

中
国
鄂
州
黔
洞
穴
考
察

GEBIHE 89

KARSTS DE CHINE



中国科学院地质研究所
喀斯特与地下水研究室

中国洞穴联盟
青年洞穴潜水协会

Plongée Spéléo Club Jeunes Années de Vénissieux
Institute of Geology Academia Sinica
Karst & Groundwater Research Division

KARSTOLOGIA Mémoires n° 4 - Année 1991

GROTTES ET KARSTS TROPICAUX DE CHINE MÉRIDIONALE

GEBIHE 89

DEUXIÈME EXPÉDITION SPÉLÉOLOGIQUE FRANCO-CHINOISE
DANS LES PROVINCES DU GUIZHOU, DU HUBEI ET DU SICHUAN

*Plongée Spéléo Club Jeunes Années de Vénissieux
Karst & Groundwater Research Division
Institute of Geology Academia Sinica
Coordination : J.P. Barbary, R. Maire, Zhang Shouyue
Synthèse topo et dessin : H.D. Gebauer
Maquette : J.P. Barbary, J. Bottazzi*

Publié avec le concours de la ville de Vénissieux et du Centre National des Lettres

*Fédération Française de Spéléologie et Association Française de Karstologie
KARSTOLOGIA Mémoires N°4 - Année 1991*

INTRODUCTION :
DESCRIPTION PHYSIQUE GENERALE

PARTIE 1 : ETUDES REGIONALES (GUIZHOU, SICHUAN, HUBEI)

- Chapitre 1* : Karsts et cavités du comté de Zhijin (Guizhou)
- Chapitre 2* : Le système de la rivière Gebihe (comté de Ziyun, Guizhou)
- Chapitre 3* : Reconnaissance dans le karst du comté de Pingtang (Guizhou)
- Chapitre 4* : Karsts et cavité du comté de Wuxi (Sichuan)
- Chapitre 5* : Karsts et cavités du comté de Wufeng (Hubei)
- Chapitre 6* : Karsts et cavités du comté de Hefeng (Hubei)
- Chapitre 7* : Comtés de Lichuan et Yichang (Hubei)

PARTIE 2 : ETUDES SCIENTIFIQUES THEMATIQUES

- Chapitre 8* : Etudes hydrochimiques et bactériologiques
- Chapitre 9* : Les remplissages karstiques
- Chapitre 10* : Les types de systèmes karstiques
- Chapitre 11* : Genèse des karsts de Chine du Sud
- Chapitre 12* : Evolution de la matière organique comme indicateur d'érosion
- Chapitre 13* : Karst et environnement

PARTIE 3 : VIE DE L'EXPEDITION

- Récits anecdotiques
- Organisation et techniques

- CONCLUSION**
- BIBLIOGRAPHIE**
- REMERCIEMENTS**
- GLOSSAIRE**
- TABLE DES MATIERES**

INTRODUCTION:
GENERAL PHYSICAL DESCRIPTION

PART ONE: SOUTH CHINA KARST (GUIZHOU, SICHUAN, HUBEI)

- Chapter 1* : Karsts and caves of Zhijin county (Guizhou)
- Chapter 2* : The Gebihe system, Ziyun county (Guizhou)
- Chapter 3* : Reconnaissance in the karst of Pingtang county (Guizhou)
- Chapter 4* : Karsts and caves of Wuxi county (Sichuan)
- Chapter 5* : Karsts and caves of Wufeng county (Hubei)
- Chapter 6* : Karsts and caves of Hefeng county (Hubei)
- Chapter 7* : Lichuan and Yichang county (Hubei)

PART TWO: SCIENTIFIC STUDIES

- Chapter 8* : Hydrochemical and bacteriological studies
- Chapter 9* : Cave sediments
- Chapter 10* : The types of karst systems
- Chapter 11* : Morphogenesis of South China karst
- Chapter 12* : Evolution of organic matter as an indicator of erosion
- Chapter 13* : Karst and environment

PART THREE: THE EXPEDITION

- Communications*
- Organisation and techniques*

- CONCLUSION**
- BIBLIOGRAPHY**
- ACKNOWLEDGEMENTS**
- GLOSSARY**
- CONTENTS**

<p><i>Légende photos</i> <i>1^{ère} et 4^{ème} de</i> <i>couverture</i></p>	1	2	4
			5
		3	
			6

前 言

绪 论: 自然条件综述

第一篇: 华南(贵州、四川和湖北)的喀斯特

第一章: 贵州织金喀斯特和 洞穴

第二章: 贵州紫云格必河洞穴系统

第三章: 贵州平塘喀斯特踏勘

第四章: 四川巫溪喀斯特和 洞穴

第五章: 湖北五峰喀斯特和 洞穴

第六章: 湖北鹤峰喀斯特和 洞穴

第七章: 湖北利川和宜昌喀斯特踏勘

第二篇: 专题研究

第八章: 水化学及水中细菌研究

第九章: 洞穴沉积物

第十章: 喀斯特系统的类型

第十一章: 华南喀斯特形态成因

第十二章: 侵蚀作用指标有机质的演化

第十三章: 喀斯特与环境

第三篇: 考察队的生活

轶闻趣事

组织与技术

结束语

参考文献

致 谢

图幅索引

资料表

EINFÜHRUNG: ALLGEMEINE PHYSISCHE
ÜBERSICHTTEIL 1. REGIONALE UNTERSUCHUNGEN
(GUIZHOU, SICHUAN, HUBEI)

Kapitel 1: Karst und Höhlen des Bezirks Zhijin (Guizhou)

Kapitel 2: Das Höhlenflußsystem des Gebihe (Guizhou)

Kapitel 3: Vorerkundung im Karst des Bezirks Pingtang
(Guizhou)

Kapitel 4: Karst und Höhlen des Bezirks Wuxi (Sichuan)

Kapitel 5: Karst und Höhlen des Bezirks Wufeng (Hubei)

Kapitel 6: Karst und Höhlen des Bezirks Hefeng (Hubei)

Kapitel 7: Die Bezirke Lichuan und Yichang (Hubei)

TEIL 2: WISSENSCHAFTLICHE
UNTERSUCHUNGENKapitel 8 : Hydrochemische und bakteriologische
Untersuchungen

Kapitel 9 : Karstsedimente

Kapitel 10: Karsttypen

Kapitel 11: Karstgenese in Südchina

Kapitel 12: Diagenesegrad organischer Sedimente als
Erosionsindikator

Kapitel 13: Karst und Umwelt

TEIL 3: EXPEDITIONS VERLAUF

Organisation und Technik

Erlebnisberichte

SCHLUßWORT
BIBLIOGRAPHIE
DANKSAGUNGEN
GLOSSARIUM
INHALTSANGABE

Photo 1 : Le magnifique site de Dadong, "grande grotte", où disparaît la rivière Gebihe (Ziyun-Guizhou). *The magnificent site of Dadong (the Big Cave) where the Gebihe river disappears (Ziyun-Guizhou).* (JPB)

Photo 2 : Gorges de la rivière Liuchonghe vues du rebord du synclinal de Guanzhai (Zhijin-Guizhou). *The Liuchonghe gorges seen from Guanzhai syncline edge (Zhijin-Guizhou).* (JB)

Photo 3 : Prise de vue dans le P 370 de la Gebihe (Ziyun-Guizhou). *Shooting of view in the Gebihe P370 (Ziyun-Guizhou).* (CR)

Photo 4 : Notre camp de base, l'école de Gebong (Ziyun-Guizhou). *Our base camp, the Gebong school (Ziyun-Guizhou).* (HDG)

Photo 5 : Au pays Miao... *In the Miao's land...* (JB)

Photo 6 : Exploration dans la rivière souterraine de Longdong-Yanzidong (Wufeng-Hubei). *Exploration in the underground stream of Longdong-Yanzidong (Wufeng-Hubei).* (SF)

Crédit photo NB :

JPB : 1, 7, 9, 17, 18, 19, 21, 22, 23, 26, 50, 56, 57, 60, 61, 64, 68, 70, 81 - **JB :** 6, 10, 12, 44, 45, 46, 48, 73, 75, 76, 83, 86 - **RM :** 2, 3, 15a, 15b, 16, 37, 49, 62, 63, 65, 66, 69, 71, 74 - **CM :** 4, 5, 11, 27, 55, 68, 72 - **CR :** 8, 24, 28 - **JLM :** 13, 29, 79 - **JPBa. :** 14, 20, 25 - **JVB :** 30, 31, 32, 33, 34, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 51, 52, 53, 54, 58, 59 - **SF :** 67- **FB :** 35, 80, 82, 84, 85- **BCo. :** 36, 77, 78.

Préface

Décidément les karsts extraordinaires de Chine méridionale commencent enfin à être mieux connus, et ce numéro 4 de *Karstologia Mémoires* qui leur est consacré arrive à son heure ! Succédant à de nombreux articles dans les revues spécialisées, et à des publications collectives ("China Caves 85", par la Royal Geographical Society, London 1986 et "Guizhou Expé 86", *Spelunca Mémoires* n°16, 1988), ce nouveau recueil fait le point des dernières recherches sino-françaises sur les cavités énormes du Guizhou, du Hubei et du Sichuan, et en particulier le système remarquable de la Gebihe, dont il porte le nom.

On mesure les progrès réalisés dans l'exploration et la connaissance des karsts chinois. Il n'y a qu'une dizaine d'années, on ne connaissait leurs aspects géomorphologiques que par les descriptions des explorateurs et voyageurs des années 30, et les grottes sauf celles abritant des temples, étaient quasiment inconnues ! Ces progrès n'ont été possibles que grâce à un double système de collaboration : entre chercheurs chinois et européens, mais aussi entre spéléologues confirmés et spécialistes scientifiques. Sans cela, cette publication, fruit des explorations et recherches menées en commun n'aurait pu être réalisée. Voici donc un ouvrage qui présente les résultats d'une expédition fructueuse, fait le point d'explorations et de découvertes passionnantes, mais donne aussi une mise au point sur les principaux problèmes scientifiques des karsts chinois. On notera particulièrement qu'il fait une très large place aux travaux de nos collègues chinois, accessibles grâce aux citations, analyses et figures, et que par ailleurs, cette première synthèse de cette importance en langue française se place d'emblée sur le plan international grâce à un système de résumés quadrilingue (français, chinois, anglais, allemand).

L'ancienneté des karsts chinois n'est plus à démontrer, et le chapitre II donne un ample tableau de leur évolution. C'est cette ancienneté qui rend compte de l'étagement et de la complexité des réseaux. Et précisément, la connaissance du cavernement, de ses formes et de ses dépôts qui permet de progresser dans l'analyse de cette longue évolution et d'en affiner les étapes. Par ailleurs, on sera reconnaissant aux auteurs de cet ouvrage d'avoir fait une large part aux applications pratiques, qu'il s'agisse de l'hydrogéologie, de l'exploitation des eaux, des barrages et des problèmes de pollution, de l'organisation millénaire des systèmes agraires et des techniques d'irrigation, comme des aménagements en cours.

D'une lecture attrayante, magnifiquement illustré, *GEBIHE 89* s'adresse à tous, au spéléo à l'affût de découvertes nouvelles comme au scientifique "pointu" : tous y trouveront grand intérêt. On ne peut que se réjouir de la publication de cet ouvrage, fruit d'une collaboration spéléologique et scientifique franco-chinoise, et que remercier et féliciter ZHANG Shouyue, BARBARY J. P., MAIRE R., GEBAUER H. D. et leurs amis d'avoir mené à bien sa rédaction, et le Plongée Spéléo Club des Jeunes Années de Vénissieux d'en avoir trouvé les moyens financiers. Souhaitons donc une large diffusion, et un grand succès, hautement mérité, à *Karstologia Mémoires* n° 4 !

Jean NICOD

Professeur émérite, Université d'Aix-en-Provence

Président d'honneur

de l'Association française de Karstologie

Avant propos

Suite au succès de l'expédition "GUIZHOU EXPE 86" le PSCJA de Vénissieux et l'Academia Sinica (Institute of Geology, Beijing) ont décidé de poursuivre leur collaboration. Après un voyage de reconnaissance en Chine en 1988 effectué par 3 membres de l'équipe française et un voyage en France du professeur Zhang Shouyue en 1989, il fut décidé d'organiser une seconde expédition : "GEBIHE 89" était née.

L'équipe composée de 7 scientifiques chinois, 13 spéléologues et scientifiques européens (11 français, 1 allemand, 1 belge) et d'un caméraman, a travaillé dans trois provinces et huit comtés : le Guizhou central et méridional (comtés de Zhijin, Ziyun, Pingtang), l'extrême est du Sichuan (comté de Wuxi) et le sud-ouest du Hubei (comtés de Wufeng, Hefeng, Lichuan, Yichang). Au total six mille kilomètres ont été parcourus entre les différentes zones par des moyens divers : train, bus, bateau.

Du 22/10/89 au 20/12/89 cinquante cavités ont été explorées et topographiées sur 57 km !

Les résultats sont toujours à la hauteur de l'extraordinaire karst chinois. Dans le comté de Ziyun (Guizhou), nous avons découvert la plus grande salle de Chine, "La salle des Miaos", dans le système de la Gebihe (- 445 m). Celle-ci devient la deuxième salle de la planète juste après "Sarawak chamber" (Mulu, Malaisie). Dans le comté de Wufeng (Hubei), nous avons exploré l'étonnant gouffre de Dongxitiankeng (5 km, - 382 m), et trouvé pour la première fois en Chine des stalactites de gypse dans la grotte de Longdong-Yanzidong.

Les études scientifiques de terrain ont été nombreuses : 140 échantillons d'eau furent prélevés et analysés pour l'hydrochimie et la bactériologie. Une remarquable coupe de varves de 25 m de haut à été étudiée in situ dans la grotte de Dadong (Wufeng, Hubei). Plus de cent kilogrammes d'échantillons de toutes sortes ont été ramenés en France et à Beijing pour des travaux de laboratoires : datations, lames minces, analyses chimiques... Et bien-sûr les données de base que représentent les 57 km de topographie et les nombreuses observations : géographiques, géomorphologiques et géologiques.

En septembre 1990 trois scientifiques chinois ont été accueillis en France pour la réalisation du rapport et des travaux d'analyse d'eau au laboratoire de la faculté des sciences d'Avignon. Nous en avons aussi profité pour visiter quelques sites karstiques français : Fontaine de Vaucluse, Chartreuse, Vercors.

Ce rapport est donc le résultat d'un énorme travail en commun mené par deux équipes animées d'une même passion, la découverte. Alors si d'aventure vous partagez aussi cette passion, tournez les pages et vous vous retrouverez dans des régions reculées au coeur même du fabuleux karst chinois..

前言

在成功地进行了“贵州洞穴 1986”科学考察之后，中国科学院地质研究所与法国维尼苏洞穴协会决定继续合作。在 1988 年三名法国洞穴学家来华踏勘及 1989 年张寿越教授访问法国以后，决定组织名为“格必河 1989”的第二次中—法洞穴科学考察。

考察队由七名中国科学家及十三名欧洲洞穴学家和科学家（十一名法国人，一名比利时人及一名德国人）及一位法国摄影师组成。确定在黔中和黔南的织金、紫云和平塘等县，川东的巫溪县和鄂西的五峰、鹤峰、利川和宜昌等县市开展工作。乘坐火车、汽车和轮船总行程达六千公里。

从十月二十二日到十二月二十日共调查了五十个洞穴，测量总长度达五十七公里。这一结果堪与非凡的中国喀斯特相称，在贵州紫云格必河洞穴系统（— 445m）发现了居世界第二位的地下厅堂—苗厅，仅次于马来西亚穆

鲁的沙捞越厅。在湖北五峰考察了值得注意的东西天坑高山型洞穴系统（5km，— 382m），并首次在中国发现了龙洞燕子洞系统中的石膏建造。

野外科学考察期间采取了大量水样供化学和细菌分析。在湖北五峰大洞研究了厚达 25m 的洞穴沉积物。采集了逾 100kg 的样品并作了详细的试验室研究（年龄测定、薄片、化学分析等）。

一九九零年九月，三名中国科学家访问法国编写报告，并在阿维尼翁大学科学系的实验室协助进行水质分析。借此机会还访问了沃克留兹泉、沙督和维尔柯等法国喀斯特区。

这个考察报告是双方队员以其强烈的发现激情经大量工作的产物。如愿历此奇险，请阅读并跟随我们进入到奇妙的中国喀斯特世界中去。

FOREWORD:

After the successful expedition "GUIZHOU EXPE 86", the speleo-club PSCJA of Vénissieux and the Institute of Geology of the Academia Sinica decided to continue their collaboration. Following a reconnaissance in 1988 by three members of the French team and a visit to France by Prof. Zhang Shouyue in 1989, it was decided to organise the second expedition "GEBIHE 89".

The team consisted of seven Chinese scientists, 13 European cavers and scientists (11 French, 1 Belgian, 1 German) and a cameraman. It was decided to work in eight counties of three provinces: Central and South Guizhou (counties of Zhijin, Ziyun and Pingtang), the extreme east of Sichuan (Wuxi) and the southwest of Hubei (Wufeng, Hefeng, Lichuan and Yichang). To reach the different areas, altogether 6000 kilometres were travelled by train, bus and boat.

Between 22nd October and 20th December 57 km of cave passages were surveyed in 50 different caves. The results matched the extraordinary greatness of the Chinese karst. In the cave system of Gebihe (-445 m) in the county of Ziyun (Guizhou) the "Chamber of the Miaos" was found, the largest underground room in China and the second largest in the world after "Sarawak Chamber" (Mulu / Malaysia). In the county of Wufeng (Hubei) the remarkable alpine system of Dongxitiankeng (5 km, -382 m) was explored and for the first time in China gypsum speleothems were discovered in the cave system of Longdong-Yanzidong.

In the course of scientific field studies a large number of water samples were taken for chemical and bacteriological analysis. An amazing series of sedimentary cave deposits, 25 m high, were studied in situ in Dadong (Wufeng, Hubei). To carry out detailed laboratory studies (datations, thin-sections, chemical analysis etc.) more than 100 kg of rock-samples were collected.

In September 1990, three Chinese scientists came to France to work on this report and to help analysing the water samples in the laboratory of the Faculty of Science at Avignon. We also took the opportunity to take our visitors to some French karst areas, such as the Vaucluse fountain, the Chartreuse and the Vercors area.

This expedition report is the outcome of an enormous amount of work carried out by two teams inspired by their mutual passion of discovery. And if you would like to take part in the adventure which resulted from this passion, just read on and follow us into the heart of the fabulous Chinese karst.

VORWORT:

Nach dem Erfolg der Expedition "GUIZHOU EXPE 86", die gemeinsam vom Vénissieux Höhlenvereins PSCJA und dem Geologischen Institut an der Academia Sinica durchgeführt worden war, entschied man sich zu weiterer Zusammenarbeit. Nach einer Vorerkundungsreise nach China im Jahre 1988 und einem Gegenbesuch von Prof. Zhang Shouyue in Europa im Jahre 1989 beschloß man das Projekt "GEBIHE 89" durchzuführen.

Die Forschungsgruppe bestand aus sieben chinesischen Wissenschaftlern, 13 europäischen Höhlenkundlern (11 Franzosen, ein Belgier, ein Deutscher) und einem Kameramann. Dabei wurden dreizehn Bezirke in drei chinesischen Provinzen bereist: Zentral- und Südguizhou (mit den Bezirken Zhijin, Ziyun, Pingtang), der Ostteil von Sichuan (mit dem Bezirk Wuxi) und der Südwesten von Hubei (Wufeng, Hefeng, Lichuan und Yichan). Die insgesamt 6000 km lange Rundreise wurde mit Zügen, Bussen und Booten bewerkstelligt.

Zwischen dem 22. Oktober und 20. Dezember 1989 wurden in insgesamt 50 Höhlen 57 km Gangstrecke kartographiert und die Ergebnisse der Forschungsreise entsprechen der Größe des chinesischen Karstes. So wurde zum Beispiel im Bezirk von Ziyun (Guizhou) im Flußhöhlensystem des Gebihe (12 km lang, -445 m tief) mit dem "Saal der Miao" der größte unterirdische Hohlraum Chinas entdeckt, der nach der "Sarawak Chamber" (Mulu, Malaysia) der weltweit gesehen zweitgrößte bekannte unterirdische Höhlensaal ist. Mit der Schachthöhle Dongxitiankeng (5 km lang, -382 m tief) im Bezirk von Wufeng, Hubei wurde ein interessantes alpines Höhlensystem erforscht. In der Longdong-Yanzidong wurden die ersten Gipsausblühungen Chinas gefunden.

Im Verlauf der wissenschaftlichen Feldforschung wurden unter anderem 140 Wasserproben für chemo-analytische und bakteriologische Untersuchungen entnommen. Eine erstaunliche, 25 m hohe Abfolge von Sedimenten wurden in der Dadong (Wufeng, Hubei) in situ untersucht und mehr als 100 kg Bohr- und Gesteinsproben wurden gesammelt um in den heimischen Labors von Beijing und Frankreich Dünnschliffe herzustellen, Datierungen durchzuführen und chemische Analysen vorzunehmen. Zu den Ergebnissen tragen nicht nur viele Beobachtungen bei, sondern auch die topographische Aufnahme von 57 km Höhlengängen.

Im September 1990 wurden in Frankreich drei chinesische Höhlenexperten empfangen, die zur Ausarbeitung dieses Forschungsberichtes beitrugen und im Labor der Wissenschaftlichen Fakultät von Avignon an der chemische Analyse der Wasserproben mitwirkten. Dabei wurde auch die Gelegenheit nicht versäumt den chinesischen Gästen Karstgebiete und -erscheinungen in Frankreich zu zeigen: der Quelltopf der Vaucluse, die Chartreuse, den Vercors, etc.

Der Abschlußbericht ist das Ergebnis ungewöhnlicher Mühen zweier Arbeitsgruppen die von einer gemeinsam Leidenschaft beflügelt sind: der Entdeckerfreude. Wenn sie an dem Abenteuer dieser Passion teilnehmen wollen, dann blättern sie weiter und folgen uns in das Herz der sagenhaften Karstgebiete von China.

Jean-Pierre BARBARY
ZHANG Shouyue

DESCRIPTION PHYSIQUE GENERALE

— ZHANG Shouyue et Richard MAIRE

RESUME :

Les roches carbonatées couvrent le cinquième de la surface de la Chine, soit 2 millions de km². Les karsts les plus vastes se situent en Chine méridionale (Guangxi, Yunnan, Guizhou, Hubei, Hunan) et centrale (Sichuan) dans des calcaires et dolomites allant du Sinien (Précambrien) au Jurassique (fig. 2). Sur le plan structural, ces karsts appartiennent à la paraplateforme du Yangtse et à la zone géosynclinale de Chine du Sud (fig. 3). L'évolution karstique s'est effectuée sous le contrôle de la phase tectonique de Yanshan au Jurassique-Crétacé, puis de l'orogénèse himalayenne à l'Oligo-Miocène. Cette tectonique saccadée s'est accompagnée d'une puissante érosion des altérites rouges qui se sont accumulées dans les bassins et sur les piémonts ("rougier" du Crétacé-Eocène). Aux phases de creusement des vallées et de l'individualisation des morphologies à cônes et pitons correspondent des réseaux fossiles étagés actuellement tronçonnés par le recul des versants.

Les karsts subtropicaux de Chine du Sud sont soumis au climat de mousson : hivers frais et secs, étés chauds et humides. Les précipitations varient de 1200 à 1800 mm/an. Entre 800 et 1400 m, la température moyenne est de 14 à 16°C.

Mots-clés : Chine, karsts subtropicaux, calcaires, Paléozoïque, tectonique, paraplateforme du Yangtse, climat, mousson, zonation climatique.

摘要：综述

中国碳酸盐岩分布占领土面积的五分之一，达200万 Km²。包括从震旦纪到三叠纪的灰岩和白云岩广泛分布在华南的广西、云南、贵州、湖北、湖南、四川等省（区）。这一区域在大地构造上属于扬子准地台及华南褶皱系。喀斯特的演化受到白垩纪后期燕山构造运动及渐新世后期的喜马拉雅造山运动的控制。多期构造运动及随后

的剥蚀夷平作用，形成了不同时期的地形和各种喀斯特形态。

华南亚热带喀斯特受季风气候控制：干燥与寒冷的冬季和湿热的夏季。研究区的海拔高度800到1400m，年降水量变化从1200到1800mm，年平均温度14到16°C。

ABSTRACT: GENERAL PHYSICAL DESCRIPTION

Carbonated rocks cover a fifth of the surface of China, that's 2.000.000 km². The largest karsts areas known lie in south China (Guangxi, Yunnan, Guizhou, Hubei, Hunan) and central China (Sichuan). they are developed in Sinian (Precambrian) to Jurassic limestones and dolomites (fig.2) and belong structurally to the Yangtse paraplateform and to the South China geosyncline (fig. 3). The karst evolution were controlled by the late Cretaceous Yanshan tectonic phase and later by the Oligo-Miocene himalayan orogenesis. These polyphased tectonics caused considerable erosion of red formations wich subsequently accumulated in the basins and at the foot-hills (Cretaceous-Eocene red soils). In the cours of different phases, dry valleys and cave levels were cut by lateral erosion while cones and towers resulted.

Subtropical south China karsts is controlled by monsoon climate of cool and dry winters alternating with warm and wet summers. Precipitation vary between 1200 to 1800 mm/year while the average temperature ranges from 14 to 16°C at 800 to 1400 m a.s.l.

Keywords: China, subtropical karsts, limestones, Paleozoic, tectonics, Yangtse paraplateform, climate, monsoon, climatic zonation.

ZUSAMMENFASSUNG: ALLGEMEINE PHYSISCHE BESCHREIBUNG

Karbonatgesteine bedecken ein Fünftel von China, das entspricht zwei Millionen Quadratkilometern. Die größten Karstgebiete liegen in Südchina (Guangxi, Yunnan, Guizhou, Hubei, Hunan) und in Zentralchina (Sichuan) und stammen aus dem Sinian (Präkambrium) und Jura (Abbildung 2). Strukturell gehören die Karstgebiete zur Yangtse Paraplatform und zur Südchinesischen Geosynklinale (Abbildung 3). Die Karstentwicklung fand am Ende der Kreidezeit in der tektonischen Yanshan-Phase und während der Orogenese des Himalaya im Oligozän und Miozän statt. Diesen polyphasischen Hebungen folgte eine starke Erosion der in Senken und Hangausstrichen abgelagerten Sedimente (Rotliegendes der Kreide und des Eozäns). Mit dem Eintiefen der Vorfluter und dem Herausbilden der Erscheinungsformen von Karstkegel und -turm ging die Entwicklung fossiler Höhlenniveaus einher, die derzeit durch Verlagerung der Täler angeschnitten werden.

Der subtropische Karst von Südchina ist vom Monsunklima mit kühltrockenen Wintern und feuchtheißen Sommern geprägt. Die Niederschlagsmengen variieren zwischen 1200 bis 1800 mm pro Jahr und die Durchschnittstemperatur schwankt zwischen 14 und 16°C.

Stichworte: China, subtropischer Karst, Karbonatgesteine, Yangtse Paraplatform, Klima, Monsoon, Klimazonen.

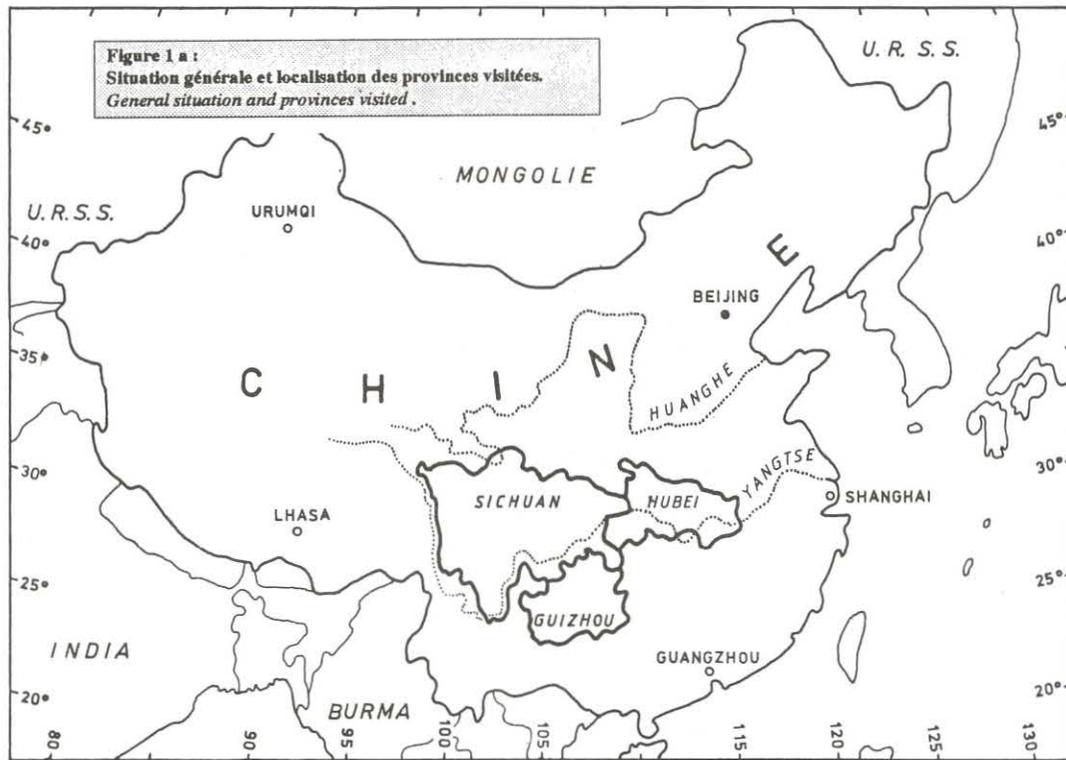


Figure 1 a : Situation générale et localisation des provinces visitées. *General situation and localization of the visited provinces.*

Figure 1 b : Provinces de Chine.
Provinces of China.

