. Image de synthèse calculée avec ombres et reflets d'eau.

Fig. 5. Rendering with shadows and water reflection.

Two minutes of computer graphics were produced in March 1995, and five other minutes in stereo rendering in February 1997, including a large view of the big well: some interfering walls were suppressed in order to obtain a more global view (Fig. 6).



Fig. 6. Image de synthèse d'ensemble de la zone du grand puits.

Fig. 6. Global computer-generated view of the big well area.

Un nouvel outil au service des archéologues

SOISIC et 3Dipsos fournissent un clone numérique précis d'objets sans les altérer. Ils livrent aux scientifiques des modèles en 3 dimensions utilisables pour tester leurs hypothèses dans de nombreux domaines.

A new tool for archeologists

SOISIC and 3Dipsos deliver a precise digital clone of objects without damaging them. It gives scientists models in 3D space for testing their ideas about the rock art.

Par ailleurs, le système ouvre la porte vers la réalité virtuelle et les répliques réelles par prototypage rapide, fournissant aux hommes de communication la matière première pour des présentations au grand public.

La saisie photogrammétrique

Lors de la campagne de 1994, un partage de la grotte avait été défini entre photogrammétrie et capture laser. Un canevas de mires avait été mis en place pour servir de base commune aux deux relevés. Six plongeurs ont réalisé les prises de vue stéréo-photogrammétriques dans la grotte (Clottes, Courtin, Collina-Girard, 1996) (action conjointe du Ministère de la Culture DRASSM et de la société SETP).

Le relevé photogrammétrique a été délicat : la technique est complexe dans un espace aussi replié que la grotte Cosquer. Le repérage des photographies par rapport au canevas a été modeste. L'erreur estimée est de 5 cm. Par ailleurs, en fin de journée, les plongeurs ramenaient les clichés, développés dans la soirée par SETP pour suivre la progression de la saisie ; ceci était laborieux, notamment en comparaison du traitement numérique immédiat des points laser. Enfin, les images ont été essentiellement faites en noir et blanc (pour réduire les temps de développement), ce qui crée une difficulté quand il faut ensuite donner les textures colorées au modèle virtuel.

SETP a traité les couples de photographies à l'aide d'un stéréo-restituteur pour produire 3 700 000 coordonnées (x, y, z). Des points de calage ont également été calculés, servant à positionner les images couleur (prises par les archéologues) relativement au nuage de points et aux images noir et blanc.

Exploiter les données photogrammétriques

Une tâche récemment confiée à EDF a consisté à incorporer les points et les images photogrammétriques dans la base de données laser, puis à produire 5 minutes d'images de synthèse en relief. La mise au point technique fut délicate. Le logiciel 3Dipsos a été utilisé pour mailler le nuage de points et pour mettre en correspondance les images noir et blanc dans l'espace 3D. Les images couleur ont été positionnées sur le maillage par un

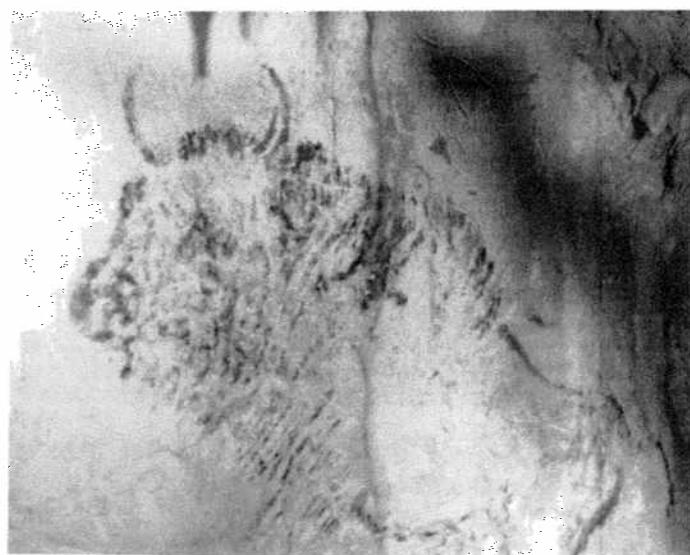


Fig. 7 a. Image virtuelle du bison " Bi1 " peint sur une paroi galbée, avec simulation de torche.

Fig. 7 a. Rendering of bison Bi1, drawn on a curved surface, with torch effect.

