

Les grottes-tunnels de Chine, types et évolution

Richard Maire ¹ et Nathalie Vanara ²

Résumé : Une grotte-tunnel est un système perte-résurgence présentant généralement une rivière hypogée importante circulant dans des conduits de grandes dimensions. La notion de karst binaire est féconde lorsqu'elle est combinée à la notion d'étagement de grottes en zone de surrection, donc dans un contexte tectonique actif et de relaxation des contraintes. Dans les karsts de la plate-forme du Yangtse, de nombreux cours d'eau se forment dans des zones imperméables et donnent naissance à des grottes-tunnels de très grands gabarits lors de la traversée des massifs calcaires. Les types de grottes-tunnels sont très variés. Les ponts naturels désignent des tubes résiduels courts provenant du démantèlement de grottes-tunnels. Le géographe chinois Xu Xiake est à l'origine de l'expression *Tian Sheng Qiao* signifiant "pont naturel". Certaines grottes-tunnels, de type mono-tunnel, peuvent présenter une confluence souterraine active comme à Biyun (Panxian) ou Duobindong (Xiuwen-Xifeng) dans le Guizhou. Les mono-tunnels à rétrécissements intermédiaires et obstructions sédimentaires sont illustrés par le système perte-résurgence de Yanfengdong-Ganhedong (Shizong, Yunnan) qui détient le plus haut porche de Chine (190 m). Les grottes-tunnels à coeur noyé et plan deltaïque de perte de charge sont symbolisées par la grande grotte-tunnel de Dadong-Longdong (Wufeng, Hubei). Les grottes-tunnels associant canyons à voûte effondrée et ponts naturels sont représentées par le type Yijiehe (Zhijin, Guizhou). Les grottes-tunnels à niveaux étagés sont illustrées par le système exemplaire de la Gebihe (Ziyun, Guizhou). Celui-ci traverse un massif de fengcong tandis que des tronçons fossiles, perchés à différents niveaux sur 400 m de dénivellation, ont enregistré les étapes de la surrection himalayenne. Les grottes-tunnels en série sont représentées par la Wutuhe (Panxian, Guizhou). Cette rivière présente une succession de parcours souterrain selon une série de grottes-tunnels séparées par des parcours aériens normaux ne résultant pas de l'effondrement de voûtes. Les grottes-tunnels sous vallée sèche sont illustrées par le type Gesohe (Panxian, Guizhou). Ce système perte-résurgence est alimenté par un bassin d'alimentation de 1 200 km², d'où un débit à la perte pouvant dépasser 1 000 m³/s en forte crue. Les grottes-tunnels de capture sont caractérisées par

une ou plusieurs captures d'un bassin hydrographique et topographique vers un autre. On connaît les grottes-tunnels de capture partielle de type Benxi Shuidong (Benxi, Liaoning) qui est un type intermédiaire entre le recoupement simple de méandre encaissé et la capture latérale d'une rivière vers une autre. Les grottes-tunnels de capture complexe comme à Shuanghe (Suiyang, Guizhou) associent une capture vraie et des captures locales.

Une grotte-tunnel du Guizhou a une durée de vie de l'ordre de plusieurs millions d'années. Quand un tunnel devient sénile, un autre naît. L'histoire se perpétue tant qu'il y a une masse calcaire suffisante et une force tectonique qui soulève la montagne. Ce processus provoque un étagement des grottes-tunnels et s'effectue par le moyen du couple karstification-soulèvement. Un des problèmes majeurs est de savoir comment s'opère le passage d'un niveau de grotte-tunnel à un autre au cours du temps. Si la surrection tectonique est continue et régulière, on devrait avoir un seul grand réseau en canyon. Si la surrection est discontinue, le creusement karstique devrait se traduire par des niveaux étagés. Cet abandon ne peut se faire que par un processus de capture souterraine, lors d'une phase de surrection. Mais le système réagit aussi avec un certain retard (hystérésie) et dépend aussi du régime hydrologique, les eaux pouvant emprunter des parcours étagés lors des crues.

Mots-clés : grotte-tunnel, karst, spéléogénèse, étagement, Gesohe, Gebihe, Guizhou, Chine.

Abstract: The through caves of China, types and evolution. A through cave (tunnel-cave) is a loss-resurgence system presenting generally an important underground river. The binary karst concept (impervious upstream) is fertile when it is combined with the notion of cave levels in a uplift context and a strain release. In the karsts of the Yangtse platform, numerous streams coming from impervious zones give birth to big through caves during the crossing of the carbonated massifs. The types of tunnel-caves are very varied. The natural bridges indicate short residual tubes resulting from the erosion of through caves. The ancient Chinese geographer Xu Xiake is at the origin of the expression "*Tian Sheng Qiao*" meaning natural bridge. Some tunnel-caves can present a

1. ADES-Dymset, UMR 5185 et GDR 440 du CNRS, Université de Bordeaux 3. <rmaire@ades.cnrs.fr>

2. Institut de Géographie, Université de Paris 1 et DYMSET-ADES, UMR 5185 ; GDR 440 du CNRS, Université de Bordeaux 3. <nathalie.vanara@free.fr>

subterranean active confluence as to Biyun (Panxian County) or Duobindong (Xiuwen-Xifeng Counties) in Guizhou. Simple through caves with intermediate shrinks and sedimentary obstructions are illustrated by the Yanfengdong-Ganhedong system (Shizong County, Yunnan) which presents the highest porch entrance of China (190 m). Tunnel-caves with phreatic heart and deltaic network by decreasing of water pressure are illustrated by the big through cave of Dadong-Longdong (Wufeng County, Hubei). Tunnel-caves associating canyons with collapsed vaults and natural bridges are represented by the Yijiehe system (Zhijin County, Guizhou). Tunnel-caves with staged levels are illustrated by the famous Gebihe system in Ziyun County (Guizhou). This one crosses a fengcong karst with dry staged tunnels which recorded the Himalayan intermittent uplift. The tunnel-caves are represented by Wutuhe (Panxian County, Guizhou). This river presents a succession of subterranean course according to a train of tunnel-caves separated by normal outside river not resulting from the collapse of vaults. Tunnel-caves situated under abandoned dry valley are illustrated by the Gesohe system (Panxian County, Guizhou). This system is fed by a large catchment (1 200 km²), with floods which can exceed 1 000 m³/s in summer. The through caves with piracy are characterized by one or several

captures of one or several rivers towards an other one. The tunnel-cave of Benxi Shuidong (Benxi County, Liaoning) is an intermediate type between the cut-off of an incised meander and the lateral cut-off of a river towards the other one. The tunnel-caves with complex piracy as Shuanghe system (Suiyang County, Guizhou) associate a true capture and local captures. A through cave of Guizhou has a cycle of the order of several million years. When a tunnel becomes old, an other one is born. The history continues as long as there is enough limestone and a tectonic uplift. This process of multiple births provokes a stepping of cave levels and is made by means of the karstification-uplift couple. One of the major geomorphological problems is to know how takes place the transition of a level of a through cave in an other cave level. If the tectonic uplift is continuous and regular, we should have only a big canyon cave. If the uplift is intermittent, the karstic digging should be translated by cave levels. This process can be made only by a subterranean piracy during a phase of uplift. But the system also reacts with a certain delay (hysteresis process) and also depends of the hydrological regime, the waters using both several levels during the big floods.

Key-words: tunnel-cave, karst, speleogenesis, cave level, Gesohe, Gebihe, Guizhou, Chine

第九章 中国隧道状洞穴类型及演化

隧道状洞穴是与上游(外源河流)非透透层相连的进出水口系统。二元结构喀斯特概念在它和隆升背景与应变解除的洞穴层概念相联系时是丰富的。扬子地块的喀斯特,许多河流源于非渗透层地带,当穿越碳酸盐地块就产生大的隧道状洞穴,其类型是各式各样的。天生桥表明隧道状洞穴侵蚀结果的短的残存管道。中国明代地理学家徐霞客用天生桥一词表示成因。某些隧道状洞穴象贵州盘县碧云洞系统及修文多缤洞系统表现为活动的地下汇集的河流。中国最高袋状洞穴进口高达190 m的云南师宗岩峰洞—干河洞系统是单纯的具中部收缩并为沉积物阻塞的隧道状洞穴。具饱水的核心部分及水压降低形成三角形网络的隧道状洞穴则以湖北五峰大洞—龙洞系统为例。与峡谷有关的具坍塌拱及天生桥的隧道状洞穴则以贵州织金以结河水系为代表。具洞穴层的隧道状洞穴则以著名的贵州紫云格必河系统为例。其切割干的隧道状洞穴层的峰丛喀斯特,记录了喜马拉雅运动间歇性的隆升。一个接着一个的隧道状洞穴以盘县乌图河水系为代表,该河流呈现出一串暗河,这

是根据一系列为常态而非因顶拱坍塌结果形成的地表河段所分割的隧道状洞穴。位于遗留干谷下的隧道状洞穴则以盘县格所河系统为代表。该水系受到高达1200 km²的补给,夏季洪水期流量逾1000 m³。袭夺的隧道状洞穴具向另一条河流的一个或若干个袭夺另一个或若干个河流的特征。辽宁本溪水洞隧道状洞穴是嵌入曲流切割与朝另一条河流的侧向切割间的过渡类型。贵州绥阳双河洞穴系统是复合袭夺隧道状洞穴,其与真袭夺及局部袭夺有关。当一个隧道状洞穴变老,一个新的就产生。只要有足够厚度的灰岩及构造隆升,历史就长期延续。多次产生隧道状洞穴的作用引起洞穴层发育依赖于喀斯特作用—隆升这一对因素。主要地貌学问题之一是了解隧道状洞穴层向另一层转化如何发生。如构造隆升是连续且规则的,只能有一个峡谷状洞穴。如属间歇性隆升,喀斯特作用应以洞穴层来解释。这过程只能以隆升期地下袭夺形成。但该系统也反应具一定的延迟(滞后过程),也取决于水文动态,当大洪水时水利用若干个洞穴层。

Introduction

Les karsts tropicaux de Chine sont la patrie des grottes-tunnels géantes. On entend par grotte-tunnel un système perte-résurgence présentant une rivière hypogée importante circulant dans des conduits en tunnel de grandes dimensions. Cette spécificité n'est pas au départ d'origine climatique, mais d'origine géologique et géomorphologique.

La notion de grotte-tunnel repose sur le concept classique de karst à amont imperméable (ou karst binaire). Ce type d'alimentation sous tend une grande partie des explications concernant la formation des grottes, notamment en Chine. Une région non calcaire, à substratum étanche (argiles, grès, granites, roches volcaniques), recueille l'eau de pluie ; celle-ci ruisselle et crée un réseau hydrographique aérien. Ces rivières classiques peuvent être amenées à traverser une région calcaire. Dans ce cas de figure, on observe des canyons et souvent une disparition partielle ou complète de la rivière dans la masse du calcaire. Dans certains cas, on peut passer d'un canyon de surface à un canyon souterrain, la perte se situant à l'extrémité d'un canyon aveugle. De nombreux exemples sont connus dans les karsts de Chine du Sud-Ouest : Dadong (district de Wufeng, Hubei), Donghe (district de Hefeng, Hubei), Liuchonghe (préfecture de Bijie, Guizhou), etc.

En Chine comme ailleurs, la notion de karst binaire est féconde lorsqu'elle est combinée à la notion d'étagement de grottes en zone de surrection, donc dans un contexte tectonique actif. Dans les karsts de la plate-forme du Yangtse, de nombreux cours d'eau se forment dans des zones imper-

méables ou semi-perméables. En traversant les calcaires et dolomies, ils donnent naissance à des grottes-tunnels de très grands gabarits. Dans le Guizhou, placé au coeur des karsts de Chine, les exemples de grottes tunnels sont nombreux et remarquables à tel point que plusieurs cas surdimensionnés, exemplaires par la clarté des phénomènes, peuvent servir de modèle.

I. Les ponts naturels et les ponts-tunnels

Les ponts naturels sont des morphologies spectaculaires, généralement karstiques, qui ont souvent été décrites dans la littérature spéléologique et karstologique. Dans la plupart des cas, il s'agit de formes de recoupements de méandres encaissés dans les calcaires et les grès comme l'exemple français du Pont d'Arc emprunté par le cours de l'Ardèche [Nicod, 1997]. En Chine, les ponts naturels sont nombreux, mais généralement ils ne résultent pas du recoupement de méandres encaissés. Dans la majorité des cas, ce sont des tubes résiduels de quelques dizaines de mètres à 200-300 m de long provenant du démantèlement de grottes-tunnels. Lorsque le pont naturel mesure entre 50 m et 300 m de long, on peut parler de pont-tunnel.

A. Les ponts naturels

Les karsts de Chine présentent une large panoplie de ponts naturels : ponts résiduels de grottes-tunnels, ponts non résiduels traversant des éperons, ponts de travertins.



Photo 342 : Ce pont-naturel est situé 400 m au-dessus de la rivière souterraine actuelle de la Gebihe (district de Ziyun, Guizhou). Il correspond à un tronçon de l'ancienne grotte-tunnel de la Gebihe lorsque le massif était moins soulevé.

Natural bridge related to the old Gebihe tunnel-cave (Ziyun County, Guizhou) 400 m above the underground river.

Photo R. Maire 1999



Exemples de ponts naturels *Examples of natural bridges*

Photo 343 : Le pont naturel de Dajingdong Qun correspond à l'ancienne émergence du système (district de Luodian, Guizhou).

The Natural bridge of Dajingdong Qun is related to the old resurgence (Luodian County, Guizhou).