- | | |
|---------------------------------|--------------------------------------|
| 1. BEIJING (Municipalité) | 17. HENAN (Province) |
| 2. TIANJIN (Municipalité) | 18. HUBEI (Province) |
| 3. HEBEI (Province) | 19. HUNAN (Province) |
| 4. SHANXI (Province) | 20. GUANGDONG (Province) |
| 5. NEI MONGOL (R.A de Mongolie) | 21. NANHAI |
| 6. LIAONING (Province) | 22. GUANGXI (Région autonome Zhuang) |
| 7. JILIN (Province) | 23. SHAANXI (Province) |
| 8. HEILONGJIANG (Province) | 24. NINGXIA (Région autonome Hui) |
| 9. SHANDONG (Province) | 25. GANSU (Province) |
| 10. JIANGSU (Province) | 26. QINGHAI (Province) |
| 11. SHANGHAI (Municipalité) | 27. XINJIANG (Région autonome Uygur) |
| 12. ANHUI (Province) | 28. SICHUAN (Province) |
| 13. ZHEJIANG (Province) | 29. GUIZHOU (Province) |
| 14. JIANGXI (Province) | 30. YUNNAN (Province) |
| 15. FUJIAN (Province) | 31. TIBET (XIZANG Région autonome) |
| 16. TAIWAN | 32. HAINAN (Province) |



INTRODUCTION

La Chine est un pays très montagneux (65 % de la superficie dépasse 1000 m d'altitude) qui descend de l'W vers l'E en trois gradins successifs :

- *Le gradin supérieur* correspond au vaste plateau du Qinghaï-Xizhang et représente un quart de la surface du pays. Il est formé par de hauts plateaux (Qinghaï, Tibet) dont l'altitude moyenne dépasse 4000 m, et de puissantes chaînes montagneuses (Himalaya) qui culminent à 8848 m au Qomolungma (Everest) à la frontière Tibet/Népal.

- *Le gradin moyen* regroupe le plateau calcaire du Yunnan-Guizhou au S, les plateaux loessiques (Huangtu Gaoyuan) au N du Huanghe et en Mongolie intérieure, et le bassin du Sichuan (ou "Bassin Rouge") au centre. L'altitude moyenne varie entre 1000 et 2000 m. Située sous un climat de mousson, cette zone est caractérisée par une forte érosion fluviale. Au NW, on observe une région à part (le bassin du Tarim), basse et très aride, à drainage endoréique et soumise à l'érosion éolienne.

- *Le gradin inférieur* comporte des régions de collines ne dépassant pas 1000 m d'altitude et des basses plaines alluviales comprises entre 100 et 200 m où se sont déposés les sédiments des grands fleuves. On distingue du N au S : les plaines du NE, la plaine du N et les régions de collines de la basse vallée du Changjiang (ou Yangtse) qui ont connu, notamment durant les siècles derniers, des crues et des inondations de grande ampleur en raison des pluies torrentielles de la mousson d'été (20 grandes crues au cours des cinq derniers siècles dont trois seulement au XX^{ème} S) (TAO SHIYAN, 1984). Les crues les

plus sérieuses ont eu lieu au cours de la période très humide de 1839-1855 qui pourrait être mise en relation avec la fin de la pulsation climatique du "Petit Age Glaciaire".

I. LE CONTEXTE GEOLOGIQUE

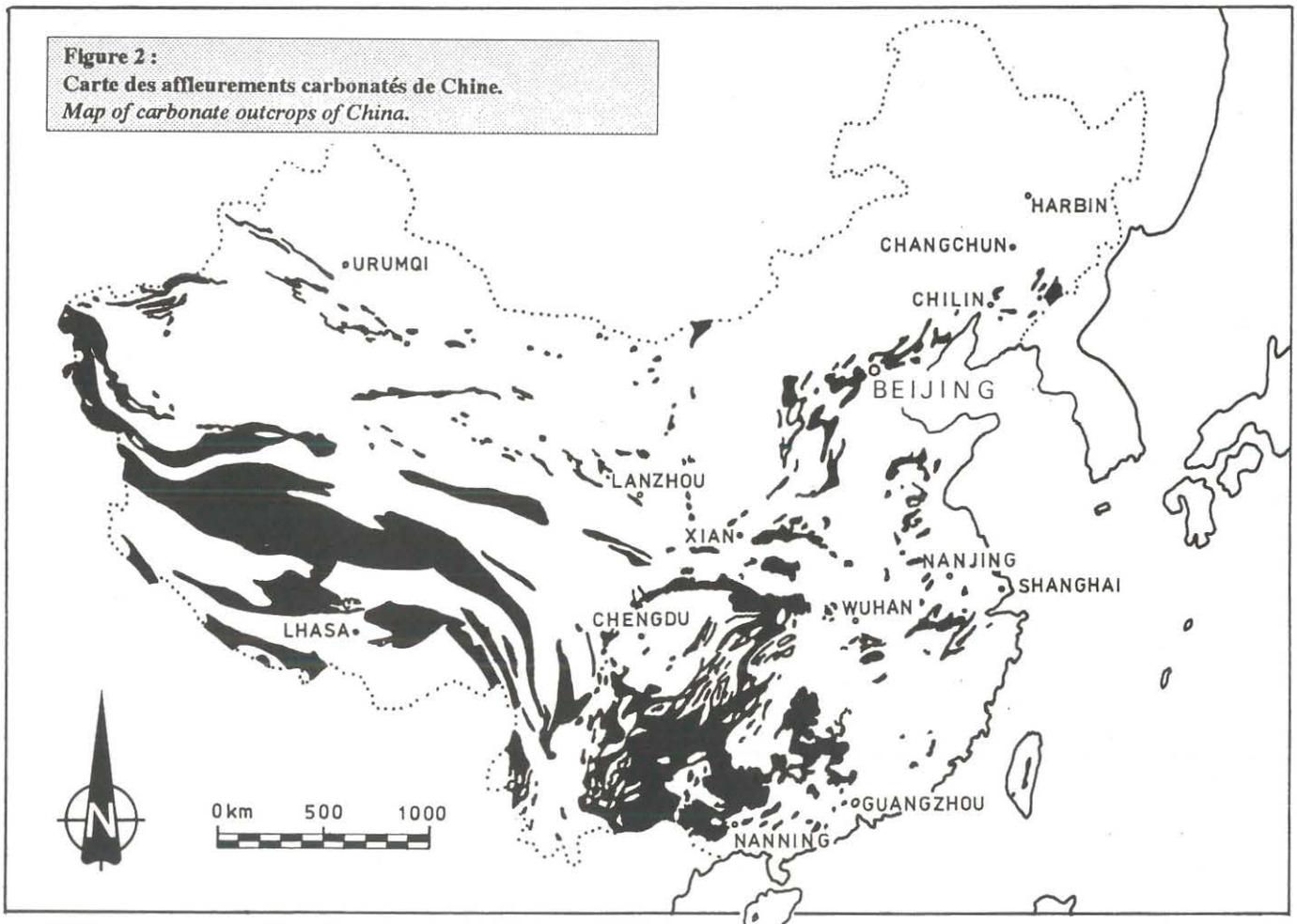
A. LES ROCHES CARBONATEES

En Chine les roches carbonatées couvrent près d'un cinquième de la surface du pays (2 000 000 km²) et affleurent sur plus de 1 250 000 km². On y trouve des zones karstiques qui comptent parmi les plus vastes et les plus complexes de la planète. Les roches carbonatées sont présentes dans les principales unités structurales du pays (paraplateforme du Yangtse, géosynclinal de Chine du Sud, etc) ; dans l'échelle des temps géologiques, on les trouve du Précambrien au Pléistocène. Le karst s'est donc développé dans des roches carbonatées très variées, mais également dans des zones climatiques différentes, d'où une grande diversité de reliefs et de cavités.

D'après les 132 cartes géologiques (1/200 000) qui couvrent les cinq provinces méridionales (Guangxi, Yunnan, Guizhou, Hubei, Hunan), les roches carbonatées occupent une surface de 360 000 km² dans laquelle 7064 entrées de cavités et 2836 rivières souterraines sont recensées (traçages, étude des structures géologiques), ces réseaux représentant une longueur totale présumée de 14 000 km et un débit cumulé connu de 1462 m³/s.

Dans les régions arides de l'W de la Chine (Qinghaï-Xizhang), les ensembles de roches carbonatées présentent des

Figure 2 :
Carte des affleurements carbonatés de Chine.
Map of carbonate outcrops of China.



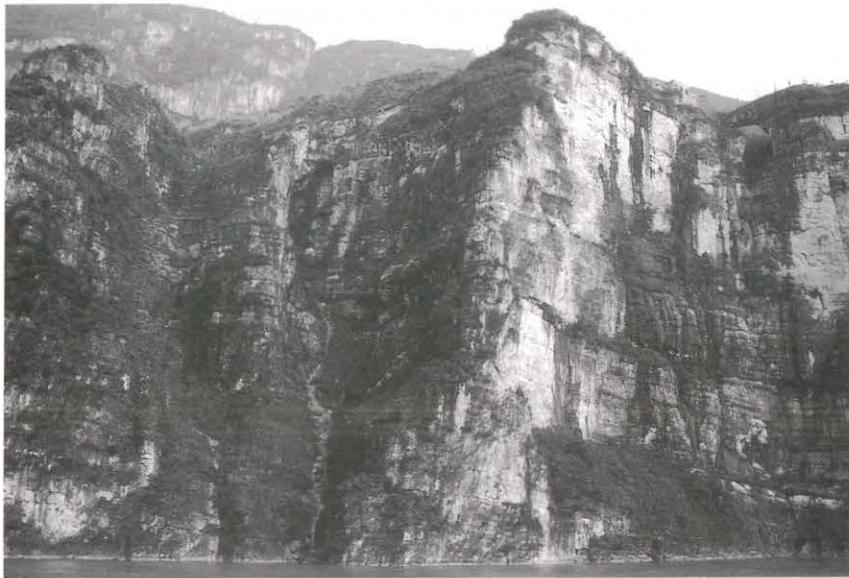


Photo 1 : Les dolomies du Sinien à la sortie des gorges du Yangtse.
Sinian dolomite at the exit of Yangtse canyon.

reliefs karstiques aux formes peu caractéristiques. Le gel et l'aridité sont les facteurs déterminants de l'érosion externe. La corrosion demeure très faible.

B. LES ZONES STRUCTURALES

On distingue plusieurs phases tectoniques caractéristiques qui ont contrôlé l'évolution des reliefs karstiques. La partie orien-

tale de la Chine — celle qui détient les plus grands karsts — comprend la paraplatforme du Yangtse, le géosynclinal plissé de Chine du Sud et la paraplatforme de Chine-Corée.

1. La paraplatforme de Chine-Corée :

De forme triangulaire, elle inclut le N du pays et la partie méridionale de la Chine du NE. La puissance des terrains carbonatés est de 1000 à 2000 m. L'âge des couches va du Sinien (Précambrien supérieur 570-850 Ma) à l'Ordovicien (435-500 Ma). Cependant, dans certaines régions comme les Mts. Yanshan près de Beijing (Pékin), les terrains carbonatés peuvent atteindre 6000 à 7000 m d'épaisseur.

Le Précambrien est recouvert en discordance par :

- des dolomies et calcaires allant du Cambrien à l'Ordovicien moyen ;
- des couches de charbon (faciès littoral et continental) du Carbonifère moyen-Permien inférieur ;
- des couches rouges du Permien supérieur-Trias moyen.

La lacune de l'Ordovicien supérieur-Carbonifère inférieur est caractéristique.

Le Jurassique et le Crétacé sont marqués par des intrusions (granites) et extrusions (volcanisme continental) plus ou moins acides, et par un plissement et une fracturation de la couverture dénommée "phase orogénique de Yanshan". Au

Age (Ma)	Tectonique	Morphogenèse	Dépôts continentaux
Sinien (Protérozoïque supérieur) 850 570	Plissements	Erosion (glaciers) Karstification	Tillites du Yangtse
Paléozoïque inférieur 400	Plissement Calédonien	Erosion Karstification	Dépôts détritiques
Paléozoïque supérieur 245	Plissement hercynien (varisque) Volcanisme permien	Erosion Karstification	Dépôts clastiques Permien détritique rouge
Trias 204	Plissement indochinois	Erosion Karstification	Dépôts détritiques
Jurassique Crétacé Eocène 34	Orogenèse de Yanshan (3 phases)	Début creusement des grandes vallées (Yangtse) Grandes karstifications	Conglomérats et silts rouges (transfert des altérites : bassins et piémonts)
Oligocène Miocène 6	Plissement himalayen épirogenèse subsidence des bassins	Surcreusement des vallées Grandes karstifications Etagement des réseaux	Dépôts détritiques de piémont
Pliocène Quaternaire 0	Poursuite de la surrection himalayenne	Poursuite du creusement Karstification	Dépôts détritiques de piémont

Tableau 1 :
Les principaux événements tectoniques et géomorphologiques en Chine (1 Ma = 1 million d'années).
Main tectonic and geomorphologic events in China.

Figure 3 :
Zones karstiques de Chine.
Karst zonation of China.



- 1 : Limites des domaines karstiques et climatiques
2 : Limites des régions karstiques
3 : Limites des zones (sous-régions) karstiques
1 : Boundaries of karst regions
2 : Boundaries of karst areas
3 : Boundaries of karst sub-areas

I. REGIONS KARSTIQUES DU DOMAINE TROPICAL ET SUBTROPICAL HUMIDE (CORROSION ÉROSION-CORROSION)

IA. Paraplatforme du Yangtse (roches carbonatées du Protérozoïque au Mésozoïque)

- IA1.** SW du Sichuan (karst de montagne, canyon).
IA2. Yunnan oriental (plaines et plateaux karstiques).
IA3. Guizhou occidentale (karst de montagne et de plateau ; qiufeng-ouvala). **IA4.** Guizhou central (fenglin et qiufeng-plaine, karst de montagne, plateau).
IA5. Guizhou et Hubei (karst de montagne ; qiufeng-ouvala). **IA6.** Sichuan oriental (karst de montagne ; qiufeng-ouvala). **IA7.** Hubei et Sichuan (karst de montagne ; qiufeng-ouvala). **IA8.** Bassin moyen du Yangtse (karst de basse montagne, de colline et de plaine ; qiufeng-plaine).

IB. Géosynclinal plissé de Chine du Sud (karst dans les roches carbonatées du Paléozoïque supérieur et du Mésozoïque)

- IB1.** SE Yunnan (plateau karstique ; fenglin-plaine). **IB2.** Guizhou et Guangxi (karst de montagne ; fenglin-ouvala). **IB3.** Guangxi et Guangdong (fenglin-plaine). **IB4.** Hunan et Jiangxi (karst de montagne et de colline ; qiufeng-poljé).

IC. Géosynclinal plissé du Yunnan occidental (karst dans les roches carbonatées du Paléozoïque)

ID. Géosynclinal plissé des Montagnes Qinling (karst dans les roches carbonatées du Paléozoïque supérieur)

IE. Géosynclinal plissé de Taiwan (karst dans les roches carbonatées métamorphiques du Paléozoïque supérieur)

IF. Récifs côtiers et îles (karst dans les calcaires coralliens cénozoïques)

II. REGIONS KARSTIQUES DU DOMAINE TEMPERE ET TEMPERE CHAUD SEMI-ARIDE A SUB-HUMIDE (CORROSION-ÉROSION)

IIA. Paraplatforme de Chine-Corée (karst dans les roches carbonatées de l'Archéen à l'Ordovicien)

- IIA1.** Shanxi, Hebei et Liaoning (arroyo et karst de montagne). **IIA2.** Shandong et Liaoning (arroyo, montagnes et collines karstiques)

IIIB. Géosynclinal plissé des montagnes Qilian (karst dans les roches carbonatées métamorphiques du Protérozoïque et du Paléozoïque)

III. DOMAINE HUMIDE DU PLATEAU DU QINGHAI-XIZANG (CORROSION-DÉNUDATION)

IV. DOMAINE ARIDE ET TEMPERE DU PLATEAU DU QINGHAI-XIZANG (DÉNUDATION)

I. CORROSION AND EROSION-CORROSION-REGION OF TROPICAL AND SEMI TROPICAL HUMID CLIMATIC TYPE :

IA. Yangtse paraplatform (karst in Proterozoic to Mesozoic carbonates)

- IA1.** Southwest Sichuan (canyon mountain karst). **IA2.** East Yunnan (plain hilly plateau karst). **IA3.** West Guizhou (ouvala-qiufeng mountain plateau karst). **IA4.** Central Guizhou (plain qiufeng and fenglin, mountain plateau karst). **IA5.** Guizhou and Hubei (ouvala-qiufeng mountain karst). **IA6.** East Sichuan (ouvala-qiufeng mountain karst). **IA7.** Hubei and Sichuan (ouvala-qiufeng mountain karst). **IA8.** Middle course of Yangtse river (plain-qiufeng and hilly low mountain and hilly plain karst).

IB. Geosynclinal fold belt of south China (karst in upper Paleozoic and Mesozoic carbonates)

- IB1.** Southeast Yunnan (plain-fenglin plateau karst). **IB2.** Guizhou and Guangxi (ouvala-fenglin mountain karst). **IB3.** Guangxi and Guangdong (plain-fenglin). **IB4.** Hunan and Jiangxi (polje-qiufeng mountain and hilly karst).

IC. Geosynclinal fold belt of West Yunnan (karst in Paleozoic carbonates)

ID. Geosynclinal fold belt of Qinling Mountains (karst in upper Paleozoic carbonates)

IE. Geosynclinal fold belt of Taiwan (karst in upper Paleozoic metamorphic carbonates)

IF. Coast shelf and islands (karst in Cenozoic coral reef limestones)

II. CORROSION-EROSION REGION OF MID- AND WARM TEMPERATURE ZONE, SEMI-ARID AND SUB-HUMID CLIMATIC TYPE

IIA. China-Korea paraplatform (karst in Archean to Ordovician carbonates rocks)

- IIA1.** Shanxi, Hebei and Liaoning (arroyo-mountain karst). **IIA2.** Shandong and Liaoning (arroyo-mountain and hilly karst)

IIIB. Geosynclinal fold belt of Qilian Mountain (karst in Proterozoic and Paleozoic metamorphic carbonates)

III. CORROSION-DENUDATION REGION OF HUMID CLIMATIC TYPE OF THE QINGHAI-XIZANG PLATEAU

IV. DENUDATION REGION OF ARID CLIMATIC TYPE OF THE QINGHAI-XIZANG PLATEAU AND TEMPERATE ZONE.

cours du Secondaire et du Tertiaire, une tectonique de failles normales conduit à la formation de larges bassins et de fossés où ont été piégés des sédiments à faciès continental (gisements de pétrole et de gaz naturel).

2. La paraplatforme du Yangtse :

Elle couvre presque la totalité du bassin-versant du fleuve Yangtse. Le socle est recouvert par des terrains sédimentaires épais commençant par les molasses, tillites et dolomies du Protérozoïque supérieur (Sinien) visibles notamment dans les gorges du Yangtse. Les roches carbonatées ont plusieurs milliers de mètres de puissance et vont du Sinien au Trias. La couverture primaire et secondaire est constituée principalement par des dolomies et calcaires marins (faciès de bassin et de plateforme) et des basaltes continentaux. A la fin du Mésozoïque, la partie orientale de la plateforme du Yangtse a été affectée par un magmatisme à grande échelle (essentiellement des granites, volcanisme rare). Les terrains tertiaires sont représentés par des couches rouges et par des gisements de pétrole et de gaz naturel. La phase orogénique de *Yanshan*, au Jurassique et au Crétacé-Eocène, est responsable du dernier maillage structural.

L'ensemble du Protérozoïque supérieur et du Paléozoïque inférieur a été plissé à la fin du Paléozoïque inférieur (plissement calédonien supérieur) ; dans la zone géosynclinale plissée de Chine du Sud, il est recouvert en discordance par des dépôts clastiques continentaux du Dévonien inférieur. Cette région fait partie du géosynclinal de la marge pacifique. Après l'orogénèse calédonienne, celle-ci a été transformée en plateforme et s'est combinée avec la paraplatforme du Yangtse.

3. La zone géosynclinale de Chine méridionale :

Dans cette unité tectonique, l'épaisseur du Paléozoïque supérieur carbonaté est de 2000 à 5000 m. Le Dévonien moyen-supérieur et le Carbonifère inférieur sont largement étendus et plus puissants que sur la paraplatforme du Yangtse. Au Trias, le *plissement indo-chinois* affecte la couverture allant du Dévonien au Trias. Du Précambrien supérieur au Paléozoïque supérieur (*orogénèse varisque*) et au Trias (*orogénèse indo-chinoise*), la plateforme a été soumise à des mouvements de subsidence et de soulèvement. Au cours du Tertiaire, les mouvements tectoniques himalayens — surtout au Miocène — ont été responsables d'une large surrection accompagnée de mouvements verticaux différentiels (graben, horst). La morphologie préexistante datant du Secondaire a été fortement modifiée : érosion des altérites, étagement des réseaux karstiques, creusement des canyons.

Une comparaison des faciès carbonatés déposés dans les différentes régions est actuellement possible pour la Chine orientale (ZHANG SHOUYUE, 1984). Dans les terrains carbonatés du Sinien, dolomies et insolubles sont relativement plus abondantes que dans les autres formations. Dans le Cambrien de la paraplatforme du Yangtse, dolomies et insolubles sont plus abondants, mais sur la paraplatforme de Chine-Corée les calcaires sont prépondérants pour le même système. Sur les paraplatformes du Yangtse et de Chine-Corée, les terrains carbonatés de l'Ordovicien présentent la même composition (calcaires légèrement dolomitiques). Du Dévonien au Trias, sur la paraplatforme du Yangtse et la zone géosynclinale plissée de Chine méridionale, les roches carbonatées déposées sont similaires : calcaires dolomitiques du Dévonien-Carbonifère, calcaires faiblement dolomitiques du Permien et calcaires dolomitiques du Trias. Dans tous les cas, la calcite est dominante et les insolubles faibles.

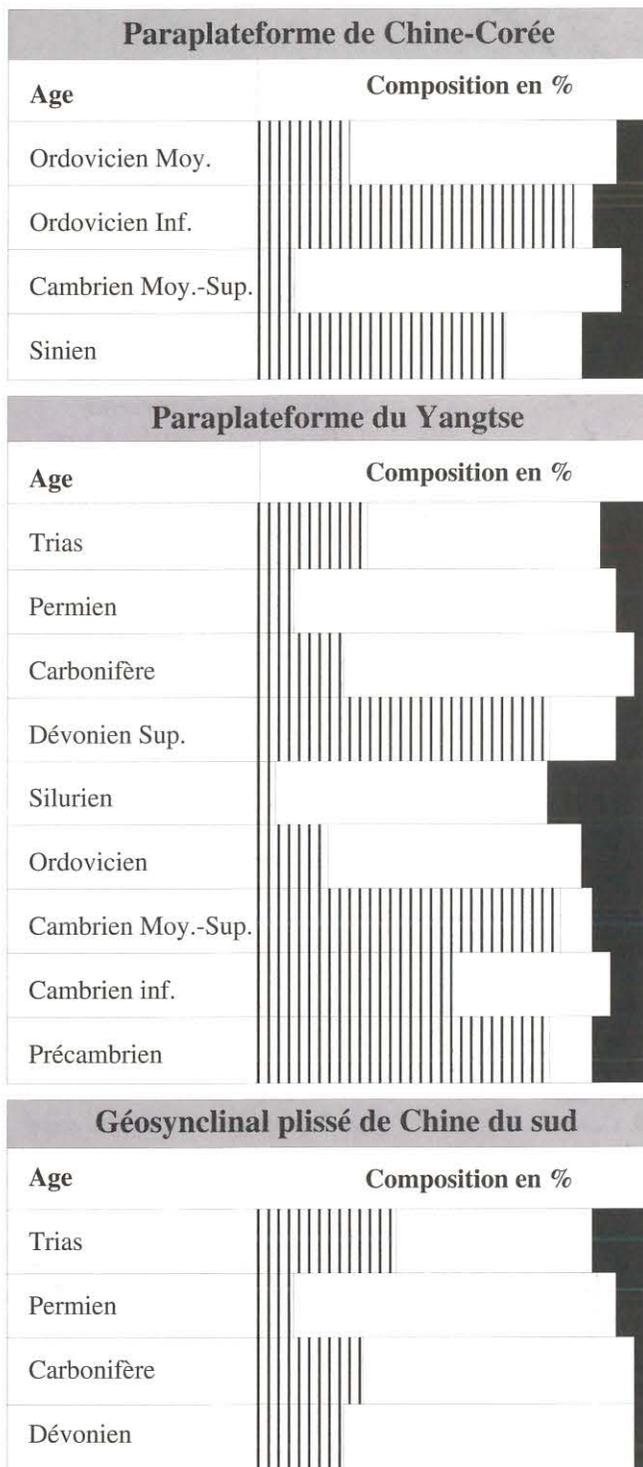


Figure 4 :
Nature des formations carbonatées à différentes époques et dans les différentes unités géotectoniques de Chine.
Composition and age of carbonates rocks in various geotectonic units.
hachuré : dolomie ; blanc : calcaire ; noir : insolubles.
hachured : dolomite ; white : limestone ; black : insoluble.

Sous-zones karstiques	Types de reliefs karstiques	Altitude(m) des pénéplaines	Dispositifs hydrogéologiques	Zones étudiées
IA4	Plateaux montagneux Plaines et qiufeng ou fenglin	1500 900-1300	Synclinaux, circulations souterraines peu profondes sauf sur le bord des gorges.	Zhijin, Ziyun, Pingtang (Guizhou)
IA5	Montagnes Ouvales et qiufeng	2000-1500 800-1000	Synclinaux et anticlinaux, circulations souterraines profondes.	Wufeng, Hefeng, Lichuan (Hubei)
IA7	Montagnes Ouvales et qiufeng	2300-2500 1600-1800 1000-1200	Synclinaux, circulations souterraines profondes.	Wuxi (Sichuan)

Tableau 2 :
Types de reliefs karstiques et de systèmes hydrogéologiques dans les zones karstiques étudiées.
Karst landforms and hydrogeological systems in the studied areas.

C. LA ZONATION GÉOLOGIQUE ET CLIMATIQUE DES KARSTS CHINOIS

La zonation karstique est variable selon les critères utilisés. On discerne trois échelles de grandeur en fonction du climat et de la géologie. Du point de vue climatique, on observe quatre types de régions karstiques correspondant à quatre zones climatiques présentant, pour chacune d'elles, un bilan hydrologique spécifique (ZHANG SHOUYUE, 1980). Du point de vue géologique, les karsts se divisent d'abord selon les grandes unités géotectoniques (supra). Enfin, on distingue des sous-

zones karstiques en fonction des disparités existant à l'intérieur d'une même zone.

Ces différents facteurs climatiques, géologiques et géomorphologiques expliquent les différents types de paysages karstiques. Ceux-ci sont en relation directe avec les phases de creusement des systèmes karstiques induits par la surrection tertiaire et la situation de la zone noyée (rôle du niveau de base). La structure géologique joue un rôle déterminant à l'échelle des sous-zones karstiques, par exemple pour les karsts coniques dissymétriques situés sur les flancs des plis anticlinaux du Sichuan oriental (sous-zone IA6, fig. 3). Dans ce cas, la mor-

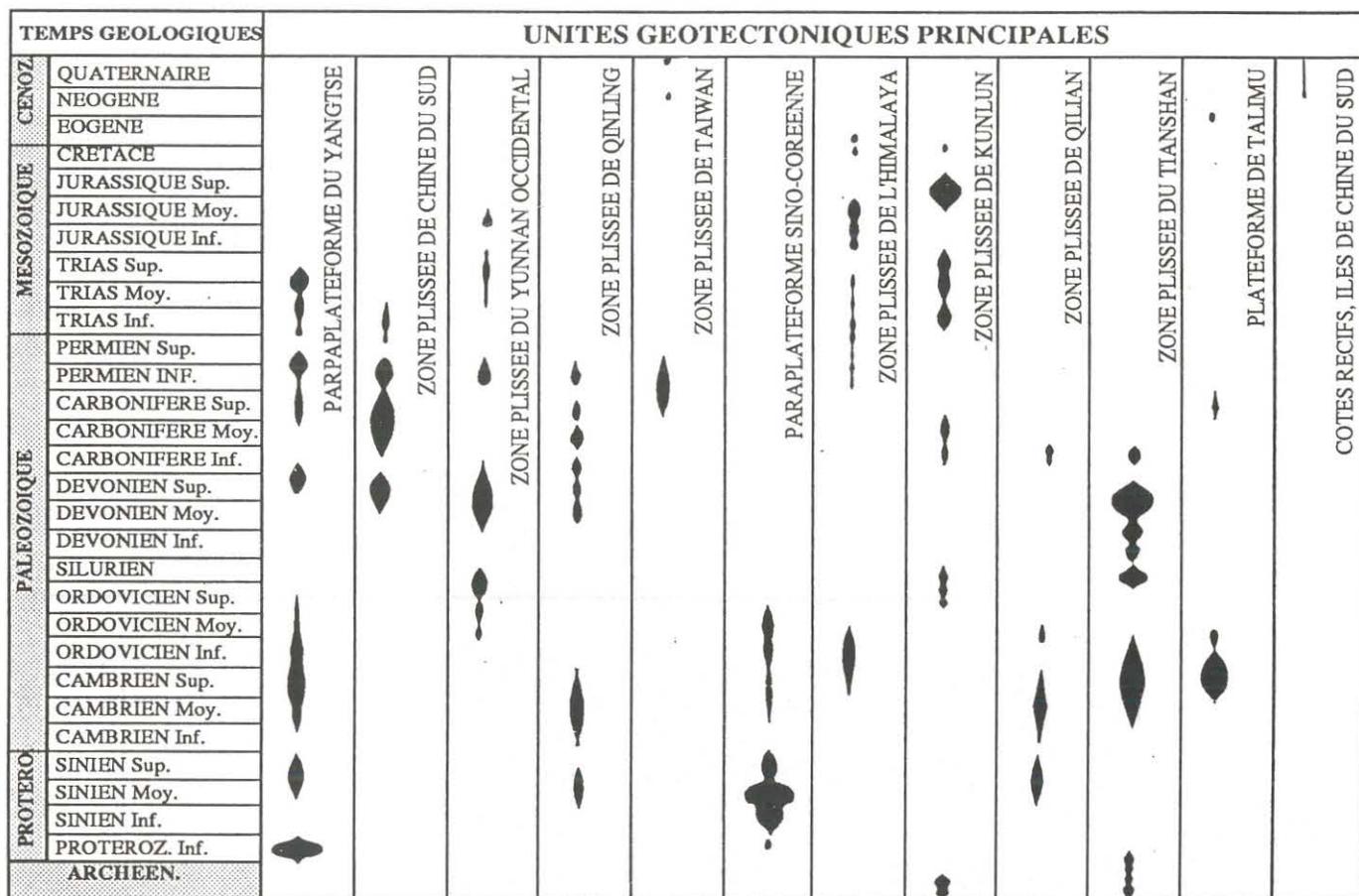


Figure 5 : Age des formations carbonatées dans les différentes unités géotectoniques de Chine.
Age of carbonates rocks in various geotectonic units.

phologie originelle en chevrons est bien visible sur les images satellites.

