

Chapitre 7

La grotte aménagée de Benxi Shuidong (district de Benxi, province du Liaoning)

Jean Bottazzi¹, Richard Maire², Zhang Shouyue³ et Shen Lingmei⁴

Résumé : Benxi Shuidong est la plus grande rivière souterraine aménagée de Chine. Elle est située en zone tempérée, dans la province septentrionale du Liaoning (district de Benxi), à 680 km à l'ENE de Beijing et à 74 km au sud-est de Shenyang, la capitale provinciale. Elle présente un parcours navigable de 2 800 m dans une galerie de 10 à 25 m de large et de 5 à 40 m de haut. Le niveau d'eau a été remonté artificiellement par un barrage. Ce parcours de navigation souterraine, l'un des plus long au monde, s'achève par un siphon. La grotte de Benxi représente un remarquable exemple de recouplement souterrain d'un massif calcaire par les pertes partielles de la rivière Tanghe. Le système perte-résurgence, d'une extension totale de 4,75 km (extension connue de 2,3 km), rejoint vers le nord-ouest une autre rivière, la Taizihe par un processus de capture souterraine partielle.

En 1997, à la demande des responsables touristiques de la grotte, Zhang Shouyue (Academia Sinica) et une équipe spéléologique de la F.F.S. poursuit en plongée l'exploration de la cavité dans le but d'un aménagement complémentaire qui augmenterait le potentiel touristique, le prestige du site et la connaissance scientifique du système souterrain. La partie explorée mesure 616 m de développement topographié, dont 200 m sont noyés, portant le développement total du réseau à 3 690 m. Trois siphons ont été franchis, la sortie du quatrième n'a pas été atteinte. Le siphon 1 mesure 85 m de long avec un point bas à -7 m. Il débouche dans une cloche longue de 25 m. Le siphon 2 mesure 30 m (-2 m). Il débouche dans une seconde cloche de 15 m de long. Le siphon 3 mesure 10 m (-2 m). Au-delà, se développe une galerie parcourue par la rivière sur 370 m de long. Le réseau présente d'abondants dépôts argileux sur le lit et les berges. Le concrétionnement se limite à quelques rares fistuleuses. Le siphon 4 a été exploré sur 110 m jusqu'à la cote -12 m. L'exploration de la partie nouvelle montre un changement de la géologie du réseau. Le réseau aménagé se développe dans les calcaires ordoviciens alors que la partie nouvelle se développe d'abord dans le Cambrien supérieur, puis au contact du Cambrien supérieur et du Cambrien moyen. D'après la topographie, le volume de

la partie aménagée de la grotte a été estimé à 408 000 m³, soit une section moyenne de 130 m².

Plusieurs traçages ont été réalisés par les hydrogéologues locaux à partir de la zone des pertes de la Tanghe. La vitesse de transfert peut se décomposer en trois parties : 68 m/h pour la partie de 3 150 m, en majorité inconnue, située entre la perte et le siphon 1 ; 100 m/h pour la rivière souterraine aménagée ; 76 m/h pour l'ensemble du système jusqu'à la résurgence, pour une extension totale de 4 750 m. Un second traçage, effectué à partir d'une autre perte, donne une vitesse moyenne de 88 m/h. Les analyses chimiques montrent que l'essentiel de la dissolution a lieu dans la zone noyée ou semi-noyée entre la perte et le siphon 1. Il s'agit d'une zone à creusement actif.

L'absence de découverte d'une grande salle au-delà des siphons compromet un futur aménagement post-siphon. Néanmoins, le parcours visitable pourrait être allongé de 400 m en montrant un aspect plus austère de la grotte, celui de la zone semi-noyée et permettrait de poursuivre une étude plus poussée car il existe une distance de plus de 3 km entre les pertes de la rivière et le siphon 1.

Mots-clés : Liaoning, Benxi, Shuidong, résurgence, siphon, Cambrien, Ordovicien, grotte aménagée.

Abstract: Benxi Shuidong show cave.

Benxi Shuidong is the longest underground river in China opened to the visitor. It is located in temperate climate area, in the northern province of Liaoning (County of Benxi), 680 km ENE from Beijing and 7 km SE far from Shenyang which is the provincial capital. It is a 2 800 m navigable river which contains galleries 10 to 25 m wide and 5 to 40 m high. The water level was artificially increased by a dam. The navigation of this underground river is one of the longest in the world and ends with a siphon. Benxi Water Cave is a remarkable example of carbonated massif underground stepping by the partial sinks of the river Tanghe. The system, from sink to resurgence, has a 4,75 km total extension (only 2,3 km has been explored), it links NW towards another river called Taizihe, by a process of partial underground piracy.

1. Ursus, Vénissieux et Spéléo-Club de Savoie, Chambéry.

2. A.R.S.I.P., Sainte-Engrâce et Centre Terre, Escoussans.

3. Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing.

4. Benxi Water Cave, Liaoning.

In 1997, at the request of the show cave management, Zhang Shouyue (Academia Sinica) and a speleological team of the FFS, a diving exploration of the cave was carried out with the aim of a complementary equipment which would increase the tourist potential, the prestige of the site and the scientific knowledge of the underground system. The explored part is 616 m long (200 m are drowned), carrying forward the total development of the network to 3 690 m. Three siphons were dived, the exploration stopped in the fourth. Siphon n°1 is 85 m long with a lowest point at -7 m. It emerges in a bell of 25 m long. Siphon n°2 measures 30 m and - 2 m. It emerges in a second 15 m long bell. Siphon n°3 measures 10 m and - 2 m and leads to a 370 m long underground river. The network contains a lot of clayed deposits on the bed and the banks. The speleothems are scarce. Siphon n°4 was dived to 110 m long and - 12 m deep. The exploration of this new part shows a geological change in the network. The show cave was formed in Ordovician limestone. The new part develops in upper and middle Cambrian. According to the topography, the volume of the show cave is estimated

at 408 000 m³, with an average section of 130 m².

Several tracings were carried out by the local hydrogeologists starting from the Tanghe sinks area. The speed of transfer can be subdivided into three parts: 68 m/h for the drowned part of 3 150 m long, the majority of which is unknown, located between the sinks and the siphon n°1; 100 m/h for the show cave; 76 m/h for the whole system of 4 750 m long. A second tracing, from another sink, gives an average speed of 88 m/h. The chemical analyses show that most of the dissolution takes place in the saturated or half-saturated area between the sinks and siphon 1. It is an active corrosion zone.

The lack of large passages beyond the siphons compromises any post-siphon show cave project. Nevertheless, 400 m of passage worth visiting could be developed by the show cave management, showing the more rugged half-drowned feature of the cave. It would be possible to continue the study because there is more than 3 km between the main sink and siphon n°1.

Key-words: Liaoning, Benxi, Shuidong, resurgence, siphon, Cambrian, Ordovician, show-cave.

第七章 辽宁本溪水洞潜水探查

本溪水洞是中国也是世界最长的暗河旅游洞穴之一，位于中国北方辽宁省，属温带气候区域。可以乘船游览部分的洞穴长约 2200m、宽 10-20m、高 5-40m，末端是虹吸管道。筑堤坝使暗河水位抬高以利行船。该洞是在碳酸盐岩地块为汤河一部分河水渗漏于地下而形成洞穴的一个明显的实例。

1997 年，应水洞风景区管理处的邀请，中国科学院张寿越与法国洞穴联盟的洞穴学家小组对该洞进行潜水探测，目的在于为增加旅游潜力、提高知名度及地下系统的科学知识而增加新的旅游洞段。共测量了 615m，其中水下部分 225m，使该洞调查总长度达到 3690m。入潜了三个虹吸洞段，止于第四洞段。第一虹吸洞段长 85m，最低点-7m，然后是 25m 长的穹状厅；第二虹吸洞段长 15m 及-2m，后为第二个穹状厅，长 10m；第三虹吸洞段长 15m、-2m，之后是长 355m 的暗河，河床及两岸有许多泥质沉积物，钙质沉积极其有限；第四洞段潜入 110m、潜深-12m。新的洞段揭示了地

质上的变化，旅游洞段部分系循奥陶系灰岩发育，而新的洞段开始循上寒武统并逐渐沿中寒武统发育。根据洞穴图，水洞的体积估计约为 408000m³，亦即平均断面积为 130m²。