Photos Guizhou Expé 1986



Photo 344 : Le pont naturel de Dajingdong Qun s'ouvre dans une grande doline d'effondrement (Luodian, Guizhou).
The Dajingdong Qun natural bridge is located on the edge of a big collapse doline (Luodian-Guizhou).



Photo 345 : Ce pont naturel est situé 50 m au-dessus du niveau de la rivière souterraine (Dajingdong).

This natural bridge is situated 50 m above the underground river (Dajingdong).

Photo Guizhou Expé 1986



Photo 346 : Pont naturel de la grotte-tunnel fossile de Tianshengqiao (district de Panxian, Guizhou). Cette cavité perchée correspond à un ancien parcours de la Gedahe souterraine déconnecté par la surrection.

Natural bridge of Tianshengqiao related to the old Gedahe through cave (Panxian County, Guizhou).

Photo N. Vanara 2000

1. Les ponts naturels résiduels : type Tianshengqiao

Les ponts naturels résiduels sont des grottes-tunnels très courtes se limitant à une arche calcaire. Le géographe chinois Xu Xiake est à l'origine de l'expression *Tian Sheng Qiao* ou "pont naturel" [Cai, Yang et Maire, 1993]. En effet, la Chine du Sud-Ouest est la terre d'élection des ponts naturels géants dont la voûte peut atteindre plus de 100 à 130 m de haut.

- Ponts naturels (tronçons de grottes-tunnels).

La famille des ponts naturels résiduels, issue de l'effondrement partiel de grottes-tunnels, est la plus répandue en Chine. Il s'agit de portions de grottes-tunnels se réduisant à un tunnel court de quelques dizaines de mètres de développement. De part et d'autre du pont, on observe une galerie à ciel ouvert dont le plafond s'est effondré. Dans ce type, le pont naturel constitue un élément résiduel de grotte. Selon le cas, le pont naturel peut être actif ou sec. On peut observer des ponts naturels en sommet de montagne comme sur le secteur de la grotte-tunnel géante de la Gebihe vers + 350-400 m au-dessus du tunnel actif (photo 342). Un autre exemple célèbre est le grand pont naturel perché de Dayun localisé dans le nord du Hunan qui a été franchi par un pilote italien lors d'un meeting aérien. Là encore il s'agit d'un témoin de grotte-tunnel décapitée par l'érosion et portée en altitude par la surrection.

L'exemple de pont naturel le plus grand du Guizhou enjambe une rivière. Il se situe dans le district de Shuicheng, sur le parcours de la Ganhe. Dans sa partie aval, le cours d'eau a formé une grotte-tunnel creusée dans les calcaires du Trias et divisée en plusieurs segments : un pont naturel suivi de deux autres tunnels séparés par des tronçons à ciel ouvert. Le pont naturel de Ganhe, appelé localement Tianshengqiao, est le record du Guizhou et de Chine avec une hauteur de 135 m. Sa voûte très mince de 15 m d'épaisseur permet le passage d'une route locale [Gabrovsek, Mihevc, Otonicar et Zupan Hajna, 1998].

On peut également observer des ponts naturels "fossiles" situés sur le parcours de grottes-tunnels abandonnées par la rivière à cause du soulèvement tectonique régional. Un exemple typique est localisé dans le district de Panxian sur le tracé amont du système en tunnels de la Wutuhe amont, sur la partie appelée Gedahe. Une ancienne grotte tunnel est actuellement suspendue au-dessus du cours souterrain actif semi-noyée. Un pont naturel sec s'est formé entre deux effondrements de la voûte de l'ancien tunnel de la Gedahe. La hauteur est de 50 m environ avec une arche de 20 m d'épaisseur (photo 343).

- **Ponts naturels séparant deux avens.** Certains effondrements complexes peuvent donner lieu à

des ponts naturels. C'est le cas de l'aven central du système de Longtandong localisé dans le district de Xifeng dont le réseau résurge sur le flanc du canyon du Wujiang. Le grand effondrement central qui a subdivisé la grotte en deux tunnels présente deux puits séparés par une arche haute de 100 m (photo 148, p.165). Dans cet exemple, le pont n'enjambe pas le parcours de la rivière ; il s'agit uniquement d'un pont résiduel entre un aven principal et un aven secondaire. Ce type de pont naturel peu courant a déjà été observé en Nouvelle Bretagne, dans les Monts Nakanai, dans la doline d'effondrement double d'Ora qui est séparée par un pont emprunté par la rivière [Maire, 1981].

- **Ponts naturels de paléorésurgence.** Ce type rare a été observé dans le district de Luodian, dans le sud du Guizhou. Il s'agit du pont de Dajingdong Qun placé à 150 m en retrait de la grande résurgence vaclusienne du même nom. Celle-ci présente un débit moyen de 12 m³/s pour un bassin d'alimentation de 950 km², l'un des plus grands bassins karstiques du Guizhou [Zhang Shouyue et Barbary, 1988]. Le pont forme un orifice circulaire de 30 à 40 m de diamètre donnant accès à l'intérieur d'une vaste doline d'effondrement et dominant de 50 m un lac qui correspond au plan d'eau de la rivière souterraine. Cet "oeil de boeuf" géant est le témoin de l'ancienne résurgence de Dajing (photos 344 et 345).

2. Les ponts naturels construits (ponts de travertins)

Les ponts naturels construits sont des formes très originales car il s'agit à la fois d'une morpho-



Photo 347 : Pont naturel de travertin dans le secteur de la forêt de pierre (Shilin, Yunnan).

Travertine natural bridge in the stone forest area (Shilin, Yunnan).

Photo J.-P. Barbary 1988

logie d'érosion et d'une forme construite naturellement par précipitation chimique de la calcite. Les ponts de travertins, généralement d'origine hydrothermale, sont les plus remarquables par leurs grandes dimensions. Deux exemples ont été observés dans le Yunnan.

Le pont le plus important se situe dans le Nord Yunnan, à 10 km au nord-est de Zhongdian, à 3 285 m d'altitude (chap. 6, photo 249). La rivière Shuoduogang, d'un débit de 5 à 10 m³/s, passe sous un gros pont de travertin. L'ouverture du pont ne dépasse pas 5 m dans sa partie la plus basse, mais l'épaisseur du tablier atteint 40 à 50 m. Ce pont est en fait un barrage travertineux qui s'appuie sur les versants de calcaires du Trias ; il mesure plus de 500 m de long, pour une largeur minimum de 40 m et une hauteur de 50 m. Il a été déposé par une source thermique toujours active dont la température est de 58°C pour une conductivité de 1610 µS/cm et un débit de plusieurs l/s.

À titre comparatif, on peut mettre en parallèle le pont de Shuoduogang avec le célèbre pont de travertin hydrothermal de Puente del Inca, dans la cordillère des Andes, non loin de l'Aconcagua [Salomon et Bustos, 1992]. Toujours dans le Yunnan, citons un autre pont de travertin, mais de taille plus modeste. Il est situé sur le plateau à l'est de Kunming, un peu avant la forêt de pierre de Lunan. Il mesure 20 m de haut au total, dont 10 m d'épaisseur pour le tablier et 50 m au minimum d'une rive à l'autre. Sa largeur est de 30 m. Contrairement à Shuoduogang, on est en présence d'un barrage travertineux fossile qui a été recoupé par une rivière pouvant débiter 10 à 20 m³/s en crue (photo 347).

B. Les ponts-tunnels

Du point de vue géomorphologique, les ponts-tunnels constituent une forme de transition entre les ponts naturels et les grottes-tunnels. Ils mesurent 80 à 300 m de long, sont éclairés par la lumière du jour et peuvent être ou non une forme résiduelle. Les ponts-tunnels sont fréquents en Chine, mais leur origine est variée en fonction du contexte géologique et de l'âge de la grotte.

1. Les ponts-tunnels résiduels

Comme les ponts naturels, les ponts-tunnels résiduels sont fréquents. Il s'agit d'une forme moins dégradée, mais avec le travail de l'érosion, ils vont progressivement s'effondrer et devenir des ponts naturels.

- **Les ponts-tunnels actifs.** Le pont-tunnel de Daxiaocaokou dans le district de Zhijin, dans le nord-ouest du Guizhou, est l'un des plus spectaculaires de Chine (photo 355). Placé dans le Trias inférieur, il est constitué par un élément résiduel de la grotte-tunnel de la Yijiehe, entre deux segments effondrés. Le tunnel mesure 120 m de haut et 100 m

de long. Le pont est épais de 50 à 70 m.

- **Ponts-tunnels de paléo-perles.** Les ponts-tunnels fossiles sont très répandus car ils correspondent généralement à des tronçons résiduels de grottes-tunnels qui ont été démantelés par l'érosion lors de la surrection himalayenne. Des exemples existent dans le massif de la Gebihe, dans le district de Ziyun, où le travail de l'érosion a dégagé des tunnels de 100 à 150 m de long traversant des reliefs résiduels. Le pont-tunnel perché de la Gebihe, situé 226 m au-dessus de la perte actuelle, est un tunnel de 150 m de long et 40 à 50 m de diamètre. Il s'agit du pont-tunnel de paléoperte le plus remarquable de Chine.

- **Ponts-tunnels de paléo-résurgences.** Ce type est illustré par un tunnel perché situé 250 m environ au-dessus de la résurgence de la Gebihe. D'une longueur d'une centaine de mètres et d'un diamètre de 50 à 60 m, il traverse le rebord sud du massif et constitue l'ancienne émergence de la Gebihe (photo 358). Dans les deux cas, on est en présence d'un tronçon de tunnel suffisamment court pour laisser passer la lumière, voire des nuages !

2. Les ponts-tunnels non résiduels

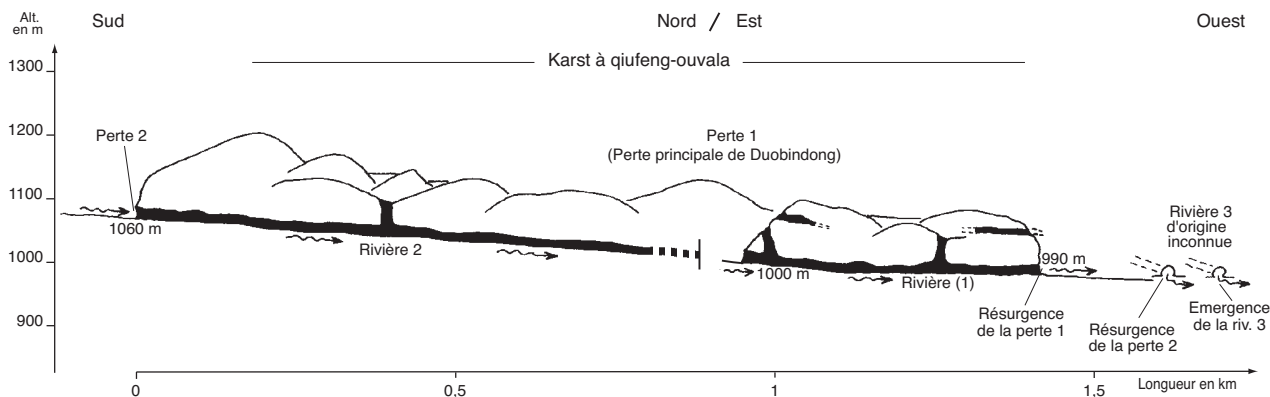
Les ponts-tunnels non résiduels sont des grottes-tunnels courtes traversant des éperons et des barres calcaires, voire un lobe de méandre encaissé. En France, les exemples types sont ceux du Mas d'Azil en Ariège et des tunnels de Minerve.

- **En écoulement libre.** Dans le sud-ouest du district de Panxian (Guizhou), près de Lemin, le pont naturel actif de Dongshuangdong traverse une barre rocheuse de calcaires permien sur 60 m de long. La galerie mesure 25 à 30 m de large sur 20 à 30 m de haut (chap. 1, photo 93). Ce type de pont naturel n'est pas une forme résiduelle de grotte-tunnel érodée ; il est lié à un recoupement souterrain de barre calcaire par l'intermédiaire de la fracturation selon un processus identique au phénomène de recoupement de méandre encaissé.

- **En écoulement noyé.** On rencontre aussi des ponts-tunnels à plafond bas et écoulement noyé. C'est le cas du pont-tunnel de Laoyandong, long de 250 m, qui détient la résurgence de la grotte-tunnel de Biyun près de Panxian (cf. II). Il correspond à une perte intégrale d'une rivière de surface dans le fond d'une vallée encaissée.

II. Les grottes-tunnels de confluence

Certaines grottes-tunnels, de type mono-tunnel, peuvent présenter une confluence souterraine active comme à Biyun (Panxian) ou Duobindong (Xiuwen-Xifeng) dans le Guizhou. On peut égale-



ment observer une confluence fossile, cas du tunnel géant de Donghe, près de Hefeng (Hubei).

A. Les grottes-tunnels de confluence active

- **Type Duobindong.** Le tunnel actif de Duobindong (fig. 150), d'une extension de 450 m à peine, traverse un éperon rocheux à la limite des districts de Xiuwen et Xifeng (Guizhou) (chap. 3, photo 153). Cette importante grotte, creusée dans les calcaires permien, présente 21,3 km de galeries explorées et disposées selon plusieurs niveaux étagés. Elle correspond à la confluence de deux systèmes pertes - résurgences auquel s'ajoute un autre système, au nord, comprenant une troisième résurgence. La présence d'un porche fossile perché 100 m au-dessus de la perte principale indique un abaissement du niveau de base conjugué à la surrection tectonique. Cet abaissement est responsable des niveaux étagés.