Ainsi, le karst chinois peut être divisé en quatre régions, huit zones et quatorze sous-zones. Cette zonation constitue une base scientifique de travail pour l'évaluation et l'exploitation du karst dans le cadre de l'économie du pays (fig. 3).

II. LE CLIMAT

Le climat chinois est caractérisé par les vents de mousson dans les 2/3 orientaux du territoire et un climat froid semi-aride à aride dans la partie W et N. Le climat de mousson dépend des échanges entre les masses d'air continentales et océaniques, provoquant des mouvements saisonniers opposés. En hiver, l'air polaire venu de Sibérie et de Mongolie domine une large partie du pays ; en été, l'air tropical océanique (golfe du Bengale, mer de Chine), chaud et humide, envahit le continent. Dans les karsts du sud de la Chine, la mousson d'hiver est caractérisée par un temps stable, doux à frais, correspondant à la saison sèche, tandis que la mousson d'été est chaude et humide (saison des pluies).

Les karsts tropicaux et subtropicaux du S et du SE de la Chine reçoivent 1200 à 1800 mm/an ; ils sont soumis au régime de mousson, d'où la nécessité de pratiquer les expéditions spéléologiques durant la saison sèche, c'est-à-dire entre novembre et mars. Dans les karsts de moyenne montagne (800-1400 m) du Guizhou, Sichuan et Hubei, les températures moyennes annuelles fluctuent entre 14 et 16°C. Le mois le plus froid est janvier (4 à 6°C) et le plus chaud juillet (22 à 24°C). Les gelées nocturnes sont fréquentes en hiver (fortes variations diurnes dans les vallées), ce qui suggère une influence du froid pendant les épisodes glaciaires du Pléistocène — présence de quelques éboulis hérités, en particulier au pied des grands escarpements de faille du secteur de Ziyun/Guizhou, alt. 900-1300 m. (cf. chap. 11). Dans les karsts de basse altitude (ex : Luodian, Guizhou, alt. 300 m), la moyenne annuelle est de 19,6°C (10,1°C en janvier, 27°C en juillet).

La Chine peut être divisée en six zones climatiques : tropicale, subtropicale, tempérée-chaude, tempérée, tempérée-

froide, froide (China Handbook Series, 1983) :

- *La zone tropicale s.s.* est peu étendue (1,6 %) ; elle se situe sur la bordure méridionale à la hauteur du tropique du Cancer (Sud du Yunnan, du Guangxi, du Guangdong ; Hainan et Taiwan). Seule la zone tropicale ne connaît aucune gelée.

- *La zone subtropicale* (26,1 %) s'étend au S du Yangtse et intéresse une partie importante des karsts chinois (Yunnan, Guangxi, Guizhou, Hunan, SW Hubei, SE Sichuan). Mois sans gel (8-12).

- *La zone tempérée-chaude* (18,5 %), se trouve au NE, entre le Yangtse et Beijing (Henan, Hebei, Shaanxi, Shandong...) et dans le bassin du Tarim au NW. Mois sans gel (5-8).

- *La zone tempérée s.s.* (25,9 %) est caractéristique de la Mongolie et des trois provinces de l'extrémité NE du pays (Liaoning, Jilin et Heilongjiang). Mois sans gel (4-7).

- *La zone tempérée-froide* (1,2 %) occupe la bordure N de la Mongolie et du Heilongjiang. Mois sans gel (3).

- *La zone froide*, la plus vaste (26,7 %), intéresse les hauts plateaux du Qinghai-Tibet, la chaîne himalayenne et le Sichuan occidental. Mois sans gel (0-7). Situé à plus de 4500 m d'altitude, le vaste plateau du Qinghai-Xizhang (Tibet) est une zone froide et sèche (T moy. = 0 à -12°C/an, P = 100 à 200 mm/an) qui influence les circulations atmosphériques en Chine et en Asie.

Du point de vue des précipitations, on distingue quatre zones du SE au NW : humide, subhumide, semi-aride et aride avec un indice d'aridité < 1, de 1 à 1,5, de 1,5 à 4 et ≥ 4 .

- *La zone humide* (1000-2000 mm/an) occupe le S et le SE ; elle représente 32,2 % du pays.

- *La zone subhumide* (500-1000 mm/an) (14,5 %) correspond à la zone tempérée s.l., entre le Yangtse et Beijing (y compris le Sichuan à l'W).

- *La zone semi-aride* (250 à 400-500 mm/an) (21,7 %) débute en gros avec l'isohyète 400 mm qui marque à l'E du plateau du Tibet la frontière entre le régime de mousson de l'Asie du SE et le climat froid et sec de l'Asie centrale.

- *La zone aride* (< 250 mm) (30,8 %) occupe la partie N du Tibet et l'ensemble du bassin du Tarim (alt. 800-1400 m, S = 530 000 km², P = < 250 mm/an). Plus au N, les précipitations remontent à 400-600 mm/an sur la chaîne du Tianshan.



Photo 2 :

Rives du Yangtse entre Chongqing et Wanxian. Situation en étiage (novembre 89). A noter les niveaux étagés de crues (berges sableuses) qui peuvent monter localement à + 50 m.

The Changjiang (Yangtse) banks, between Chongqing and Wanxian (low water, november 89).

To notice : the flood levels (sandy banks) can in places reach more than 50 m.

Figure 6 :
Moyennes des précipitations annuelles (mm).
Yearly average precipitation (mm).

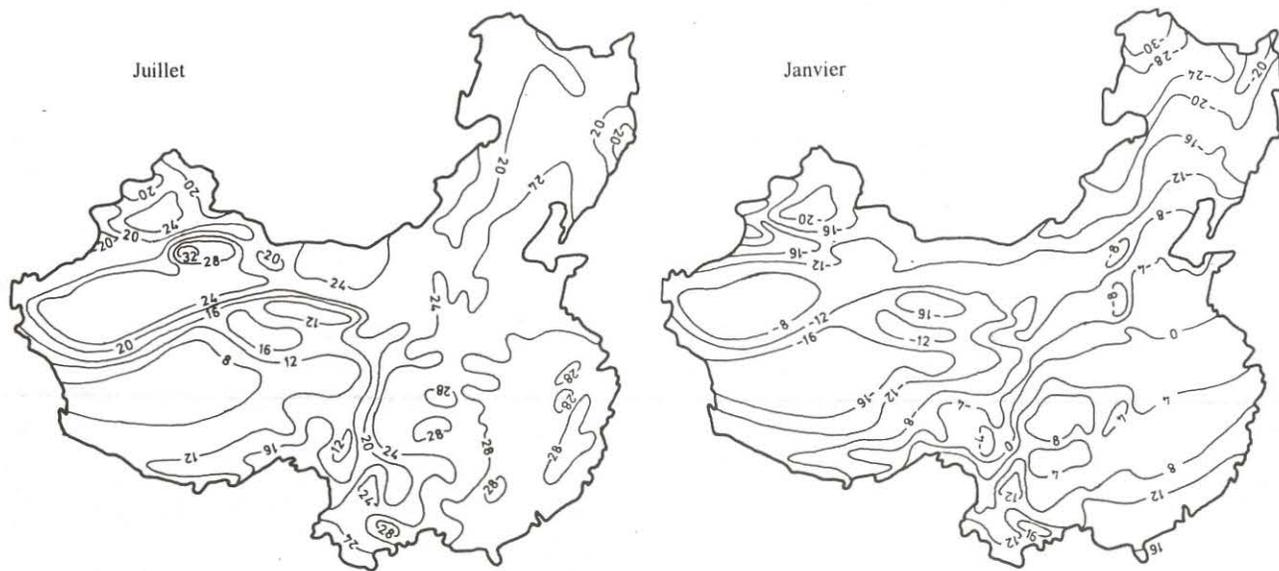
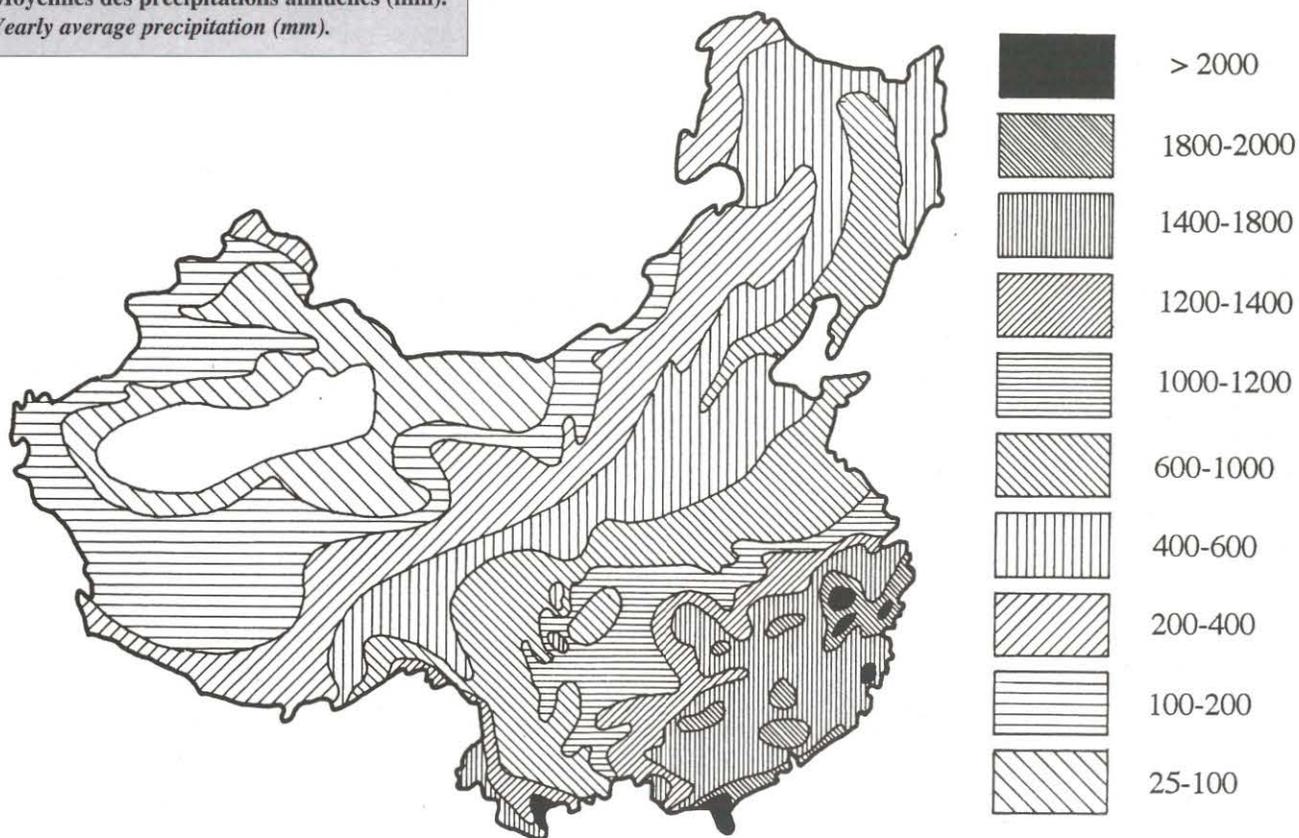
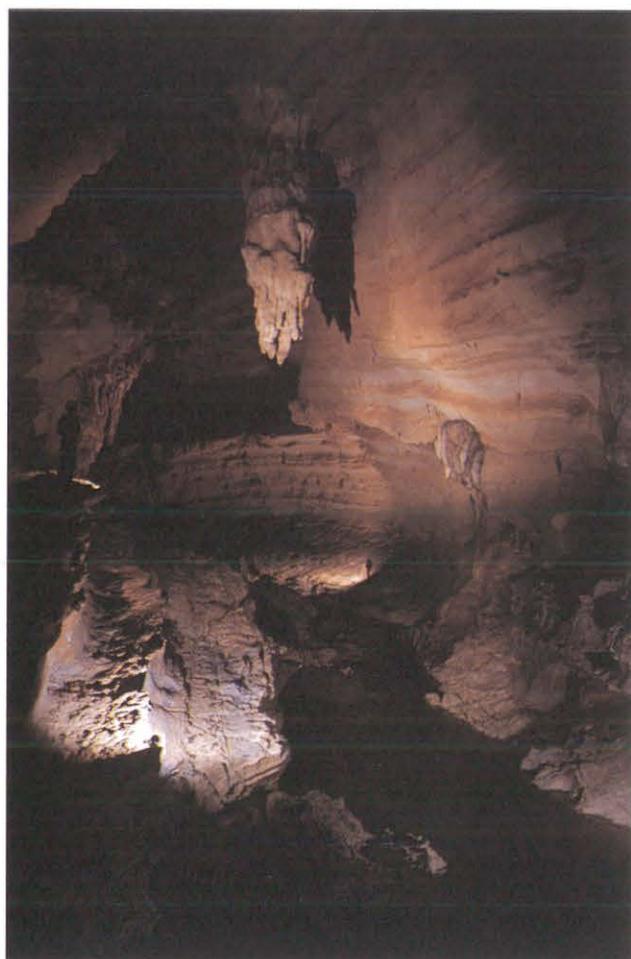


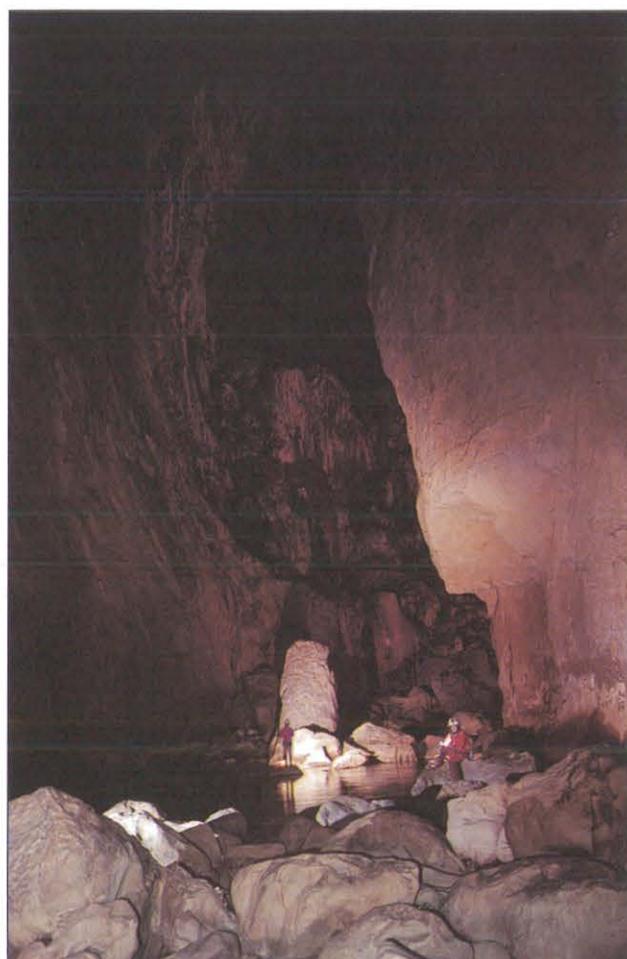
Figure 7 :
Moyenne des températures en juillet et en janvier.
Mean temperature in July and January.



Galerie principale de Dadong (Wufeng - Hubei). (CR) — *Principal gallery of Dadong cave.*



Dans la résurgence de Longdong Yangzidong
(Wufeng - Hubei). (CR)
In the resurgence of Longdong Yangzidong cave.



Galerie d'entrée du système de la Gebihe
(Ziyun - Guizhou). (CR)
Gebihe system entrance.

ETUDES REGIONALES KARSTS DU SUD CHINOIS (GUIZHOU, SICHUAN, HUBEI)

Chapitre 1 :

KARSTS ET CAVITÉS DU COMTÉ DE ZHIJIN (GUIZHOU)

Chapitre 2 :

LE SYSTÈME DE LA RIVIÈRE GEBIHE, COMTÉ DE ZIYUN (GUIZHOU)

Chapitre 3 :

RECONNAISSANCE DU KARST DU COMTÉ DE PINGTANG (GUIZHOU)

Chapitre 4 :

KARSTS ET CAVITÉS DU COMTÉ DE WUXI (SICHUAN)

Chapitre 5 :

KARSTS ET CAVITÉS DU COMTÉ DE WUFENG (HUBEI)

Chapitre 6 :

KARSTS ET CAVITÉS DU COMTÉ DE HEFENG (HUBEI)

Chapitre 7 :

COMTÉS DE LICHUAN ET YICHANG (HUBEI)

RESUME :

Cette première partie, régionale, regroupe sept chapitres et décrit le contexte physique et les cavités explorées dans huit comtés situés dans les provinces du Guizhou (Zhijin, Ziyun, Pingtang), du Sichuan (Wuxi) et du Hubei (Wufeng, Hefeng, Lichuan, Yichang). Les karsts, de type subtropicaux, sont localisés entre 26 et 31° de latitude nord. Sise en rive gauche du Yangtse, dans les Daba Shan, la zone montagneuse de Wuxi est à la limite entre le domaine subtropical et tempéré chaud, et les neiges hivernales ne sont pas rares au-dessus de 1000-1500 m d'altitude.

Les explorations spéléologiques représentent un total de 57 km de galeries topographiées dans des cavités généralement de grandes dimensions. Quatre réseaux dépassent 5 km. Les plus vastes sont partie de systèmes du type perte(s)-émergence(s). Ces grottes-tunnels, souvent complexes, présentent des affluents, des siphons et un étagement des conduits comme dans les systèmes de la Gebihe (Ziyun/Guizhou) et de Dadong-Longdong (Wufeng/Hubei). Durant la mousson d'été, les débits souterrains peuvent dépasser plusieurs dizaines de m³/s, d'où la nécessité de pratiquer les explorations entre octobre-novembre et février-mars. Lorsque les pertes temporaires sont en altitude, dans de hautes vallées, le potentiel hydraulique est suffisant pour créer des réseaux de type "alpin", mais avec des mises en charge importantes pendant la saison des pluies (gouffres des comtés de Wuxi et de Wufeng).

Mots-clés : grotte-tunnel, perte, émergence, réseau étagé, gouffre, Guizhou, Sichuan, Hubei, Gebihe, Dadong.

摘要：区域概况

区域研究部分共七章，叙述了北纬26到31°间的贵州织金、紫云、平塘，四川巫溪及湖北五峰、鹤峰、利川、宜昌等八个县的自然地理、地质背景及所考察的洞穴。

此次考察测量洞穴总长度达57Km，其中有四个洞穴系统的长度逾5Km以上，这些长的洞穴系统常常由落水洞与泉或伏流出、入口组成，并包含有支流、水仓及多层廊道等，如贵州紫云格必河伏流及湖北五峰大洞至龙洞洞穴

系统。在夏季，暗河流量可达数十秒立米。因此，每年的10到11月及2到3月是最好地考察季节。除了具有重要的雨季时的压力管道背景以外，当间歇性的落水洞位于高程较大的谷地中时，水能足以开掘出“高山型”的洞穴。例如巫溪和五峰所见到的喀斯特竖井。

ABSTRACT: SOUTH CHINA KARST (GUIZHOU, SICHUAN, HUBEI)

This first part, which is regional, consists of seven chapters and describes the physical context and the caves explored in eight counties located in Guizhou (Zhijin, Ziyun, Pingtang), Sichuan (Wuxi) and Hubei province (Wufeng, Hefeng, Lichuan, Yichang). Subtropical karsts are situated between 26 and 31° lat. N. Placed on the left bank of Yangtse, in the Daba Shan, the Wuxi mountainous area is on the boundary of subtropical and warm temperate climates, but snow is frequent above 1000-1500 m high.

During speleological explorations, 57 km of passages have been surveyed mainly in great caves. Four caves are more than 5 km long. The longest are sink and resurgence systems. These often complex tunnel-caves offer affluents, sumps and several levels of passages as in the Gebihe (Ziyun/Guizhou) and Dadong-Longdong (Wufeng/Hubei) systems. During the summer monsoon, the underground discharges can be more than several tens of cumecs. So, it is necessary to explore between october-november and february-march. When the temporary sinkholes are situated in high valleys, the hydrologic potential is enough to form "alpine type" caves, but with important pressure tubes actively forming during the rainy season (Wuxi and Wufeng counties shafts).

Keywords: tunnel-cave, loss, spring, cave level, shaft, Guizhou, Sichuan, Hubei, Gebihe, Dadong.

ZUSAMMENFASSUNG: DER KARST VON SÜDCHINA (GUIZHOU, SICHUAN, HUBEI)

Der erste, regionale Teil ist in sieben Kapitel untergliedert, in denen die erforschten Höhlen und ihr physisches Umfeld beschrieben werden, die in acht Landkreisen der Provinzen Guizhou (Zhijin, Ziyun, Pingtang), Sichuan (Wuxi) und Hubei (Wufeng, Hefeng, Lichuan, Yichang) liegen. Die subtropischen Karstgebiete liegen zwischen dem 26. und 31. Grad nördlicher Breite. Die Grenze zwischen der subtropischen und der gemäßigten Klimazone verläuft in den Bergen von Wuxi, im Gebirge Daba Shan am linken Ufer des Yangtse, wo ganzjähriger Schnee oberhalb von 1000 bis 1500 Metern häufig angetroffen werden kann.

Im Verlauf der höhlenkundlichen Forschung wurden 57 km Gangstrecke in vorwiegend großräumigen Höhlen kartographiert. Vier der erforschten Höhlen sind länger als 5 km und die größten sind Flußschwinde(n) kombiniert mit Quellschwinde(n). Diese oftmals komplexen tunnelförmigen Flußhöhlensysteme (zum Beispiel Gebihe in Ziyun, Guizhou oder Dadong-Longdong in Wufeng, Hubei) weisen Zuflüsse, Siphons und überlagernde Gangniveaus auf. Während des sommerlichen Monsuns können Schüttungen von mehreren Zehnerkubikmetern pro Sekunde auftreten. Es ist daher notwendig, zwischen Oktober/November und Februar/März zu forschen. In Flußschwinden auf großer Seehöhe oder in hochgelegenen Tälern ist das hydrographische Potential groß genug, um "alpine" Höhlensysteme zu bilden, die während den Regenzeiten heftig Wasser führen können (Schachthöhlen in Wuxi und Wufeng).

Stichworte: Tunnelhöhle, Schwinde, Resurgenz, Höhlenniveau, Schachthöhle, Guizhou, Sichuan, Hubei, Gebihe, Dadong.

INTRODUCTION

Les secteurs karstiques étudiés se situent dans huit comtés distribués au sein de trois provinces de Chine méridionale et centrale (fig. 1) :

- comtés de Zhijin, Ziyun et Pingtang au centre (lat. 26°N) de la province du Guizhou ;

- comté de Wuxi à l'extrémité E (lat. 31°N) de la province du Sichuan ;

- comtés de Wufeng, Hefeng, Lichuan au SW (lat. 30°N) de la province du Hubei et comté de Yichang au centre ouest (lat. 31°N) de la même province.

Du point de vue topoclimatique, les secteurs karstiques étudiés se situent en zone subtropicale continentale de moyenne montagne (latitude 26-31°N, longitude 106-111° E, altitude 900-1500 m) (zone I, fig. 3). La cavité explorée la plus basse se situe à 290 m (Wuxi/Sichuan) et la plus haute à 1820 m (Zhijin/Guizhou). Sur le plan des unités tectoniques, ils sont tous localisés sur la paraplateforme du Yangtse (zone IA, fig. 3). Enfin, au niveau géomorphologique, ils se situent dans trois sous-zones karstiques différentes (fig. 3) :

◇ **Zhijin, Ziyun et Pingtang (Guizhou) = sous-zone IA4** correspondant à un karst conique (qifeng - base plus large que la hauteur) et à pitons (fenglin) de plateau montagnard vers 1000-1500 m d'altitude.

◇ **Wuxi (Sichuan) = sous-zone IA7** correspondant à un karst de montagne à ouvalas, cônes et canyons, entre 200 et 2500 m d'altitude, lié à la structure plissée (fort potentiel hydraulique,

> 1000 m) et au creusement transversal des vallées (canyon de la Daninghe, affluent du Yangtse, profond de plus de 1000 m).

◇ **Wufeng, Hefeng et Lichuan (Hubei) = sous-zone IA5** correspondant à un karst de moyenne montagne à ouvalas et cônes, entre 800 et 2000 m, également lié à une structure plissée caractéristique (potentiel hydraulique assez important, 500-1000 m).

FICHE SIGNALÉTIQUE DU GUIZHOU

Superficie = 170 000 km²

Culmen = Wuling Shan (Fanjing Shan = 2494 m) au NE

Altitude = en majorité plus de 1000 m

Climat = subtropical humide de mousson

Températures = 1 à 10°C en janvier, 17 à 28°C en juillet

Précipitations = 1000 à 1500 mm/an

Population = 30,1 millions d'habitants

Densité = 177 hb/km²

Population urbaine = 30 %, rurale = 70 %

Capitale = Guiyang

Nationalités = Han, Miao, Bouyei, Tong, Yi...

Agriculture = riz, blé, maïs, millet, patates, bois...

Ind./mines = mercure, charbon, phosphore, bauxite, gaz naturel

Tourisme = Chutes de Huangguoshu, grotte de Dajidong.

FICHE SIGNALÉTIQUE DU SICHUAN

Superficie = 560 000 km²

Culmen = Daxue Shan (Gongga Shan = 7556 m) à l'W

Altitude = basses terres 300-700 m, montagnes >3000 m.

Climat = subtropical humide de mousson

Températures = basses terres 3 à 8°C en janvier et 25 à 28°C en juillet.

Précipitations = 1000 mm/an (basses terres)

Population = 103,2 millions d'habitants

Densité = 184 hb/km²

Population urbaine = 27 %, rurale = 73 %

Capitale = Chengdu

Nationalités = Han, Yi, Tibétain, Miao, Hui...

Agriculture = riz, maïs, patate douce, blé, sorgho, thé...

Ind./mines = fer, charbon, gaz naturel, pétrole, sel...

Tourisme = Temples bouddhistes du Mt. Emei, "Trois Gorges" du Yangtse

NB : le Sichuan est la patrie du Panda géant (*Ailuropoda melanoleuca*) et du Singe doré (*Pygathrix roxellana*)

FICHE SIGNALÉTIQUE DU HUBEI

Superficie = 180 000 km²

Culmen = Daba Shan (Dashennongjia = 3053 m)

Climat = subtropical humide de mousson

Températures = 1 à 6°C en janvier, 24 à 30°C en juillet

Précipitations = 750 à 1500 mm/an

Population = 49,9 millions d'habitants

Densité = 277 hb/km²

Population urbaine = 47 %, rurale = 53 %

Capitale = Wuhan

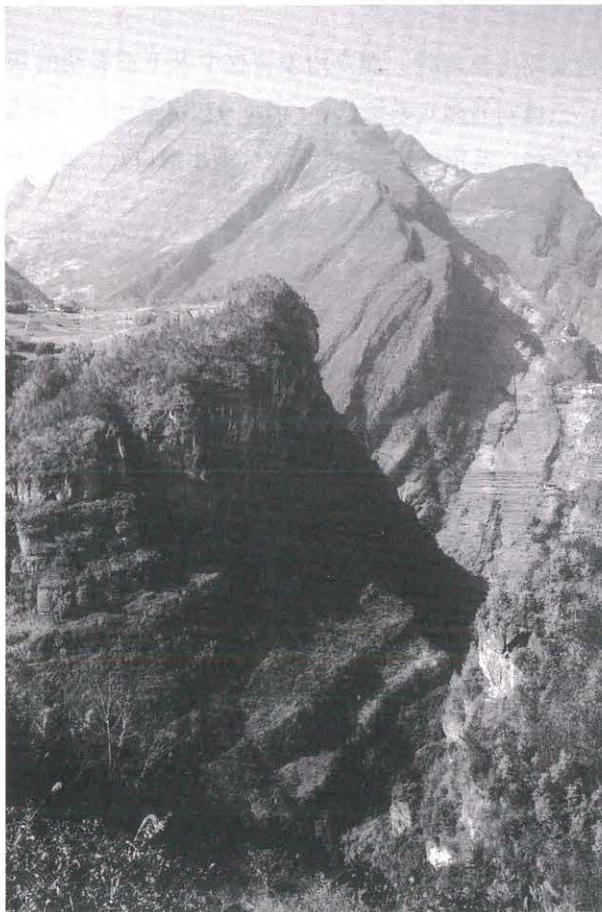
Nationalités = Han, Tujia, Hui, Manchu, Miao, Mongole

Agriculture = riz, blé, sorgho, millet, patate, maïs, thé...