水文地质学者曾作为从汤河渗入段开始的示踪试验。水流速度可以分为三种情况：从渗漏段到第一虹吸洞段即暗河源头处距离为 3150m，水流速度为 68m/h；旅游洞段部分计算出的流速为 100m/h；对于包括暗河出口的整个系统而言，距离总长度达 4750m、则其速度为 76m/h。水化学分析表明，绝大部分溶解作用发生于渗漏与虹吸洞段间的充水与半充水地段，这里是活动的、发育中的地段。

虹吸通道以远未能发现大的通道和厅室、使虹吸洞段旅游开发项目受到影响。不过值得一看的近 400m 半充水洞段如果能为风景管理当局开发，以展示更不平整的半充水洞穴的面貌。上游渗漏段至第一虹吸洞段间愈 3km 的部分值得继续研究。

Introduction

Benxi Shuidong est la plus grande rivière souterraine aménagée de Chine. Elle est située en domaine tempéré, dans la province du Liaoning (district de Benxi), à 680 km à l'ENE de Beijing et à 74 km au sud-est de la capitale provinciale Shenyang. L'accès est aisé par route, train et avion depuis Beijing. Elle présente un parcours navigable de 2 800 m dans une galerie de 10 à 25 m de large et de 5 à plus de 40 m de haut. Le niveau d'eau a été remonté artificiellement par un barrage. Ce parcours unique au monde s'achève par un siphon.

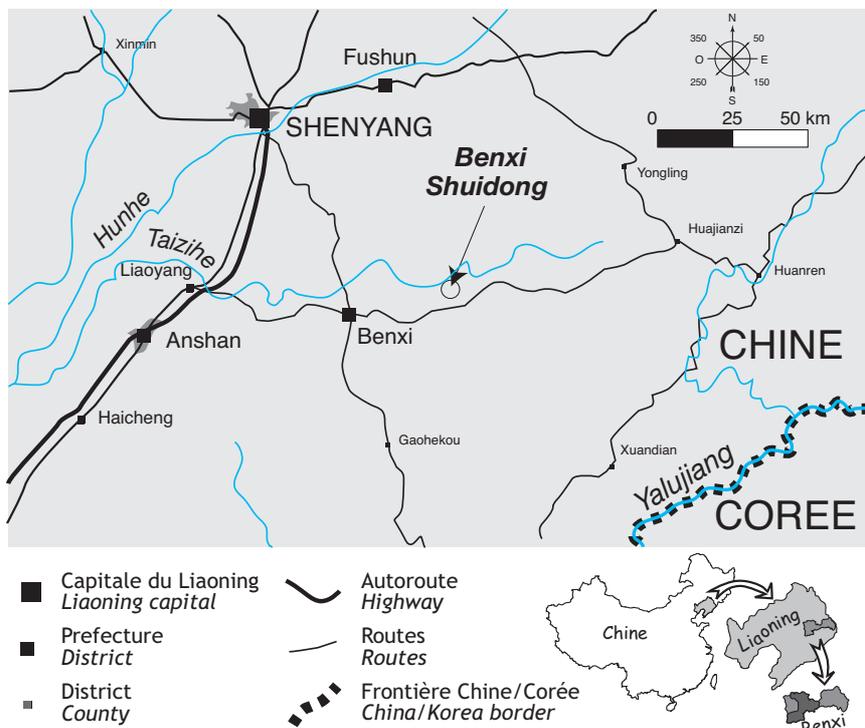
La grotte de Benxi représente en fait un remarquable exemple de recoupement souterrain d'un massif calcaire par les pertes partielles de la rivière Tanghe («rivière chaude»). Mais il ne s'agit pas d'un recoupement classique de méandre encaissé du type Han sur Lesse (Belgique). En effet, le système perte-résurgence, d'une extension totale de 4,75 km (extension connue de 2,3 km), rejoint vers le nord-ouest une autre rivière, la Taizihe (grande rivière) par un processus de capture souterraine partielle.

I. Historique des explorations

En 1997, les responsables touristiques de la grotte ont demandé à Zhang Shouyue de l'Académie des Sciences de Beijing de trouver une équipe spéléologique compétente pour poursuivre en plongée l'exploration de la cavité dans le but d'un aménagement complémentaire qui augmenterait le potentiel touristique, le prestige du site et la connaissance scientifique du système souterrain. Une équipe de la Fédération Française de Spéléologie et de l'Academia Sinica s'est donc rendue sur les lieux en septembre 1997 pendant 10 jours. L'exploration nouvelle a permis de reconnaître plus de 600 m de conduits noyés et exondés, portant ainsi le développement total de la cavité à 3 690 m.

La première exploration complète de la cavité par les Chinois a eu lieu en 1966. La grotte est ouverte au public en 1983, mais la topographie est réalisée seulement en 1986. Actuellement les responsables du tourisme cherchent à inscrire la grotte de Benxi au patrimoine mondial (UNESCO). Des artefacts préhistoriques datant de 4 000 ans BP ont été découverts à l'entrée de la grotte, dans le porche de trop-plein.

Une première tentative de plongée a été faite par l'armée chinoise en 1993. Totalisant 3 h d'immersion, nos courageux prédécesseurs ont pénétré le début du siphon avec la technique du narguilé en émettant leurs observations vers la surface en direct. Leur rapport donne un azimut du départ de la



galerie noyée et signale deux stalagmites qui se révéleront être deux protubérances rocheuses.

L'expédition franco-chinoise de 1997 était constituée de deux plongeurs français et d'une équipe de scientifiques chinois et français. Le matériel de plongée comportait un compresseur, un bi-bouteille de 20 litres, deux bi-bouteilles de 9 litres, un bi-bouteille de 3,5 litres, un mono-bouteille oxygène de 2 litres, deux combinaisons sèches (volume constant) et 1 500 m de fil d'Ariane, complétés par trois équipements spéléologiques complets, quelques cordes et amarrages et une trousse à spit.

Le matériel topographique et scientifique était constitué par un ordinateur portable avec le logiciel Toporobot, deux matériels topographiques subaquatiques (compas, ordinateur de plongée, carnet, fil métré) et un matériel topographique classique (compas, clinomètre, décamètre), un kit Merck de mesure de dureté de l'eau, un équipement vidéo étanche et son éclairage et deux appareils photographiques étanches Nikonos.

Figure 143 : Carte de situation de la zone étudiée.

Location map of the studied area.

Photo 292 : Le matériel minimum nécessaire à une petite expédition de plongée. Tout a été acheminé depuis la France.

The necessary minimum equipment for a small cave-diving expedition.

Photo J. Bottazzi 1997



Photo 293 : Paysage de la vallée de la rivière Tanghe en amont de Benxi Shuidong (district de Benxi, Liaoning).

The valley of Tanghe river upstream of Benxi Shuidong (Benxi County, Liaoning).

Photo J. Bottazzi 1997



II. contexte géologique

A. Litho-stratigraphie

Figure 144 : Carte géologique simplifiée du sud-est de la province du Liaoning (d'après la carte géologique simplifiée de la Chine 1/4 000 000).

Simplified geological map of South West Liaoning (after geological map of China, 1/4 000 000).