In addition, this system provides data for virtual reality simulation and real mock-up production : it gives material to communication specialists for public exhibits.

The photogrammetric survey

During the 1994 operation the survey of the cave was shared out between photogrammetric and laser techniques. A canvas of targets was then set up to be used as a common frame for both surveys. Six divers carried out the stereo-photogrammetric takes (Clottes, Courtin, Collina-Girard 1996) (common project of the French Ministry of Culture DRASSM and of the SETP firm).

The photogrammetric survey was difficult : The technique is complex when used in so intricate a space as the Cosquer cave. The localization of images with respect to the canvas was made with an estimated error of 5 cm. Moreover, at the end of the day, the divers had to bring the negative film back to the shore; then, they had to be developed and printed by SETP during the night in order to guide the next day's work ; this was tedious compared to the immediate digital processing of laser points. Besides, the divers mainly took black and white pictures, in order to reduce development time, which introduces a problem when the virtual model is to be color textured.

SETP processed the couples of pictures using a stereo-restitution system in order to create 3,700,000 (x, y, z) coordinates. Matching points were also defined to help position the color pictures taken by archeologists with respect to the cluster of dots and to the black and white pictures.

Exploiting the photogrammetric data set

EDF was recently asked to insert the photogrammetric points and images into the laser data set, and to compute 5 new minutes of stereo sequences. The technical adjustment was tricky. The 3Dipsos program was used to mesh the cluster of dots and to match the black and white images in the 3D space. Color pictures were positioned on the mesh using a camera-matching algorithm initialized with the matching dots. 3Dipsos was then used to texture

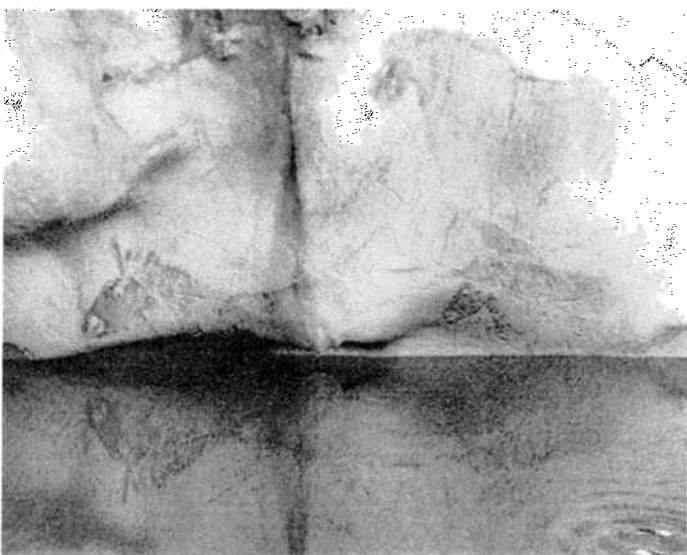


Fig. 7 b. Image virtuelle des petits chevaux avec torche et eau simulées.

Fig. 7 b. Rendering of the small horses with torch and water effects.

algorithm de correspondance inverse 2D-3D à partir des points de calage. 3Dipsos a alors servi à texturer le modèle (fig. 7 a-b). Les cinq minutes de film ont été calculées en relief avec le logiciel Maya (Alias-Wavefront). Elles sont visibles gratuitement dans l'amphithéâtre du Musée d'Histoire de Marseille depuis juin 2000.

L'équipe technique ayant produit la grotte virtuelle regroupe EDF, MENSI, Chromakey, SETP et le cabinet de topographie Perazio. Pour les nouvelles images, les intervenants ont été EDF, D. Tardy (réalisateur), VidéoTechnoFrance, Vision Plus et Forêt bleue, sous la validation de l'archéologue Jean Courtin.

Synthèse

L'exemple de la grotte Cosquer illustre l'éventail d'outils numériques tridimensionnels désormais disponibles pour le patrimoine préhistorique. La densité de mesures laser est une nouveauté importante qui permet de saisir finement les figurations et la cavité qui les abrite. La copie numérique est désormais utilisable pour les calculs d'images de synthèse haute définition en relief et la production de répliques réelles.

Remerciements

Ministère de la Culture et CNRS : J. Courtin ; EDF : B. Brillault, F. Guisnel, D. Peters-Destéact ; MENSI : A. d'Aligny, R. Benjemaa, X. Chen, A. Lezennec, M. Paramythioti ; SETP : J.-J. Pollet.