Ind./mines = fer, cuivre, sel, plâtre

Tourisme = barrage de Gezhouba (Yichang), réserve naturelle de Shennongjia

Photo 3: Karst "alpin" à Wufeng. "Alpine" karst in Wufeng.



KARSTS ET CAVITES DU COMTE DE ZHIJIN (GUIZHOU)

— Jean-Pierre BARBARY, Bernard COLLIGNON, Jean-Luc MOUDOUD,
SONG Shixiong et ZHANG Shouyue

RESUME :

La région de Zhijin fait partie du plateau occidental karstique du Guizhou. Les terrains carbonatés vont des dolomies du Sinien aux calcaires du Trias. Cette zone de la paraplateforme du Yangtse a été plissée, karstifiée et pénéplanée au Jurassique-Crétacé (plis NE-SW), puis pénéplanée et soulevée au cours du Tertiaire. Le climat est de type subtropical de montagne ($T = 14^{\circ}\text{C}$, $P = 1444$ mm, alt. 1000 m). Les deux secteurs étudiés sont les synclinaux de Santang (alt. 1600-2300 m) et de Guanzhai (1300-1400 m). La morphologie est du type qiufeng (buttes et ouvalas) avec des secteurs à pitons (fenglin) autour du bassin de Zhijin. Les cavités se développent surtout dans les calcaires du Trias inférieur. L'ensemble des cavités du synclinal de Santang totalise 15 km de développement. Dans la zone de Guanzhai, les rivières s'écoulent dans des canyons et des vallées fermées qui sont d'anciennes galeries souterraines ayant perdu leur plafond (Daxiaocaokou) avec de courts passages hypogés.

Mots-clés : grotte-tunnel, qiufeng, fenglin, ouvala, canyon, Trias, Santang, Guanzhai, Zhijin, Guizhou

摘要：贵州织金喀斯特与洞穴

织金位于贵州高原的西部，从震旦纪白云岩到三叠纪灰岩均有分布，岩层呈北东—南西向褶皱。属山区亚热带气候类型，年平均温度 14°C ，年平均降水量1444mm。三塘向斜（海拔1600-2300m）及官寨向斜（海拔1300-1400m）二个研究地点的地貌景观为丘峰—溶洼类型，织

金溶盆周围具峰林。洞穴均发育在中及下三叠统的灰岩中，三塘向斜洞穴系统总长15Km。在官寨地区，河流峡谷呈盲谷，系顶板已坍塌的洞穴（大小槽口），残留有短的地下廊道。

ABSTRACT: KARST AND CAVES OF ZHIJIN COUNTY (GUIZHOU).

The Zhijin area is located in the western karst plateau of Guizhou. The carbonate rocks vary from Sinian dolomites to Trias limestones. This Yangtse paraplatform area was folded, karstified and peneplaned during Jurassic-Cretaceous (NE-SW folds), then peneplaned and uplifted during the Tertiary. The type of climate is mountain subtropical ($T=14^{\circ}\text{C}$, $P=1444$ mm, 1000 m). The two areas studied are the Santang syncline (1600-2300 m a.s.l.) and the syncline of Guanzhai (1300-1400 m a.s.l.). The type of morphology is qiufeng (kuppen and ouvalas) with cone areas (fenglin) around the Zhijin basin. The caves are all in lower Triassic limestones. The caves of the Santang syncline together have a length of 15 km. In the Guanzhai area, rivers flow in canyons and blind valleys which are former caves whose ceilings have collapsed (Daxiaocaokou), with short underground passages remaining.

Keywords: Tunnel-cave, qiufeng, fenglin, ouvala, canyon, Trias, Santang, Guanzhai, Zhijin, Guizhou.

ZUSAMMENFASSUNG: KARST UND HÖHLEN VON ZHIJIN (GUIZHOU).

Das Gebiet von Zhijin liegt im Westen des Karstplateaus von Guizhou. Es treten präkambrische bis triassische Dolomite und Kalke auf. Die dortige Paraplatform des Yangtse wurde von NE nach SW während der Kreidezeit gefaltet, anschließend verebnet und im Verlauf des Tertiär gehoben. Der Klimatyp ist montan subtropisch (Duchschnittswerte: 14°C , 1444 mm Niederschlag, 1000 m

Seehöhe). Die beiden untersuchten Gebiete sind die Synklinalen von Santang (1600 bis 2300 m Seehöhe) und Guanzhai (1300 bis 1400 m). Die Landoberfläche zeigt sich als Qiufengtyp (Kuppen und Uvalas), in der Umgebung des Zhijinbeckens als Kegelkarsttyp (Fenglin). Die Höhlen sind vorwiegend in Kalken der Unteren Trias entwickelt.

Die Gesamtganglänge der Höhlen in der Synklinale von Santang beträgt 15 km. Im Gebiet von Guanzhai verlaufen die Flüsse streckenweise durch Überbleibsel von Flußhöhlen, die Schluchten und Sacktäler, deren vormalige Höhlendecken eingestürzt sind, miteinander verbinden.

Stichworte: *Flußhöhle, Durchgangshöhle, Qiufeng, Uvala, Schlucht, Trias, Santang, Guanzhai, Zhijin, Guizhou.*



Photo 4 :
Paysage de Fenglin-ouvala près du poljé de Zhijin (Guizhou).

Fenglin-ouvala landscape around Zhijin polje (Guizhou).



Photo 5 :
Bordure du synclinal de Guanzhai près du canyon de la rivière Liuchonghe (Guizhou).

Margin of Guanzhai syncline just near Liuchonghe river (Guizhou).

PRESENTATION PHYSIQUE

Sise au nord de la ligne de partage des eaux entre les rivières Sanchahe et Liuchonghe, cette région forme la partie occidentale du plateau du Guizhou et le début de celui du Yunnan à plus de 1800 m d'altitude (fig. 9). On est à la limite de deux paysages karstiques : au sud le karst à tourelles (fenglin) et à cônes avec ouvalas et poljés, au nord le qiu feng à ouvalas et poljés. Les rivières principales s'écoulent dans de profonds canyons et sont tantôt aériennes, tantôt souterraines. Le niveau des eaux souterraines est à - 10 m dans les poljés et entre - 50 m et - 100 m dans les zones d'ouvalas.

◊ **Géologie** : le vaste karst du Guizhou appartient à l'unité géotectonique de la paraplateforme du Yangtse (fig. 3). Les axes de plissements ont généralement une orientation NE-SW. Dans les parties centrales et méridionales, les terrains carbonatés vont du Sinien dolomitique (Précambrien supérieur) au Trias. Les conglomérats et silts rouges du Crétacé-Eocène sont présents dans les bassins (ex : Huishui 50 km au sud de Guiyang). Dans la région de Zhijin, les cavités explorées se développent principalement dans le Trias inférieur (calcaires dolomitiques) et parfois dans les calcaires du Permien inférieur (fig. 10). Entre ces couches se développent 200 à 300 m d'argilites du Permien supérieur.

◊ **Climat** : A la station de Zhijin (alt. 1000 m), le climat est de type subtropical de montagne. La température moyenne annuelle est de 14,1°C et les précipitations de 1444 mm/an. Le régime climatique de mousson est caractérisé par (fig. 8) :

- une saison froide et sèche centrée sur décembre-janvier-février (5,2°C et 64 mm) sous le contrôle des masses d'air anticycloniques de Sibérie-Mongolie ;
- une saison chaude et humide de mai à septembre (20,3°C et 1031 mm) sous le contrôle des masses d'air cycloniques humides de la mer de Chine.

Les amplitudes intermensuelles thermiques (janvier : 4°C, juillet : 22,5°C) et pluviométriques (janvier : 18,4 mm, juin : 293,4 mm) sont fortes. Dans l'ensemble du Guizhou, il pleut en moyenne 180 jours par an avec 85 à 89 % des précipitations d'avril à septembre. Les chutes de neige sont faibles : 10 à 20 cm entre 1000 et 2000 m, 5 cm dans les grandes vallées (ex : Beipan Jiang, Hongshuihe) (d'après SONG SHIXIONG).



◊ **Relief karstique et hydrologie** : Les zones de Santang et de Guanzhai ont une morphologie et une altitude différentes. Perché entre 1600 et 1800 m, le synclinal de Santang se situe près de la ligne de partage des eaux. Ce "plateau" présente un relief caractéristique de qiu feng-ouvala. Le synclinal, à grand rayon de courbure, présente peu de failles. La zone de Guanzhai, dont l'altitude moyenne varie de 1300 à 1400 m, se situe à proximité de la rivière Liuchonghe qui forme le drain régional principal. De nombreux affluents coulent dans de profonds canyons qui entaillent les calcaires du Trias et parfois ceux du Permien inférieur. Les dépressions sont principalement des ouvalas, mais leur densité est moins importante que dans la zone de Santang.

Dans le synclinal de Santang le système hydrologique est essentiellement souterrain ; les courtes rivières aériennes s'écoulent dans les poljés et dans de larges vallées. A l'inverse, dans la zone de Guanzhai, les cours d'eau s'écoulent dans des canyons et des vallées fermées qui sont d'anciennes grottes-tunnels ayant perdu leur plafond (Daxiaocaokou). Les tronçons souterrains sont courts (fig. 12, 13).

Dans les deux zones, les systèmes hydrologiques sou-

FICHE SIGNALÉTIQUE DU COMTE DE ZHIJIN

Superficie = 2868 km²
 Population = 760 000 hb
 Densité = 265 hb/km²
 Capitale = Zhijin (51 400 hb)
 Lat. : 26° 40' N Long. : 105° 46' E

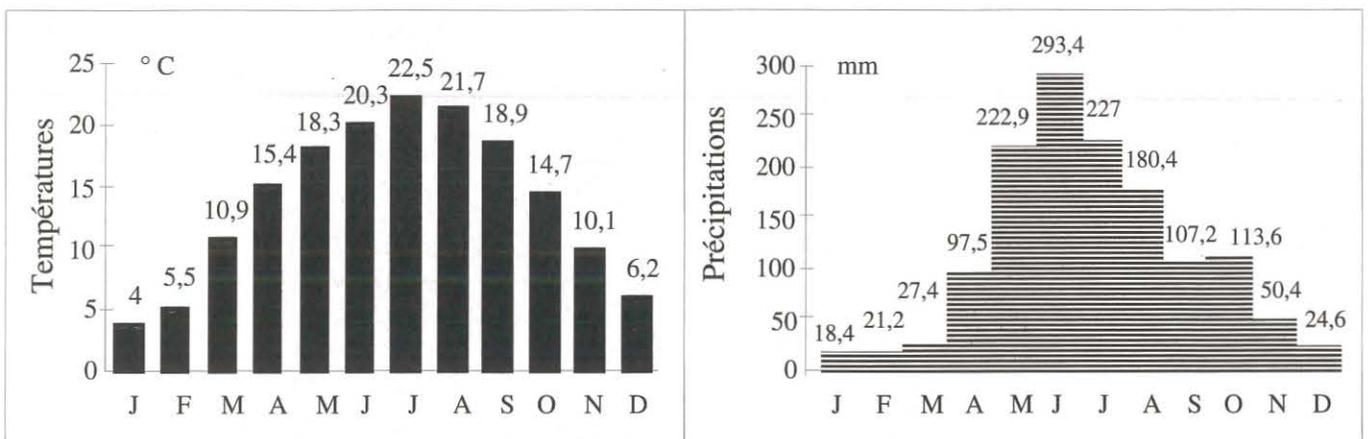


Figure 8 : Données climatiques du comté de Zhijin (Guizhou), températures et précipitations.
 Climatic data of Zhijin county (Guizhou), temperatures and precipitation.

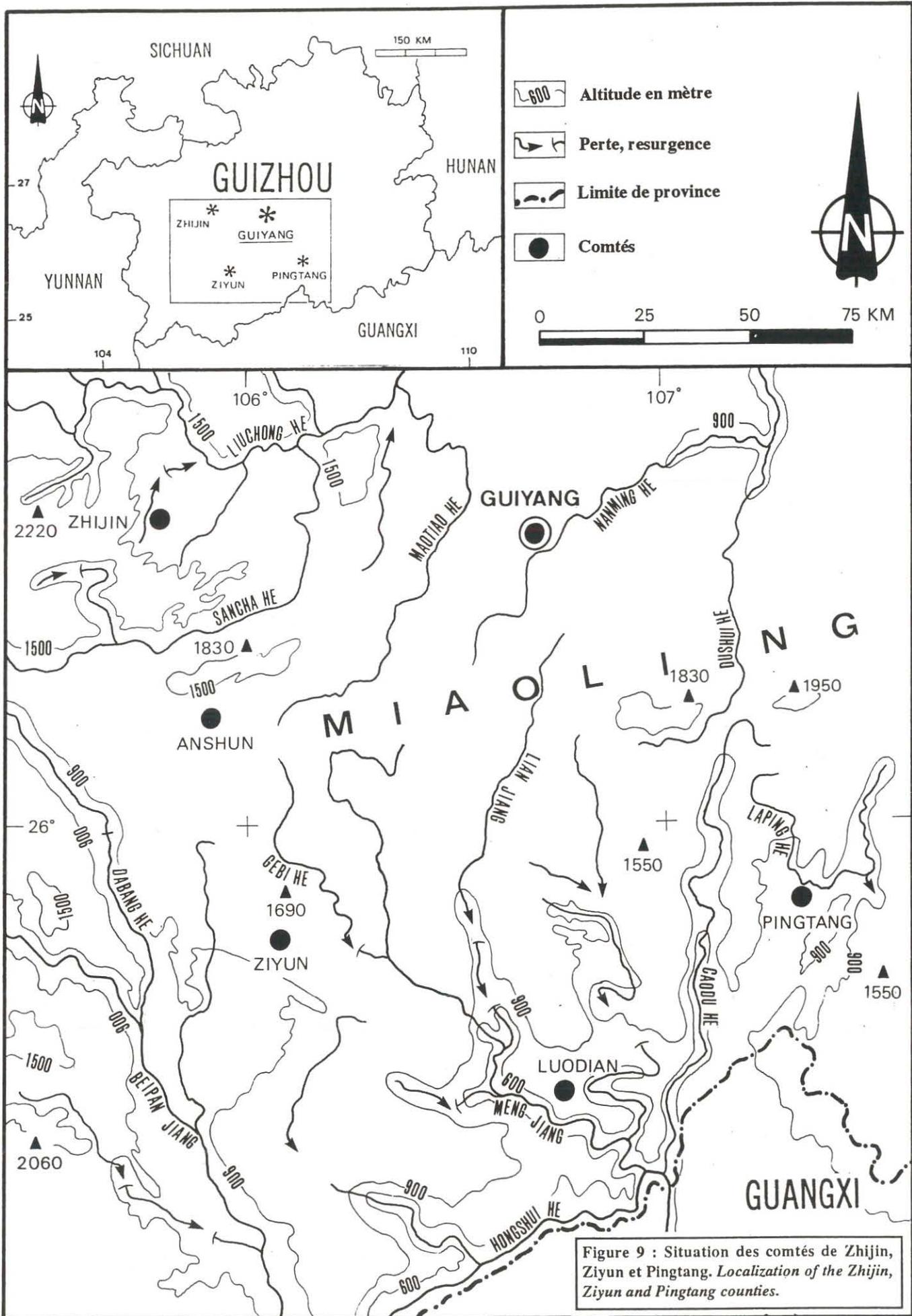


Figure 9 : Situation des comtés de Zhi jin, Ziyun et Pingtang. Localization of the Zhi jin, Ziyun and Pingtang counties.

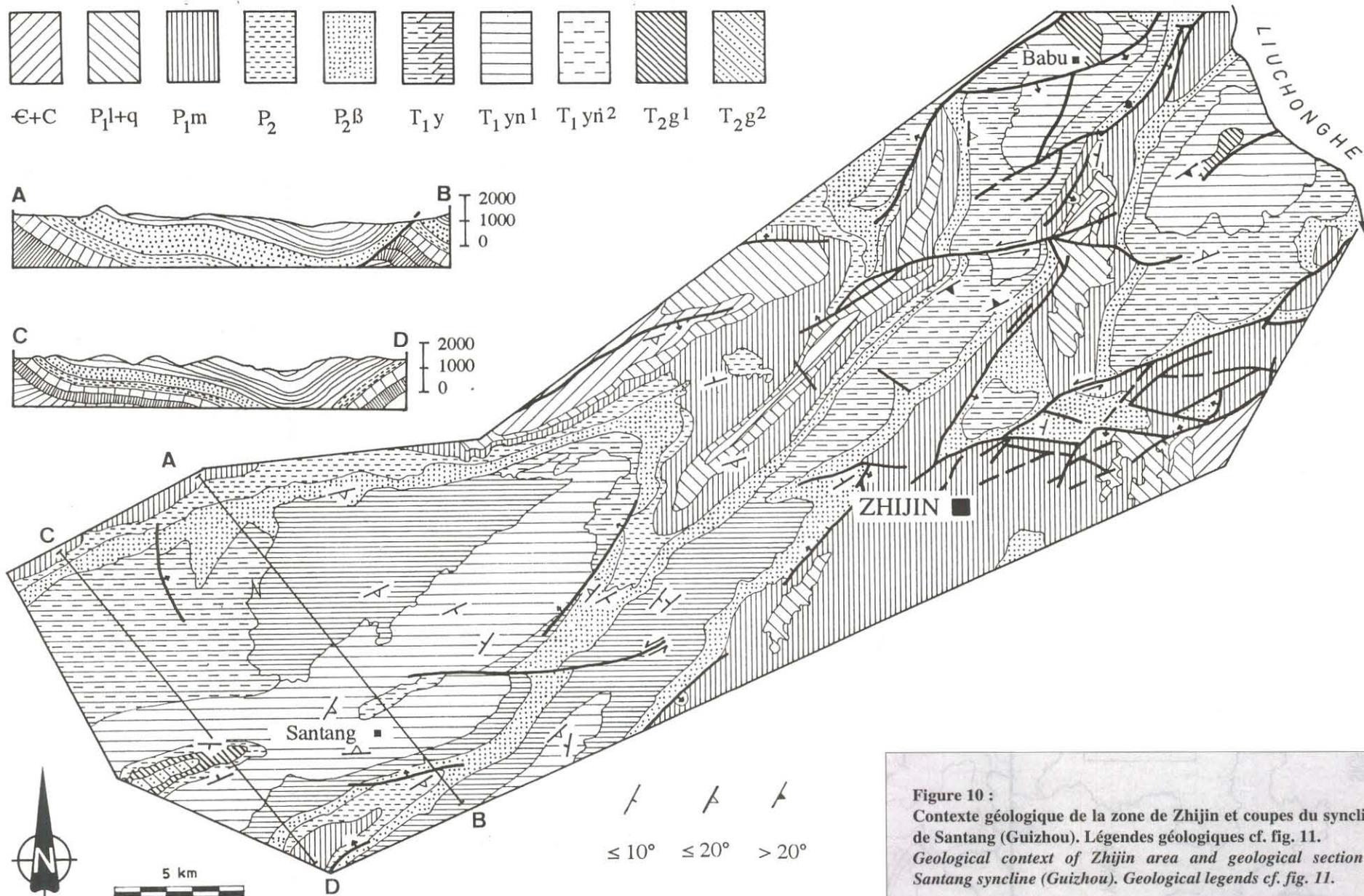


Figure 10 :
 Contexte géologique de la zone de Zhijin et coupes du synclinal de Santang (Guizhou). Légendes géologiques cf. fig. 11.
Geological context of Zhijin area and geological section of Santang syncline (Guizhou). Geological legends cf. fig. 11.

Mésozoïque	TRIAS	Guanling T _{2g} ¹⁻² 120 : 468 m		T _{2g2} : calcaires micritiques gris-foncé en bancs moyens avec calcaires dolomitiques intercalés. T _{2g1} : bancs intercalés d'argilites, de shale et de dolomies argileuses.
		Yongningzhen T _{1yn} 43 : 482 m		T _{1yn1} : calcaires, T _{1yn2} : argiles avec calcaires, T _{1yn3} : calcaires, T _{1yn4} : dolomies et brèches de roches carbonatées formées par la dissolution des gypses.
Paléozoïque. (Pz)	PERMIEN	Yelang T _{1y} 465 : 547 m		base roches argileuses (ep 10 m). partie moyenne : calcaires gris blanc à gris varvés à la base et oolitiques et pisolitiques purs au sommet. Les bancs passent progressivement de fins à massifs du bas en haut. sup formation argileuse (épaisseur pouvant dépasser 100 m.).
		Daye T _{1dy} 483 : 544 m		
		P ₂ Emeishan P _{2β} 0 : 342 m		Roches clastiques et basaltes.
		Maokou P _{1m} 224 : 687 m		Supérieur : partie sup. calcaires bioclastiques micritiques à microcristallins gris clairs à gris-blanc en bancs épais ; partie inf. calcaires à cherts ; base en lits de silice et de cherts. Inférieur : calcaires bioclastiques à cherts (faible quantité) gris clair à foncé en bancs épais à massifs et calcaires dolomitiques léopard (métasomatique).
	Qixia P _{1q} 119 : 179 m		calcaires bioclastiques, cherts gris-foncé, bancs moyens à épais rayés de calcaires pélitiques; fins bancs de marnes et de roches argileuses dans la partie inférieure; parfois, épais bancs de calcaires dolomitiques léopard (métasomatique) dans la partie supérieure.	
	Liangshan P _{1l} ^{W 70 : 260 m E 100 : 869}		grès, shale, argilite avec des bancs très fins de charbon.	
CARBONIFERE	C 0 : 440 m			
	CAMBRIEN	€		

Figure 11 : Echelle lithostratigraphique simplifiée de la zone de Zhijin (Guizhou).
Simplified stratigraphic column of Zhijin area (Guizhou).

terrains et aériens se développent principalement près de l'axe des synclinaux dans les formations du Trias inférieur (T_{1yn}). Dans le T_{1y} on trouve des bancs d'argilite de plusieurs dizaines de mètres d'épaisseur ; ce niveau imperméable contrôle les

systèmes karstiques situés au-dessus et au-dessous. C'est le cas à Santang des réseaux de Santang et de Zhulingkeng et à Guanzhai de Daxiaocaokou (fig. 15) et de Dajidong Daxiaochilong. (SM)

numéro	nom	village	Z	dév.	dén.	ext.	géologie	rem.
Zh 86 36-37	DAXIAOCAOKOU Le grand et le petit gouffre	Guanzhai	1240 1260	2929	-235	2310	T1	
Zh 89 33	HEJIADONG Grotte de la famille He	Kalazhai	1720	494	10 -37	387	T1	à revoir
Zh 89 32	WANGTIANDONG	Dayakou	1820	156	-52	86	T1	
Zh 89 31	WUMINGKENG Puits sans nom	Kalazhai	1610	218	-113	163	T1	
Zh 89 23	LIANGCHAHE Rivière Liangcha	Gouyaoyan	1200	696	97	510	T1	
Zh 89 30	DADONG Grande grotte	Houchang	1640	346	-62	240	T1	à revoir
Zh 89 29	LUOCHU Perte de Luochu	Luochu	1480	1009	43 -33	410	T1	à revoir
Zh 89 28	ZHULINGKENG Gouffre du bosquet de bambou	Kalazhai	1670	861	-91	428	T1	
Zh 89 27	MAWOTODONG Grotte de la tête variolée	Mawotou	1600	3340	64 -94	2440	T1	à revoir
Zh 89 24	YIJIEHE Rivière Yijie	Xiaotuoluo	1200	422	-3	296	T1	
Zh 89 26	MALUODONG Grotte où le cheval tomba	Houchang	1680	55	-55		T1	
Zh 89 25	GANLAODONG Grotte où l'on ne prend pas l'eau	Houchang	1640	489	-12	371	T1	
Zh 86 47	SANTANGDONGQUN Réseau de Santang	Santang	1590	7205	-138	2100	T1	à revoir
Zh 89 22	SHUJING 27 Puits 27	Houchang	1650	27	-27		T1	
Zh 89 21	SHUJING 25 Puits 25	Houchang	1650	25	-25		T1	

Tableau 3 : Spéléométrie des cavités explorées dans le comté de Zhijin (Guizhou).
Cave data table, Zhijin county (Guizhou).

DESCRIPTION DES CAVITES

I. LES CAVITES DU SYNCLINAL DE GUANZHAI

Géologie : Ce superbe système se trouve sur le flanc sud du brachysynclinal (NE) de Guanzhai tout près de l'axe (fig. 10). Il se développe dans les formations du Trias inférieur. Les deux premières cavités décrites ci-dessous (Liangchahe, Yijiehe) se développent dans la partie supérieure de l'étage *Yelang* (T_1y). Il est représenté par de fins bancs gris-foncé de calcaire, de marne et par d'épais bancs d'argilite. Ces couches sont affectées d'un pendage de 19° selon une direction $N327^\circ$. La troisième cavité (Daxiaocaokou) se développe au sein des calcaires et des calcaires dolomitiques gris-sombre, en bancs moyens, de l'étage *Yongningzhen* (T_{1yn}^1). Le pendage est de 17° pour une direction $N325^\circ$.

Hydrogéologie : Daxiaocaokou est un regard sur la partie souterraine de la rivière Yijiehe. Celle-ci coule dans le sens du pendage des calcaires du Trias inférieur au SE du synclinal de Guanzhai, et elle réurgit dans la vallée de la rivière Liuchonghe (fig. 12). Nous avons étudié les eaux de la rivière Liangchahe, un affluent situé en rive droite qui vient des affleurements de Permien détritique (riche en charbon et en sulfure). Celui-ci recoupe les calcaires du Trias et coule à travers une grotte-tunnel de 800 m présentant un effondrement intermédiaire (fig. 13) avant de rejoindre la rivière Yijiehe.

En amont de la station électrique de Ximatang, le cours est principalement aérien, à l'exception de la grotte-tunnel citée et d'une autre portion souterraine qui se termine sur un siphon aval (fig. 14). En aval de la station, mis à part les deux grands regards de Daxiaocaokou, il est essentiellement souterrain.

Le petit cours supérieur de la Liangchahe, qui coule sur le Permien supérieur détritique, contient pas mal de fer et de

sulfate. Plus en aval, cette eau se mélange avec des quantités beaucoup plus importantes d'eaux provenant du karst et son faciès devient de plus en plus "karstique", avec peu de sulfate (< 50 ppm), de chlorure (< 5 ppm) et de sodium (< 3 ppm). Comme la rivière coule surtout au jour et dans de grandes grottes bien aérées, ses eaux sont en équilibre chimique, sans CO_2 agressif avec des teneurs en calcium comprises entre 48 et 61 ppm (légèrement croissantes vers l'aval) et un pH variant de 7,9 à 8,3. La composition des deux grandes rivières principales (Yimaihe et Liuchonghe) et celle de la plupart des petites sources karstiques sont presque les mêmes, à l'exception d'une petite source incrustante située en amont de la grotte-tunnel et dont le faciès rappelle les eaux du Permien supérieur.