La région de Benxi présente des terrains anciens appartenant à la plate-forme de Chine du Nord, connue aussi sous le nom de paraplate-forme de Chine-Corée. Cette vaste zone structurale, de forme triangulaire, couvre le nord-est du pays. Les karsts se développent dans des terrains carbonatés allant du Précambrien supérieur (570-850 Ma) à l'Ordovicien (435-500 Ma). Les terrains carbonatés

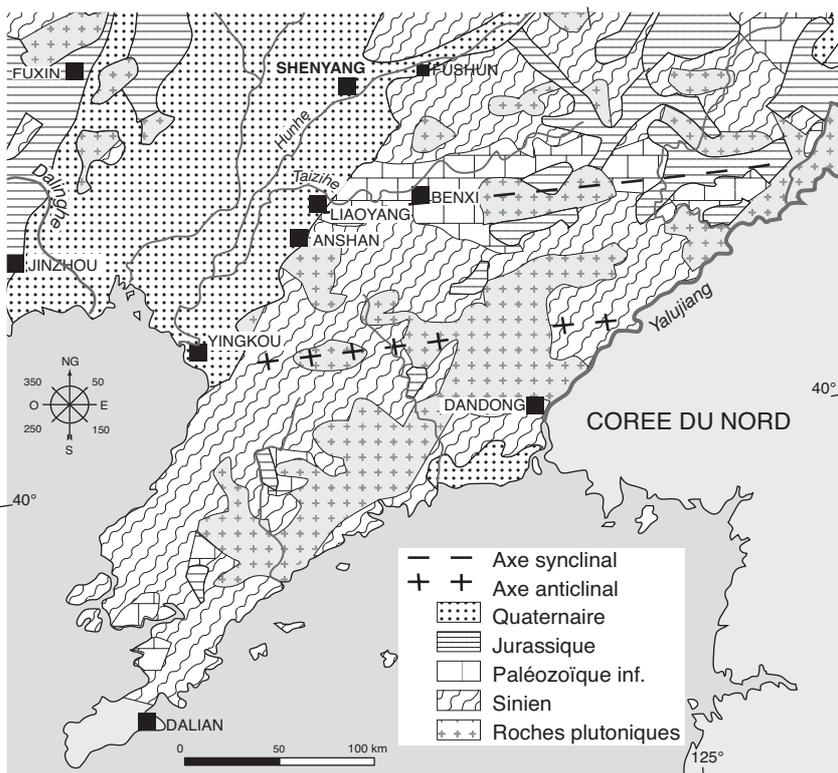
atteignent généralement 1 000 à 2 000 m de puissance, mais peuvent atteindre 6 000 à 7 000 m dans les monts Yanshan près de Beijing [Zhang Shouyue et Maire, 1991].

Dans la région de Benxi, la série stratigraphique présente d'importants hiatus [Pan Jianming, Qiao Xiquan et Chen Shicai, 1993]. A la base, les quartzites du Sinien (Précambrien supérieur) sont recouverts en discordance par :

- des calcaires oolithiques du Cambrien moyen ;
- des calcaires et niveaux argileux du Cambrien supérieur ;
- des calcaires massifs à pyrite et dolomie de l'Ordovicien moyen de plus de 600 m (formation Majiogou).

Dans le détail, la formation Majiogou est constituée à la base par une couche de 60-70 m de calcaires et dolomies stratifiés bleu-gris et gris-jaune dans laquelle est creusée la grotte. La partie supérieure est constituée par une série épaisse (plus de 550 m) de calcaires noirs, calcaires tachetés, calcaires dolomitiques et brèches.

Au-dessus de la formation Majiogou, on observe un important hiatus de plus de 100 millions d'années puisque l'Ordovicien moyen est recouvert directement par des sédiments clastiques (couches à charbon) du Carbonifère moyen / Permien inférieur ; puis par des sédiments continentaux (couches rouges) du Permien supérieur-Trias moyen. Les terrains du Jurassique, localisés plus à l'est, recouvrent en discordance le Paléozoïque et le Précambrien supérieur. Dans l'ensemble du Liaoning, les terrains du Jurassique et du Crétacé notamment ont été affectés par des intrusions granitiques, mais également par du volcanisme continental plus ou moins acide comme les trapps basaltiques situés à la frontière coréenne et à l'extrême nord-est.



B. Situation structurale et histoire tectonique

La région de Benxi est située dans la partie nord du bloc faillé du Liaoning (*Liaoning Fault Block*). Cette unité tectonique triangulaire comprend au sud les montagnes de la péninsule de la province de Shandong (Shandong Bandao) et au nord tout le bloc montagneux de la partie orientale du Liaoning (Liaodong Bandao, Qianshan). Cette unité dite de Jiao-Liao est située à l'est d'un ensemble tectonique beaucoup plus important : le bloc faillé de Chine du Nord (*North China Fault Block*), intégré lui-même dans la plate-forme de Chine du Nord. Le massif de la grotte de Benxi est situé dans la partie sud d'un long synclinal orienté est-ouest où affleurent les terrains carbonatés de la formation Majiogou de l'Ordovicien moyen avec un pendage de 15 à 40°. La fracturation principale est orientée nord-est/sud-ouest.

Cette région géologiquement très ancienne a été soumise à de nombreux événements tectoniques et à une histoire paléogéographique complexe. La plate-forme de Chine-Corée s'est mise en place durant le long cycle tectonique calédonien qui a débuté à la fin du Protérozoïque (Précambrien supérieur), c'est-à-dire au Sinien (600-850 Ma), période marquée par une forte subsidence. A cette époque, la partie interne de la plate-forme de Chine-Corée correspond à une pénéplaine soumise à une lente altération. La bordure sud est limitée par des montagnes recouvertes de glaciers attestées par des dépôts fluvio-glaciaires fossiles, les tillites du Changjiang.

La région de Jiao-Liao, à laquelle appartient la zone de Benxi, connaît un soulèvement partiel lors du Cambrien, puis la série carbonatée marine se dépose dans un contexte de mer épicontinentale durant le Cambrien et l'Ordovicien inférieur-moyen. La région de Benxi a été soulevée (émersion) à l'Ordovicien moyen, lors de la troisième phase orogénique du cycle calédonien appelé Gulangien [Wang Hongzhen, 1986]. L'émersion définitive de l'ensemble de la plate-forme est en relation directe avec le mouvement de subduction sur les marges nord et sud, en bordure de la Pangée, le supercontinent unique de l'époque.

A l'ère primaire, durant le cycle hercynien (Silurien, Dévonien, Carbonifère), puis indosinien (Permien, Trias), la région connaît des environnements variés : domaine paralic pendant le Carbonifère (charbon), domaine de dépôts continentaux au Permien et au Trias.

Entre la fin de l'ère primaire et la fin du Trias a lieu l'éclatement définitif de la Pangée en deux continents : Laurasia au nord et Gondwana au sud, avec les phases orogéniques de Yanshan, puis les phases himalayennes.



Photo 294 : A l'embarcadère de l'entrée de Benxi Shuidong, l'activité portuaire est intense (district de Benxi, Liaoning).

III. Description de Benxi Shuidong

La grotte porte aussi le nom de Xiejiawaidong (ou grotte du village de Xiejiawai) ou de Benxi Water Cave.

Dév. : 3 950 m - Extension : 1 720 m pour la partie aménagée, 2 300 m au total.

Lat. : 41°18' N - Long. : 124°04' E - Alt. : 176 m

Cette grotte-résurgence se situe à 35 km au sud de la ville de Benxi, sur la rive gauche de la rivière Taizihe, non loin du village de Xiejiawai.

Partie aménagée : la rivière navigable

La cavité de Benxi s'ouvre par un porche fossile, de 30 m de large sur 15 m de haut, situé à 185 m d'altitude, soit 15 m au-dessus du cours de la rivière Taizihe. La rivière souterraine rémerge au niveau de deux orifices noyés : la résurgence principale à gauche (alt. 175 m) et la résurgence secondaire à droite.

High boat traffic in the entrance harbor or Benxi shuidong (Benxi County, Liaoning).

Photo 295 : Les barques électriques permettent une visite très confortable.

The electric boats enable a very comfortable visit.