- **Type Biyun.** Située à 1,5 km de Panxian (Guizhou), la grande grotte tunnel de Biyun, explorée par Xu Xiake, est un système perte-résurgence de 3,5 km d'extension (fig. 151) se développant dans les calcaires permien le long d'un grand accident SW-NE qui jalonne l'anticlinal faillé de Panxian (chap. 1, photo 64). La perte, située à 1 480 m, peut absorber des débits de plus de 100 m³/s en crue, dans une cavité de grandes dimensions. La tunnel actif aboutit sur un siphon localisé à plus de 2 km de l'entrée. Du fait de ce rétrécissement, il y avait refoulement de l'eau et ennoiment partiel du poljé de Panxian avant la construction d'un canal souterrain d'évacuation creusé depuis l'intérieur de la grotte. À l'aval du système, la rivière souterraine a la particularité de confluer dans une courte grotte-tunnel, longue de 300 m, traversant un éperon rocheux disposé dans un fond de vallée. La confluence s'effectue en zone noyée avec une autre rivière provenant de l'ouest responsable du creusement de la grotte-tunnel de 300 m.

Cette zone de confluence est complexe. En effet, on observe le porche fossile de la grotte de Laoyandong qui se situe 40 m au-dessus de la sortie du tunnel (photo 348). Cette cavité, explorée sur 752 m, se développe sur le même grand accident NE-SW, dans le prolongement du système de Biyun.

La vallée a dû recouper perpendiculairement un réseau en provenance du nord-est, donc de Biyun, mais on n'observe pas de galerie décapitée sur l'autre versant. Par contre, la grotte-tunnel sèche de Liangfengdong-Bianfu-Xingsuodong, connue sur 2,5 km, est perchée 150 m au-dessus du système actif de Biyun et aboutit plus de 100 m au-dessus de la zone de confluence. Ce tunnel sec, orienté également sur la grande fracture, est probablement un paléocours du système de Biyun, à une époque où la perte s'effectuait au niveau du porche de Xingsuodong. Avec la surrection tectonique, il y a eu processus de recul de perte.

B. Les grottes-tunnels de confluence fossile : type Donghe (Hefeng, Hubei)

La grotte-tunnel de Donghe Hefeng constitue le modèle chinois de la traversée spéléologique (fig. 152). Elle est située dans la partie sud-ouest du Hubei, dans le district montagneux de Hefeng. La cavité forme un tunnel géant long de 2,2 km, creusé dans les calcaires massifs et les brèches du Trias, qui rejoint la vallée de la Loushuihe. La galerie, en forme de canyon souterrain, est le prolongement hypogé d'une vallée aveugle longue de 10 km et drainant un bassin-versant de 200 km². Cette particularité explique la dimension énorme du conduit (1 000 m² de section moyenne) et l'intensité des formes d'érosion mécanique semblables à celles des grands canyons calcaires : marmites de géant, roches et parois lustrées. Lors des crues, le tunnel est emprunté par un torrent pouvant débiter plusieurs dizaines de m³/s (photo 349).

La grotte débute par un porche de 100 m de haut et de 40 m de large. Axé sur une grande faille N075E, le tunnel recoupe en rive droite, à 600 m de l'entrée, un réseau exploré sur 4,5 km provenant du système de poljés étagés de Taiping-Yanziping (zone synclinale). Le collecteur souterrain (rivière sans Retour), en provenance du drainage des poljés, se dirige aujourd'hui vers la résurgence de Wanrendong situé au fond d'une profonde vallée. Autrefois la rivière souterraine confluaient à l'intérieur du tunnel de Donghe et constituait une grotte-tunnel de confluence active. Il est possible que cette

Figure 150 : Coupe synthétique du système de grottes-tunnels de confluence active de Duobindong (districts de Xiuwen et Xifeng, Guizhou).

Section of the Duobindong tunnel-caves related to several active underground confluences (Xiuwen and Xifeng Counties, Guizhou).

Figure R. Maire

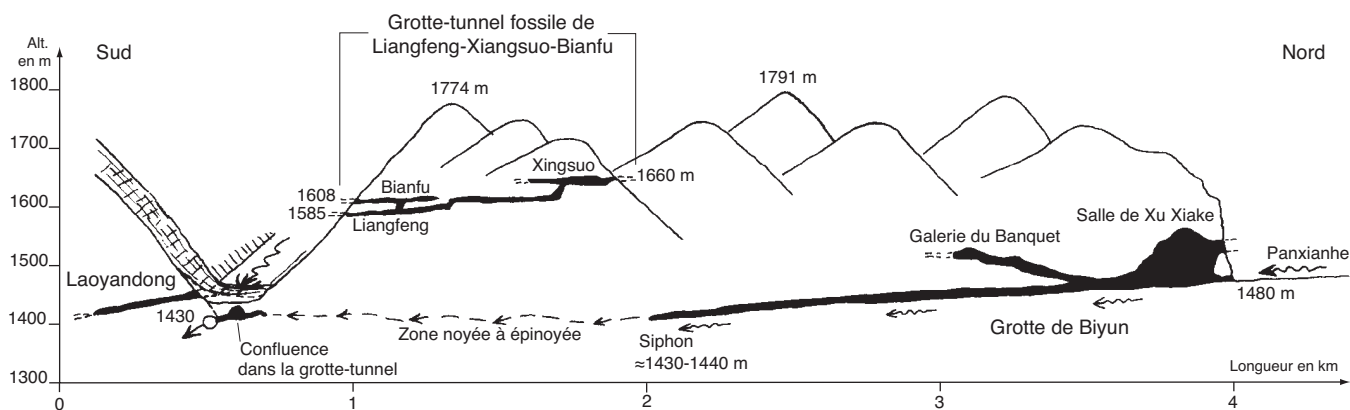


Figure 151 : Coupe synthétique du système de la grotte-tunnel de Biyun avec présence d'une confluence souterraine importante dans le tunnel de sortie (district de Panxian, Guizhou).

Synthetic section of the Biyun tunnel-cave system. We notice an important underground confluence in the exit tunnel (Panxian County, Guizhou).

Figure R. Maire

Photo 348 : Ancienne grotte-tunnel de Laoyandong recoupée par le creusement du canyon (système de Biyun, district de Panxian, Guizhou).

Old Laoyandong tunnel-cave cut by the canyon (system of Biyun, Panxian County, Guizhou).

Photo N. Vanara 2000



Ouest-Sud-Ouest

Est-Nord-Est

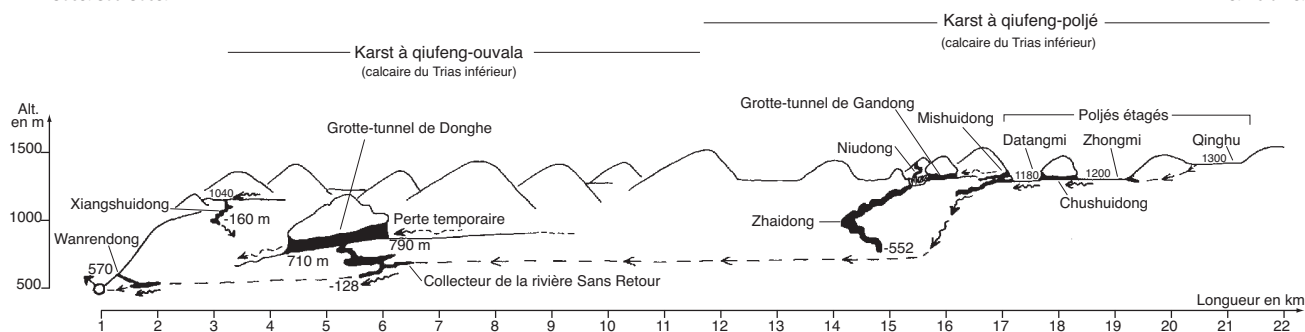


Figure 152 : Coupe synthétique de la grotte-tunnel de Donghe (district de Hefeng, Hubei) à écoulement temporaire. On observe une confluence fossile en relation avec le système de Yanziping (collecteur de la rivière Sans Retour).

Synthetic section of the Donghe tunnel-cave (Hefeng County, Hubei) with temporary flow. The dry confluence is related with the Yanziping system (rivière Sans Retour).

Figure R. Maire

confluence continue de fonctionner en trop-plein lors des épisodes pluvieux exceptionnels.

III. Les mono-tunnels à rétrécissements intermédiaires

Ce type de grotte-tunnel en mono-tunnel est remarquablement illustré par le système perte-réurgence de Yanfengdong et Ganhedong situé dans le district de Shizong (Yunnan). Cette région calcaire est localisée sur la retombée sud-est du plateau du Yunnan. Elle a le privilège de détenir le plus haut porche de grotte-tunnel de Chine.

L'entrée en encorbellement de la perte temporaire de Yanfengdong, haute de 190 m, s'est formée au contact du Trias imperméable et du Trias calcaire. La grotte-tunnel traverse la barre carbonatée de Trias large de 1,2 km pour un développement total connu de 1 750 m et une dénivellation de 130 m. L'originalité de ce grand mono-tunnel à pente assez forte (6 %) est de présenter une obstruction de galets dans la partie médiane de la cavité en raison de l'abaissement du plafond. Ce colmatage, qui intéresse plusieurs centaines de mètres, interdisait la traversée du tunnel en 1997. D'après les témoignages locaux, le colmatage total se serait produit durant la mousson en août 1996 suite à des précipitations totalisant 120 mm en 26 h.

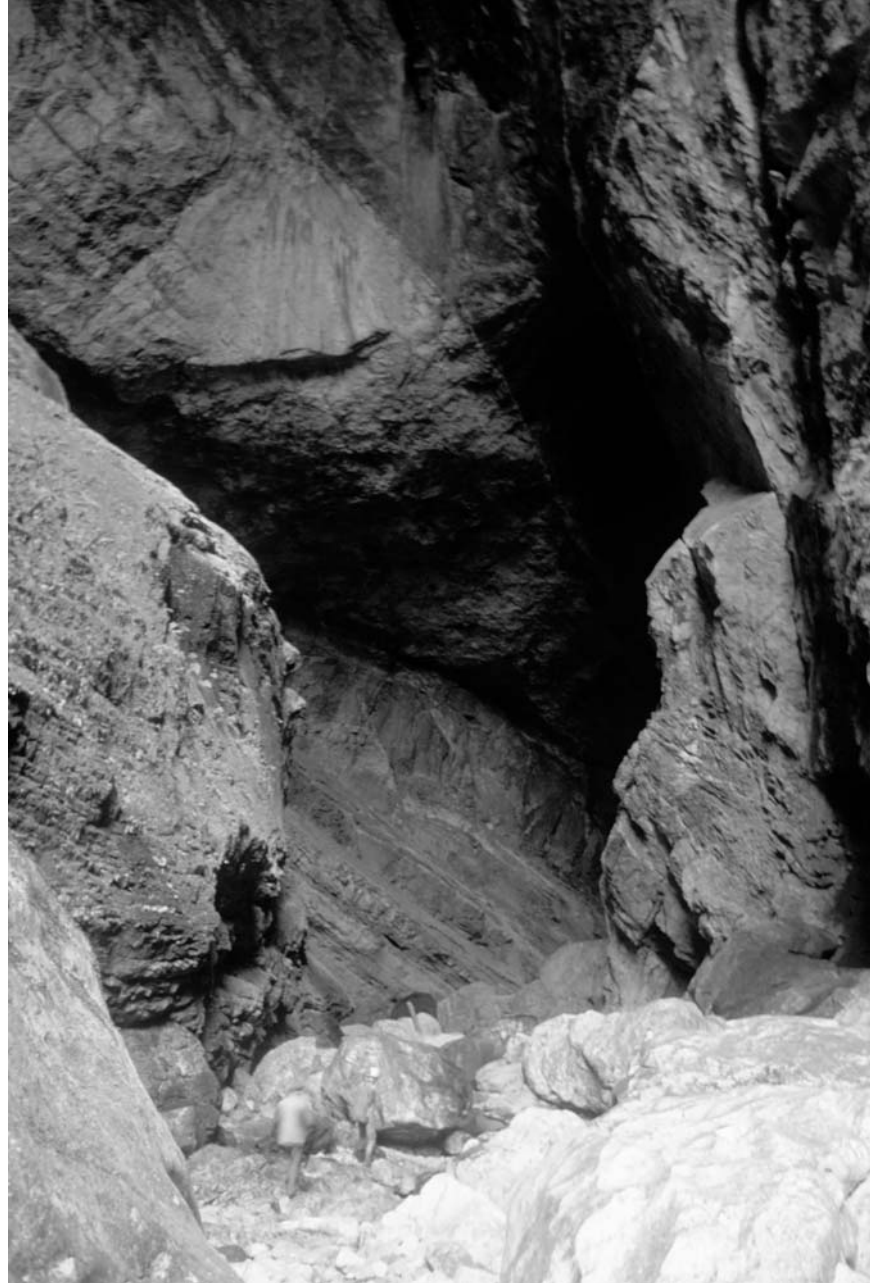
Des vidanges des remplissages peuvent se produire par débouillage brutal en fonction des pressions hydrauliques exercées en amont du tunnel lors des périodes de hautes eaux.

IV. Grottes-tunnels à niveau noyé : type Dadong (Wufeng, Hubei)

A. Le système de Dadong-Longdong

La grande grotte-tunnel de Dadong-Longdong est située dans le district de Wufeng, dans la partie ouest du Hubei. Elle présente deux réseaux non encore reliés par l'exploration : Dadong à l'amont (11 km) et Longdong-Yanzidong (5,7 km) à l'aval. La perte débute par le porche géant de Dadong, haut de 100 m, situé au fond d'un canyon aveugle (photo 350). Le système est creusé au contact Cambrien-Ordovicien et résurge au bout de 6 km à Longdong (fig. 153).