Pour des informations sur l'action de mécénat d'EDF, contacter D. Brizemeure (daniel.brizemeure@edfgdf.fr) et G. Thibault (guillaume.thibault@edf.fr) pour les aspects techniques.

Le site www.mensi.com présente différentes références du système laser dans le domaine culturel :

- Pont Neuf à Paris pour l'étude d'illumination,
- Colosse Ptolémée d'Alexandrie (Egypte) pour étude d'assemblage des 4 blocs (poids total : 23 tonnes) ; le colosse reconstitué fut dressé devant le Petit Palais, à Paris, en 1998,
- Sanctuaire d'Athéna à Delphes (Grèce) pour sa reconstitution virtuelle,
- Nombreuses statues : statues d'Angkor (Cambodge), Hercule Farnèse de Naples (Italie), Champollion de Grenoble.

the model (Fig. 7 a-b). Five minutes of images were then computed in stereo rendering using the Maya software program (Alias-Wavefront). Since June 2000, they have been available and can be seen for free at the theatre of the History Museum of Marseille.

The working team that has produced the virtual copy of the cave includes EDF, MENSI, Chromakey, SETP and Perazio. The new images were created with the contributions of EDF, D. Tardy (art director), VidéoTechnoFrance, Vision Plus and Forêt bleue, under the validation of archeologist Jean Courtin.

Conclusion

The Cosquer cave example illustrates the range of new digital 3D surveying tools now available for prehistorical heritage. The density of laser dots is an important breakthrough, allowing a fine grain capture of the paintings and of the cave where they are located. The digital counterpart can then be used for high definition stereo navigation and for the production of real replicas.

Guillaume THIBAULT

Électricité de France / Recherche et Développement
1, avenue du Général de Gaulle - 92141 Clamart cedex, France

Acknowledgments

French Ministry of Culture and CNRS: J. Courtin; EDF: B. Brillault, F. Guisnel, D. Peters-Destéact; MENSI: A. d'Aligny, R. Benjemaa, X. Chen, A. Lezennec, M. Paramythioti; SETP: J.-J. Pollet.

For information about EDF sponsorship, you can contact D. Brizemeure (daniel.brizemeure@edfgdf.fr) and G. Thibault (guillaume.thibault@edf.fr) for technical information.

The www.mensi.com website includes several case studies in cultural heritage:

- The Pont Neuf bridge in Paris, for simulation of illuminations,
- The Ptolemee colossus of Alexandria (Egypt) for assembly studies of the 4 blocks (total weight: 23 tons); the reconstructed colossus was erected in front of the Petit Palais in Paris in 1998,
- Athena's sanctuary in Delph (Greece) for its virtual reconstruction,
- Numerous statues: from Angkor (Cambodia), Hercules Farnese in Naples (Italy), Champollion in Grenoble (France).

BIBLIOGRAPHIE

AUJOULAT N., 1993. — L'Outil photographique. In GRAPP. — *L'Art pariétal paléolithique : Techniques et méthodes d'étude*. Paris, Édition du Comité des Travaux historiques et scientifiques, p. 347-353.

BRUNET J. & VOUVÉ J., 1996. — *Conservation des grottes ornées*. Paris, CNRS Editions.

CLOTTE J. & COURTIN J., 1994. — *La Grotte Cosquer : Peintures et gravures de la caverne engloutie*. Paris, Le Seuil.

CLOTTE J., COURTIN J., COLLINA-GIRARD J., 1996. — La Grotte Cosquer revisitée. *INORA*, 15, p. 1-2.

RÉUNIONS - COMPTES RENDUS

MEETINGS - ACCOUNTS

SECOND INTERNATIONAL ROCK ART CONGRESS. YINCHUAN, NINGXIA, CHINA

Le 1^{er} Congrès International d'Art Rupestre en Chine s'était tenu à Yinchuan en 1991. La même ville fut choisie pour le 2^e Congrès (1-7 septembre 2000). Cette répétition, ainsi que la proximité du Congrès d'Alice Springs moins de deux mois plus tôt, explique le nombre relative-

The 1st International Rock Art Congress took place in China in 1991 in Yinchuan. The same town was chosen for the 2nd Congress (1-7 Sept 2000). This, together with the proximity of the Alice Springs Congress less than two months before, explains why foreign scholars were relative-