Photos J. Bottazzi 1997



Benxishuidong

Grotte-Rivière de Benxi

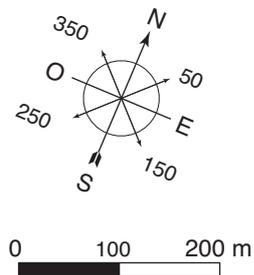
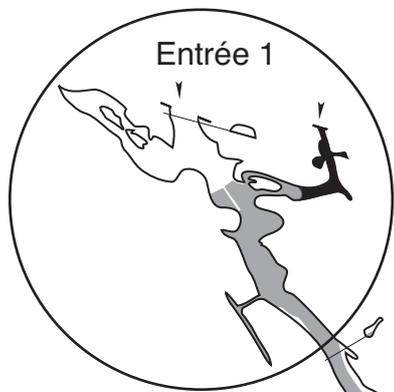
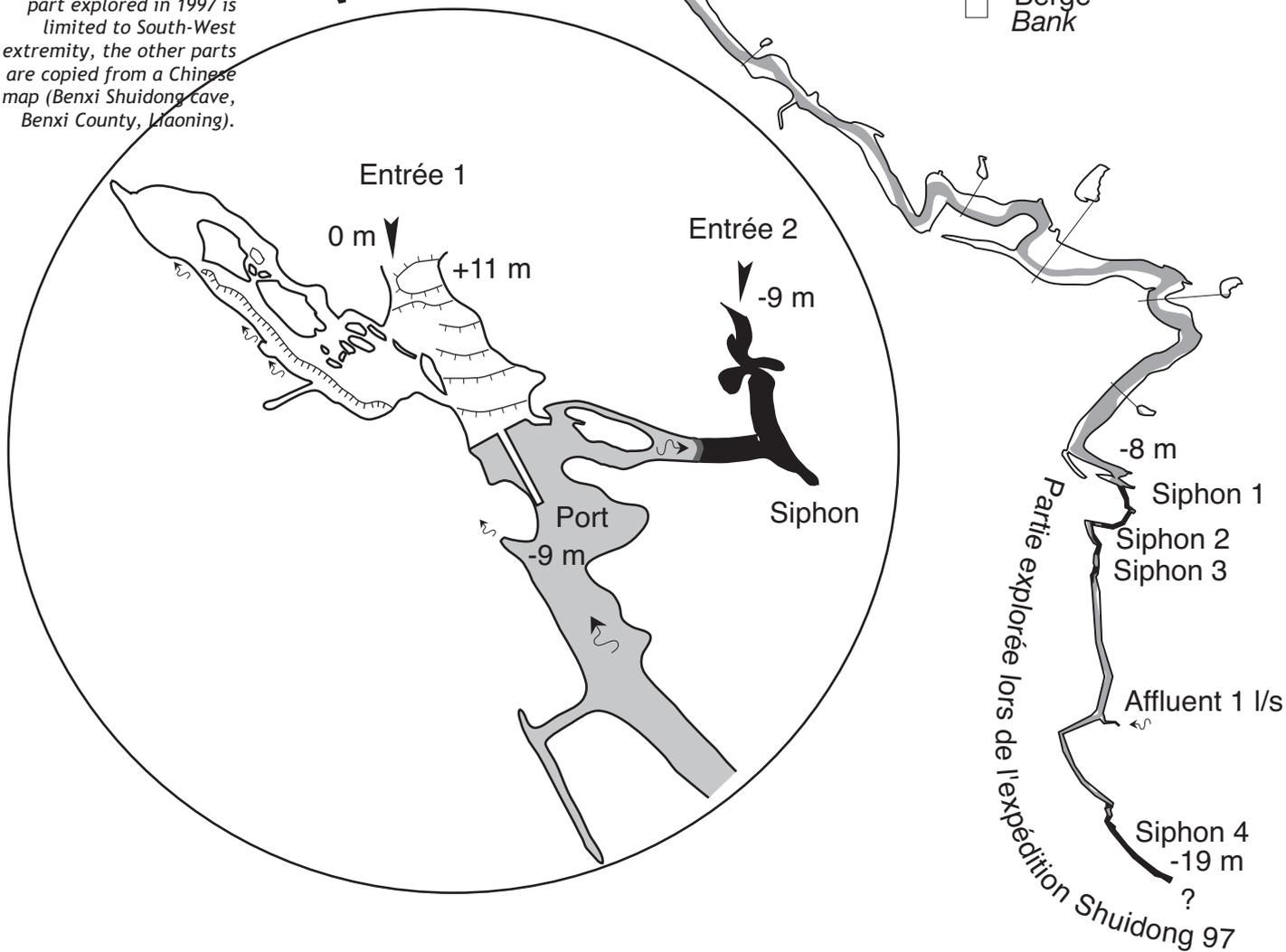


Figure 145 : Plan de la grotte de Benxi Shuidong. La partie explorée en 1997 se limite à la zone des siphons amont (extrémité sud-est), le reste de la topographie est redessinée d'après un relevé chinois (grotte de Benxi Shuidong, district de Benxi, Liaoning).

Map of Benxi Shuidong. The part explored in 1997 is limited to South-West extremity, the other parts are copied from a Chinese map (Benxi Shuidong cave, Benxi County, Liaoning).

Légende :

- Rivière
River
- Siphon
Siphon
- Berge
Bank



L'ensemble de la cavité se développe vers le sud-est sous la forme d'un grand conduit aquatique avec quelques coudes et baïonnettes dans la seconde partie du réseau. Un barrage artificiel, situé au niveau de l'embarcadère, a permis de rehausser le niveau de la rivière de sorte que l'on peut parcourir toute la grotte en bateau. Le conduit principal mesure en moyenne 15 à 20 m de large et 5 à 15 m de haut, avec des élargissements de 40 à 50 m de large sur 30 à 40 m de haut.

En entrant dans la grotte, sur la rive droite, quelques diverticules ont été aménagés en locaux techniques alors que la rive gauche canalise les visiteurs : guichet, distribution des parkas, attente d'embarquement. Des posters lumineux de grottes aménagées célèbres dans le monde préparent le touriste. Sur le bord sud, une branche fossile d'une centaine de mètres a été aménagée sur le thème des animaux de la préhistoire.

L'embarcadère, avec ses 70 barques électriques, se situe à la base d'un talus sédimentaire large de 40 m environ, se terminant par des escaliers. Sur la gauche (rive droite), une partie du lac de barrage se déverse dans un siphon, long d'une centaine de mètres, alimentant la résurgence principale. En remontant la rivière sur 60 m, sur la droite (rive gauche), une partie de la rivière se perd avec fracas dans une fissure étroite.

Au bout de 200 m de navigation, la voûte s'abaisse à 2 m. Puis, rapidement, les parois verticales font place aux premières berges et le spectacle des concrétions illuminées commence : coulées, draperies, stalagmites et stalactites. Les moteurs électriques ne troublent pas la paix des lieux et les chants des visiteurs emplissent les volumes. A 1 km de l'entrée, on rencontre la première salle (80 x 50 m) avec un important talus de blocs en rive droite. La salle la plus impressionnante se situe vers la fin du réseau : elle mesure 110 m de long, 50 m de large et 40 à 50 m de haut. Il s'agit d'un effondrement attesté par un gros talus de blocs en rive droite tandis que la rive gauche escarpée est recouverte par de puissants piliers stalagmitiques de plus de 10 m de haut. Un petit réseau fossile perché 15 m au-dessus de la rivière, de 100 m de long, se développe sur une fracture dans l'angle sud-ouest de la salle.

120 m après la salle, la galerie présente deux coudes successifs et se dirige 200 m vers le sud, dans une ambiance lugubre, par un conduit relativement bas de plafond (2 à 5 m), aux parois sombres et faiblement concrétionnées. La partie terminale forme un coude vers l'est et la rivière navigable se termine sur un lac siphonnant étroit orienté sur une fracture est-ouest. 100 m avant le siphon, un petit réseau de conduites forcées, à écoulement temporaire, se développe vers le sud dans le prolongement de la galerie active ; il pourrait s'agir d'un trop-plein de la zone noyée.



IV. Exploration de la zone noyée

Les plongées se sont succédées du 21 au 30 septembre 1997 dans de bonnes conditions techniques, mais dans une eau trouble : 2,50 m de visibilité à l'aller, 10 cm au retour ! Six plongées ont eu lieu dans les siphons terminaux et une plongée dans le siphon de la résurgence situé près du porche d'entrée.

A. Chronologie des plongées en septembre 1997

Dimanche 21 septembre. P. Maniez effectue une première reconnaissance en plongée de 6 mn. Il équipe le siphon sur 30 m puis revient pour connaître le chemin du retour. Située vers - 4 m, l'orifice elliptique du conduit noyé mesure 5 m de large pour 2 m de haut ; le courant y est sensible. Un poisson de 15 cm de long est observé à 20 m de l'entrée. Après une courte attente, P. Maniez poursuit sur 30 m supplémentaires lors d'une plongée de 10 mn. La galerie présente une section complexe, avec des parois friables, en petits bancs, où se dépose l'argile. Un point bas à - 7 m est atteint.