L'originalité de ce système est de présenter, au niveau du réseau de la perte de Dadong, un plan en



“delta souterrain”. En effet, on constate que l'évacuation souterraine de l'eau, au lieu de transiter par un grand mono-tunnel, est perturbée par des rétrécissements. L'immense tunnel d'entrée, d'une section de 1 500 à 3 000 m², se prolonge par un canyon plus étroit et aboutit dans deux salles, dont une grande salle de décantation dite des Varves Marrons. Celle-ci se prolonge par une galerie inférieure étroite longue de 400 m qui est finalement obstruée par des galets, des troncs et des branches. Ce rétrécissement du réseau est à l'origine d'un remplissage argilo-limoneux de 25 m d'épaisseur daté entre 19 000 et 13 000 ans, des sédiments et débris végétaux qui obstruent le conduit terminal, mais aussi de la genèse d'un réseau complexe de forme deltaïque à cause de la diffusion de l'écoulement sous pression lors des grandes crues de mousson d'été.

Cette perte de charge, avec diffusion deltaïque dans les trois dimensions, est favorisée par la structure géologique locale. La rivière souterraine doit traverser perpendiculairement l'axe d'un synclinal qui ne semble pas présenter de grandes fractures

Photo 349 : La grotte-tunnel à écoulement temporaire de Donghe (district de Hefeng, Hubei).

The tunnel-cave of Donghe (Hefeng County, Hubei) with temporary flow.

Photo R. Maire 1992

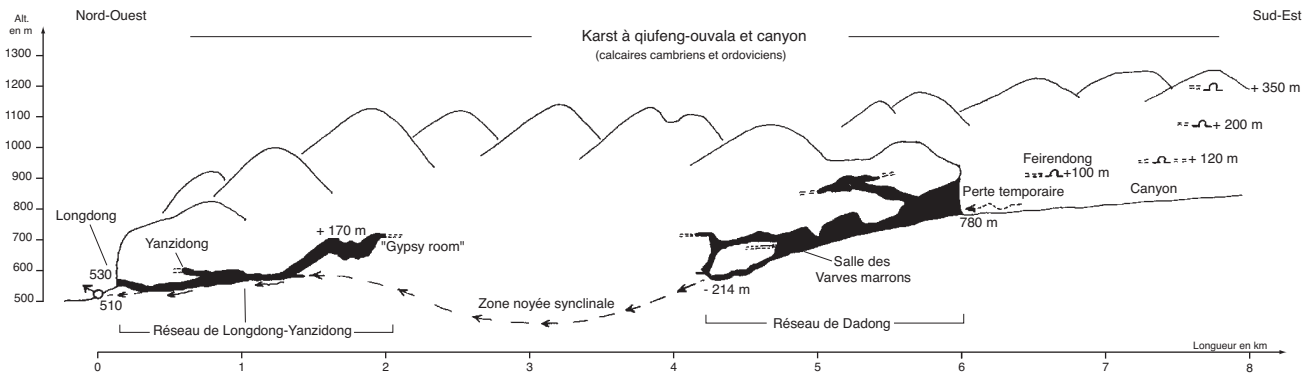


Figure 153 : Coupe synthétique de la grotte-tunnel à niveau inférieur noyé de Dadong-Longdong (district de Wufeng, Hubei).

Synthetic section of the Dadong-Longdong tunnel-cave (Wufeng County, Hubei). We notice a saturated level in the syncline part.

Figure R. Maire



Photo 350 : Le porche d'entrée de Dadong (district de Wufeng, Hubei), haut de 100 m, débute à l'extrémité d'un canyon aveugle.

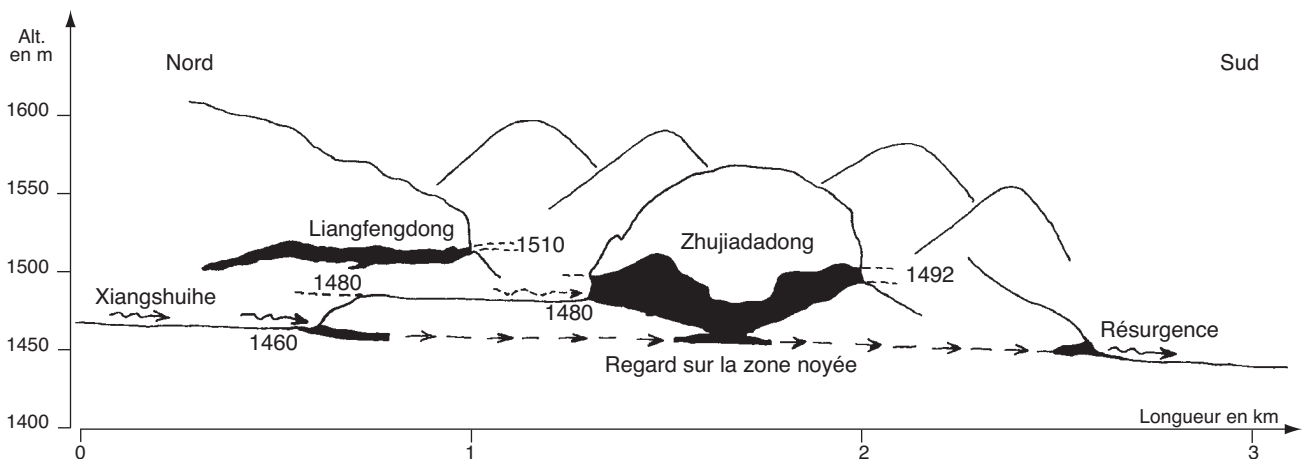
The entrance porch of Dadong tunnel-cave (Wufeng County, Hubei), 100 m high, is located at the end of a blind canyon.

Photo R. Maire 1992

Figure 154 : Coupe synthétique de la grotte-tunnel de la Xiangshuihe (district de Panxian, Guizhou). On observe une partie à écoulement temporaire (Zhujiadadong) et un niveau inférieur noyé.

Synthetic section of Xiangshuihe tunnel-cave (Panxian County, Guizhou). We notice a part with temporary flow (Zhujiadadong) and a lower level with saturated flow.

Figure R. Maire



transversales. Comme le fond connu de Dadong se situe vers 566 m d'altitude et la rivière souterraine de Longdong réapparaît vers 560 m, cela signifie qu'il n'y a quasiment pas de potentiel de dénivellation sur 3 km d'extension. Par conséquent la rivière souterraine s'est enfoncée sous le niveau de base dans le coeur du synclinal en formant un système noyé exploitant les diaclases, les petites fractures et les joints de stratification. On est donc en présence d'une grotte-tunnel complexe, avec de grands tunnels d'entrée et de sortie, mais avec un coeur noyé et un plan deltaïque amont de perte de charge.

B. Le système de la Xiangshuihe

Situé dans le sud du district de Panxian (Guizhou), la rivière Xiangshuihe traverse un petit massif calcaire en grotte-tunnel (chap. 1, photo 94). On observe une perte noyée et une résurgence noyée constituant un niveau inférieur actif fonctionnant en régime saturé. Ce niveau est surmonté par un gros tunnel intermédiaire (Zhujiadadong) perché de 20 m au-dessus de la perte qui absorbe les eaux de la rivière en période de grandes crues. Ce large tunnel est lui-même surmonté par des conduits inactifs. A sa base existe un regard sur la zone noyée. On est donc en présence d'une grotte-tunnel montrant le passage en cours d'un niveau intermédiaire semi-actif, fonctionnant uniquement en grande crue, et un niveau inférieur fonctionnant en permanence en régime noyé à épinoyé.

V. Les grottes-tunnels à voûte effondrée : type Yijiehe (Zhijin, Guizhou)

Exploré en 1986 et 1989, ce système très original se situe dans le district de Zhijin à l'ouest de Guiyang (cf. rapports Guizhou 86 et Gebihe 89). Il est creusé dans les calcaires du Trias inférieur, sur le flanc sud d'une large structure synclinale. Le système karstique est constitué par une succession de tunnels, de canyons à l'air libre séparés par des arches et des tunnels courts. On est en présence d'une évolution géomorphologique tendant à transformer un canyon souterrain en canyon de surface par effondrement des voûtes. Ce type d'évolution est fort instructif car le processus de transformation est en cours et les preuves sont patentes, ce qui n'est pas le cas pour de multiples canyons dont ne sait pas s'ils ont connu une voûte à un moment donné de leur évolution.

Le réseau est constitué par la confluence de deux rivières : Liangchahe et Ximaihe, pour donner la Yijiehe. Mais le système débute réellement par la perte de la Liangchahe localisée au fond d'un canyon aveugle par un porche haut de 50 m (photo 351). Le premier tunnel (en réalité un tunnel percé) mesure 700 m de long. En effet, au bout de 400 m, le canyon souterrain est éventré par un effondrement long de 180 m suivi par un nouveau tunnel de 120 m. Cette première partie est suivie par un canyon à l'air libre de 600 m de long qui reçoit en rive droite la Ximaihe. Puis le réseau repart en tunnel sur 420 m par un lac souterrain se terminant

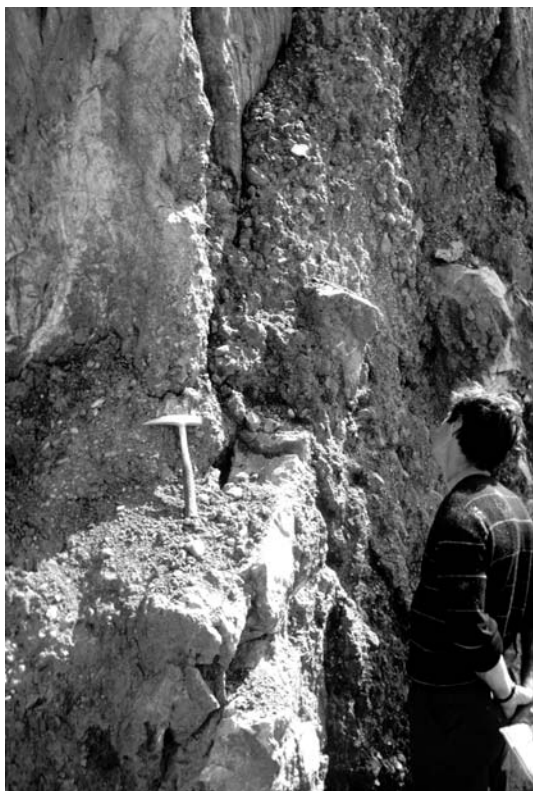


Photo 351 : Perte de la grotte-tunnel de la Yijiehe (district de Zhijin, Guizhou).

Sinkhole of the Yijiehe tunnel-cave (Zhijin County, Guizhou).

Photo R. Maire 1989

sur siphon. La rivière réurge 80 m plus loin dans une nouvelle partie à ciel ouvert, un canyon totalement aveugle long de plus de 1 km. La rivière disparaît dans un porche géant de 120 m de haut. Ce tunnel est interrompu au bout de 300 m par un puits d'effondrement (Xiaocaokou) de 200 m de haut sur 200 m de long, suivi immédiatement par une arche remarquable, le pont-tunnel de Daxiaocaokou de 100 m de long sur 90 m de large et 120 m de haut (photo 355). Celui-ci donne sur Daccaokou, un dernier tronçon effondré, encombré de blocs, mesurant 900 m de long, 200 m de large et une hauteur variant entre 150 et 300 m. Puis la rivière disparaît dans un porche de 150 m de haut et se prolonge dans une galerie sur 750 m de développement jusqu'à un siphon. L'eau réurge plus de 1,5 km au nord-nord-est dans la gorge de Liuchonghe.

Cet exemple type de grotte-tunnel, associant tronçons de grotte et tronçons de canyon aveugle et à ciel ouvert, tend à créer un canyon classique, mais dont l'origine est une grotte-tunnel. Il existe de multiples exemples de systèmes perte-réurgence présentant des regards intermédiaires. Généralement, il s'agit de un ou deux puits d'effondrement, comme dans les réseaux de la Gebihe (Ziyun) et de la Liuchehe (district de Panxian). Les effondrements sont favorisés par le degré d'évolution de la cavité, par l'épaisseur de la couche calcaire, la hauteur du canyon souterrain et souvent par la présence de failles et décrochements importants comme à l'aven de Jiaocai situé sur le tracé de la grotte-tunnel de la Gesohe (fig. 157).

En surface, des alluvions anciennes, à galets altérés (Permien et Trias), jalonne l'ancien tracé du

Photo 352 (gauche) : Terrasse fluviale ancienne perchée sur le plateau et indiquant le paléotracé de la Yijiehe. (district de Zhijin, Guizhou).

Old alluvial terrace on the plateau recording the former Yijiehe tunnel-cave (Zhijin County, Guizhou).

Photo R. Maire 1989



Photo 353 : Perte de la Gebihe (district de Ziyun, Guizhou) et son porche de 116 m de haut.