Dans ces zones, les gradients hydrauliques sont élevés. De l'amont vers l'aval nous avons noté les valeurs suivantes : 13,9 % dans la partie souterraine de la Liangchahe, 0,7 % dans le premier parcours souterrain de la Yijiehe et 6,5 % de Daxiaocaokou à la résurgence. (BCo., JY, ZS)

A. LIANGCHAHE

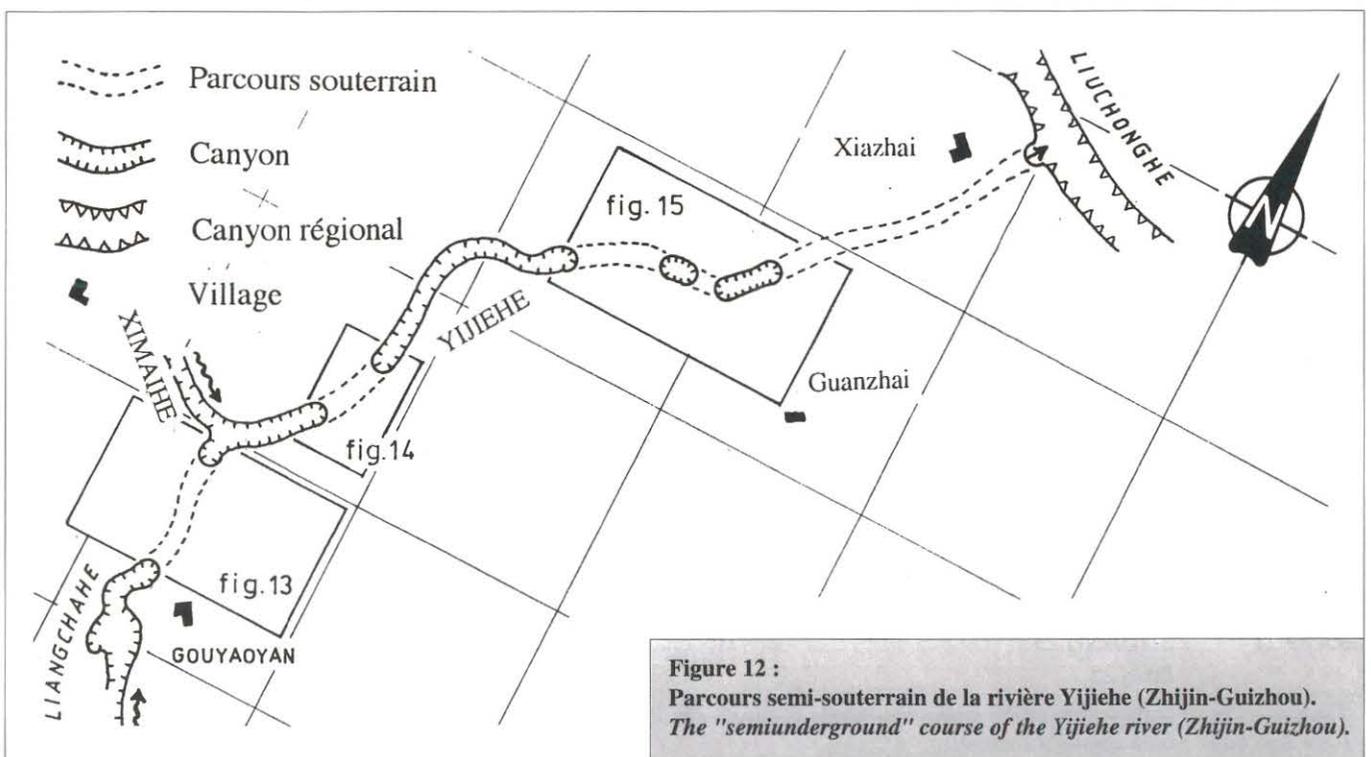
Rivière Liangcha (fig. 13)

Zhijin n° 89/23

Z = 1200 m Dév. = 696 m Dén. = + 97 m

Situation : Cette perte haute de 50 m et large de 15 m se situe à 7 km au SW de Guanzhai à côté du petit village de Gouyaoyan. Il s'agit de la première grotte-tunnel du parcours semi-souterrain (canyon à éclipses) de la Liangchahe-Yijiehe (fig. 12).

Description : Cette cavité de 696 m de développement est coupée par une doline d'effondrement de 180 m de long qui partage la grotte-tunnel en une partie aval de 120 m et une partie amont de 396 m. La cavité, y compris dans la doline, est toujours en forme de canyon, voire de méandre. Le débit de la rivière est de 200 à 300 l/s le 28/10/89, mais la forte pente et



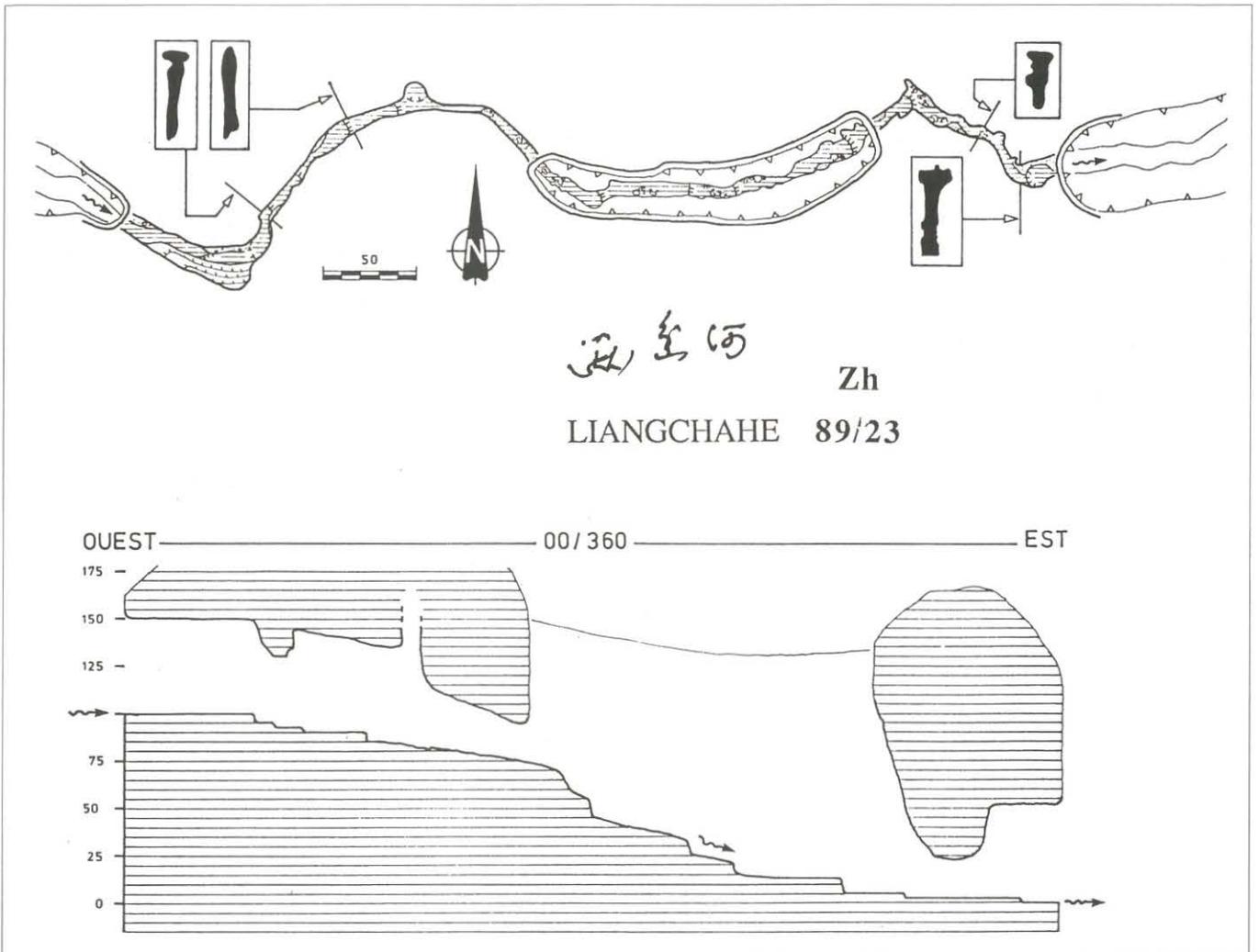


Figure 13 : Plan et coupe de la grotte-tunnel de la rivière Liangchahe (Zhijin, Guizhou).
 Tunnel cave of Liangchahe river (Zhijin, Guizhou), plan and profile.



Photo 6 :

Dacaokou, dernier regard sur la rivière Yijiehe (Zhijin-Guizhou).

Dacaokou last "window-cave" on Yijiehe river (Zhijin-Guizhou).

la succession de cascades et de marmites de 1 à 5 m de haut rendent la cavité vivante et technique. Bien que l'eau soit peu propre, les parois sont lisses et nettoyyées de toutes traces d'argile. Dans la doline, on remarque des concrétions pariétales de belles dimensions (anciennes concrétions de la grotte effondrée ou coulées externes de canyon). A 30 m de haut, dans le porche supérieur, on observe les restes d'un ancien habitat-refuge accessible seulement par des échelles en bambou. (SF)

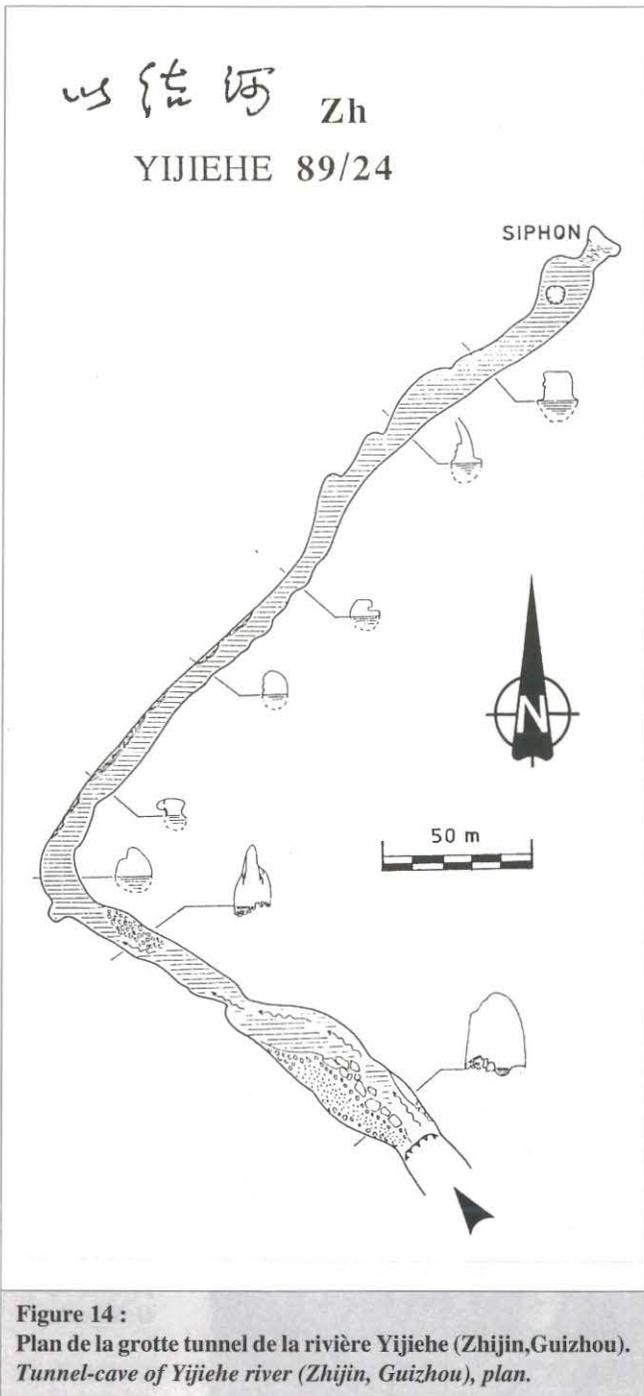


Figure 14 :
Plan de la grotte tunnel de la rivière Yijiehe (Zhijin, Guizhou).
Tunnel-cave of Yijiehe river (Zhijin, Guizhou), plan.

B. YIJIEHE

Rivière Yijie (fig. 14)

Zhijin n° 89/24

Dév. = 422 m Dén. = - 3 m

Situation : Cette grotte-perte se situe près du village de Xiaotuluo, à 5 km au SE de Guanzhai, immédiatement en aval de la confluence des rivières Liangchahe et Yimaihe (fig. 12).

Description : La rivière se perd avec force et cascades sous un porche impressionnant (20 m x 25 m). Mais les cascades font rapidement place à un lac d'eau calme de 400 m de long (dur le palmage). Les sections sont toujours larges (5 m x 8 m) jusqu'à ce que le plafond s'abaisse brusquement au ras de l'eau, pour former un siphon où flottent les débris charriés par les crues. Ce siphon imprévu se trouve probablement à faible distance de la résurgence car la carte topographique n'indique pas plus de 500 m de traversée au total. Les parois sont sombres et pauvres en concrétions comme c'est souvent le cas des rivières souterraines où les crues sont violentes ; cela donne à l'ensemble de la cavité un aspect un peu sinistre même si la progression dans le lac est facile et agréable. Des coulées stalagmitiques sombres forment le seul concrétionnement important. Une cheminée au-dessus du siphon et quelques petits écoulements au plafond sont les seuls indices de communications avec la surface du plateau. (BCo.)

C. DAXIAOCAOKOU

Le grand et le petit gouffre (fig. 15)

Zhijin n° 86/36-37

Z = 1240 m et 1260 m Dév. = 2929 m Dén. = - 235 m

Situation : Ils sont situés à 26 km au NE de Zhijin et à 1 km au NW du village de Guanzhai (fig. 12). Cet ensemble de grottes-tunnels avec dolines d'effondrement forme la partie aval de la rivière Yijiehe.

Description : C'est sous un porche de 120 m de haut que disparaît la rivière Yijiehe. Après 300 m d'un parcours fait de lacs et de rapides, elle réapparaît au jour à la base de Xiaocaokou, le "petit gouffre". Comme taillé à l'emporte pièce, ce puits de 200 m de diamètre et de 200 m de haut forme le premier regard sur le réseau. La rivière se fraie un chemin entre de gros blocs d'effondrement, puis passe sous une arche gigantesque de plus de 120 m de haut, 90 m de large et 100 m de long.

Elle réapparaît au jour dans l'un des plus grands vides karstiques de la planète, Daxiaokou ou le "grand gouffre" : 900 m de long, 200 m de large et une hauteur de 150 m à plus de 300 m. La rivière chemine à travers les blocs cyclopéens de l'éboulis qui remonte très haut contre les parois. Ce canyon aveugle provient de l'effondrement d'une partie de la grotte-tunnel. Le torrent disparaît une dernière fois sous un porche en encorbellement haut de 150 m, celui-ci s'ouvrant au profit d'une faille dont le remarquable miroir domine la rive gauche pendant plus de 50 m. A partir de ce point la pente s'accroît fortement, les rapides se succèdent et la largeur de la galerie se rétrécit. La rivière s'écoule d'abord vers le NE, puis vers l'E avant de bifurquer définitivement vers le N jusqu'à un siphon qui marque la fin de la cavité à 2700 m de l'entrée amont.

En 1989 nous poursuivons l'exploration au-delà du terminus de 1986 et topographions 364 m supplémentaires. Le débit ayant légèrement baissé (4 m³/s), nous progressons en paroi au ras du torrent jusqu'à une large vire. Ensuite la progression devient très technique car il faut faire une série de petits pendules et d'escalades pour échapper à l'eau. Malheureusement, un siphon turbulent met un terme à l'exploration de cette rivière sauvage. La beauté du site et l'ambiance particulière font de Daxiaocaokou une des plus belles rivières souterraines qu'il nous ait été donné de voir. (JPB, JB)

Impressions...

Objectif aujourd'hui : Déséquipement et photo de la rivière de Daxiaocaokou.

Un paysage grandiose s'ouvre à nos yeux, on peut déjà imaginer la beauté de la cavité. Il faut d'abord descendre un petit sentier escarpé avec un bon dénivelé, nous croisons une paysanne avec son chargement impressionnant de maïs. Elle est superbe dans son costume traditionnel et son regard en dit long sur l'étrangeté de nos visages. Serge en profite pour filmer notre petite colonne et nous fera faire plusieurs aller retour, comme toujours dans ces cas là les grognements et plaisanteries sur le cinéma vont bon train.

Attention, l'herbe mouillée devient glissante, mince j'ai encore glissé et sur le côté il y a un bon vide ! Pour finir cette approche, une petite vire nous attend avec un précipice direct sur la rivière et les copains sympas n'ont pas mis de corde ! Première émotion forte de la journée, j'ai les jambes qui tremblent, je me sens inexorablement attirée par le vide. Ouf, le plus dur est passé, mais j'arrive le moral quelque peu "ébranlé" devant le magnifique porche. Malgré les dires des copains, je ne pensais pas que ce puisse être aussi beau, quel régal. Le porche de Bournillon dans le Vercors me semble bien petit dans ma mémoire ! Bon, il faut s'équiper en grignotant quelques cakes... et nous voilà partis pour suivre les remous de cette rivière enchantée.

La progression se fait la plupart du temps sur cordes posées en mains courantes... Il faut tirer sur les bras et j'ai encore l'occasion de constater que les miens ne sont pas aussi musclés que les gaillards qui crapahutent à l'avant ! Pendant que je grognasse sur mon pauvre sort de petit bout de femme spéléo, j'avance, j'avance... Et soudain, à nouveau, c'est le vide ! Un beau passage aérien au-dessus de l'eau qui s'écrase

en gerbes blanches sur ces parois noires. Bon je suis bien assurée sur mes longues, mais mes bras et mes jambes refusent d'avancer ou ne serait-ce pas plutôt ma "tête" qui me joue un tour ? Mon souffle s'écourté, il me semble entendre mon coeur cogner. Inspirer, expirer, ça y est le pas est fait, je me retrouve à cheval sur ce gros bloc surplombant les rapides. Au retour, je ne m'apercevrais même pas de ce passage !! Le retour parlons-en, il faudra tenir les flashes pour photographier les belles enfilades. Encore un dernier passage en force à la remontée, je reste plantée sur la corde, le kit pèse lourd et je ne peux soulever mon poids plus celui du sac ; heureusement Bozzo me pousse pour me sortir de ce mauvais pas. J'espère que les photos seront belles car on se gèle à présent. Les flashes crépitent à droite, à gauche, la galerie une fraction de seconde est toute illuminée, splendide ! Dire que cette image est immortalisée sur papier, ça vaut de l'or. Enfin nous ressortons, transis mais heureux, c'est déjà la tombée de la nuit. Il faut encore repasser cette maudite vire, y'aurait vraiment fallu une corde ! Les sacs sont lourds, surtout pour certains qui en portent deux.

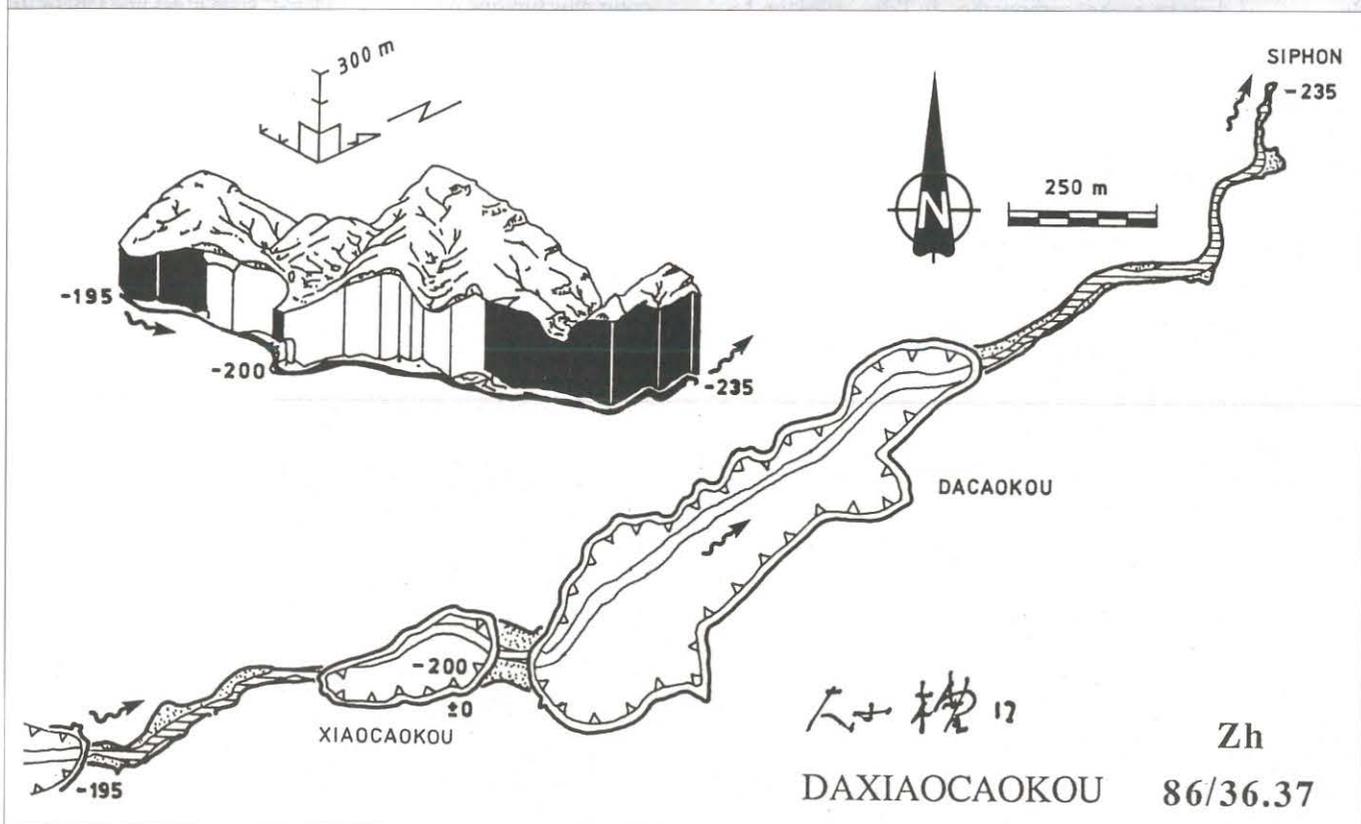
Nous prenons notre rythme, lentement nous gravissons la pente. Au loin dans le noir des petites lumières brillent, sûrement l'équipe des "professeurs" qui vient à notre rencontre.

Malgré la fatigue, je me sens "une frite d'enfer" ; il me semble que je pourrais marcher des heures durant dans cette campagne chinoise... Je ressasse toutes les beautés que nous avons déjà vues en 10 jours de voyage.

Bien au chaud dans le mini-bus, je m'assoupis en rêvant déjà à demain, assoiffée de rencontres et de découvertes au détour des chemins... (BC)

Figure 15 : Plan et coupe des gouffres Daxiaocaokou (Zhijin, Guizhou).

Daxiaocaokou shafts (Zhijin, Guizhou), plan and profile.



II. LES CAVITES DU SYSTEME DE SANTANG

En 1989 nous avons principalement travaillé dans la zone centrale du synclinal où la plupart des cavités explorées appartiennent à l'important système de Santang drainé par l'émergence de Luochu. Le réseau est maintenant matérialisé par 3 cavités majeures, Santangdongqun (7,2 km), Mawotoudong (3,3 km) et la perte de Luochu (1km), qui s'échelonnent de l'amont vers l'aval entre les villages de Santang et de Luochu (fig.16). Deux kilomètres à vol d'oiseau séparent encore l'extrême aval du réseau de Santang et la grotte de Mawotou, de là encore 2 km pour atteindre la résurgence. Il reste donc beaucoup de travail dans la partie centrale du synclinal, mais aussi dans tout son vaste flanc nord dont le rebord culmine à plus de 2100 m d'altitude.

Une meilleure connaissance de ce réseau complexe permettrait peut-être d'apporter des solutions au problème des inondations que connaît annuellement l'amont du synclinal et notamment près du ponor de Guanhu Luoshuidong. Ceci revêt une grande importance dans cette zone difficile d'accès, pauvre et très peuplée. Malheureusement toutes les conditions ne sont pas réunies pour pouvoir bénéficier d'un rendement maximum. Outre les réseaux relativement difficiles d'exploration à cause de la boue omniprésente, les trois heures de bus quotidiennes pour faire l'aller retour à Zhijin sont éprouvantes et parfois fort stressantes. Maintenant au stade où en sont les explorations, il sera impératif de stationner dans le village de Santang au cœur même de ce fabuleux synclinal, pour pouvoir poursuivre notre travail. (JPB)

Hydrogéologie : Le synclinal de Santang est dissymétrique. Son plan axial est légèrement incliné vers le SW. Le cours principal de la rivière de Santang est souterrain, le long de l'axe du synclinal, dans les roches carbonatées du Trias inférieur. La partie amont du cours d'eau traverse les séries du Permien

supérieur, roches détritiques riches en charbon et en sulfures. Les affluents coulent sur les deux flancs du synclinal (les plus importants se situant du côté NW). Il s'agit de cours d'eau superficiels et hypogés (fig. 10, 16).

Les mesures de débit à la résurgence de l'ensemble du système (Zhoujiazhai) varient de 0,55 à 6,64 m³/s. La superficie du bassin d'alimentation est d'environ 150 km² et le débit moyen annuel est estimé à 4 m³/s. Cela correspond à un module spécifique annuel de 27 l/s/km² et à une lame d'eau infiltrée de 840 mm soit environ 60% des précipitations. Une petite station hydroélectrique turbine ce débit, capté par un petit barrage situé immédiatement en amont de la perte de Luochu. Un magnifique canal maçonné conduit l'eau à travers une partie de la grotte, avant qu'elle ne s'engouffre dans une conduite forcée.

Dans le cours amont, l'eau qui coule à proximité immédiate des mines de charbon et de leurs crassiers est assez extraordinaire. Son pH varie entre 2,8 et 3,3 (c'est celui du vinaigre !). Elle contient de très grandes quantités de sulfate (jusqu'à 900 ppm), de fer (jusqu'à 164 ppm) et de manganèse (jusqu'à 7 ppm). Ces eaux acides semblent totalement azoïques. Les hydroxydes et les carbonates de fer et de manganèse précipitent tout au long du lit de la rivière, au fur et à mesure que les eaux se neutralisent en attaquant la roche encaissante. Cela donne des dépôts de forte couleur rousse. Ce type de pollution augmente depuis quelques années, car le gouvernement a autorisé les villageois à ouvrir de nouvelles petites mines dans toutes les vallées de cette région. On peut donc nourrir quelques craintes quant à la conservation des écosystèmes de ces cours d'eau.

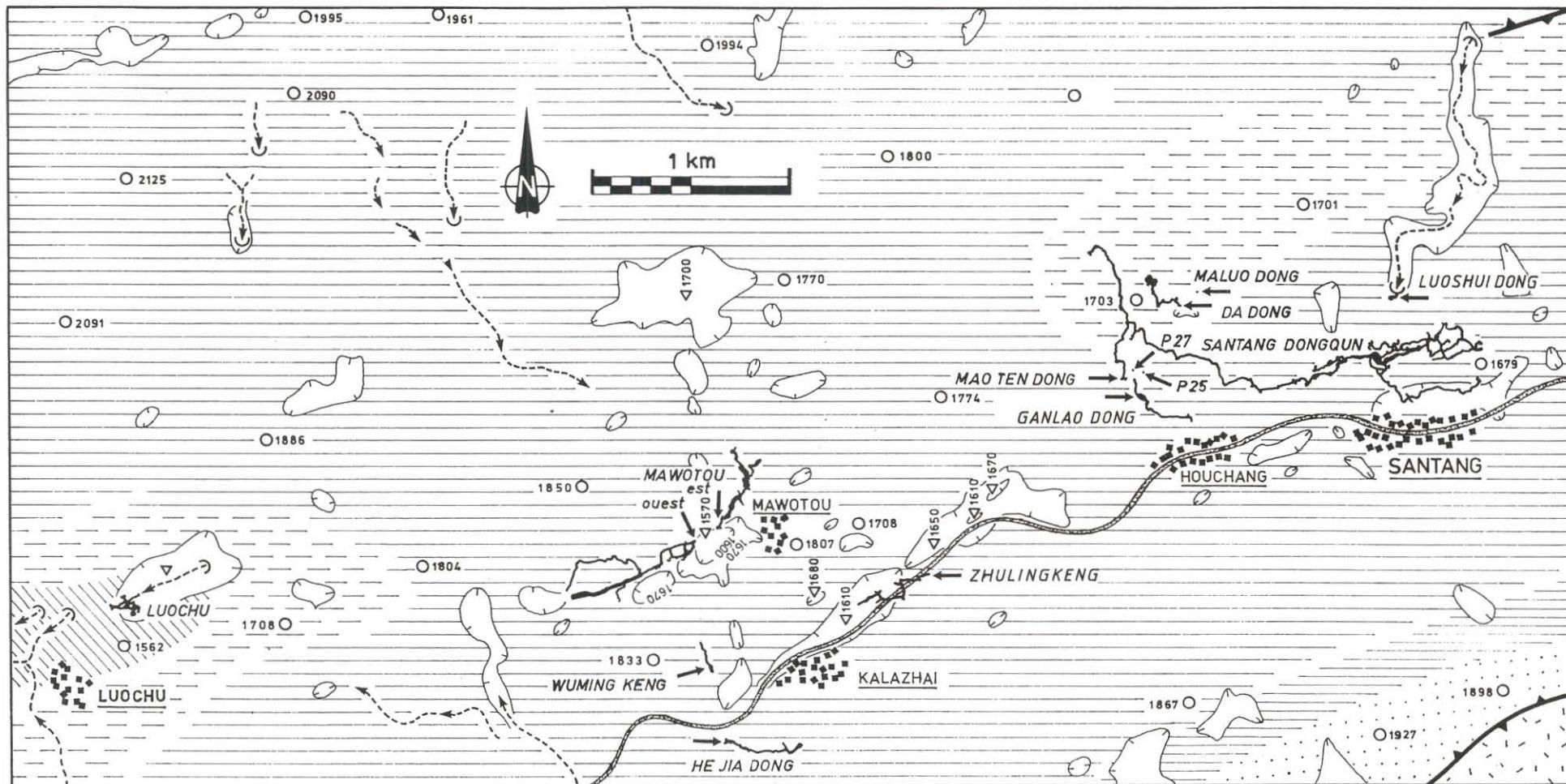
Plus en aval, quand l'écoulement atteint les affleurements triasiques, la composition chimique évolue très rapidement, l'eau perdant l'essentiel de son agressivité en moins de 1 km. Ceci résulte à la fois du mélange des eaux avec des écoulements karstiques et de leur neutralisation par le substrat rocheux calcaire. Le faciès chimique de l'eau devient alors beaucoup plus typique de celui d'un karst, si ce n'est une teneur un peu forte en sulfate et en fer. (BCo., JY)



Photo 7 :

La vallée aveugle de Wangjiachong juste avant la perte de Luochu (synclinal de Santang Zhijin-Guizhou). (cf. fig. 16)

Wangjiachong blind valley just before Luochu sinkhole (Santang syncline, Zhijin Guizhou). (see fig. 16)



	T ₂		Grotte	<u>LUOCHU</u>	Village
	T _{1yn} ²		Faïlle	<u>DA DONG</u>	Nom de cavité
	T _{1yn} ¹		Route	→	Entrée
	T _{1dy}		Rivière	2345 ○	Altitude des sommets
	P ₂		Emergence		Altitude des dépressions
	P _{2β}		Perte		

Figure 16 :
Contexte géologique du synclinal de Santang et situation des cavités (Zhijin-Guizhou). Légendes géologiques cf. fig. 11.
Geological context of Santang syncline and caves localization (Zhijin-Guizhou). Geological legends cf. fig. 11.