L'après-midi, J. Bottazzi part pour 40 mn dont 35 mn d'immersion. Il relève la topographie de la galerie explorée le matin, puis poursuit l'exploration. Une cloche est rencontrée rapidement, sans suite. La vraie sortie du siphon S1 est trouvée à 85 m de l'entrée. La galerie exondée est large de 6 m et présente une berge argileuse en rive gauche où arrive un minuscule affluent. Le plafond, 2 m plus haut, est incliné selon le pendage et s'abaisse lentement 25 m plus loin sur un 2^{ème} siphon.

Lundi 22 septembre. P. Maniez part pour une exploration de 2 h 15 dont 30 mn d'immersion. Il franchit le siphon 2 (10 m, - 2 m) puis 15 m plus loin le siphon 3 (10 m, - 2 m). Ces siphons présentent une section irrégulière, mais de dimensions plus vastes (4 x 5 m) . Il débouche dans une galerie exondée parcourue par une rivière. Le plafond,

Photo 296 : Au terme de 2 800 m de navigation, à l'approche du siphon 1, les concrétions sont rares et le paysage est austère (grotte de Benxi Shuidong, district de Benxi, Liaoning).

After 2 800 m boating, nearby the siphon 1, speleothems are scarce (Benxi Shuidong cave, Benxi County, Liaoning).

Photo J. Bottazzi 1997

Photo 297 : La seule façon de poursuivre l'exploration au-delà du siphon est la plongée.

Diving is the only way to carry on exploration.

Photo P. Bottazzi 1997





Photo 298 : Au bord du siphon 1, une petite terrasse boueuse a été aménagée pour les ultimes préparatifs (grotte de Benxi Shuidong, district de Benxi, Liaoning).

Near the siphon 1, a small muddy terrace has been organised for diving facilities (Benxi Shuidong cave, Benxi County, Liaoning).

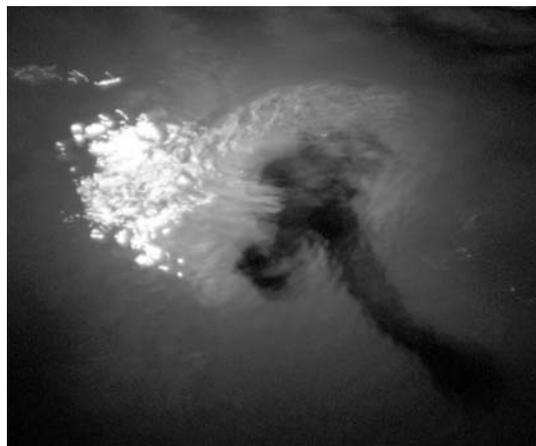
Photo J. Bottazzi 1997

situé entre 2 et 4 m de hauteur, est en général plat et incliné selon la strate (20°) ; il s'arrondit parfois en voûte cintrée. Les parois sont quasiment verticales, avec des talus d'argile à leur base. La largeur est de 5 à 6 m ; le sol, y compris le fond de la rivière, est recouvert de plus de 30 cm d'argile, rendant parfois la progression fatigante, la rivière est large, souvent profonde, obligeant parfois à nager. L'argile est très localement lavée par le courant, le substrat calcaire est alors visible. Au bout de 310 m, on découvre un petit affluent en rive droite ; plus loin, il faut franchir un rapide. Arrêt après franchissement d'une voûte basse à 320 m du siphon 3.

Photo 299 : L'eau est tellement trouble que le plongeur devient très rapidement indiscernable (grotte de Benxi Shuidong, district de Benxi, Liaoning).

The water is so muddy that it is very soon impossible to distinguish the diver (Benxi Shuidong cave, Benxi County, Liaoning).

Photo P. Bottazzi 1997



Mardi 23 septembre. J. Bottazzi plonge et termine la topographie des siphons 1, 2 et 3. P. Maniez le rejoint et ils font ensemble la topographie de la galerie exondée. L'affluent est exploré sur 30 m jusqu'à un siphon étroit qui bloque le passage. Il présente un léger concrétionnement en chou-fleur. L'eau, froide et claire, est échantillonnée lors du retour. Peu après le terminus de la veille, un quatrième siphon est atteint. Un aller-retour au siphon 3 permet de ramener un équipement et J. Bottazzi fait une pointe de 45 m. Un passage tortueux gêne la progression à 10 m du départ : arrêt à - 6 m. La durée totale de l'exploration est de 4 h.

Mercredi 24 septembre. Une première reconnaissance de surface a lieu sur le massif, en rive

droite de la Tanghe. Nous observons une petite grotte en conduite forcée perchée 40 m au-dessus du fond de la vallée. Elle s'avère rapidement trop étroite.

Jeudi 25 septembre. Les deux plongeurs franchissent à nouveau les siphons 1, 2 et 3 et portent d'abord le matériel de P. Maniez au siphon 4. Il fait une reconnaissance du passage tortueux, ressort, puis repart pour une pointe de 8 mn jusqu'à la distance de 65 m (- 8 m). L'arrêt se fait à côté d'un diverticule remontant (cloche). Un aller-retour au siphon 3 permet d'amener le matériel de J. Bottazzi qui part pour une seconde pointe de 15 mn. La galerie, jusque là elliptique, prend une forme de laminoir. A 90 m du départ du siphon, on débouche dans un haut couloir rectangulaire dont le sommet est à - 5 m. Le couloir est fermé à ses deux extrémités, il a donc fallu rembobiner le fil d'Ariane jusqu'au point 90 m avant de poursuivre dans le soubassement en laminoir, plus haut (2 m) et plus large (6 m) jusqu'au terminus actuel, à 110 m de l'entrée du siphon pour une profondeur de -12 m. La galerie continue en plongeant dans le pendage vers l'est à raison d'un mètre tous les 10 m. La topographie est levée au retour malgré une visibilité précaire. Lors du retour au siphon 3, des photographies et un échantillonnage de roche sont effectués. La roche est identifiée le soir même par le professeur Zhang : calcaire du Cambrien moyen.

Vendredi 26 septembre. Des mesures de débit sont réalisées par les collègues chinois. Une deuxième séance de prospection a lieu en surface, notamment en rive droite de la Tanghe (porches).

Photo 300 (droite) : Préparation de la caméra vidéo dans son caisson étanche.

Preparation of the video camera in its waterproof box.

Photo P. Bottazzi 1997





Samedi 27 septembre. En aval du siphon, dans le prolongement est de la faille mettant en contact Ordovicien et Cambrien, un trou d'eau profond avait été en partie comblé lors de travaux de stabilisation de la voûte. J. Bottazzi plonge, malgré une observation minutieuse, il ne trouve qu'une fissure impénétrable où l'eau semble plus froide, sans qu'un courant y soit sensible. R. Maire échantillonne cette eau, c'est la même que celle de la rivière. Ensuite, J. Bottazzi et P. Maniez plongent trois fois dans l'entrée du siphon 1 pour prendre des images vidéo.

Dimanche 28 septembre. Une nouvelle séance vidéo a lieu dans le siphon 1. P. Maniez réussit à capturer un des poissons observés. Deux échantillons de roche sont prélevés en rive droite et gauche du siphon 1 à 20 m de l'entrée. Après la vidéo, J. Bottazzi explore la remontée au point bas du siphon 1. Il s'agit d'une nouvelle cloche d'air. Un niphargus de 5 mm est observé dans cet endroit. R. Maire échantillonne de la roche en rive droite du trou d'eau : la présence d'Ordovicien est confirmée. Dans l'après midi, l'équipe visite une grotte située en rive droite de la Tanghe et s'ouvrant une dizaine de mètres au-dessus du cours alluvial.

Lundi 29 septembre. Le siphon à l'entrée de la grotte est exploré sur 70 m en trois immersions successives (images vidéo). L'eau est toujours aussi

trouble ; mais il y a moins de dépôts d'argile et la visibilité est moins mauvaise. On observe des coupes emboîtées typiques d'un creusement en régime noyé. Ailleurs, on ne distingue pas de coupes et de flûtes. Les 70 derniers mètres présentent un plafond nettement incliné dans le pendage E à ENE. On se trouve alors au contact du Cambrien moyen (calcaire oolithique) et du Cambrien supérieur. Le siphon 4 présente également des sections irrégulières avec un passage étroit. La section terminale en trou de serrure inversé pourrait se trouver au contact du Cambrien moyen et du Cambrien supérieur car elle suit le pendage.