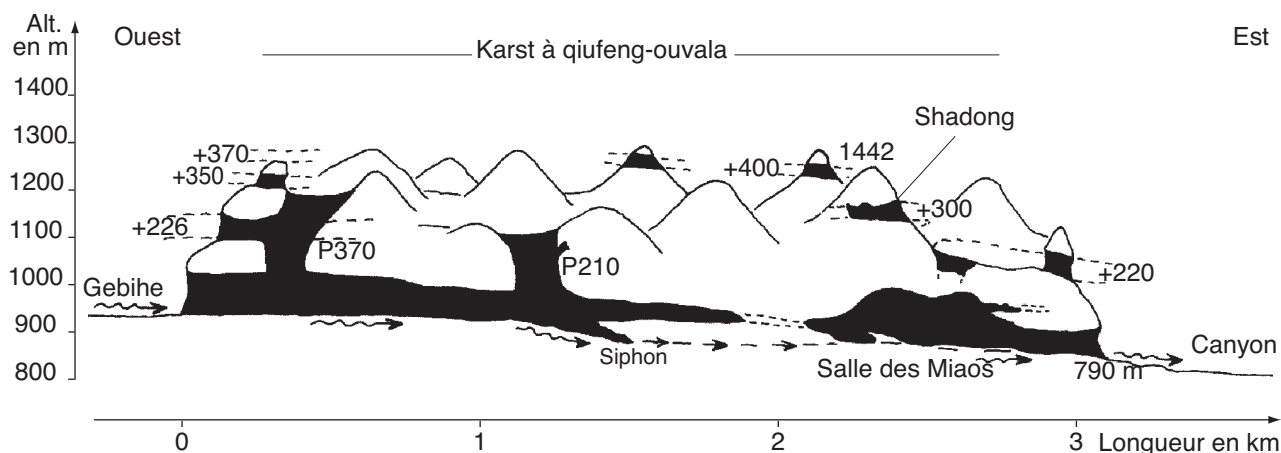
The Gebihe sinkhole entrance is 116 m high (Ziyun County, Guizhou).

Photo R. Maire 1999

Figure 155 : Coupe synthétique de la grotte-tunnel de la Gebihe (district de Ziyun, Guizhou).

Synthetic section of the Gebihe tunnel-cave (Ziyun County, Guizhou).

Figure R. Maire



système karstique qui devait emprunter également une succession de grottes et de vallées à éclipses, mais ces indices sont nettement moins visibles que dans le secteur de la Gebihe en raison de conditions géologiques différentes. Ici l'épaisseur karstifiée est plus faible.

VI. Les grottes-tunnels à niveaux étagés : type Gebihe (Ziyun)

Ce type de grotte-tunnel, largement représenté dans les karsts de Chine du Sud-Ouest, est symbolisé par le système de la Gebihe situé dans le district de Ziyun (Guizhou) [Barbary, Maire et Zhang Shouyue, éd., 1991]. La grotte traverse un massif de fengcong dans les calcaires carbonifères et permien. Des tronçons fossiles de grottes-tunnels, perchés à différents niveaux sur 400 m de dénivellation, ont enregistré les étapes de la surrection au cours des derniers millions d'années par le processus saccadé d'abaissement de perte (fig. 155). En 1999 et 2000, deux reconnaissances ont permis de revisiter une partie de la cavité en période de hautes eaux et de compléter les observations.

A. Hydrologie et morphologie du réseau

La grotte-tunnel de la Gebihe draine un bassin de l'ordre de 1 200 km², donc comparable à celui de la Gesohe, mais avec des précipitations moins fortes (1 337 mm/an à Ziyun). Ce bassin se développe dans des terrains sédimentaires allant du Dévonien au Trias. Le système traverse d'ouest en est le flanc occidental du synclinal de Jiaoma et réurge au fond d'une reculée près de l'axe du synclinal. Le réseau se développe d'abord dans les calcaires du Carbonifère, puis dans ceux du Permien inférieur, selon un pendage de 27°E.

La partie connue mesure 12 km de développement et 418 m de dénivellation (445 m jusqu'à

l'émergence). On distingue un réseau amont de 7,7 km comprenant la perte principale (Gebihe) et une perte affluente (Shuitanghe), donnant accès à des grands lacs souterrains. La perte principale débute par un porche en ogive de 120 m de haut et 25 m de large dont la voûte est affectée par des cloches et des coupoles profondes de dimensions plurimétriques. Ce type de morphologie de voûte, voire de paroi, semble d'origine phréatique. Il a été observé également à la voûte et sur les parois de tronçons de grottes fossiles sur le même massif comme dans la grotte qui abrite le village troglodyte de Chadong.

Deux avens géants jalonnent le tracé : un puits de 370 m situé au début du réseau et un puits de 210 m perforant le milieu du plateau. Le réseau amont se termine à l'aval sur deux siphons : l'un dans la galerie active, l'autre dans un vaste conduit évacuant le trop-plein de la rivière en crue. Pendant les crues de mousson, le torrent emprunte cette galerie, mais quand le débit dépasse plus de 50 m³/s, la galerie s'envoie et refoule jusqu'à la perte de la Gebihe ; l'eau remonte alors de 20 m dans le puits de 210 m ; d'où les dépôts sablo-limoneux sur les flancs de l'éboulis. On peut donc estimer la mise en charge à plus de 50 m depuis le siphon.

Exploré à partir de la résurgence, le réseau aval mesure 4,2 km de développement. A 500 m de l'entrée, il donne accès à la salle des Miao qui est actuellement la deuxième plus grande salle connue du globe après celle de Sarawak à Mulu (Malaisie). Elle mesure 700 m de long, 200 m de large et 70 à plus de 100 m de haut. En crue, elle est parcourue en rive droite par le trop-plein de la rivière.

En 1999, grâce à un équipement électrique installé pour de futures visites, il a été possible d'observer la morphologie de cette salle hors du commun. Au milieu de la salle, plusieurs grandes cloches dépassent les 100 m de haut. Le plancher est formé par des amoncellements de blocs arrondis, polis par l'eau, de 2 à 5 m de haut tandis que les flancs ouest et est sont généralement recouverts par de puissantes coulées stalagmitiques et des gours mesurant 20 à 60 m de haut et parfois 100 m de large. Plusieurs stalagmites atteignent 20 à 40 m de haut.

En étiage et moyennes eaux, la rivière coule sous les blocs, mais pendant les hautes eaux estivales, la salle est traversée par un torrent qui cascade sur 100 m de dénivellation. Les ponts et l'installation électrique ont été détruits par les crues entre l'été 1999 et le printemps 2000.

A la résurgence le débit moyen est de 25 m³/s environ avec un étiage supérieur à 5 m³/s. Compte tenu de l'amplitude des précipitations, le débit peut dépasser 100 à 200 m³/s en saison des pluies, ce qui explique des mises en charge de plus de 50 m dans la partie intermédiaire du système. Celles-ci provoquent un refoulement des eaux jusqu'au niveau des pertes de la Gebihe et de la Shuitanghe.

B. Niveaux étagés et genèse du réseau

A la hauteur de la perte principale (Gebihe), quatre niveaux d'écoulement ont été reconnus :

- niveau 1 = porche actif de 116 m, avec galerie fossile à + 100 m (Gebihe) (photo 353) ;
- niveau 2 = grand porche situé à + 226 m (pont-tunnel) (photos 356 et 357) ;
- niveaux 3 et 4 = porche de + 350 m et porche détruit de + 370 m (galets) (photo 342).

Le porche fossile de la cote + 226 m (niveau 2) est un tronçon de grotte-tunnel de 137 m de long, 70 m de large et 50 m de haut. Il débouche sur un effondrement de 200 m de diamètre qui correspond à la moitié supérieure d'un puits géant de 370 m qui trépane le plateau et rejoint la rivière souterraine dans une galerie haute de 130 m. La suite de cette

Photo 354 : Galerie d'entrée de la Gebihe haute de 140 m et regard sur l'aven de 370 m (district de Ziyun, Guizhou).
The entrance giant gallery of Gebihe 140 m high (Ziyun County, Guizhou).

Photo R. Maire 1999



Exemples de ponts tunnels (Guizhou) associés à des niveaux étagés

Examples of tunnel bridges (Guizhou) associated with cave levels

Photo 355 :
Le pont-tunnel de Daxiaocaokou (district de Zhijin, Guizhou) mesure 120 m de haut. Il est situé sur le parcours de la grotte-tunnel à éclipses de la Yijiehe.

The tunnel-bridge of Daxiaocaokou 120 m high is located on the way of the Yijiehe through cave (Zhijin County, Guizhou).

Photo Guizhou Expé 1986

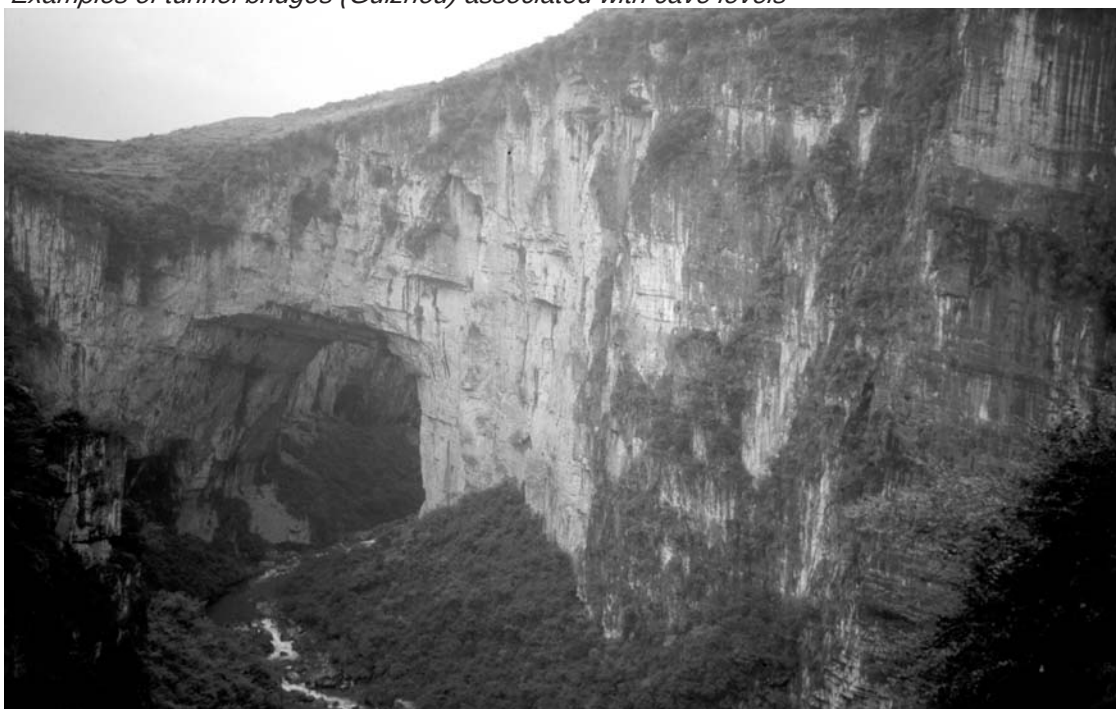


Photo 358 : Le pont-tunnel de paléo-résurgence de la Gebihe (district de Ziyun, Guizhou) est perché de 250 m au-dessus de la résurgence actuelle.

The tunnel-cave of the paleo-resurgence of Gebihe (Ziyun County, Guizhou) is located 250 m above the existing resurgence.

Photo R. Maire 2000



Photo 356 : Le pont-tunnel de paléo-perte de la Gebihe est situé 226 m au-dessus de la perte actuelle (district de Ziyun, Guizhou).

The tunnel-bridge of the Gebihe (Ziyun County, Guizhou) paleo-sinkhole is situated 226 m above the existing sinkhole.

Photo R. Maire 2000



Photo 357 : Autre perspective du pont-tunnel perché de + 226 m de la Gebihe (district de Ziyun, Guizhou).

Other view of the Gebihe (Ziyun County, Guizhou) tunnel-cave located at + 226 m.

Photo R. Maire 2000

ancienne grotte-tunnel est visible vers le sud-ouest ; il s'agit d'une gorge envahie par la forêt correspondant à une vaste galerie dont le plafond a disparu à cause de l'érosion karstique du plateau.

A l'est du massif, on observe un étagement similaire. Le niveau 2 se situe vers + 250 m au-dessus de la résurgence sous la forme d'un court et vaste tronçon fossile, de 50 m de large sur 100 de long. Il débouche sur une vallée sèche intérieure correspondant au plancher de l'ancienne grotte tunnel. Cette pseudo-vallée rejoint un puits d'effondrement colmaté. Plus haut, vers + 350 m par rapport à la résurgence, se situe le niveau 3, symbolisée par la grotte de Chadong occupée par un village troglodytique. Plus haut, vers 1 300 m (+ 400 m), on observe un tronçon qui traverse le sommet d'une butte (niveau 4) (photo 342).

Ces différents conduits, étagés sur 400 m de dénivellation sont les témoins de l'évolution du système perte-résurgence de la Gebihe au cours de la surrection himalayenne depuis le Néogène. En amont, le porche de + 350 m et le plancher alluvial de + 370 m correspondent à des paléocéoulements moins importants (affluents). Au-dessus, une tranche de calcaire de plusieurs centaines de mètres, contenant vraisemblablement des niveaux supérieurs, a dû disparaître par dissolution et érosion au cours du Tertiaire.

Le vaste pont-tunnel de + 226 m correspond à l'ancienne perte de la Gebihe. La rivière devait l'emprunter à une période qui n'est pas très ancienne et qui pourrait se situer à la fin du Tertiaire ou au début du Quaternaire. Le niveau 1 actuel, correspondant au grand porche d'entrée, serait essentiellement quaternaire. Un niveau vers + 100 m, présentant des remplissages fluviaux consolidés, a été découvert dans la vallée sèche située entre les deux pertes (Shuitanghe et Gebihe) et à l'intérieur du grand tunnel d'entrée. La nature pétrographique variée des éléments suggère une alimentation par une rivière allochtone, remontant peut-être au début du fonctionnement de la perte du niveau 1.

Au cours des derniers millions d'années, l'érosion karstique du massif a provoqué un abaissement relatif de la surface karstifiée pendant que celle-ci se soulevait. Cette érosion explique les conduits perchés, mais aussi les liaisons verticales avec la surface (puits de 210 et 370 m).