A. SANTANG DONGQUN

Réseau de Santang (fig. 17)

Zhijin n° 86/47

Z = 1590 m (Ponor) Dév. = 7205 m Dén. = - 138 m

Situation : Il est situé à 33 km au SW de Zhijin tout près du village de Santang.

Historique : En 1977, cette cavité a été explorée et mesurée sur 3 km par la deuxième équipe du bureau d'ingénieurs géologues et hydrogéologues du Guizhou. En 1986, nous topographions le réseau sur 6137 m. En 1989, nous explorons 1068 m de plus et découvrons une nouvelle entrée à l'aval du réseau.

Géologie : Le réseau se développe dans les formations calcaires du Trias inférieur (étage Yongninzhen), tout près de l'axe du grand synclinal.

Description : Onze entrées connues permettent d'accéder à ce réseau labyrinthique qui se développe tout près de l'axe du synclinal. Il s'étage sur quatre niveaux distincts.

Le niveau supérieur se compose de belles galeries où se trouvent les seuls concrétionnements importants de la cavité. Il est aussi représenté par des cavités aujourd'hui déconnectées du réseau (Ganlaodong : fig.16,17,19).

Le niveau intermédiaire semi-fossile, très austère, est celui que nous suivons le plus souvent lors des explorations. Il s'agit de conduits boueux, humides, de section rectangulaire et de taille régulière où les remplissages occupent parfois jusqu'aux trois quarts des conduits. Cet étage est caractérisé par les énormes suçoirs de boue (entonnoirs de soutirage) qui coupent les galeries en deux et rendent la progression difficile ; et par son profil en "montagnes russes".

Le niveau inférieur est une zone semi-noyée, les deux galeries que nous avons explorées se terminent sur siphons, le

plus bas à la cote - 138 m. Il est peu probable que nous puissions atteindre et surtout explorer le collecteur formant le dernier niveau qui doit probablement être ennoyé dans cette partie du synclinal. La seule circulation d'eau que nous avons rencontrée se trouve dans le ponor (Luoshuidong) de Guanho qui absorbe les 1 à 2 m³/s d'une rivière importante drainant une partie du flanc nord du synclinal. Celui-ci n'est pas relié au réseau si ce n'est par une galerie ayant perdu son plafond et qui vient se raccorder à l'effondrement central.

La partie amont organisée autour de l'effondrement central (point 7, fig.17) est labyrinthique et possède de nombreuses entrées ; l'axe des galeries s'oriente NE-SW.

A partir des entrées de Huazidong et Yunpandong (points 9 et 10, fig. 17), le réseau se développe plus simplement en remontant vers le NW sur plus d'un kilomètre jusqu'à un croisement avec une galerie venant du sud. Celle-ci mène à l'entrée la plus aval et paradoxalement la plus haute du système, le puits de Maotendong (point 11, fig. 17). Après ce croisement où de nombreux points d'interrogation demeurent, le réseau s'oriente plein nord sur environ 500 m puis s'infléchit à nouveau vers le SW. Nous nous sommes arrêtés là sur rien ! (JPB)

Les entrées du système de Santang.

- | | | |
|-----|------------------|---------------------------------|
| 1) | | Entrée (-24). |
| 2) | SHIZIDONG | Grotte du lion. |
| 3) | | Regard 1 (-2). |
| 4) | DANIUDONG (-1) | Grotte du grand bœuf. |
| 5) | XIAONIUDONG (0) | Grotte du petit bœuf. |
| 6) | MAOMAODONG (-9) | Grotte du chat. |
| 7) | DAHEIDONG (-36) | Grande grotte sombre. |
| 8) | | Regard 2 |
| 9) | HUAZIDONG (-8) | Grotte du mendiant. |
| 10) | YUNPANDONG (-11) | Grotte de l'assiette festonnée. |
| 11) | MAOTENDONG (+26) | Grotte du maoten |

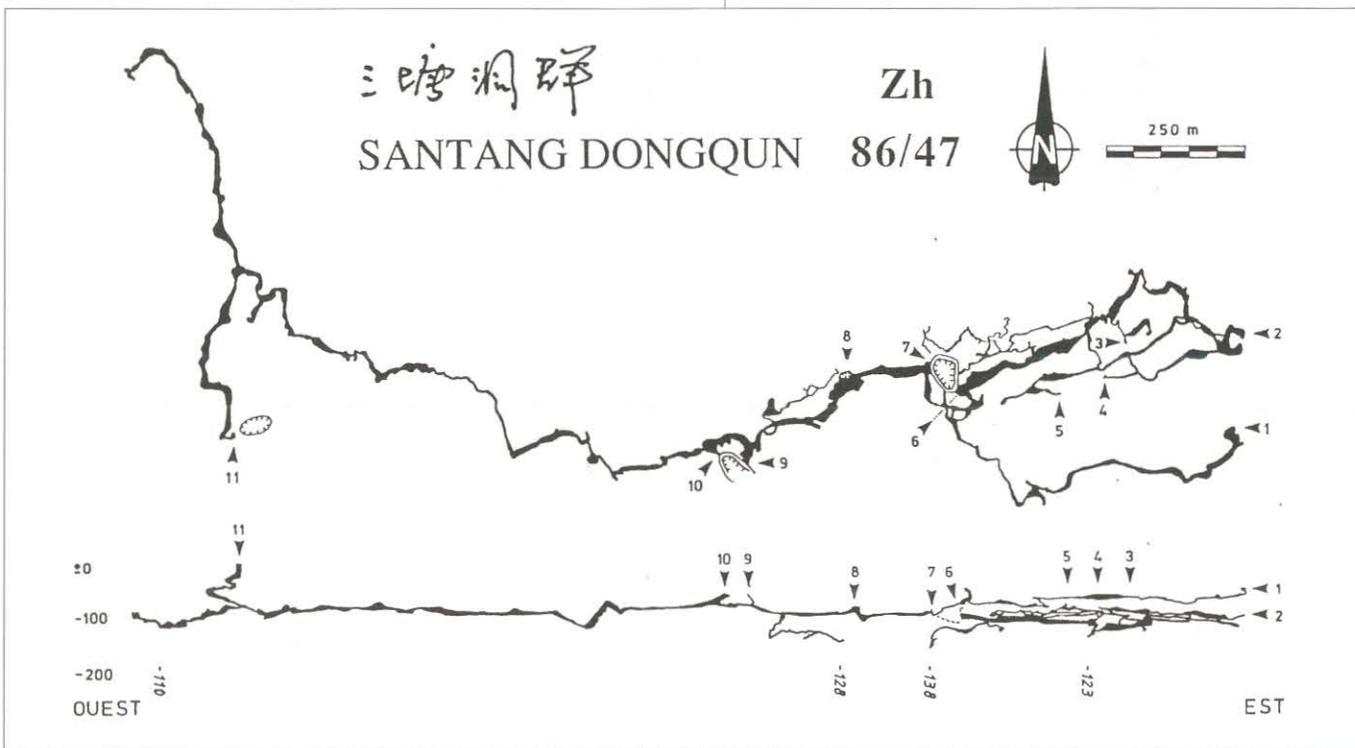


Figure 17 : Plan et coupe du réseau de Santang (Zhijin, Guizhou).
Santang system (Zhijin, Guizhou), plan and profile.

Géologie des cavités de la zone de Houchang : Cette zone dépend du système de Santang et se situe sur le flanc nord du synclinal tout près de l'axe. Elle est occupée par les formations du Trias inférieur (étage Yongningzhen T_1yn^1) ; il s'agit de calcaires dolomitiques sparitiques gris foncé en bancs épais et de calcaires en bancs fins à moyens. Le pendage est de 19° avec une direction $N173^\circ$. Nous avons exploré les cinq cavités décrites ci-après et trouvé la onzième entrée du réseau de Santang (Maotendong) (fig. 16). (ZS, JPB)

B. DADONG

Grande grotte (fig. 18)

Zhijin n° 89/30

Z = 1640 m Dév. = 346 m Dén. = - 62 m

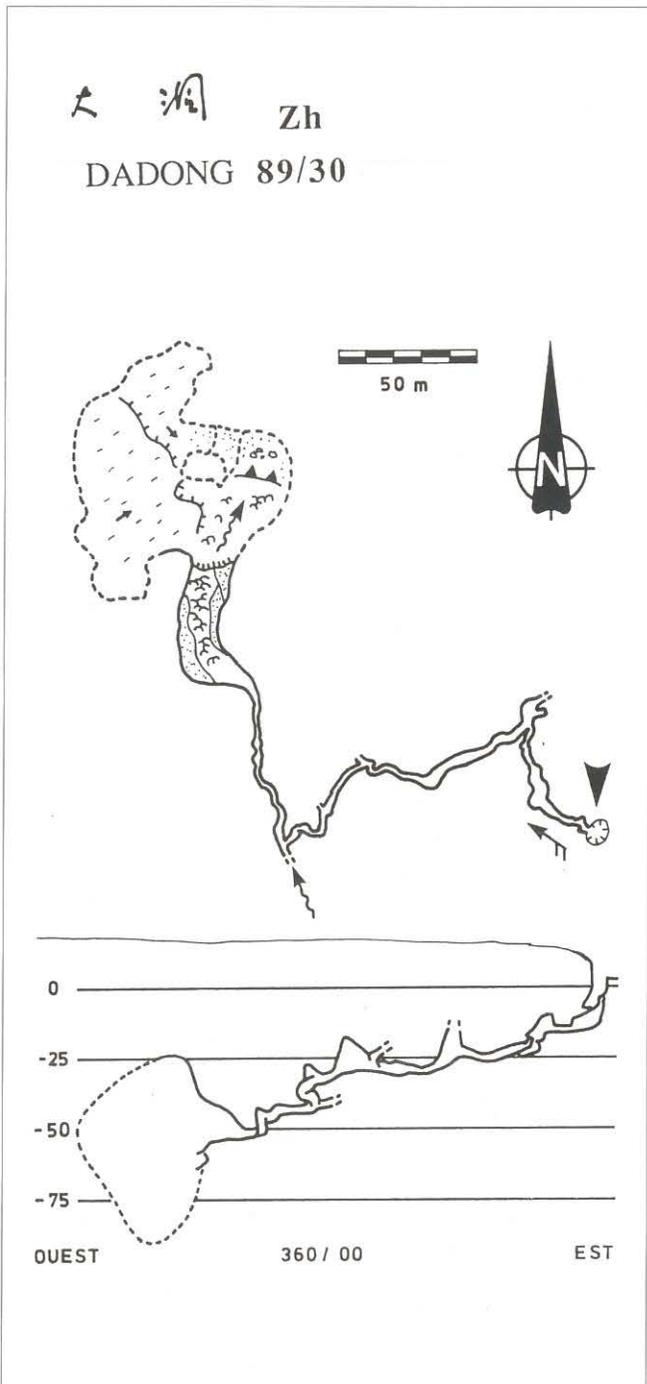


Figure 18 :
Plan et coupe de la grotte de Dadong (Zhijin, Guizhou).
Dadong cave (Zhijin, Guizhou), plan and profile.

Situation : Elle se situe 700 m au nord du village de Houchang, près d'un petit hameau, et s'ouvre sur le flanc nord d'une dépression.

Description : La grotte débute par un petit puits que l'on court-circuite par un passage latéral. A sa base, une galerie basse avec un fort courant d'air aspirant mène à un méandre orné de nombreuses stalagmites. Celui-ci est parcouru par un petit filet d'eau ; de nombreuses coulées stalagmitiques reprises par l'érosion et les remplissages suspendus (ponts) témoignent de l'actuelle période de surcreusement. A 50 m de l'entrée, nous laissons sur la gauche un puits remontant et une galerie qui sont peut-être à l'origine du courant d'air.

A partir de ce point, la cavité continue par une conduite forcée surcreusée de 3 m de diamètre. Nous laissons un puits sur la gauche car la galerie continue de façon évidente en descendant sensiblement. Nous laissons aussi une galerie amont, et 80 m plus loin, nous arrivons sur une petite descente qui mène à un puits méandrique de 8 m. En bas, on recoupe une nouvelle galerie. A l'amont, au bout de quelques mètres, la voûte s'abaisse jusqu'à 30 cm de haut, passage qui doit siphonner rapidement. A l'aval, une petite rivière... Après deux étroitures humides, la galerie s'élargit ; nous progressons dans l'eau jusqu'à un petit lac que l'on franchit en vire. Il est suivi d'un ressaut de 4 m.

En bas la galerie devient plus imposante, le lit de la rivière s'élargit et nos voix résonnent : nous arrivons au pied d'une belle coulée qui se révèle être le sommet d'un immense suçoir. Nous descendons de 30 m assurés par une corde ; au fond l'eau s'infiltré entre les blocs et aucun passage n'est en vue. Un pont rocheux permet d'atteindre l'autre côté du suçoir où la salle se poursuit ; nous remontons de 40 m environ : là aussi aucun départ. Nous persévérons et équipons en vire. La traversée se fait sur une pente boueuse très inclinée et impressionnante ; nous progressons d'environ 25 m, malheureusement la boue rejoint la paroi surplombante. La suite doit être au plafond ou dans le fond du suçoir, à désobstruer ! Ce sera pour une autre fois... (JLM, JPB, FB)

C. GANLAODONG

Grotte où l'on ne prend pas d'eau (fig. 19)

Zhijin n° 89/25

Z = 1640 m Dév. = 489 m Dén. = - 12 m

Situation : Elle se situe à 450 m au NW du village de Houchang au lieu-dit Guojiamawo (fig. 16).

Description : La grotte s'ouvre dans une zone d'effondrement formée par une dépression centrale orientée E-W (150 m x 30 m x 30 m) autour de laquelle s'ouvrent de nombreux puits et dépressions satellites. Cette cavité est constituée par une large galerie fossile (10 m x 15 m) se développant NW-SE juste sous la surface du plateau. On y accède à la faveur d'une doline d'effondrement qui a coupé la galerie en deux tronçons. Celle-ci est percée en deux endroits par des puits rejoignant la surface. Le sol est argileux et les parois chargées de grosses coulées stalagmitiques effondrées ; on trouve aussi de nombreuses pisolites.

Dans la zone d'entrée se trouvent de nombreux ossements humains ainsi que deux cercueils éventrés qui auraient environ deux cents ans d'après les habitants. La fin de la galerie

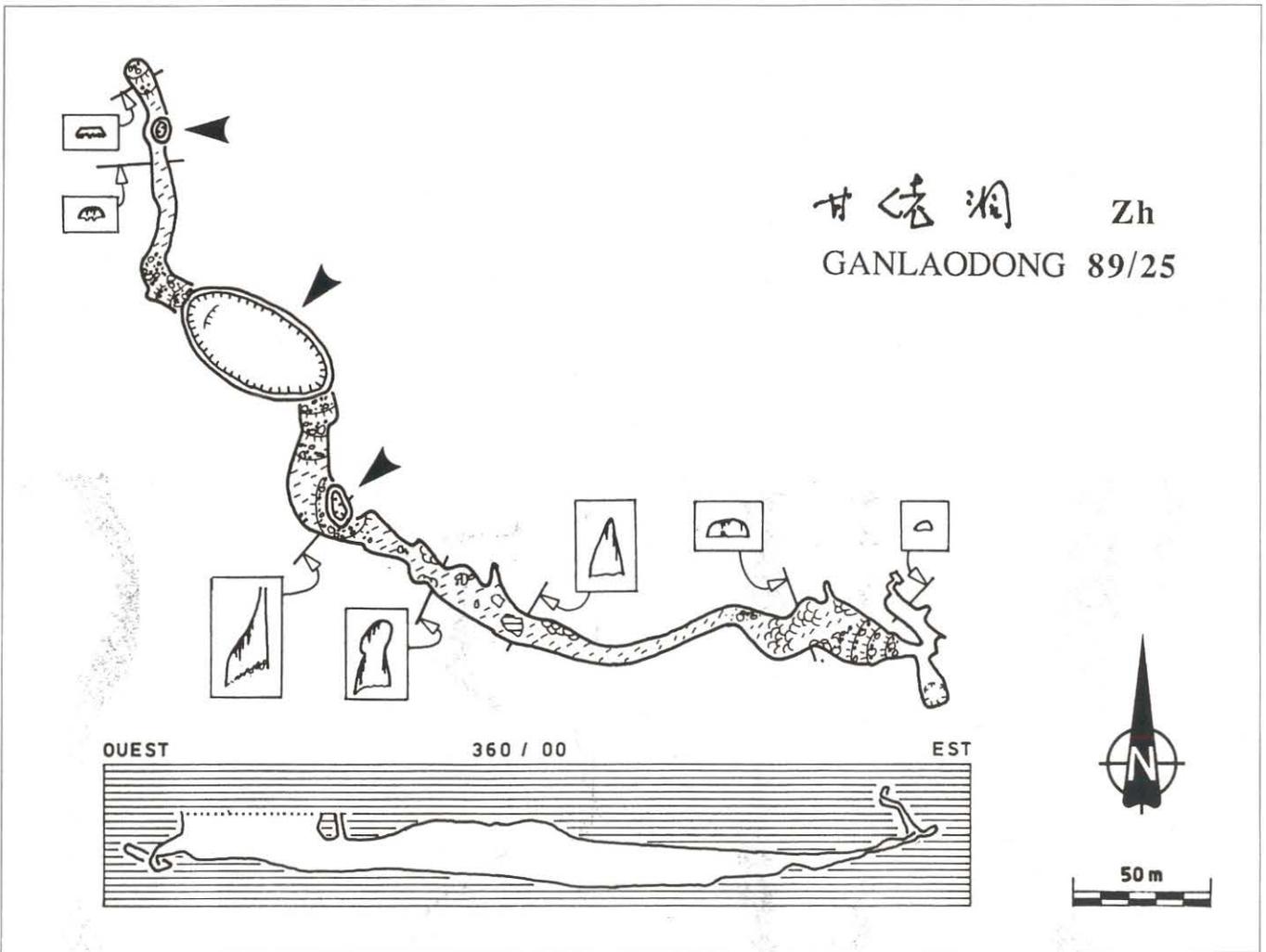


Figure 19 :
Plan et coupe de la grotte de Ganlaodong (Zhijin, Guizhou).
Ganlaodong cave (Zhijin, Guizhou), plan and profile.

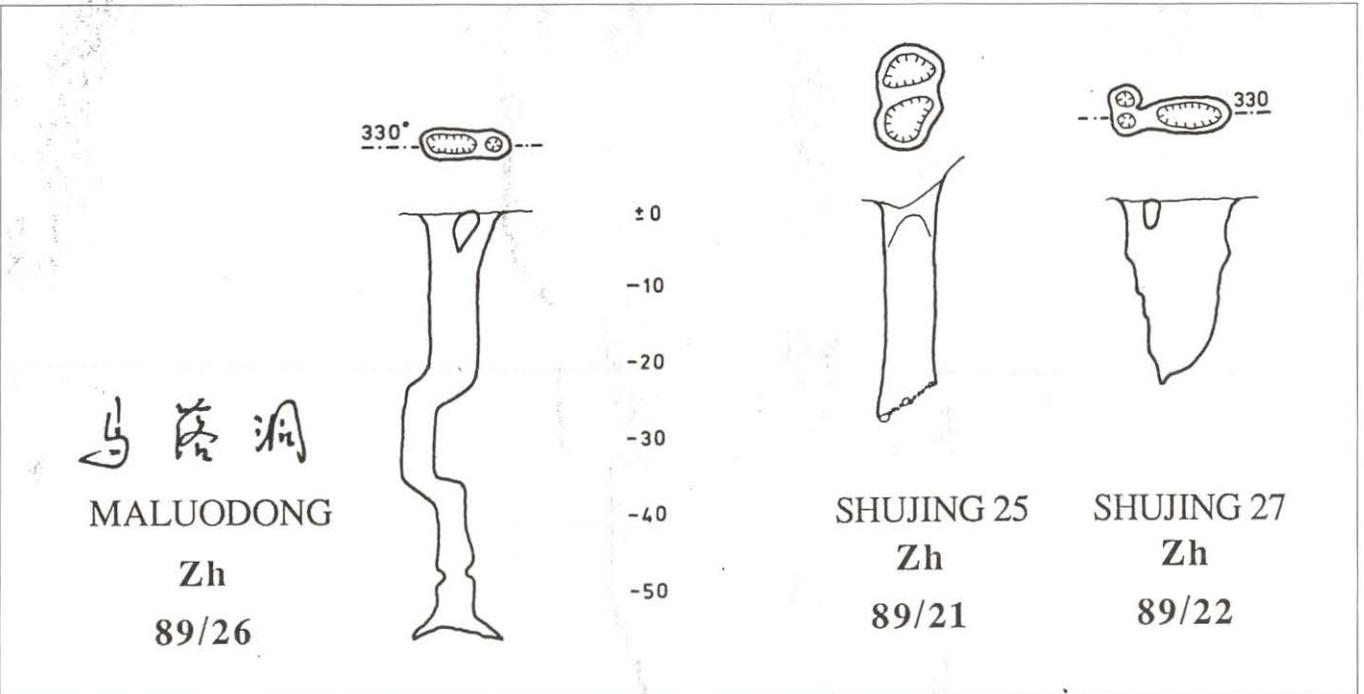


Figure 20 :
Plans et coupes des puits 25, 27, et du puits de Maluodong (Zhijin, Guizhou).
Plans and profiles of the 25, 27, and Maluodong shafts (Zhijin, Guizhou).

est entièrement aménagée par de remarquables fortifications, des escaliers et un véritable souterrain qui devait déboucher jadis à la surface ; ces constructions auraient servi d'abris pour se protéger des brigands. L'atmosphère est pauvre en CO₂ : 0,02 % à l'entrée et 0,025 % à l'intérieur. (JPB et BCo.)

D. SHUJING 25

Puits 25 (fig. 20)

Zhijin n° 89/21

Z = 1630 m Dév. = 25 m Dén. = - 25 m

Situation : La cavité est située 500 m au NW du village de Houchang au lieu-dit Guojiamawo, juste sur le bord E de la dépression centrale.

Description : Ce puits s'ouvre sur une fracture de direction N330°. Celle-ci devient impénétrable au bout de 25 m. (JPB)

E. SHUJING 27

Puits 27 (fig. 20)

Zhijin n° 89/22

Z = 1630 m Dév. = 27 m Dén. = - 27 m

Situation : Il se situe à 530 m au NW du village de Houchang au lieu-dit Guojiamawo, sur le bord N de la dépression centrale, à 30 m du Puits 25.

Description : Ce beau puits aux formes alpines s'ouvre par deux entrées circulaires envahies par une végétation abondante. Il est hélas colmaté par les éboulis à la cote - 27 m. (JPB)

F. MALUODONG

Grotte où le cheval tomba (fig. 20)

Zhijin n° 89/26

Z = 1670 m Dév. = 55 m Dén. = - 55 m

Situation : Cette cavité s'ouvre à 750 m au nord du village de Houchang.

Description : Il s'agit d'un puits unique se développant sur une fracture de direction N330°. L'entrée dédoublée est masquée presque totalement par une végétation abondante. Le fond colmaté ne laisse aucune possibilité de continuation. (JPB)

G. MAWOTODONG

Grotte de la tête variolée (fig. 21,22,23)

Zhijin n° 89/27

Z = 1600 m Dév. = 3340 m Dén. = + 64 m , - 94m

Situation : Les entrées se trouvent 350 m à l'ouest du village de Mawotou au fond d'une vaste doline d'effondrement profonde de 140 m.

Géologie : Situé sur le versant sud du synclinal, ce réseau se développe dans les calcaires gris en bancs fins à moyens du Trias inférieur (étage Yongningzhen T₁yn²). Le pendage est à cet endroit de 13° avec une direction N330°.

Description : Derrière le village de Mawotou se trouve une grande doline d'effondrement assymétrique. A l'ouest, le flanc correspond à une falaise de 200 m de haut tandis que l'autre côté forme un demi-entonnoir profond de 140 m. Le fond argileux donne une courte cavité fermée par un siphon. Dans la falaise, sont visibles, à 60 m de haut, une galerie à l'ouest (branche aval) et une galerie à l'est (branche amont).

Une trace de crue (dépôt argileux) est nettement visible sur la paroi à la hauteur des deux branches du réseau indiquant une remontée des eaux de 60 m.

◇ *La branche amont* (fig. 22) : Elle se compose d'une galerie à dominante horizontale avec à la fin un grand puits-suçoir. La galerie principale peut être divisée en deux parties : la partie proche de l'entrée est une large galerie affectée par de nombreux éboulements favorisés par le litage métrique de la roche et de multiples fractures. Le plancher est recouvert de sédiments sablo-limoneux en raison de la remontée des eaux de crue (deux galeries et un puits de 20 m restent à explorer).

La deuxième partie se fait à partir d'un point de soutirage, au niveau duquel des concrétions anciennes, brisées, se sont accumulées. La suite est encombrée de blocs de taille variable (1-3 m). En bas, une laisse de crue reste visible. Le conduit se prolonge par une galerie large d'une trentaine de mètres, en partie remplie de dépôts limono-argileux. Une descente mène au sommet d'un système de plusieurs puits de soutirage inclinés à 45°. Le principal d'entre eux est un impressionnant suçoir glaiseux de 75 m de profondeur. Il mène à un plan d'eau siphonnant, sans suite visible, situé à une altitude inférieure de 40 m à celle du fond de la doline d'effondrement. On est sans doute proche du collecteur.

La cavité se comporte dans son ensemble comme un trop-plein du système de Santang permettant d'évacuer jusqu'à la doline les surplus des crues ralenties par les zones basses du collecteur. Les traces de courant sont bien visibles : vagues d'érosion en paroi et rides de courant sur les remplissages. Parmi les possibilités de continuation, l'une d'entre elles se situe entre le suçoir de 75 m et la continuation de la galerie principale, mise en évidence par la topographie.

◇ *La branche aval* (fig. 23) : Elle s'ouvre par une entrée perchée dans la falaise de la grande doline. La galerie principale suit une grosse fracture qui impose une série d'escalades et de puits pour ressortir 600 m plus loin par un superbe porche (photo 8). Sur ce parcours on passe au-dessus de deux puits non descendus. A égale distance des deux entrées, dans une salle plate, une descente sur un talus boueux permet d'atteindre une petite rivière en conduite forcée longue de plus de 500 m. Nous nous sommes arrêtés dans l'aval par manque de temps à l'aplomb du porche de sortie ouest.

Dans l'entrée est, une galerie latérale conduit à un puits non descendu ; si on le traverse, on rejoint rapidement la galerie principale. (CM, RM, JB)



Figure 21 :
Coupe et plan du réseau de Mawotou
Cave system of Mawotou, plan & profile.