Mardi 30 septembre. Des images vidéo sont tournées derrière les siphons 1, 2 et 3, avec en outre un échantillonnage dans les différentes strates à 380 m de l'entrée du siphon 1 et prélèvement de boue et de choux-fleurs dans l'affluent. A l'aller, P. Maniez identifie à nouveau un niphargus au milieu du siphon 1. La visibilité s'est légèrement améliorée de sorte que le départ du siphon devient visible depuis le bateau.

Mercredi 1er octobre. P. Bottazzi et P. Maniez filment dans la grotte. Le rapport de synthèse est effectué, puis présenté le soir lors d'une réunion générale avec les responsables de la grotte. Le résumé des plongées est le suivant : 15 plongeurs-jours, 38 h 30 d'exploration, 6 pointes, 60 immersions, 9 h 20 sous l'eau, 616,5 m explorés et topographiés dont 4 siphons (225 m).

Jeudi 2 octobre. La journée est consacrée à l'emballage du matériel. Départ de Benxi à 21 h et arrivée à Beijing le lendemain 3 octobre à 10 h.



Photo 301 (gauche) : La mise en pression des bouteilles d'air demande un matériel spécifique et une attention assidue.

Charging air bottles requires a specific equipment and a close attention.

Photo J. Bottazzi 1997

Photo 302 : Derniers préparatifs pour la plongée du premier siphon (grotte de Benxi Shuidong, district de Benxi, Liaoning).

Last preparation before diving the first siphon (Benxi Shuidong cave, Benxi County, Liaoning).

Photo R. Maire 1997

B. Synthèse descriptive de la zone des siphons

La partie explorée mesure 616 m de développement topographié, dont 200 m sont noyés. Trois siphons ont été franchis, la sortie du quatrième n'a pas été atteinte. Le siphon 1 mesure 85 m de long avec un point bas à - 7 m. Il débouche dans une cloche longue de 25 m. Le siphon 2 mesure 30 m et descend à - 2 m. Il débouche dans une seconde cloche de 15 m de long. Le siphon 3, le plus court, mesure 10 m et - 2 m. Au delà, se développe une galerie parcourue par l'ensemble de la rivière. Cette partie exondée, agrémentée de quelques rapides, mesure 370 m de long. Le profil est elliptique (6 x 4 m). Dans le premier tiers, un affluent de rive droite d'un débit de 1 l/s a été remonté sur 20 m dans un conduit de 3 m de diamètre se terminant sur un siphon étroit. Le réseau présente d'abondants dépôts argileux sur le lit et les berges. Le *bed-rock* n'apparaît que sur 10 m, 30 m après le siphon 3. Le concrétionnement se limite à quelques rares fistuleuses. Le siphon 4 a été plongé sur 110 m de long jusqu'à la cote - 12 m.

V. Études hydrogéologiques

A. Traçages

Plusieurs traçages importants ont été réalisés à partir de la zone des pertes de la Tanghe. Un premier traçage a eu lieu à partir de la perte principale dans le lit de la rivière à l'aide de 43 kg de fluorescéine. La situation hydrologique est en étiage

hivernal lorsque la totalité du cours de la rivière Tanghe se perd dans son lit. Le temps de transfert peut se décomposer en trois parties :

- 46,5 h (68 m/h) pour la partie de 3 150 m, en majorité inconnue, située entre la perte et le siphon 1 ;
- 16 h pour la rivière souterraine aménagée (1 600 m), soit une vitesse moyenne de 100 m/h ;
- 62,5 h (76 m/h) pour l'ensemble du système jusqu'à la résurgence, soit une extension de 4 750 m.

Un second traçage a eu lieu à partir d'une autre perte située en rive gauche de la vallée, en bordure directe du massif, avec 960 kg de sel (alt. 211 m). Le temps de transit a été de 18 h pour 1 600 m (réapparition au siphon 1), soit une vitesse moyenne apparente de 88 m/h.

B. Hydrochimie

Nous renvoyons le lecteur au chapitre 12 pour l'ensemble de l'hydrogéologie et de l'évolution karstologique de Benxi Water Cave.

VI. Spéléo-karstologie

A. Géologie de la cavité

La grotte de Benxi se développe dans les calcaires ordoviciens sur les premiers 1 800 m, depuis le porche d'entrée jusqu'au grand coude terminal (Trou d'Eau). Au-delà le réseau est creusé dans les calcaires sombres du Cambrien. Lors des explorations six échantillons ont été prélevés et analysés.

Deux échantillons de roche ont été prélevés à 23 m de l'entrée du siphon, à - 5,7 m de profondeur. Il s'agit d'une roche carbonatée à lits argileux,

Photo 303 : Les pertes de la rivière Tanghe se situent dans le lit encombré de galets, au pied de ces escarpements (district de Benxi, Liaoning).

The sinkholes of the Tanghe river are located in its bed, down the cliffs (Benxi County, Liaoning).

Photo J. Bottazzi 1997



friables et identifiée comme du Cambrien supérieur. Cette roche est identique à celle prélevée à l'entrée du siphon 1 (Cambrien stratifié à niveaux argileux et niveaux plus carbonatés : éch. 13 et éch. 13bis).

Quatre échantillons de roche ont été prélevés dans la galerie exondée entre le S3 et le S4. Le premier (éch. 6) a été pris à 380 m de l'entrée après le grand coude de la rivière, en rive gauche, au niveau de l'eau. Il s'agit d'un rocher gris, très découpé par la dissolution, comportant des oolithes caractéristiques des calcaires du Cambrien moyen.

Les trois autres (éch. 10, 11, 11bis) ont été prélevés de part et d'autre de la galerie, à 420 m du départ du S1. Les échantillons 11 et 11bis correspondent à des bancs en relief situés en rive gauche (éch. 11 à 30 cm de l'eau et éch. 11 bis 1 m plus haut). Il s'agit du même calcaire que l'échantillon 6. L'échantillon 10 a été pris en rive droite, en plafond, soit stratigraphiquement au-dessus des échantillons précédents. Il s'agit d'un grès rouge, calcaire, typique du Cambrien supérieur. La galerie se situe donc au contact de ces deux couches, le pendage étant d'environ 20° à l'est. Le fond du S4 semble toujours se situer au contact Cambrien

supérieur / Cambrien moyen.

L'exploration de la partie nouvelle montre bien un changement complet de la géologie du réseau. Si l'ensemble du réseau aménagé se développe dans les calcaires Ordoviciens, la partie nouvelle se développe d'abord dans le Cambrien supérieur, puis au contact du Cambrien supérieur et du Cambrien moyen. Ceci contrairement à la coupe géologique qui supposait que le réseau resterait dans l'Ordovicien.

Photo 304 : Rétrécissement à l'approche du siphon 4 (grotte de Benxi Shuidong, district de Benxi, Liaoning).