VII. Les grottes-tunnels en série : type Wutuhe (Panxian)

La Wutuhe est un affluent de rive gauche de la Gesohe dont la confluence est située juste avant celle qui réunit les cours de la Beipanjiang et de la Gesohe (chap. 1, fig. 9). Cette rivière importante, dont le débit est de 10 m³/s en moyennes eaux, présente une succession de grottes-tunnels séparées par des parcours aériens normaux ne résultant pas de l'effondrement de voûtes de galeries (fig. 156).

Le cours amont de la rivière Wutuhe, avant les systèmes souterrains, porte le nom de Yunihe. Elle draine un bassin d'alimentation important, supérieur à 150 km², d'où le débit important de la rivière. Au cours de la traversée du plateau synclinal façonné dans les calcaires permien, la rivière présente trois systèmes de grottes-tunnels (Yunihe, Gedahe et Liuchehe) qui ont connu une évolution complexe dont témoignent les grottes perchées et les alluvions anciennes rencontrées en surface.

A. Le système noyé de la Yunihe

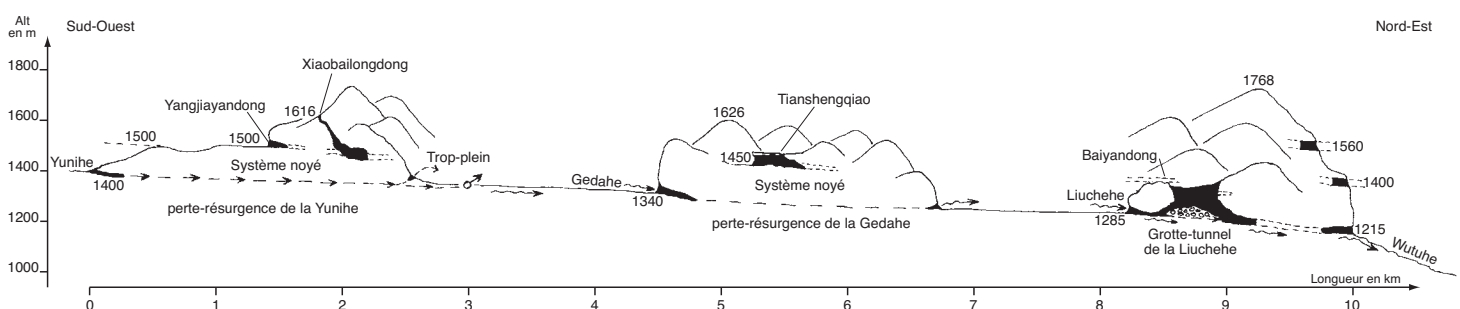
Situé en amont, il débute par la perte noyée de la Yunihe localisée à 1 400 m dans les calcaires carbonifères, dans l'axe de la vallée à fond remblayé. Suite au processus de recul de perte, on observe l'entrée de l'ancienne perte, dénommée Yangjiayandong, située 1,5 km au nord-est à proximité du fond de la vallée aveugle. Cette cavité fossile est obstruée au bout de 80 m. Un paléoniveau perché est symbolisé par le réseau de Xiaobailongdong dont la grande salle des Piliers, longue de 200 m, se situe vers la cote 1 500 m. La rivière souterraine, qui s'écoule en zone noyée, n'a jamais été observée.

La résurgence se situe dans les calcaires permien, 3 km au nord-est, en rive gauche d'une vallée axée sur une grande faille orientée SW-NE. Une résurgence temporaire de trop-plein est placée 2 km en amont de la même vallée près du contact Carbonifère-Permien.

Figure 156 : Coupe synthétique du système de grottes-tunnels de la Wutuhe (Panxian, Guizhou).

Synthetic section of the tunnel-caves system of Wutuhe (Panxian, Guizhou).

Figure R. Maire



B. Le système noyé de la Gedahe

Placé position intermédiaire, ce système commence par la perte de la Gedahe (1 340 m) qui est localisée 2 km après la résurgence du réseau noyé de la Yunihe. La rivière souterraine pénètre dans une vaste galerie de 50 m de diamètre ; elle parvient au bout de 240 m sur un grand siphon, large de 15 m, situé à la cote 1 320 m. Elle résurge 2,3 km au nord-est dans le poljé de la Liuchehe vers 1 300 m d'altitude.

Comme pour la Yunihe, on est en présence d'une grotte-tunnel active jeune circulant principalement en zone noyée, phénomène attesté par le faible gradient hydraulique. Un tronçon de paléogrotte-tunnel, dénommé Tianshengqiao à cause de son pont naturel résiduel, a été découvert sur le plateau, plus de 100 m au-dessus de la perte. Il se développe sur 350 m avec deux avens séparés par le pont naturel (photo 346). Des alluvions anciennes ont été observées en surface, à plus de 1 500 m d'altitude ; elles jalonnent le tracé d'un ancien écoulement marquant probablement la racine d'une ancienne grotte-tunnel disparue datant du Tertiaire.

C. Le système de la Liuchehe

Le système de la Liuchehe est le troisième de la série. Il se situe sur le bord nord du poljé de vallée de Liuchehe. La présence de ce poljé, de 4 km de long sur 1 km de large, placé à l'extrémité d'une large vallée aveugle, suggère une évolution géomorphologique passant d'un drainage exoréique à un drainage endoréique de poljé avec capture karstique par des grottes-tunnels.

Le système en grotte-tunnel de la Liuchehe présente une extension de 1,8 km. Il est caractérisé par une grande rivière souterraine circulant en écoulement libre. Une grande doline d'effondrement de 250 m de long, dénommée Baiyandong, constitue un regard sur la grotte-tunnel. A cause des chaos de blocs, la rivière souterraine a été contrainte d'emprunter un passage latéral, dans un nouveau conduit, présentant des voûtes mouillantes.

La résurgence s'effectue au fond d'une profonde reculée, à 1 215 m, surmontée par de hautes parois dans lesquelles on discerne au moins deux grands niveaux de porches étagés : le premier vers + 200 m, le second vers + 350 m. Une ancienne terrasse alluviale, appartenant probablement à une paléocavité décapitée, est présente vers + 150 m au-dessus de la perte de la Liuchehe ; elle jalonne le paléotraccé de la Liuchehe (photo 23, p. 36). Les niveaux étagés les plus élevés, jusqu'à + 350 m, sont à mettre en relation avec une période se situant probablement vers la fin du Néogène.

VIII. Les grottes-tunnels sous vallée sèche : type Gesohe (Panxian)

Dans la partie nord-est du district de Panxian, le relief dépasse fréquemment 2 000 m d'altitude car on est sur la bordure du haut plateau du Yunnan. C'est la région des vallées profondes avec notamment le grand canyon de la Beipanjiang. Le système perte-résurgence de la Gesohe est alimenté par la rivière du même nom dont le bassin d'alimentation est de l'ordre de 1 200 km², d'où un débit à la perte qui peut dépasser 1 000 m³/s en forte crue.

L'intérêt de ce système karstique majeur est de présenter une mégaperte sous la forme d'un porche de 140 m de haut localisé à l'extrémité aveugle de la vallée de la Gesohe à 1 230 m d'altitude. En forte crue, l'eau refoule de la cavité et monte jusqu'à + 70 m. La perte est localisée 4,5 km au nord dans l'axe S-N de l'anticlinal de Guniuhe qui est jalonné par une grande faille, au contact des calcaires permien et carbonifères. Une galerie fossile supérieure, perchée d'une centaine de mètres, se situe en rive droite, à l'intérieur du porche. La résurgence se situe à la cote 1 019 m à l'extrémité d'une vallée sèche suspendue.

A. Contexte géomorphologique

L'examen géomorphologique est d'un grand intérêt. En effet, on constate l'existence d'une grande vallée perchée située dans le prolongement de la vallée amont de la Gesohe. Un col est situé 1 km au nord, 200 m au-dessus de la perte, à la cote 1 439 m. En contrebas du col apparaît l'orifice béant de la doline d'effondrement de Jiaocai, profonde de 200 m, qui constitue un regard sur le parcours du canyon souterrain. Juste à l'est de l'orifice de l'aven géant, on observe la cicatrice d'une ancienne cavité en forme d'empreinte de pas, preuve de l'érosion d'une importante tranche calcaire. Puis la vallée sèche se développe avec un fond plat, à la cote 1 118 m, sur plus de 2,5 km dominé par des versants escarpés de 700 à 900 m de haut. L'extrémité de ce tronçon de vallée fossile domine la résurgence par une marche de 100 m traduisant l'arrêt de l'encaissement de la vallée sèche à cause de la capture souterraine de la Gesohe et la poursuite de la surrection tectonique. En aval de l'émergence, la rivière continue son cours dans la même vallée qui continue de s'encaisser avec des versants très inclinés de 1 000 m de dénivellation.

B. Genèse de la grotte-tunnel

La formation de la grotte-tunnel actuelle de la Gesohe a dû être précédée par une paléo-Gesohe souterraine. Les processus de capture endokarstique

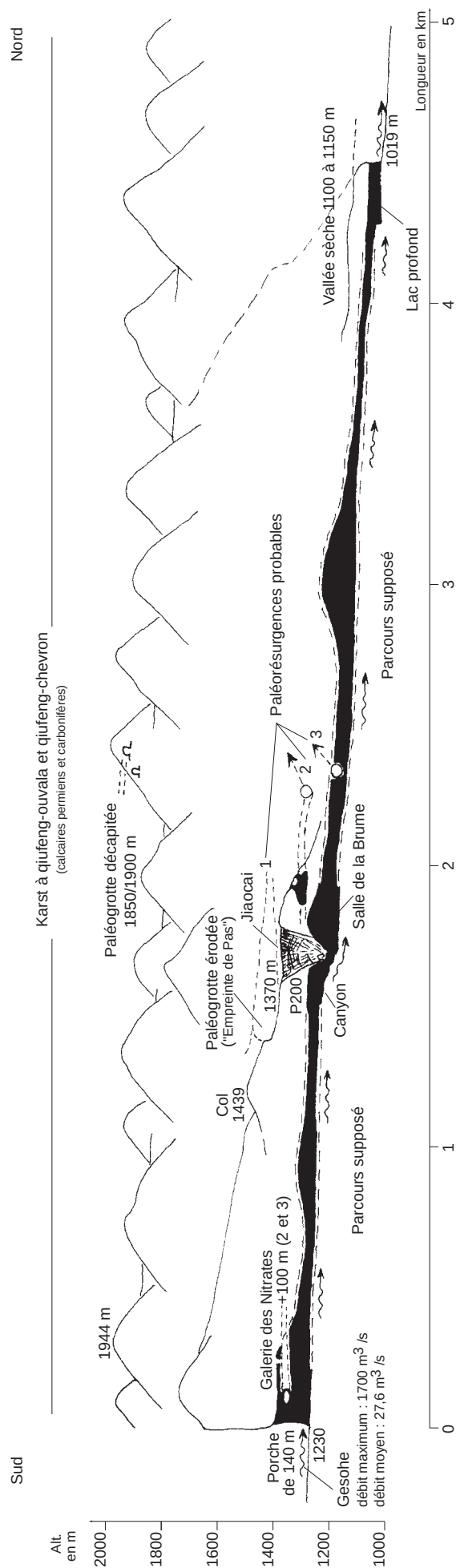


Figure 157: Coupe synthétique de la grotte-tunnel de la Gesohe (Panxian, Guizhou). L'expédition de 2003 a montré qu'il existait deux grands siphons en amont et en aval de Jiaocai. *Synthetic section of the Gesohe tunnel-cave (Panxian, Guizhou).*

Figure R. Maire



Photo R. Maire 2000.

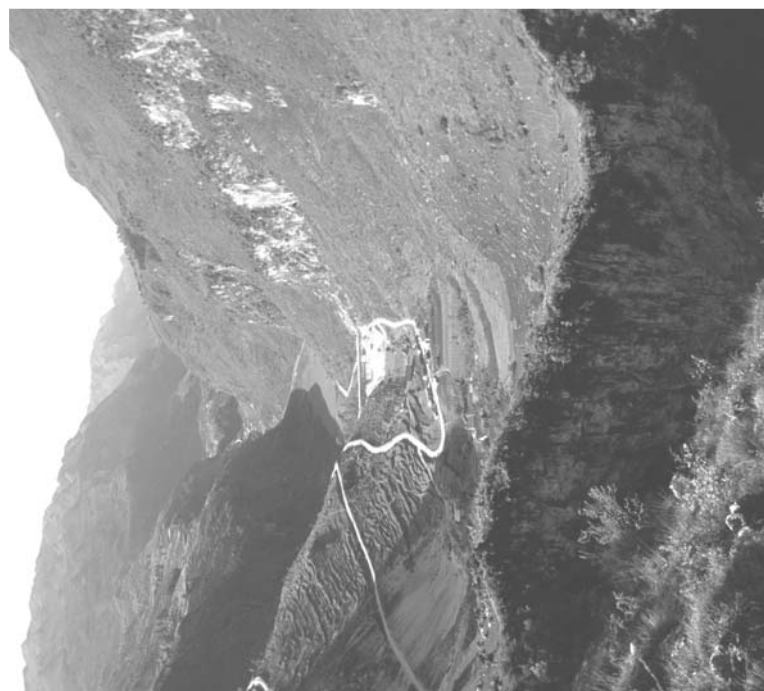


Photo 360 : Vallée
sèche de la Gesche
dominant le tracé
souterrain de la
grotte-tunnel.
Aven de Jiaocai au
premier plan

The dry valley of Gesohe is situated above the through cave. Aven of Jiaocai in foreground.

Photo R. Maire 2000



Photo 361 : Galerie d'entrée en canyon de la perte de la Gesohe, hauteur 130 m, niveau de crue à + 70 m.