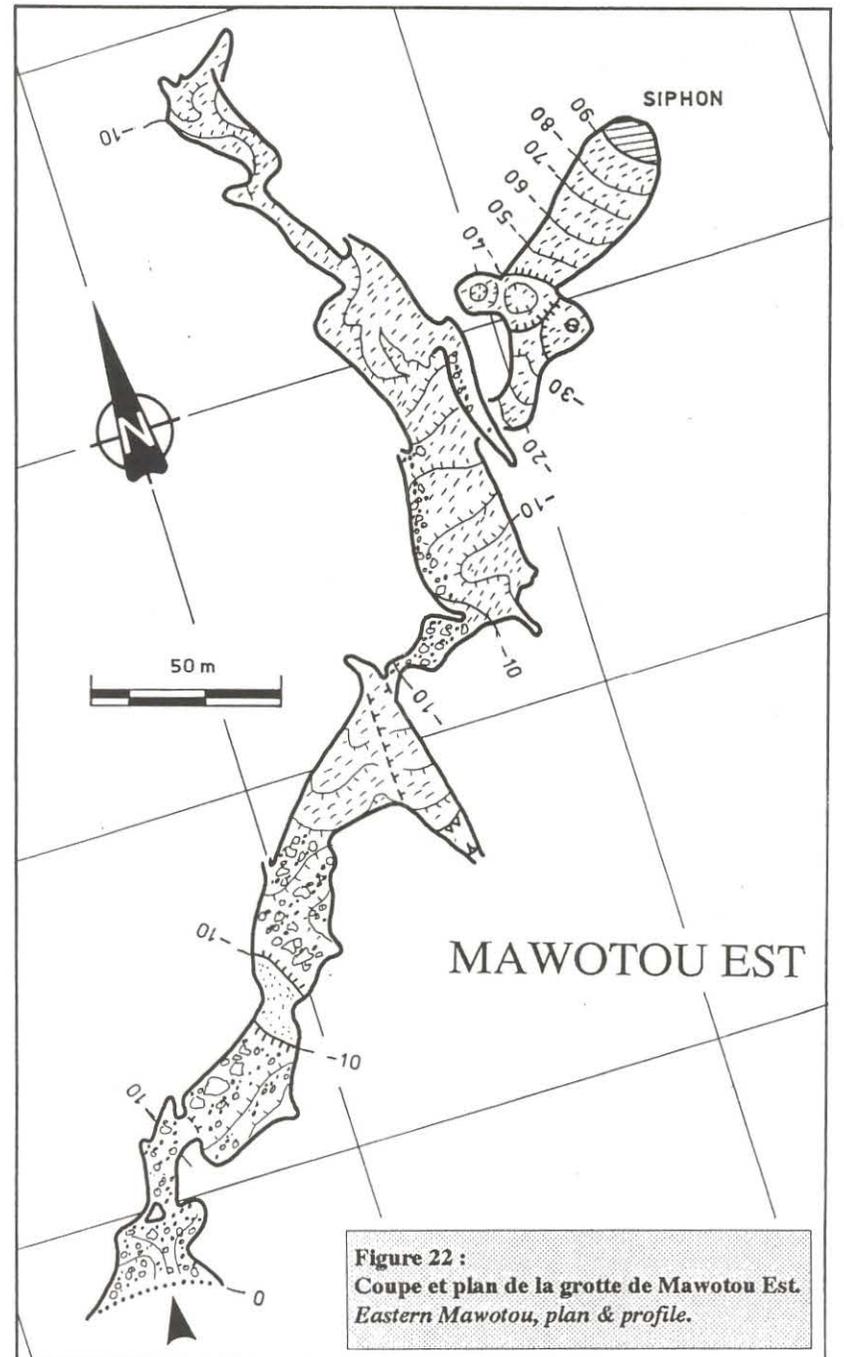
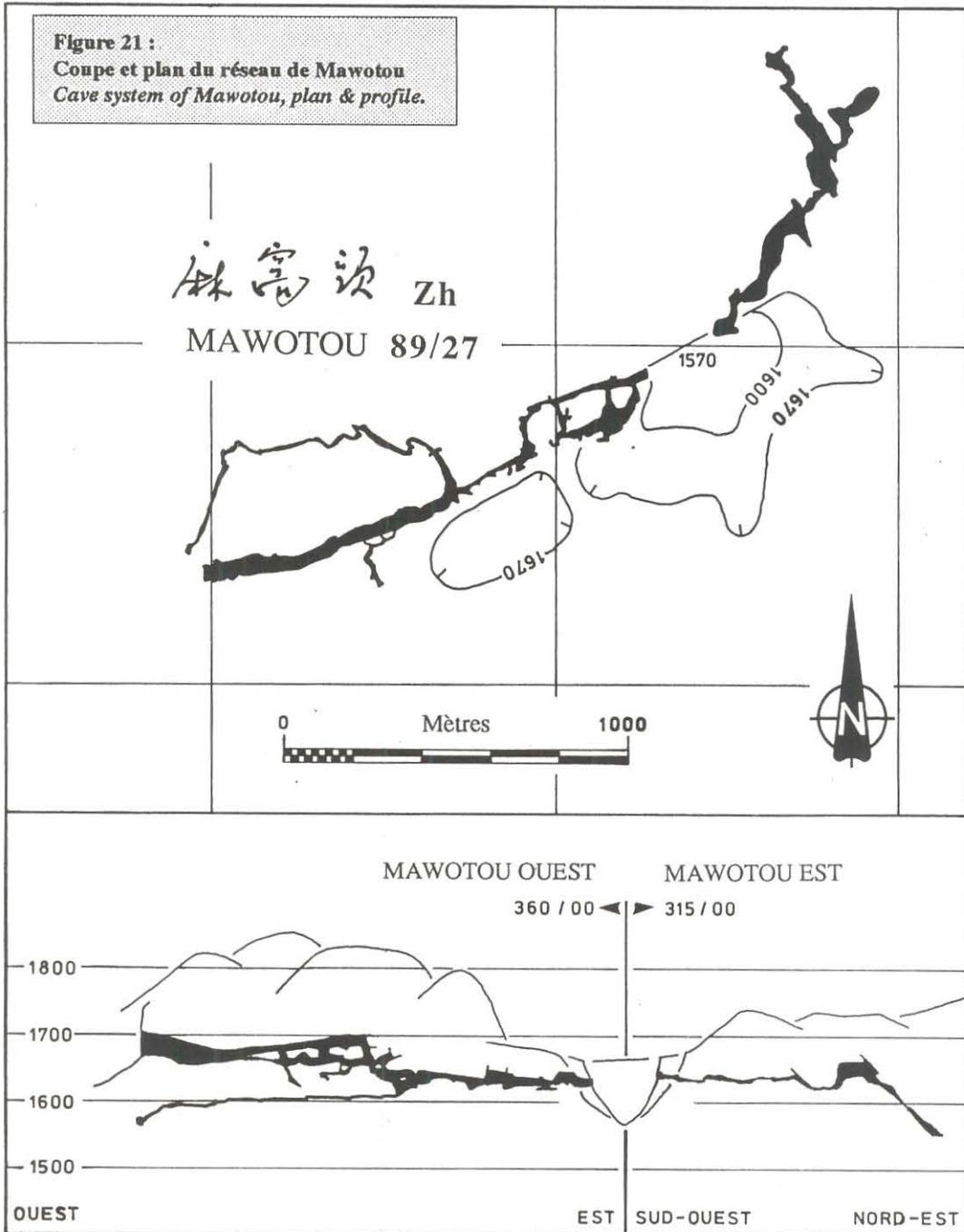
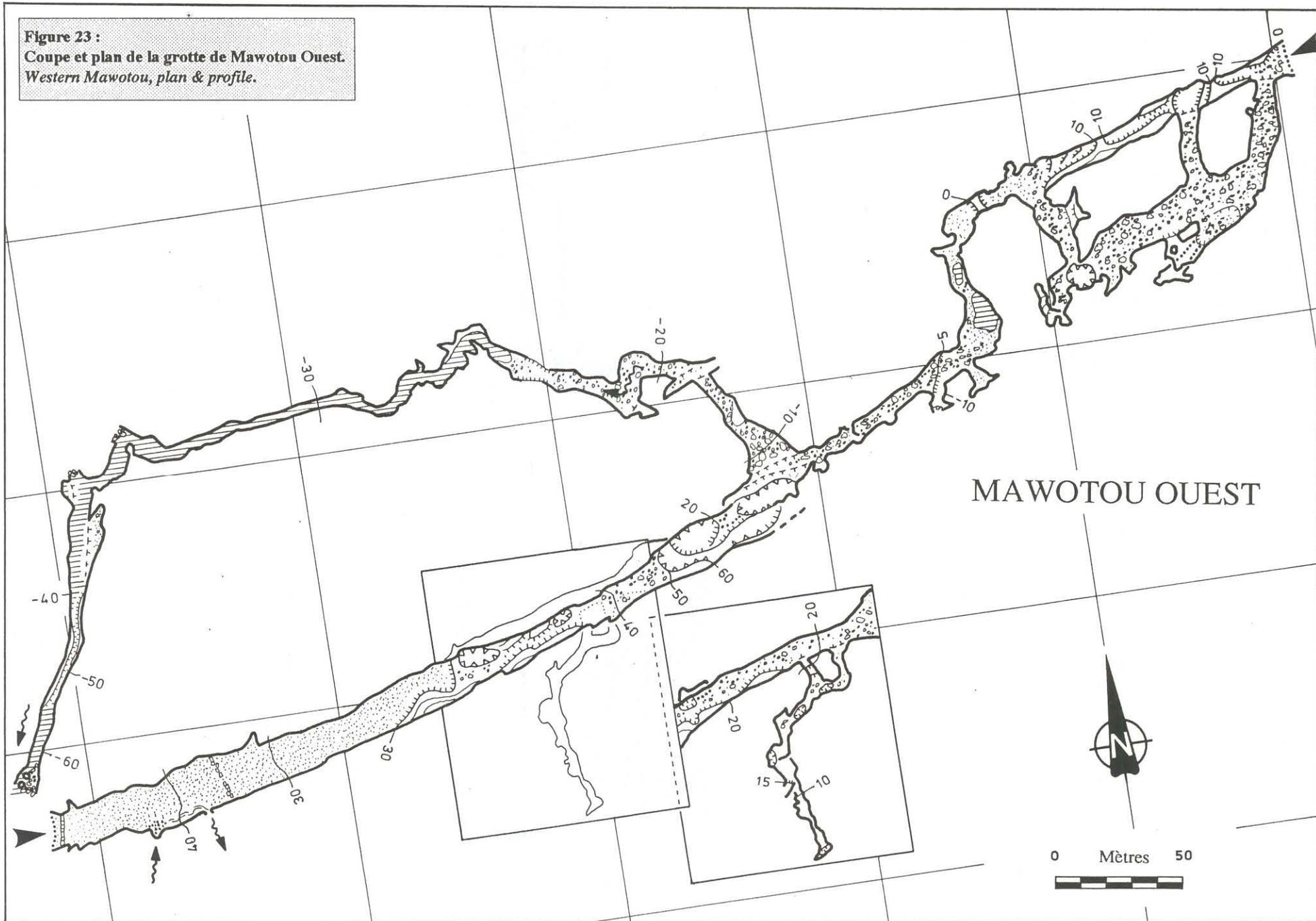


Figure 22 :
Coupe et plan de la grotte de Mawotou Est.
Eastern Mawotou, plan & profile.

Figure 23 :
Coupe et plan de la grotte de Mawotou Ouest.
Western Mawotou, plan & profile.



H. LUOCHU

Perte de Luochu (fig. 24)

Zhijin n° 89/29

Z = 1480 m Dév. = 1009 m Dén. = + 43 m, - 33 m

Situation : Cette perte se situe à 500 m au NE du village de Luochu dans la partie aval de la superbe vallée aveugle de Wangjiachong (photo 7).

Géologie : Sise sur le flanc nord du synclinal, cette perte forme le dernier maillon du réseau de Santang avant la résurgence dont le débit moyen est d'environ 6,64 m³/s (débit minimum 0,55 m³/s). Elle s'ouvre dans les formations du Trias inférieur (étage Yongningzhen). Il s'agit de calcaires gris foncé en bancs moyens, de dolomies argileuses grises et marrons et de brèches. Ces formations représentent le sommet du T₁yn¹ et la base du T₁yn². Le pendage est à cet endroit de 30° avec une direction N210°. Dans la zone d'entrée, nous avons remarqué la présence d'un phytokarst affectant la roche et des coulées stalagmitiques.

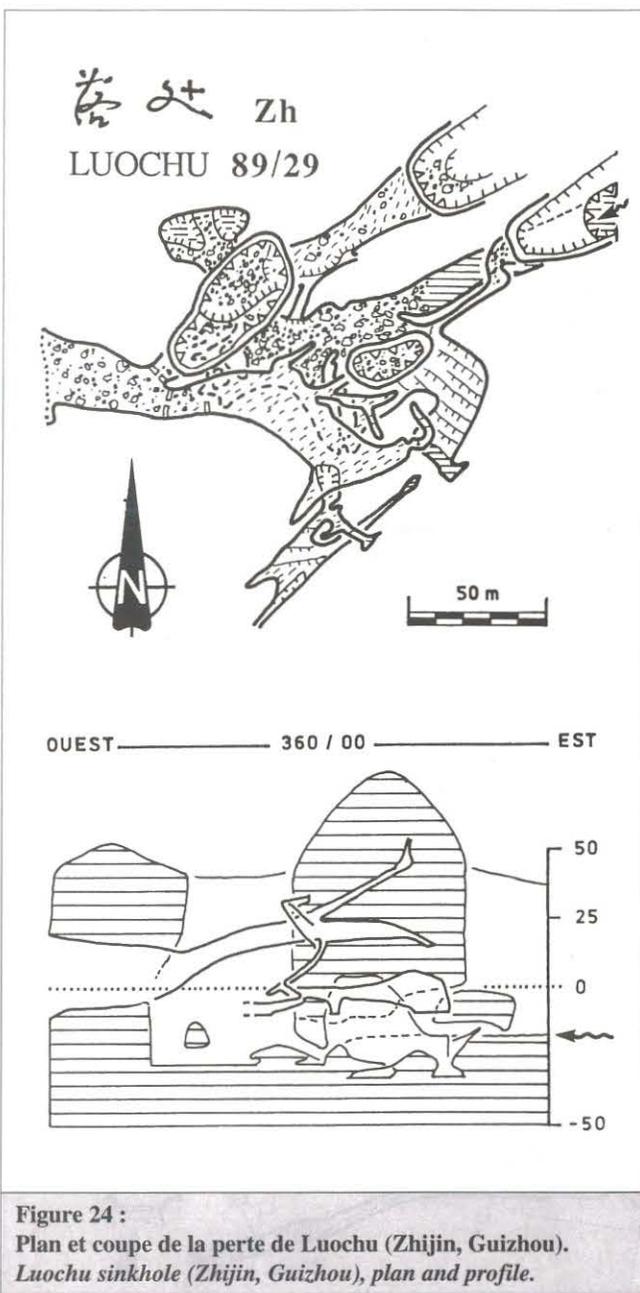


Figure 24 :
Plan et coupe de la perte de Luochu (Zhijin, Guizhou).
Luochu sinkhole (Zhijin, Guizhou), plan and profile.

Description : Il s'agit d'une grotte-tunnel complexe, du type "delta souterrain", se développant dans une barre calcaire étroite de 350 m. On distingue au moins deux niveaux étagés : l'un actif, l'autre fossile. La grotte-tunnel sèche, longue de 350 m, est formée par un conduit de 25 à 40 m de large dont la partie médiane est reliée à l'extérieur par un vaste puits d'effondrement de 100 m x 40 m, haut de 70 m, dont la base de l'éboulis rejoint la rivière (regard siphonnant). La perte active est constituée par un tunnel de 150 m de long sur 25 m de large entièrement occupé par le torrent (débit 5 m³/s) et se terminant sur un siphon bouillonnant.

La partie sud du réseau présente plusieurs niveaux étagés avec deux regards sur la rivière et une galerie inclinée à 45° débouchant au fond d'une doline. Un canal artificiel a été construit pour capter les eaux. La première grotte fossile a servi d'habitat-refuge jusqu'au début du XX^{ème} Siècle pour se protéger des pillards. Le tunnel NE est barré de chaque côté par d'imposants murs de 5 m de haut percés de quelques meurtrières. La cavité débouche au NE sur un ancien tunnel effondré dont le fond actuel est cultivé. (ZS, RM)

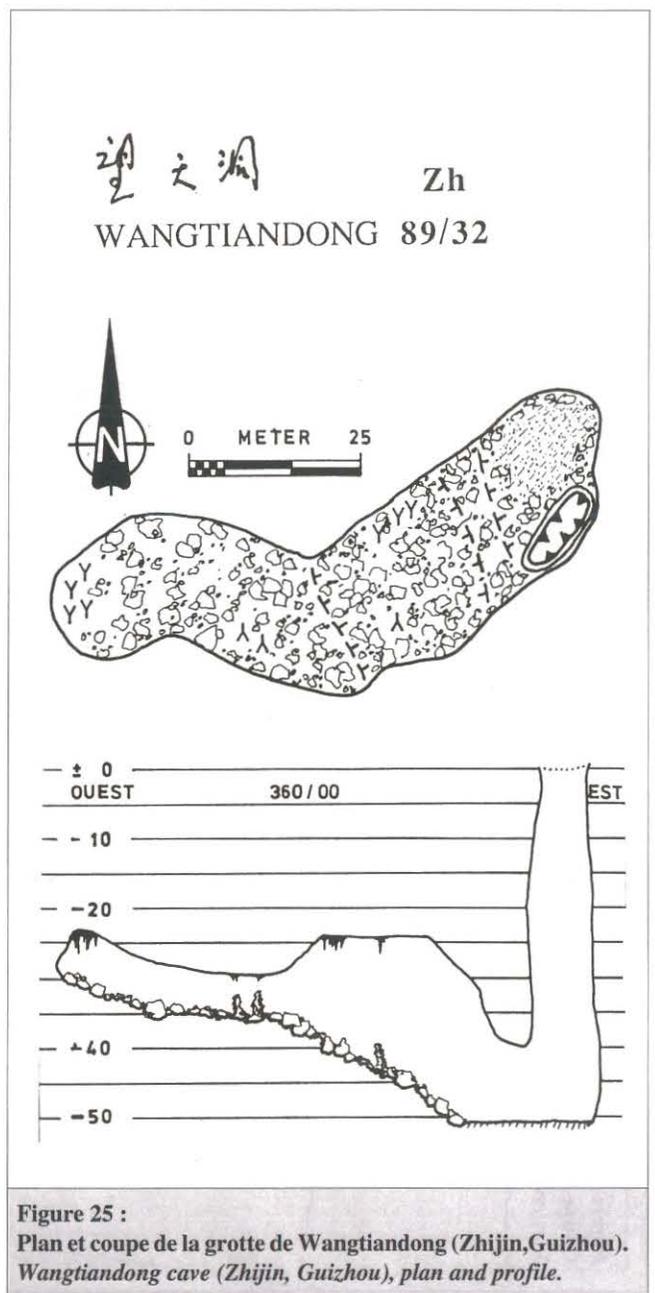


Figure 25 :
Plan et coupe de la grotte de Wangtiandong (Zhijin, Guizhou).
Wangtiandong cave (Zhijin, Guizhou), plan and profile.

I. WANGTIANDONG

(fig. 25)

Zhijin n° 89/32

Z = 1820 m Dév. = 156 m Dén. = - 52 m

Situation : Cette cavité se situe plus de 2 km au nord de Santang. C'est la plus haute en altitude que nous ayons explorée.

Description : Après une marche d'une heure et quart dans un décor féérique (vue sur une résurgence et sur de nombreux porches en falaise), nous arrivons au but de notre visite. Il s'agit d'un puits d'effondrement en forme de banane au départ. Nous équipons sur un grand arbre qui domine le vide. Après une descente d'environ 50 m, nous accédons à une grande salle jonchée de gros blocs et de nombreuses concrétions couchées. Nous en faisons le tour, malheureusement aucune suite n'est trouvée. (JLM)

III. LES CAVITES DU SYSTEME PRESUME DE ZHULINGKENG

Bien que situées sur le flanc sud du synclinal de Santang, les trois cavités décrites ci-dessous pourraient appartenir à un sys-

tème différent car elles sont séparées des autres réseaux par une couche de marnes. Cependant on ne connaît pas d'exutoire à ce système présumé.

Cette zone est occupée par les formations du Trias inférieur. Il s'agit de calcaires gris à gris foncé en bancs fins à moyens intercalés localement entre deux petites couches d'argilites bordeaux. Le pendage varie de 15° à 29° avec des directions N330° et N354°. (ZS)

A. ZHULINGKENG

Gouffre du bosquet de bambou (fig. 26)

Zhijin n° 89/28

Z = 1670 m Dév. = 861 m Dén. = - 91 m

Situation : Cette grotte s'ouvre au nord de la route tout près du village de Kalazhai.

Description : Elle possède le style typique des grottes du SE asiatique avec ses nombreuses entrées envahies par la lumière du jour qui nourrit une végétation abondante. Un petit bosquet de bambous penchés vers le vide, dissimule un puits profond et humide. Nous progressons vers le bas, pendus de branches en branches, nous attendant à tous moments à voir déboucher une horde de singes ! Malheureusement, il y a bien longtemps que ceux-ci ont été transformés en plats délicieux.

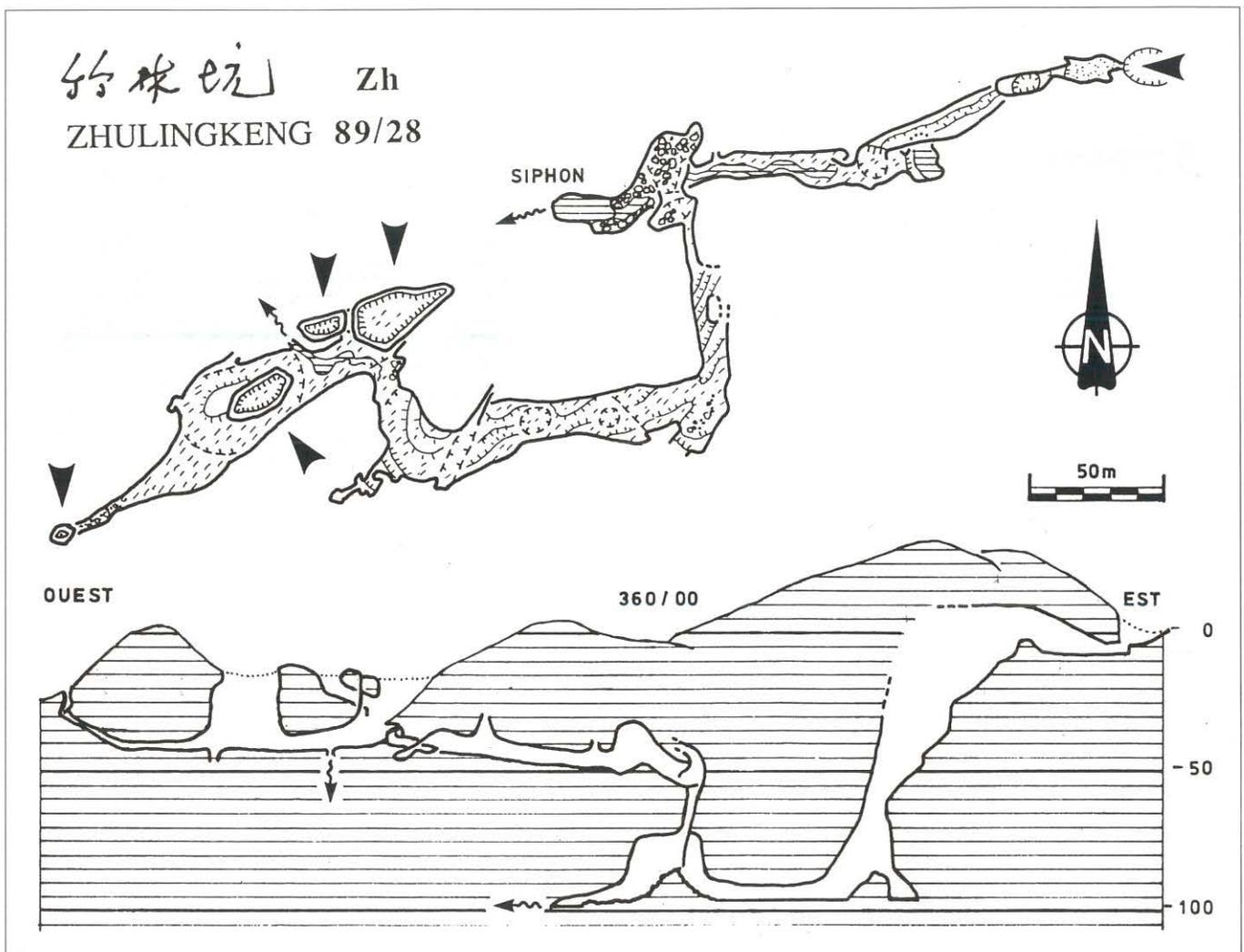


Figure 26 : Plan et coupe de la grotte de Zhulingkeng (Zhijin, Guizhou).
Zhulingkeng cave (Zhijin, Guizhou), plan and profile.

Nous passons devant une galerie venant d'une petite entrée située à l'ouest. Au bas de la pente, nous apercevons tout de suite une superbe arche de 20 m de large traversée par les rayons de lumière provenant de la salle d'effondrement voisine. Nous croisons le lit d'un ruisseau venant du sud et qui se perd sous la paroi NW. Caché derrière le cône d'éboulis, un puits profond d'une quarantaine de mètres n'a pas été descendu.

Mais d'où venait le ruisseau que nous avons croisé au début ? Un petit "crowl" dans des galets ronds et nous débouchons dans une galerie de 20 m de large. Finie la lumière du jour, la cavité commence réellement. Le lit d'une rivière à sec serpente dans un surcreusement du remplissage de boue et de sable. 150 m plus loin une galerie venant du sud, débutant par un ressaut remontant de 5 m, n'a pas été explorée. Nous débouchons dans le lit d'une bruyante et belle rivière qui coule de l'est vers l'ouest (son débit estimé est de 300 l/s). A l'aval, elle se perd aussitôt dans un siphon. Nous suivons l'amont sur une centaine de mètres jusqu'à une salle séparée en son milieu par une haute dune de boue. Derrière, la pente de boue se perd

dans un silencieux plan d'eau siphonnant marquant le terminus amont.

Quelques jours plus tard, nous pénétrons par une petite entrée (qui devient la cinquième du réseau) au fond d'une doline située de l'autre côté de la route. Une courte galerie mène à un puits de 80 m. La calcite pourrie est suivie par de la roche saine et l'on commence à entendre la rivière ! Six fractionnements sont nécessaires pour atteindre le fond. Des traces de pas sur le sol boueux ! Nous venons d'atterrir juste avant le siphon amont du réseau à la cote - 90 m. D'autres dolines toutes proches n'ont pas été explorées faute de temps. (HDG et JB)

B. WUMINGKENG

Puits sans nom (fig. 27)

Zhijin n° 89/31

Z = 1610 m Dév. = 218 m Dén. = - 113 m

Situation : L'entrée très visible se situe après le village de Kalazhai, 200 m au nord de la route, au bord d'un large ouvala.

Description : Le puits d'entrée de 72 m (largeur 10 m, longueur 30 m) s'ouvre sur une grosse fracture NW bien visible en surface. Une importante végétation essaie de s'accrocher aux lèvres du puits ; c'est d'ailleurs un bel arbre qui servira de premier amarrage pour la descente. La suite est un talus caillouteux très raide jonché de nombreux troncs d'arbres. Rapidement le sol devient boueux et nous atteignons un cloaque qui marque le terminus de la cavité à la cote - 113 m. (JB)

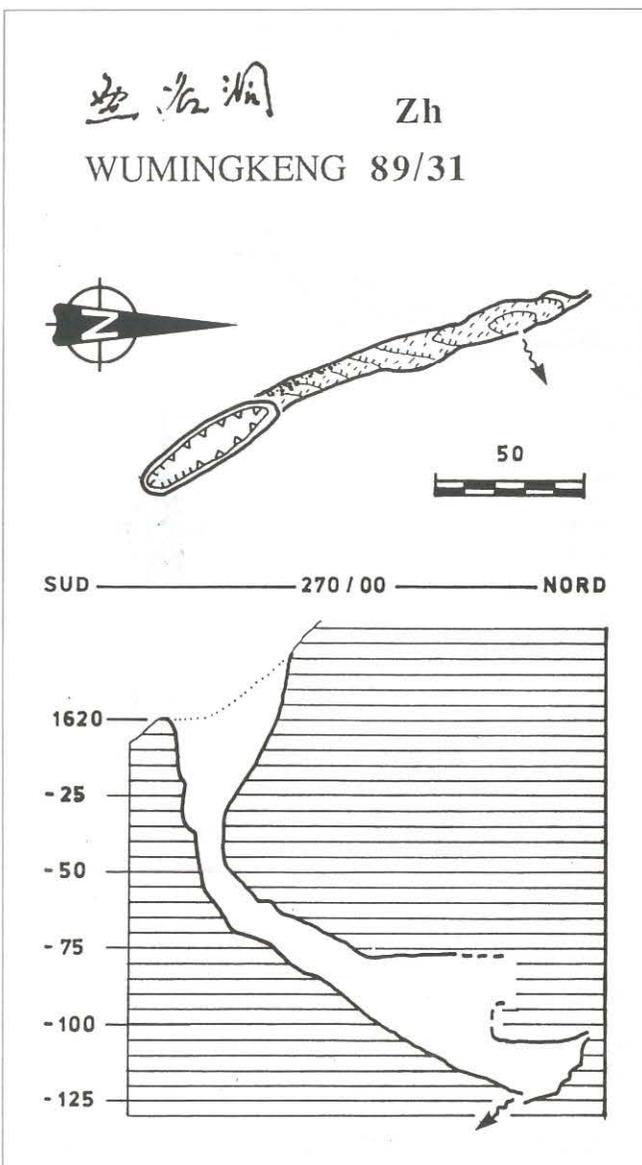


Figure 27 :
Plan et coupe du gouffre de Wumingkeng (Zhijin, Guizhou).
Wumingkeng shaft (Zhijin, Guizhou), plan and profile.



C. HEJIADONG

Grotte de la famille He (fig. 28)

Zhijin n° 89/33

Z = 1720 m Dév. = 494 m Dén. = - 37 m , + 10 m

Situation : Après le village de Kalazhai, la grotte s'ouvre dans les magnifiques lapiaz — en réalité des crypto-lapiés dégagés par l'érosion des sols — du flanc sud du synclinal, 100 m au-dessus de la route.

Description : Difficile à trouver, l'entrée est dissimulée par la végétation et défendue par une construction abandonnée. La grotte est constituée d'une large galerie fossile descendant légèrement qui se termine au bout de 400 m sur une barrière de concrétions. A 30 m de l'entrée, un puits de 21 m perce le plafond de la galerie ; plus loin un méandre de 38 m nous mène au point bas de la cavité, à - 37 m, où nous avons noté un léger courant d'air. (JPB).