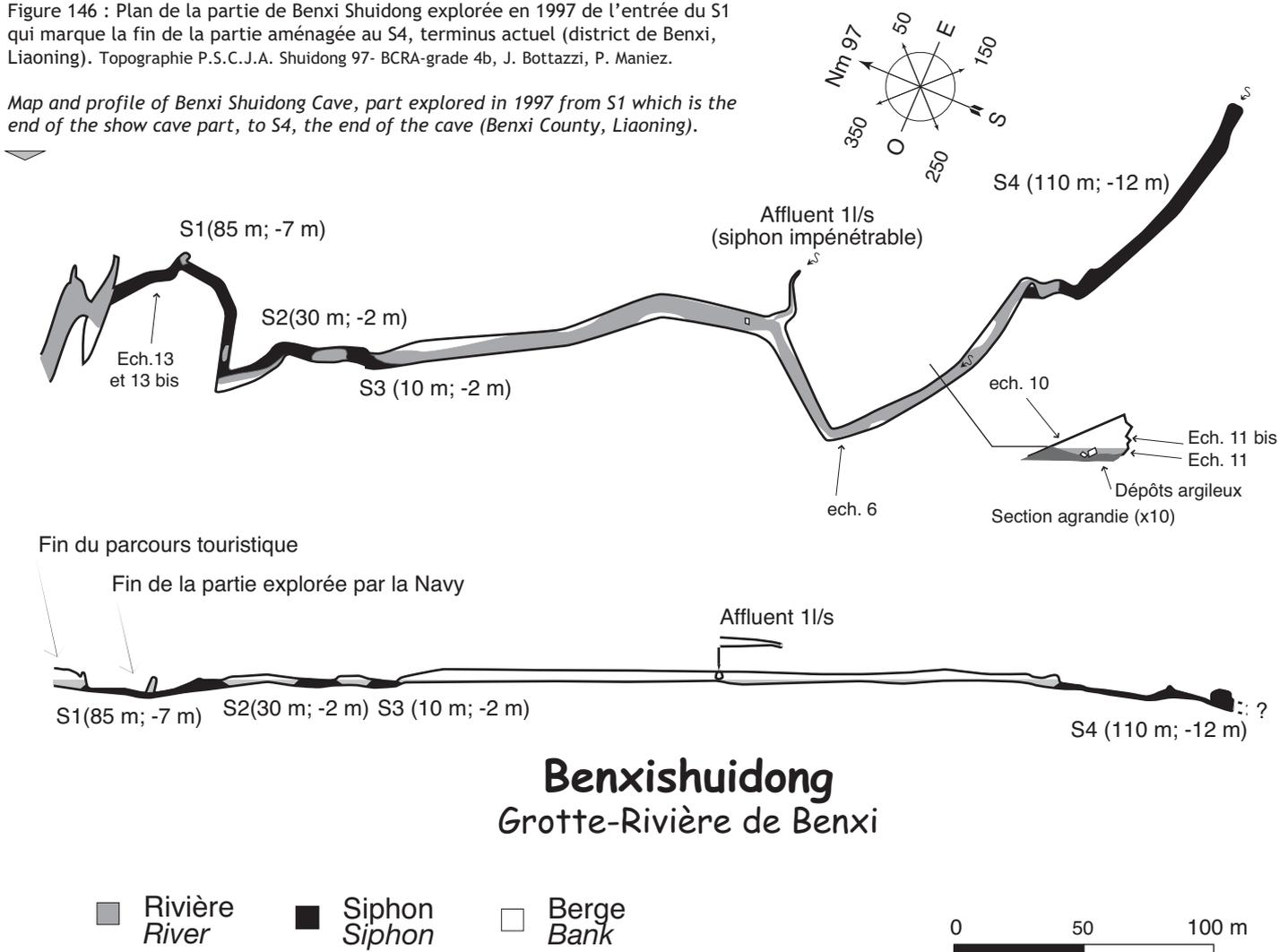
Narrow passage just before siphon 4 (Benxi Shuidong cave, Benxi County, Liaoning).

Photo P. Maniez 1997



Figure 146 : Plan de la partie de Benxi Shuidong explorée en 1997 de l'entrée du S1 qui marque la fin de la partie aménagée au S4, terminus actuel (district de Benxi, Liaoning). Topographie P.S.C.J.A. Shuidong 97- BCRA-grade 4b, J. Bottazzi, P. Maniez.

Map and profile of Benxi Shuidong Cave, part explored in 1997 from S1 which is the end of the show cave part, to S4, the end of the cave (Benxi County, Liaoning).



Benxishuidong Grotte-Rivière de Benxi

- Rivière
River
- Siphon
Siphon
- Berge
Bank



B. Morphologie

D'après la topographie, le volume de la cavité a été estimé à 408 000 m³, ce qui correspond à un réseau dont la section moyenne est de 130 m² environ (13 x 10 m).

- la morphologie de la partie nouvelle dépend étroitement de la nature des roches ;
- le siphon 1 montre des sections irrégulières de 4 à 5 m de large pour 1,5 à 3 m de long dans les calcaires du Cambrien supérieur ;
- les siphons 2 et 3 ont des sections plus irrégulières mais aussi plus vastes (5 à 7 m de large pour 2,5 à 5 m de haut) ;
- la galerie exondée présente une morphologie générale grossièrement elliptique à rectangulaire dans les 250 premiers mètres, large de 7 à 10 m et haute de 3 à 5 m. La rivière mesure 3 à 5 m de large. Cette partie du réseau semble creusée dans les calcaires (à lits argileux) du Cambrien supérieur. Le plafond et les parois présentent des irrégularités liées à la dissolution différentielle en régime noyé. A 30 m du S3, une faille a été exploitée en plafond par dissolution en cloches étroites.

C. Les sédiments

La partie nouvellement explorée présente plusieurs types de dépôts.

1) Les dépôts fluviaux

- Les dépôts argileux sont de loin les plus abondants. Ils sont présents dans les siphons au plancher (40 cm) et sur les banquettes de paroi. Cette argile est très fine et explique l'absence de visibilité dès que l'on remue l'eau avec les palmes. Le plafond

présente souvent une petite pellicule d'argile que l'on détache avec les bulles d'air.

- Dans la galerie exondée, les dépôts argileux forment des banquettes importantes (talus inclinés) de 40 à 200 cm de haut. Le fond de la rivière est également boueux (20 à 40 cm), sauf au niveau d'un rapide un peu avant le siphon 4 (S4).

2) Les dépôts clastiques

Les blocs effondrés de la voûte sont rares. Un gros bloc (2 x 3 m) a été observé un peu en aval de l'affluent et une centaine de mètres en amont dans le lit de la rivière. Dans les siphons, aucun bloc n'a été observé.

3) Les spéléothèmes

Les concrétionnements sont très rares.

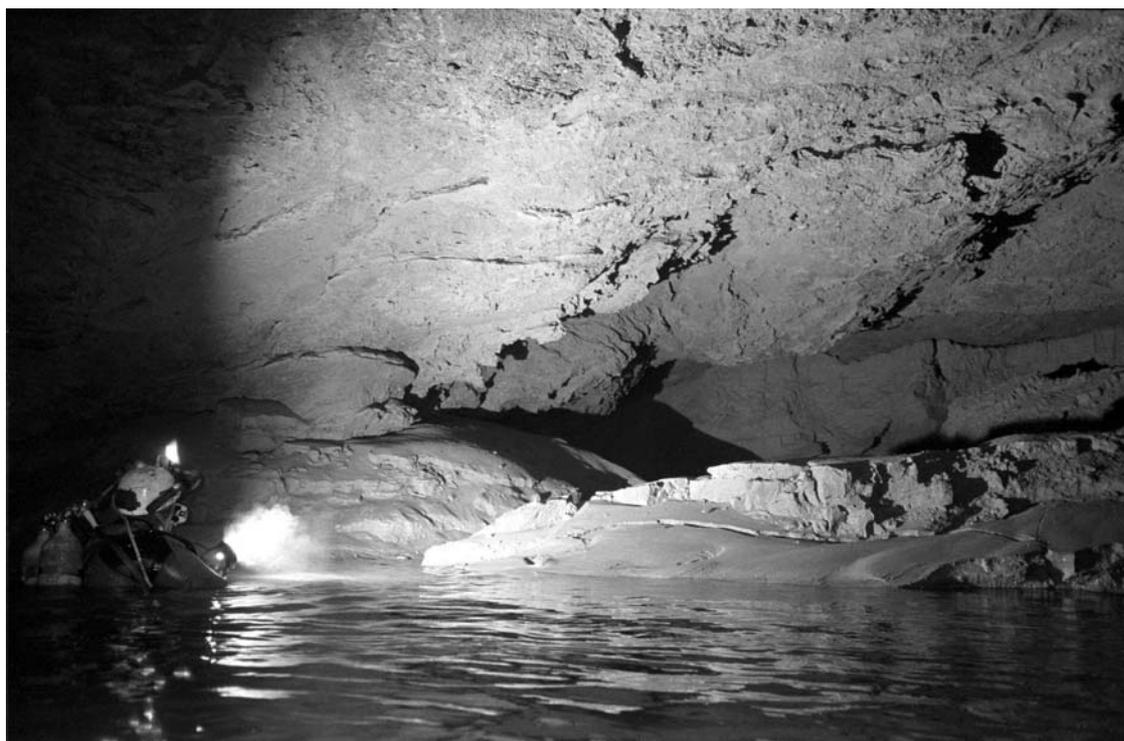
- Dans les siphons, aucun concrétionnement n'a été observé. La stalagmite présumée observée par la Navy à - 6m dans le siphon est en fait un morceau de roche en place, découpé en pinacle par la dissolution.
- Dans la galerie exondée et l'affluent, quelques petits spéléothèmes récents ont été observés (fistuleuses et choux-fleurs). Une dizaine de macaronis blanc-gris de 3 à 7 cm de long pour 5 mm de large, dispersés en amont de l'affluent ont été repérés.
- Dans l'affluent, en bordure d'un bassin, on trouve des choux-fleurs de calcite de 2 à 3 cm de diamètre, générés par la forte dureté de l'affluent.