Photos R. Maire 2000

sont en relation avec la surrection tectonique et avec une structure géologique favorable : axe anticlinal fonctionnant en extension, d'où une ouverture suffisante des failles, notamment des grandes fractures axiales et transversales. Ce processus de capture a dû se produire en plusieurs épisodes et l'érosion a gommé une partie des traces. Actuellement, à partir des critères géomorphologiques, on peut envisager l'évolution polyphasée suivante :

- **Phase 0.** Le début du creusement de la vallée de la Gesohe se place au cours du Tertiaire avec le début d'une grande phase de surrection de l'Himalaya. La composante de surrection peut être estimée à 1 km au minimum si l'on tient compte de la différence d'altitude entre le fond actuel de la vallée (900-930 m) et le niveau des cônes karstiques passant vers 1 900 m. Le début du creusement de la Gesohe est enregistré par des porches de paléogrottes-tunnels, décapités par le recul des parois, situés vers 1850-1900 m d'altitude.

- **Phase 1.** La Gesohe ne présente pas de perte, elle coule au-dessus du col de 1 439 m et creuse une vallée normale qui présente alors un encaissement déjà important. Cette période pourrait se situer au cours ou à la fin du Néogène. Si une perte existait à l'époque, nous n'en n'avons aucune trace.

- **Phase 2.** La Gesohe commence à se perdre (pas de porche visible) et creuse une première grotte-tunnel dont les témoins seraient la paléocavité à ciel ouvert située au bord de Jiaocai (l'empreinte de pas) et la grotte sèche de Shuangdong s'ouvrant à 1 310 m. A cette époque, la résurgence devait se situer vers la cote relative de 1 250 m.

- **Phase 3.** A cause de la poursuite de la surrection, par le processus de recul de perte, la Gesohe disparaît désormais dans la perte actuelle, mais au niveau supérieur du porche, soit plus de 120 à 140 m au-dessus de la cote actuelle de la rivière, c'est-à-dire vers la cote 1 350 à 1 370 m d'altitude. Cette phase est responsable du creusement d'un niveau de galerie actuellement fossile situé à + 100 m environ à l'intérieur de la galerie d'entrée. A cette époque, la résurgence devait se situer au fond de la vallée sèche à fond plat en forme de reculée, vers la cote 1 130 à 1 150 m. C'est durant cette phase que s'est probablement produit l'effondrement de Jiaocai. Le début de la phase 3 pourrait se placer au début, voire au milieu du Quaternaire, tout dépend de l'intensité de la surrection tectonique.

- **Phase 4.** La perte de la Gesohe, correspondant à l'entrée actuelle, se transforme en canyon par enfouissement vertical sous l'effet de la surrection. Alors que la résurgence de la vallée à fond plat fonctionne encore, des sous écoulements forment un réseau aval qui finit par capturer l'ensemble de la rivière souterraine et assécher cette résurgence, qui devient pendant un temps une source de trop-plein. La résurgence s'implante au niveau de la sortie actuelle des eaux à la cote 1 019 m. La phase 4 se placerait entièrement dans le Quaternaire.

IX. Les grottes-tunnels de capture

Cette famille de grotte-tunnels est caractérisée par une ou plusieurs captures d'un bassin hydrographique et topographique vers un autre.

A. Les grottes-tunnels de capture partielle : type Benxi Shuidong (Benxi, Liaoning)

La grotte-tunnel de Benxi Shuidong, localisée dans le nord-est de la Chine, est fort intéressante car il s'agit d'un type intermédiaire entre le recouplement de méandre de type Han-sur-Lesse [Quinif, 1989] et la capture latérale d'une rivière vers une autre (chap. 7 et 12).

Plus grande rivière souterraine aménagée de Chine avec 2,8 km de parcours navigable, la grotte de Benxi forme un tunnel dont la section moyenne est de 130 m². Cette cavité représente un remarquable exemple de recouplement souterrain d'un massif calcaire par les pertes partielles de la rivière Tanghe. Par conséquent, il ne s'agit pas d'un recouplement classique de méandre encaissé du type Han-sur-Lesse. Le système pertes / résurgence, d'une extension totale de 4,75 km, rejoint vers le nord-ouest une autre rivière, la Taizihe par un processus de capture souterraine partielle.

Le réseau se termine sur un siphon amont qui marque le début d'une zone noyée et semi-noyée dont une partie est connue sur 616 m de développement avec 3 siphons franchis et un quatrième plongé jusqu'à - 12 m. Le réseau aménagé se développe dans les calcaires ordoviciens alors que la partie noyée se développe d'abord dans le Cambrien supérieur, puis au contact du Cambrien supérieur et du Cambrien moyen. Les vitesses des traçages pour la partie inconnue noyée à semi-noyée, de l'ordre de 68 m/h (en période de basses eaux), suggère une bonne transmissivité.

Sur un plan morphologique, l'aspect tunnel concerne la partie exondée et navigable, puis la partie noyée et épinoyée explorée à partir du siphon 1. Ensuite, le réseau inconnu situé entre cette partie et les pertes de la rivière est probablement formé par la confluence de plusieurs conduits.

B. Les grottes-tunnels de capture complexe : type Shuanghe (Suiyang, Guizhou)

Dans le district de Suiyang, situé dans le nord du Guizhou, le réseau de Shuanghe mesure 54,3 km de développement topographié. Ce labyrinthe de galeries appartient à un système drainé par l'émergence située à 670 m (coloration positive en 2003).

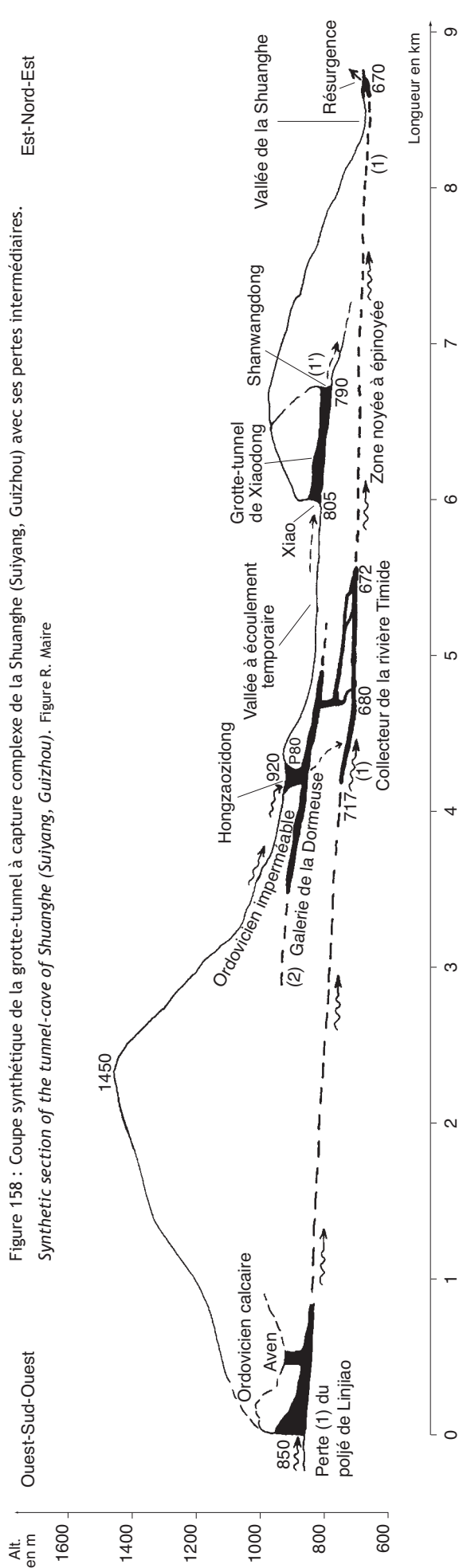


Photo 363 : Porche d'entrée de Dadong dans le poljé de Rangshui (Linjiao), système de Shuanghe (district de Suiyang, Guizhou).

Entrance porch of Dadong, Shuanghe system, Rangshui (Linjiao) polje (Suiyang County, Guizhou).

Photo 364 : Grand tunnel fossile de Pixiaodong perché 40 m au-dessus de la vallée sèche de Xiaodong. Grandes coupes de plafond.

Big dry tunnel of Pixiaodong located 40 m above the dry valley of Xiaodong.



Photo R. Maire 1997



Photo R. Maire 1997



Photo 362 : Doline-perte de Longtangzi située sur le plateau et regard sur le réseau amont de la Shuanghe (ou Longtanzi amont).
 The Longtangzi sinkhole is located on the plateau. This is a window on the upstream part of Shuanghe network.

Photo J. Bottazzi 2001

Cette zone karstique remarquable de 30 km² se développe dans les calcaires et dolomies du Cambrien moyen-supérieur et de l'Ordovicien inférieur entre 670 m et 1 500 m d'altitude. En fait, la majorité du massif est façonné dans l'Ordovicien, mais le substratum calcaire cambrien, fortement affecté par la karstification souterraine, est entaillé largement à l'est par la vallée de la Shuanghe et à l'ouest par le poljé de vallée de Rangshui.

- **Deux types de captures.** L'ensemble souterrain est un remarquable exemple de grottes-tunnels complexes associant deux types de captures karstiques : une capture vraie et des captures locales (fig. 158). La capture vraie, localisée au niveau du ponor du poljé de Rangshui (photo 363), s'effectue du sud-ouest vers le nord-est en fonction du pendage 15°NE et traverse le chaînon montagneux. La perte est marquée par un grand porche en encorbellement haut de 80 à 100 m et les eaux souterraines se dirigent vers la Shuanghe. Cette capture a entraîné l'assèchement de la vallée aval tandis que la partie moyenne, axée sur un grand accident NW-SE, a évolué en poljé de vallée.

Les captures locales sont des autocaptures. En effet, un réseau de vallées s'est formé sur le versant nord du chaînon, profitant au départ d'une couverture imperméable de grès et de shales de l'Ordovicien (formation Meitan) sur laquelle un réseau de vallées a pu s'implanter. Par la suite, le soulèvement lié à la tectonique himalayenne et l'érosion des grès et shale ont permis l'assèchement de la partie aval et moyenne des vallées par l'intermédiaire de grandes dolines-pertes (Longtanzi, Hongzao, Mahuan). Celles-ci sont alimentées par des bassins amont à couverture imperméable de la formation Meitan (fig. 185).

- **Début d'étagement.** Ainsi, on est passé d'un réseau fluvial à écoulement superficiel à un réseau de vallées sèches désorganisées par le couple karstification-surrection. A cause de la surrection et de l'assèchement, l'aval des vallées est suspendu de plus de 150 m au-dessus du talweg de la Shuanghe. L'ampleur de la karstification, favorisée par un fort potentiel altimétrique, est symbolisée par le caractère spectaculaire des vallées sèches, des canyons et des pertes logées au fond de grandes dolines-puits. La résultante est une intense karstification souterraine très dense organisée d'ouest en est sur deux à trois niveaux. Le niveau actif inférieur, représenté par le collecteur du réseau Hongzao-Mahuang (Rivière Timide), plus ou moins noyée en période de crue, est en relation avec la perte sud-ouest et le niveau de la vallée de la Shuanghe selon un gradient hydraulique faible.

L'enfoncement des vallées, qui est en relation avec la surrection himalayenne, a favorisé l'étagement des réseaux au cours du Quaternaire, mais il s'agit d'un étagement encore fruste, avec un niveau actif et un ou deux niveaux fossiles qui suggère un âge moins ancien qu'à la Gebihe.

X. Evolution des grottes-tunnels et rôle du couple karstification-soulèvement

Une grotte-tunnel chinoise du Guizhou a une durée de vie de l'ordre de plusieurs millions d'années, voire plus. Cette durée dépend de l'intensité de la surrection et de l'épaisseur du calcaire sus-jacent, donc des conditions géologiques et géomorphologiques locales. Mais une grotte-tunnel ne peut être isolée de son contexte ; elle est rarement seule. Quand une devient sénile, une autre naît. L'histoire se perpétue tant qu'il y a une masse calcaire suffisante et une force tectonique qui soulève la montagne.

A. Naissance d'une grotte-tunnel

Les nombreux types morphologiques de grottes-tunnels décrits suggèrent des conditions génétiques variables. D'une manière générale, une grotte-tunnel commence à naître lorsqu'une rivière de surface commence à s'infiltrer au contact des calcaires fissurés après avoir traversé une zone imperméable. Pour comprendre ce processus, il est important d'observer un cas fonctionnel. Celui-ci est illustré de manière remarquable par les pertes de la rivière Huangguoshu affluent de la Beipanjiang. En aval des célèbres chutes, la rivière présente des pertes au fond de son lit, notamment au niveau d'un îlot calcaire de 250 m de long. Une partie importante du débit disparaît sous cet îlot et rémerge de l'autre côté. On est en présence d'une petite grotte-tunnel noyée en cours de formation. En crue, la cavité absorbe un débit de plus de 100 m³/s ; elle se creuse alors sous pression avec un rôle accentué de l'érosion mécanique en raison d'une forte pente. Dans les grottes-tunnels actives présentant une forte pente, l'activité torrentielle est responsable d'un important creusement mécanique comme à Donghe (district de Hefeng, Hubei).

B. Couple karstification-soulèvement et étagement des grottes-tunnels

Avant de disparaître définitivement par érosion de la surface topographique, une grotte-tunnel se perpétue en donnant naissance à d'autres grottes-tunnels. Ce processus de naissances multiples provoque un étagement des grottes-tunnels. Il s'effectue par le biais du couple karstification-soulèvement. La karstification est représentée par la rivière (au départ une rivière de surface) qui exerce une érosion chimique et mécanique dans le soubassement calcaire fissuré. Le soulèvement est repré-

Exemple de grotte-tunnel en formation dans la rivière Dabanghe (Anshun, Guizhou)

Genesis of a young tunnel-cave in the bed of Dabanghe (Anshun, Guizhou)



Photo 365 : La rivière Dabanghe (Baishuihe) présente un parcours cascadeur sur substratum calcaire avec formation de travertins (situation en hautes eaux).

The Dabanghe (Baishuihe) river in high waters.

Photo 366 : Perte dans le lit concrétionné de la rivière, en période de hautes eaux, au contact d'un îlot calcaire.

Sinkhole in the concretionary bed of the river in high waters.

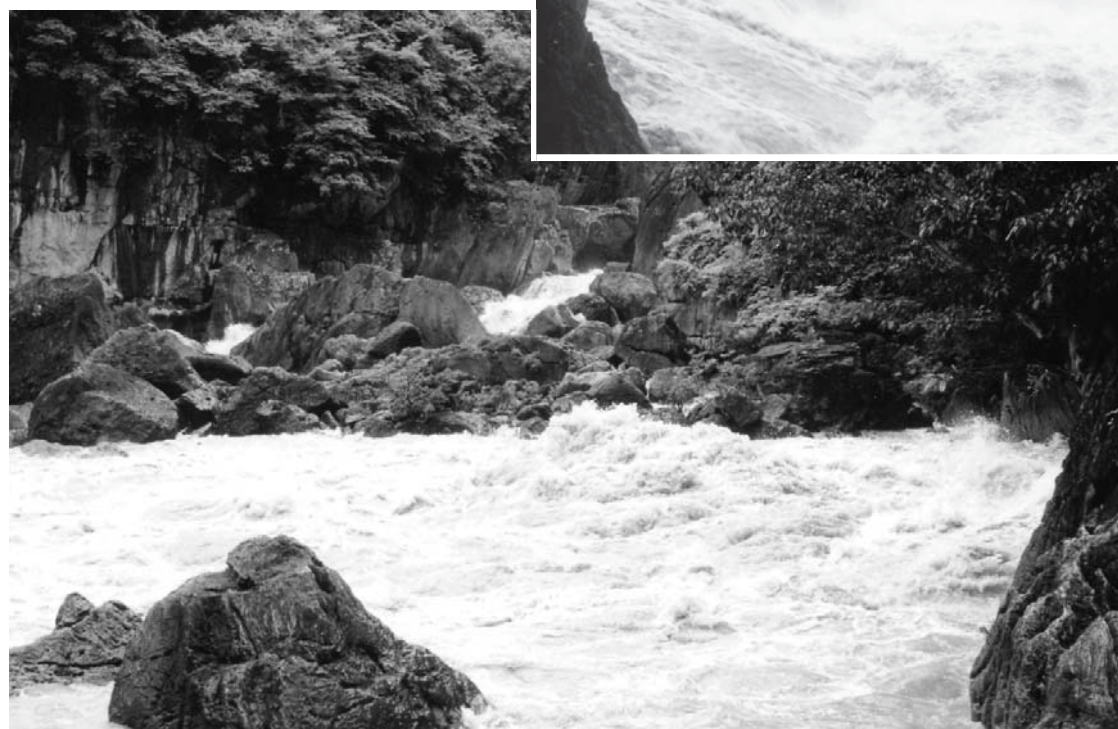


Photo 367 : Résurgence noyée sous pression située 300 m en aval de la perte (cf. photo 366).

Underpressure flooded resurgence situated 300 m downstream of the sinkhole.

Photos R. Maire 1999

Exemple de racines de grotte-tunnel au-dessus du système de Tenglongdong (Lichuan, Hubei)

Example of old tunnel-cave destroyed by erosion above Tenglongdong (Lichuan, Hubei)

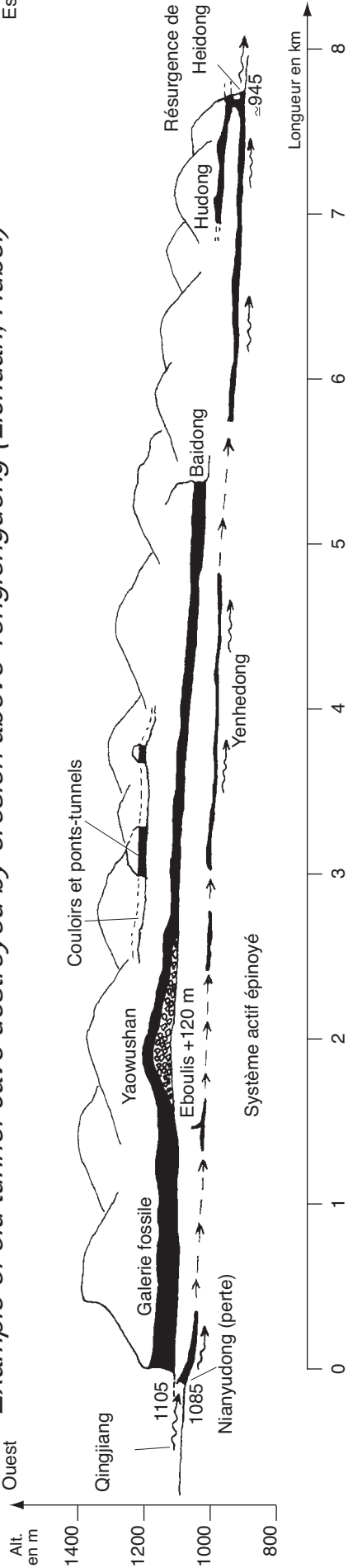


Figure 159 : Coupe synthétique de la grotte-tunnel de Tenglongdong. Synthetic section of the Tenglongdong tunnel-cave (Lichuan, Hubei).
Figure R. Maire

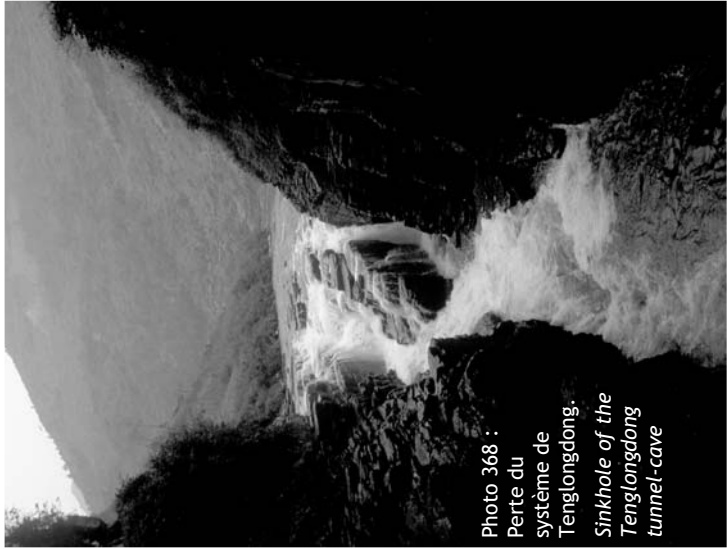


Photo 368 :
Perte du système de Tenglongdong.
Sinkhole of the Tenglongdong tunnel-cave

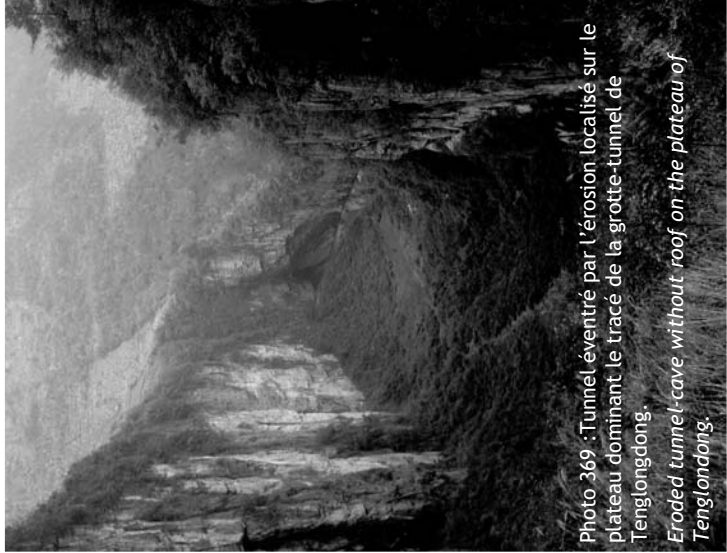


Photo 369 : Tunnel éventré par l'érosion localisée sur le plateau dominant le tracé de la grotte-tunnel de Tenglongdong.
Eroded tunnel-cave without roof on the plateau of Tenglongdong.



Photo 370 : Autre tunnel éventré par l'érosion attestant l'ancien tracé de la rivière souterraine.
Other tunnel-cave without roof related to the former underground river.

Photos R. Maire 1992

senté par les forces tectoniques dues aux mouvements verticaux de la croûte terrestre par le jeu de la compression en coin de la plaque indienne contre le bloc asiatique stable. Cet énorme “poinçonnement” qui a créé la chaîne himalayenne a également provoqué un soulèvement généralisé (épirogenèse) des grandes plates-formes de roches sédimentaires de Chine centrale et du Sud depuis le milieu du Tertiaire.

C. Les racines de grottes-tunnels, indices de disparition

La mort d’une grotte-tunnel est un processus très lent. Une grotte-tunnel en voie de disparition se présente sous la forme de couloirs résiduels indiquant l’ancien tracé souterrain. L’évolution géomorphologique avancée, par érosion, a donc détruit le plafond de ces grottes. De nombreux secteurs à grottes-tunnels actifs présentent ainsi en surface des ponts-tunnels fossiles séparés par des couloirs de surface en voie de destruction complète. De nombreux stades d’évolution sont présents.

Les couloirs superficiels les plus longs ont été observés dans le district de Lichuan (Hubei), dans le secteur de la célèbre grotte-tunnel de Tenlongdong, connu sur plus de 32 km [Masschelein et Zhang Shouyue, 1988] (figure 159). Le plateau karstique qui surmonte le système actif porte les traces d’anciens niveaux avec des tronçons résiduels (ponts-tunnels) et de grands couloirs résiduels sans plafond que l’on peut suivre sur des centaines de mètres (photos 369 et 370). La morphologie de ces couloirs suggère le tracé d’une ancienne grotte dont les galeries mesuraient 30 à 50 m de large et plusieurs dizaines de mètres de hauteur. Aujourd’hui ces couloirs ont la forme de petites vallées sèches encaissées entre des parois de 30 à 60 m (photo 371).

Conclusion

Un des problèmes géomorphologiques majeurs qui se pose actuellement en karstologie est de savoir comment s’opère le passage d’un niveau de grotte-tunnel à un autre au cours du temps. Si la surrection tectonique est continue et régulière, on devrait avoir un seul grand réseau en canyon.

Si la surrection est discontinue, le creusement karstique devrait se traduire par des niveaux étagés. Cela suppose, à un moment donné, l’abandon d’une grotte pour une autre. Cet abandon ne peut se faire que par un processus de capture souterraine, lors d’une phase de surrection, mais sans doute après une phase de latence.

En gros, par rapport à un moteur tectonique discontinu (surrection saccadée), le système réagit avec un certain retard : c’est le phénomène

d’hystérésis. A un moment donné, l’eau va emprunter simultanément la galerie principale, mais aussi une voie plus profonde par sous-écoulement. Dans ce cas, il faut également tenir compte du régime hydrologique, notamment des circulations de basses eaux et de hautes eaux. Puis, lorsque les sous-écoulements deviennent prépondérants, une capture souterraine se produit. La perte principale est abandonnée au profit d’une nouvelle perte. Une phase de transition peut exister avec des écoulements sporadiques dans le tunnel supérieur lors des crues exceptionnelles. L’ensemble de ce phénomène de capture correspond à un processus d’abaissement de perte, de type vertical, en karst binaire.

Ce processus diffère sensiblement du recul de perte, décrit notamment en zone de bas plateau par S. Jailliet (2000). Ce qui reste à étudier de façon précise, ce sont les conditions géologiques spatio-temporelles (géomorphologie, tectonique) et les modalités de passage d’une grotte-tunnel à une



Photo 371 : Vallée sèche correspondant à un tunnel érodé sans plafond situé au-dessus de la grotte de Tenglongdong (district de Lichuan, Hubei).

Above Tenglongdong Cave, eroded tunnel without roof looking like a dry valley (Lichuan County, Hubei).

Photo R. Maire 1989

Photo 372 : Le pont-tunnel
nord du réseau de
Longgongdong au sud du
district d'Anshun
(Guizhou).

*The North tunnel-bridge of
Longgongdong cave
(Anshun County, Guizhou).*

Photo R. Maire 2003



Photo 373 : Doline
d'effondrement géante
au centre du réseau de
Xiniudong exploré sur plus
de 17,6 km par les
équipes anglo-chinoises
(district de Anlong,
Guizhou).

*Giant collapse doline gives
access to Xiniudong Cave
(17,6 km) explored by
british-chinese teams
(Anlong County, Guizhou).*

Photo R. Maire 2003



autre. Le débat est ouvert entre les partisans des niveaux génétiques liés par exemple à une tectonique saccadée et les partisans des niveaux étagés non génétiques liés uniquement à une réponse saccadée de la karstification par un phénomène d'hystérésie spécifique à l'enfoncement des systèmes karstiques.

Dans l'exemple de la Gebihe, la solution se trouve dans une combinaison des deux explications. On a à la fois un étagement génétique lié incontestablement à la surrection tectonique (saccadée ou non, cela reste à étudier en détail) et un passage plus ou moins progressif d'un réseau à un autre par un processus spécifique lié au fonctionnement hydrologique des systèmes karstiques en zone de mousson.