La faiblesse du concrétionnement s'explique par la faible fracturation de la roche dans cette partie de la grotte et une exondation récente. Les concrétions observées ont au plus quelques siècles.

Photo 305 : Galerie entre le siphon 3 et le siphon 4 au niveau du petit affluent. On remarque l'abondance des dépôts argileux (grotte de Benxi Shuidong, district de Benxi, Liaoning).

Gallery between siphon 3 and siphon 4 near the small water tributary. Muddy deposits are noticeable (Benxi Shuidong cave, Benxi County, Liaoning).

Photo P. Maniez 1997





L'absence de concrétionnement dans les siphons semble indiquer qu'ils ont toujours été noyés.

D. Hydrologie

Il semble que toute la rivière passe dans les siphons et la galerie exondée. Une estimation de débit a été faite dans la partie la plus étroite de la partie exondée : environ 600 l/s (0,8 m/s sur une section de 2,4 x 0,35 m).

Les banquettes d'argile humide montrent que le débit en période de crue doit augmenter le niveau d'au moins 2 m dans les siphons. Le courant est très sensible, en particulier dans les galeries les plus étroites (7 m² sur 10 m) ; même à cet endroit, l'argile occupe le sol.

L'affluent, en rive droite, d'un débit inférieur à 1 l/s, présente une eau claire et plus froide que la rivière principale, elle est issue des infiltrations directes du massif.

Le modèle supposé du réseau noyé entre les pertes et le siphon 1 pourrait être le suivant.

La nouvelle partie explorée de 600 m montre que l'on entre dans un réseau de morphologie différente. Les galeries sont plus basses, irrégulières et vaguement elliptiques, noyées ou semi-noyées.

D'après les traçages, la vitesse du courant dans cette partie est de l'ordre de 68 m/h au lieu de 100 m/h dans la partie aménagée. Cela prouve qu'il existe une liaison assez rapide entre les pertes et le S1, donc des galeries bien constituées.

La géologie indique que la perte se fait dans l'Ordovicien alors que la partie explorée est dans le Cambrien.

Il est probable que la partie inconnue présente encore une succession de conduits noyés puis exondés. La présence de salles n'est pas exclue, elle dépend surtout des conditions géologiques locales, par exemple si on rencontre à nouveau l'Ordovicien.

E. Biologie

Quelques animaux aquatiques ont été observés dans le premier siphon : deux espèces de poissons et 2 petites crevettes.

Un poisson a été capturé dans l'entrée du S1. Il semble connu. Un autre poisson, de 15 cm de long, de forme allongée a été observé à 50 m dans le S1 vers -7 m.

Une petite crevette blanche était présente dans la cloche du S1, il semble s'agir d'un niphargus.

Une belle truite a été filmée dans le siphon d'entrée de la grotte.

Aucun poisson n'a été observé au delà du S1. Il est probable que leur présence dans le réseau soit consécutive à l'équipement en lumière artificielle de la partie visitable.

Aucun déchet en provenance de la surface n'a été observé sur les 610 m explorés.

VII. Évaluation pour l'extension de l'aménagement touristique

L'exploration apporte de nouveaux éléments intéressants pour les connaissances scientifiques. En revanche, aucune grande salle n'a été découverte au-delà des siphons. Toutefois, une mise en valeur de cette partie nouvelle n'est pas impossible ; il existerait un intérêt et des possibilités techniques.

Photo 306 : Très régulièrement, la soirée est consacrée à l'analyse des échantillons et des résultats des explorations.

Very often, the evening is used to analyse the samples and the speleological discoveries.

Photo P. Bottazzi 1997

Photo 307 : Un abondant public d'officiels, journalistes et scientifiques attend le retour des plongeurs (grotte de Benxi Shuidong, district de Benxi, Liaoning).

Officials, journalists and scientists are waiting for diver's come back from exploration (Benxi Shuidong Cave, Benxi County, Liaoning).

Photo P. Bottazzi 1997



A. Intérêt et faisabilité de la réalisation d'un accès au-delà du siphon 3

Le parcours visitable pourrait être allongé de 400 m. Les concrétions étant rarissimes, la valeur esthétique réside dans les formes et l'aspect sauvage de la galerie. Un gros rocher érodé présente une beauté intrinsèque. L'ensemble est à valoriser par des jeux de lumières. Un accès par une galerie artificielle permettrait de tenter de pomper le petit siphon de l'affluent de rive droite ; cela pourrait peut-être permettre de créer un appel d'air suffisant pour ventiler la grotte.

La percée de cet accès permettrait aussi de poursuivre une étude scientifique plus poussée de cette zone semi-noyée dont nous ne connaissons que le début car il existe une distance de plus de 3 km en ligne droite entre les pertes de la rivière et le siphon 1. Enfin, les explorations du siphon terminal pourraient être reprises plus sereinement.

Pour la construction d'un tunnel, la solution la plus simple consiste à creuser une galerie horizontale reliant le début et la fin du premier siphon. Ce tunnel mesurerait 50 m. Pour les siphons 2 et 3, la voûte étant à faible profondeur (1m au maximum), il suffirait de la rehaussée.

La vasque précédant le S1 est suffisamment volumineuse pour contenir les déblais et le rétrécissement avant "le Trou d'Eau" permet d'isoler la

zone de travail en cas d'émanations de gaz toxiques.

La navigation dans la rivière ne pose pas de problème, il faudra localement augmenter la profondeur et élargir l'accès au S4.

B. Nouveaux apports

1) Sportif : c'est le plus long réseau exploré par plongée en Chine.

2) Géologie : Les observations et échantillons remettent en cause les connaissances antérieures. Le système noyé dans le Cambrien s'avère très important et peut se poursuivre sur une longue distance, sans exclure la présence de parties exondées.

3) Biologie : L'identification de niphargus reste à préciser et nécessite un prélèvement.

4) Vidéo : On dispose maintenant d'un document vidéo précieux pour mieux comprendre cette partie du réseau. Il a été tourné dans des conditions techniques d'une difficulté rarement atteinte en plongée sans faire d'impasse sur la sécurité.

Conclusion

Cette exploration nouvelle de plus de 600 m est un succès sur le plan spéléologique et scientifique.

La découverte d'une salle exondée d'un intérêt touristique majeur est compromise. Mais d'excellentes découvertes ont déjà été faites dans des contextes moins propices. La meilleure chance reste la plongée du siphon 4. L'exploration a été interrompue dans un souci de sécurité car la faible visibilité à l'aller rend aléatoire la position du fil d'Ariane dans cette section irrégulière. Au retour, la visibilité est nulle, interdisant toute erreur ou aléa d'exploration. Ce problème de visibilité est également crucial dans les trois premiers siphons où s'accumule l'argile transportée dans les 370 m de galerie exondée.

Pour la réussite en sécurité d'une prochaine exploration, il faudrait une eau limpide lors du parcours aller. Une étude de la turbidité en fonction des saisons et de la pluviométrie pourrait garantir ce point : la rivière a pu être troublée temporairement par l'orage précédent notre arrivée ou par le fonctionnement du barrage situé en amont des pertes. Nous avons tout lieu de croire que lors des hivers, qui sont particulièrement rigoureux dans cette partie de la Chine, l'eau devient suffisamment claire pour permettre de bonnes conditions de plongée.

Un deuxième facteur améliorant la sécurité serait le recoupement du premier siphon par une galerie artificielle. Cette deuxième opération permettrait également de pomper le petit siphon de l'affluent.



Photo 308 : Très abondantes dans la première partie de la grotte, les concrétions comme celles-ci font cruellement défaut dans la nouvelle partie explorée (grotte de Benxi Shuidong, district de Benxi, Liaoning).

Speleothems are very numerous in the first part of the cave, but seldom in the new explored part (Benxi Shuidong cave, Benxi County, Liaoning).

Photo P. Bottazzi 1997