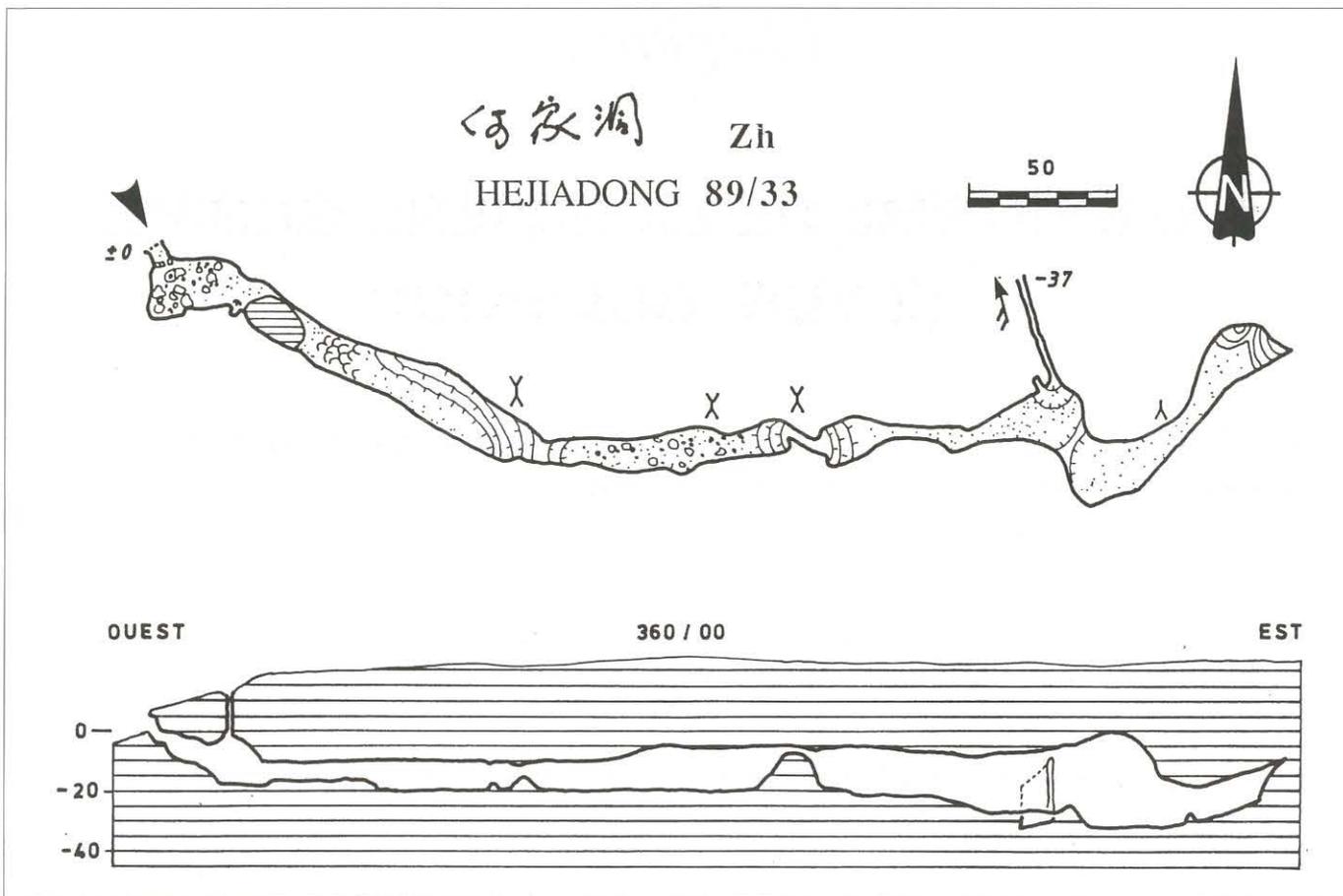
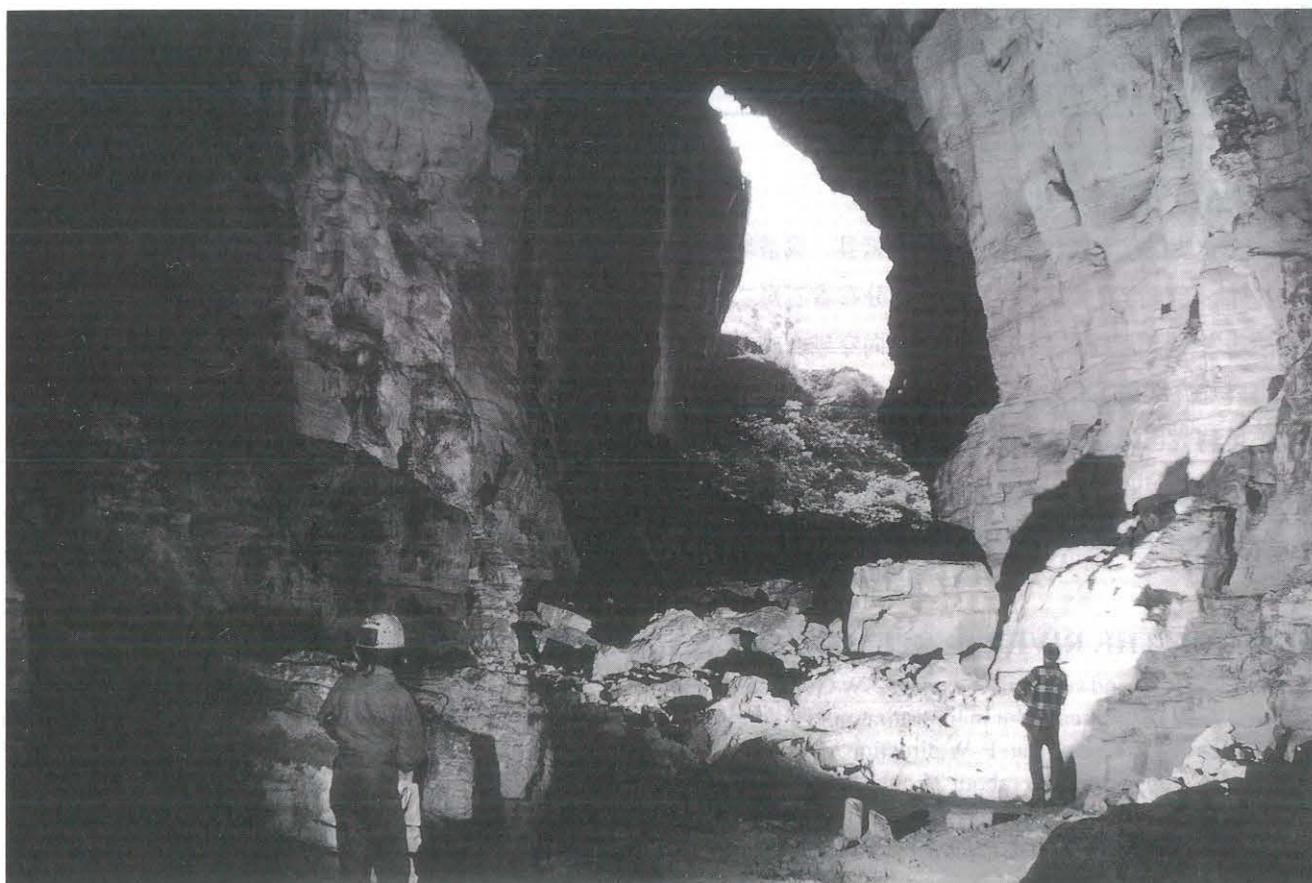


Figure 28 : Plan et coupe de la grotte de Hejiadong (Zhijin, Guizhou).

Hejiadong cave (Zhijin, Guizhou), plan and profile.

Photo 8 : Entrée Ouest de la grotte de Mawotou (cf. fig. 21).

Western entrance of Mawotou cave (see fig. 21)



LE SYSTEME DE LA RIVIERE GEBIHE (ZIYUN, GUIZHOU)

— Jean-Pierre BARBARY, Jean BOTTAZZI, Bernard COLLIGNON, ZHANG Dachang,
Richard MAIRE, Jean-Luc MOUDOUD et CHEN Shicai

RESUME :

Le système souterrain de la Gebihe se situe au SW du Guizhou, dans le comté de Ziyun, sur le versant sud de la chaîne Miaoling (karst à pitons, ouvalas et poljés). Il se développe dans les calcaires et dolomies du Carbonifère et du Permien, et traverse en grotte-tunnel le flanc du synclinal de Jiaoma selon un tracé E-W. A la résurgence, le débit est de 4 à 5 m³/s à l'étiage et plus de 50 m³/s en crue de mousson (débit moyen estimé : 25 m³/s). Des grottes étagées anciennes ont été recoupées par l'érosion et témoignent de l'abaissement du niveau de base induit par la surrection au cours du Tertiaire.

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 les deux pertes : Dadong (porche haut de 116 m) et Gebong donnant accès à de grands lacs souterrains. Deux puits d'effondrement géants jalonnent le tracé : un puits de 370 m au début de Dadong et un puits de 210 m au milieu du plateau. Le réseau amont se termine sur deux siphons : l'un dans la galerie active, l'autre dans un vaste conduit évacuant le trop-plein de la rivière en crue (mise en charge de 50 m).

Le réseau aval mesure 4,2 km de développement et a été exploré à partir de la résurgence. A 500 m de l'entrée, il donne accès à la salle des Miaos 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 au moins 70 m de haut. En crue, elle est parcourue par le trop-plein de la rivière.

Mots-clés : grotte-tunnel, perte, karst à pitons, poljé, ouvalas, aven, salle, lac souterrain, résurgence, Gebihe, Ziyun, Guizhou.

摘要：贵州紫云喀斯特与洞穴

格必河伏流洞穴系统位于黔西南的紫云县，属苗岭南翼。为峰林、溶洼与溶盆景观类型。广泛分布着石炭二叠纪的碳酸盐岩。该伏流洞穴系统以近东西向穿越交麻向斜翼部。出口处流量在旱季为4—5秒立方米，年平均流量25秒立方米。上层洞穴因第三纪以来基准面的降低而被切割。

调查的洞段总长12Km，深418m，按伏流出口计则深445m。上游部分长7.7Km，有高116m的大洞及格崩二个

入口，具较大的暗湖。沿伏流上游段有二个喀斯特竖井，一个在大洞首端，深370m，另一个在碳酸盐岩地块中部，深210m，上游洞段的测量终止于水仓。下游部分长4.2Km，从伏流出口进入约500m有长700m、宽200m、高70m的苗厅，是世界上面积居第二位的喀斯特厅室，仅次于马来西亚穆鲁的沙捞越厅。洪水季节，格必河流过该厅室。

ABSTRACT: THE RIVER SYSTEM OF GEBIHE, ZIYUN COUNTY (GUIZHOU).

The Gebihe underground system is located in SW Guizhou, in Ziyun County, on the south versant of the Miaoling range (cone-karst, ouvalas and poljes). It spreads out in limestones and dolomites of Carboniferous and Permian. It is a tunnel-cave going through one limb of the Jiaoma syncline in an E-W direction. At the resurgence, the discharge is 4 to 5 cumecs at low water and more than 50 cumecs during monsoon floods (about 25 cumecs average discharge). Old cave levels have been cut by erosion and follow the base level lowering caused by the Tertiary uplift.

The known part is 12 km long and 418 m deep (445 m to the resurgence). We discovered a 7.7 km upstream system composed of the two sinkholes : Dadong (its porch is 116 m high) and Gebong, which lead to large underground lakes. Two collapse pitches

are on the route : one, 370 m high, at the beginning of Dadong and another, 210 m high, in the middle of the plateau. Downstream, the cave stops on two sumps : one in the main stream and the other in a vast passage draining off the floods (50 m of water rising).

The downstream passages, 4.2 km long, have been explored from the resurgence. At a distance of 500 m from the entrance, the Miao chamber, 700 m long, 200 m wide and 70 m high, is the second largest known in the world after Sarawak chamber in Mulu (Malaysia). During floods, the river overflows into this room.

Keywords: *Tunnel-cave, sinkhole, cone karst, polje, ouvala, aven, subterranean lake, resurgence, Gebihe, Ziyun, Guizhou.*

ZUSAMMENFASSUNG: DAS HÖHLENFLUSSSYSTEM DES GEBIHE (ZIYUN, GUIZHOU).

Das Höhlensystem des unterirdischen Verlaufs des Flusses Gebihe liegt im Südwesten von Guizhou im Bezirk von Ziyun am Südrand des Bergrückens Miaoling (Kegel, Uvalas, Poljen). Das System hat sich in Kalk und Dolomit aus dem Karbon und Perm entwickelt und unterführt von Ost nach West einen Schenkel der Jiaoma Synklinale. Bei Niedrigwasser schüttet die Resurgenz 4 bis 5 m³/sec, bei Hochwasser 50 bis mehr als 100 m³/sec. Die durchschnittliche Schüttung beträgt 25 m³/sec. Fossile Gangstrecken wurden durch Erosion angeschnitten und beweisen die Tieferlegung des Vorfluters im Zuge der tertiären Hebung.

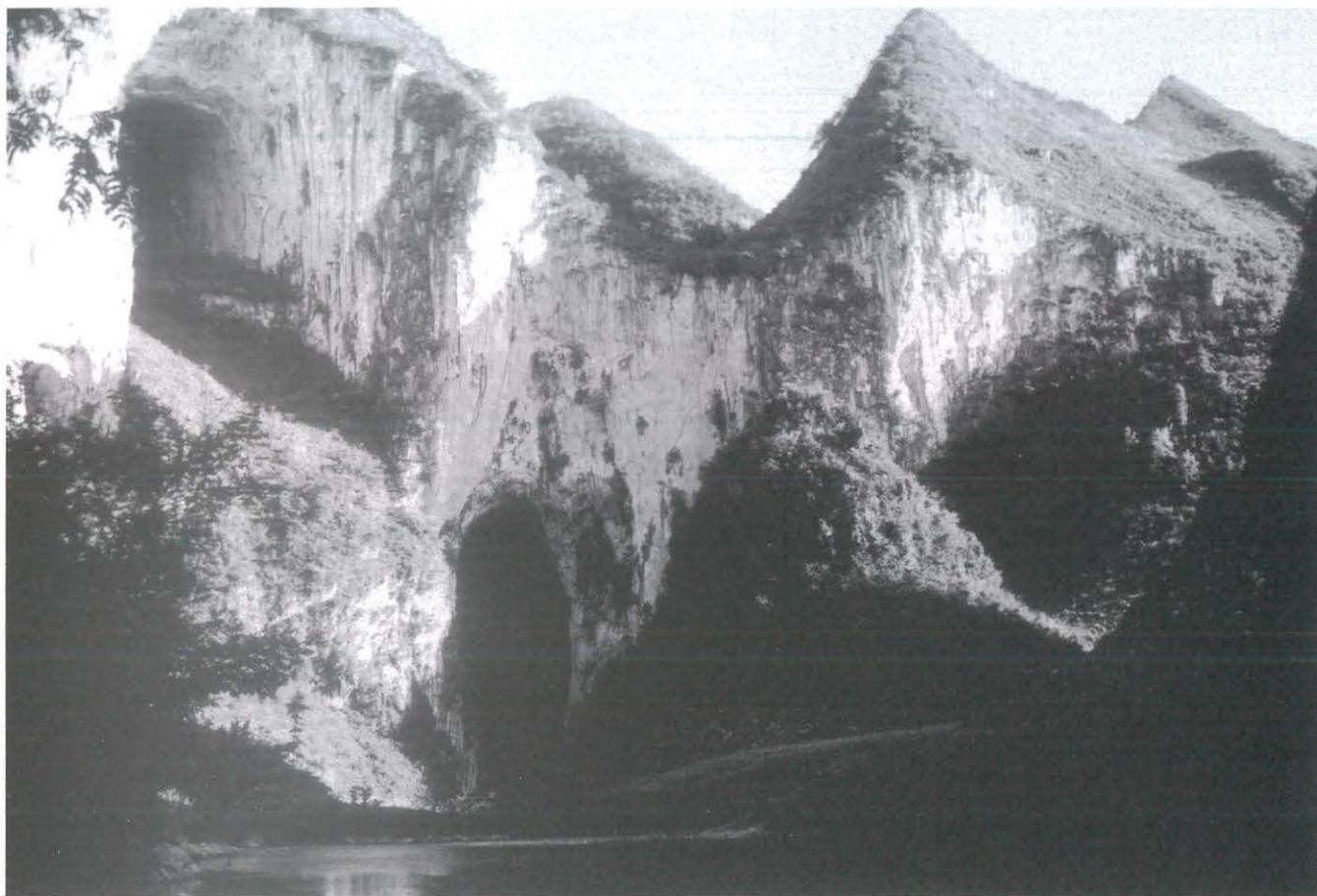
Der bekannte Teil der Höhle ist 12 km lang und 418 m tief (bis zur Resurgenz beträgt der Höhenunterschied 445 m). Die beiden Flußschwinden Dadong (ein 116 m hoher Eingang) und Gebong bilden die Eingänge zum 7,7 km langen Oberlauf mit seinen weitläufigen unterirdischen Seen. Zwei riesige Tagschlote markieren den Verlauf, wovon der eine, am Anfang der Dadong gelegen, 370 m hoch ist während der andere mit einem Höhenunterschied von 210 m zur Oberfläche führt. Flußabwärts gelangt man zu zwei Siphons; der eine nimmt den Hauptfluß auf und der zweite (über eine 50 m hohe Schwelle) die Hochwasser.

Der über die Resurgenz erkundete Unterlauf ist 4,2 km lang. 500 m hinter dem Eingang liegt der "Saal der Miao" (700 m lang, 200 m breit und 70 m hoch), der zweitgrößte unterirdische Hohlraum nach der "Sarawak Chamber" in Mulu, Malaysia. Bei Hochwasser durchströmt der Fluß Gebihe diese Halle.

Stichworte : *Flußhöhle, Schwinde, Kegelkarst, Polje, Uvala, Tagschlot, unterirdischer See, Resurgenz, Gebihe, Ziyun, Guizhou.*

Photo 9 : *Vue d'ensemble de la perte de la Gebihe (Ziyun, Guizhou).*

General sight of Gebihe sinkhole (Ziyun, Guizhou).



INTRODUCTION

Notre unique objectif dans ce comté est l'exploration systématique de la rivière Gebihe que nous avons reconnue en 1988, ceci à la demande des autorités locales qui souhaitent installer un barrage hydroélectrique en aval du système. A cette époque, nous avons juste eu le temps de repérer la perte principale haute de 116 m, et la résurgence. Les résultats que nous avons obtenus en 1989 ont été au-delà de toutes nos espérances. Nous avons découvert un système qui, de part ses dimensions, sa beauté et son intérêt scientifique, deviendra probablement une référence en la matière. Douze kilomètres topographiés dans des galeries dont les dimensions défient l'imagination, l'une d'entre-elle mesure plus de 150 m de haut. La salle des Miao dans la partie aval du système devient la deuxième plus grande salle de la planète avec ses 700 m de long, 215 m de large et sa hauteur moyenne supérieure à 70 m. La superficie approche les 120 000 m² et son volume estimé est de l'ordre de 7 millions de m³.

Mais outre cette avalanche de chiffres, la Gebihe est d'abord un site d'une exceptionnelle beauté, dans une région sauvage et encore préservée. Tout prêt de la résurgence, niché dans un porche fossile trois cent mètres au-dessus du canyon, le village troglodyte de Chadong semble vivre hors du temps... (photo 10). (JPB)

Photo 10 :

Village troglodyte dans un vaste porche fossile proche de la résurgence de la Gebihe.

Troglodyte village in the entrance of a fossile cave just near the Gebihe resurgence.

PRESENTATION PHYSIQUE

Le secteur de la Gebihe est situé sur le versant sud de la chaîne Miaoling dont l'altitude moyenne des sommets est de 1500 m (fig. 9, p. 23). Le point culminant, le Leigong Shan (2179 m), se trouve 200 km à l'ENE. Cette chaîne E-W constitue la ligne de partage des eaux entre le bassin du Yangtse au nord et le bassin de la rivière des Perles au sud. Les cours d'eau s'écoulent dans des vallées larges et peu profondes. Plus bas, au niveau de la rupture de pente, elles deviennent plus étroites et plus profondes isolant ainsi de nombreuses unités karstiques.

Sur le bord des poljés se développent de nombreux réseaux karstiques horizontaux à plusieurs niveaux témoignant de l'abaissement du niveau de base au cours de la surrection tertiaire. Les bordures des unités karstiques dominant les gorges ont un relief de tours, cônes et ouvalas au fond desquels s'ouvrent de profonds gouffres.

FICHE SIGNALÉTIQUE DU COMTE AUTONOME MIAO-BUYI DE ZIYUN

Superficie = 2280 km²

Population = 260 000 hb

Densité = 114 hb/km²

Capitale = Ziyun (10 200 hb) lat 25°45' N, long 106°04' E

Forêt = 12 %



E : Tertiaire. T₂b : Trias moyen étage Bianyang. T₂x : Trias moyen étage Xingyuan. T₁yn : Trias inférieur étage Yongningzhen. T₁y : Trias inférieur étage Yelang. P₂c : Permien moyen étage Changxin. P₂w : Permien moyen étage Wujiaping. P₁m : Permien inférieur étage Maokou. P₁q : Permien inférieur étage Qixia. C₃m : Carbonifère supérieur étage Maping. C₂h : Carbonifère moyen étage Huanglong. C₁b : Carbonifère inférieur étage Baizuo. C₁d : Carbonifère inférieur étage Datang. D₃ : Dévonien supérieur. D₂h : Dévonien moyen Huohong.

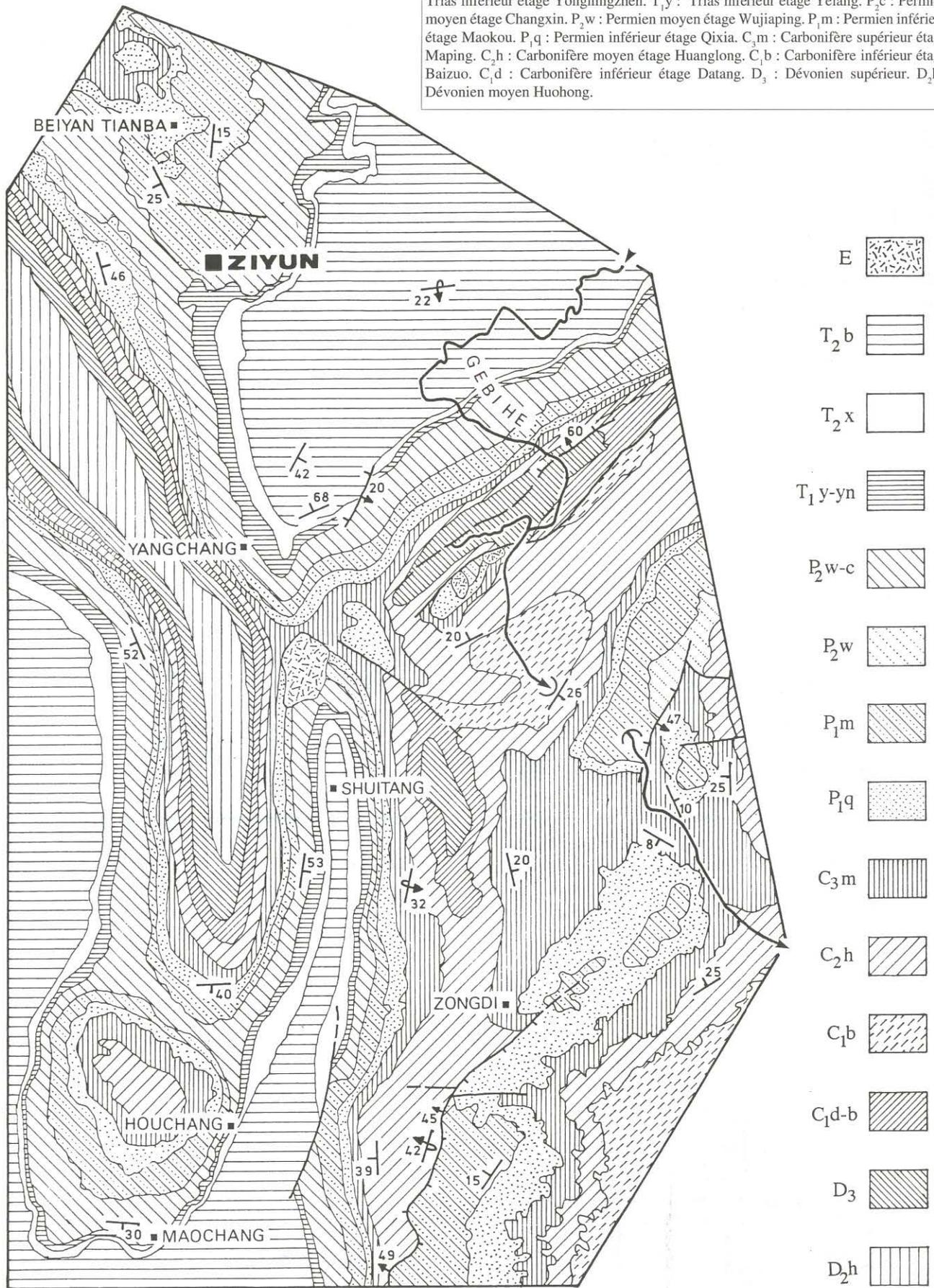
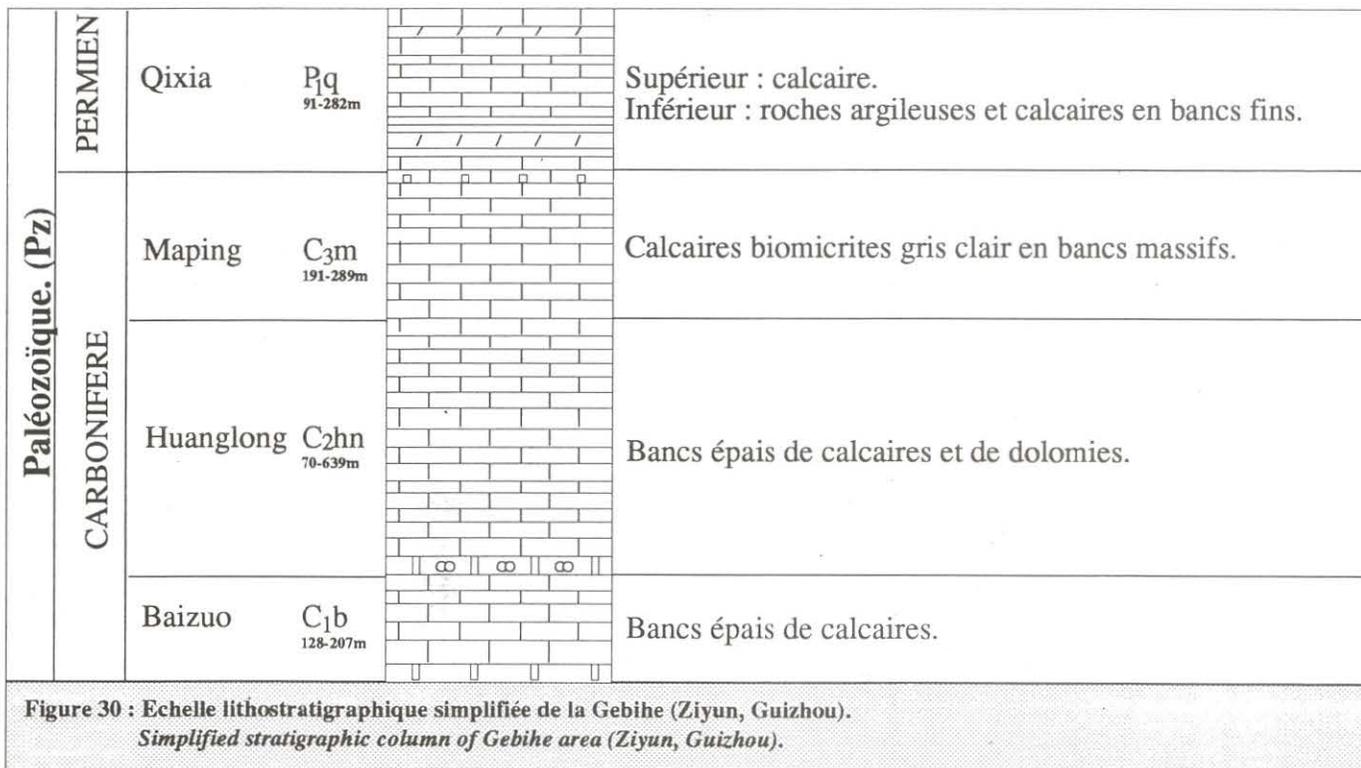


Figure 29 : Contexte géologique de la partie méridionale du comté de Ziyun (Guizhou).
 Geological map of the southern part of Ziyun county (Guizhou).



◇ **Contexte géologique :** Cette région plissée dépend de l'unité géotectonique de la paraplatforme du Yangtse. Les affleurements carbonatés du comté de Ziyun vont du Carbonifère au Trias inférieur, mais la plupart des cavités, dont la Gebihe, se situent dans les calcaires et dolomies du Carbonifère et du Permien dont la puissance totale peut dépasser 1000-1200 m (fig. 30).

Les roches imperméables sont formées à la base par le Dévonien et au sommet par les dépôts clastiques du Trias moyen-supérieur. Des niveaux argileux sont présents dans le Permien de la zone de la Gebihe.

Le plissement d'âge crétacé présente plusieurs orientations : NW-SE au sud et à l'ouest de Ziyun, N-S dans le secteur de la Gebihe (fig. 29, 32). Des formations rouges du Crétacé-Eocène subsistent dans un petit bassin localisé entre Ziyun et la Gebihe.

◇ **Géomorphologie :** Le paysage se compose de tours, cônes, dépressions et poljés. Zones alluviales et poljés représentent 34 % de la superficie du comté de Ziyun. Dans le secteur de la Gebihe, le sommet des pitons se situe vers 1300-1400 m et les vallées actives vers 930-950 m. La carte des dépressions de la zone nord de la Gebihe (fig. 34) montre une forte densité d'ouvalas multilobés, de chapelets de dépressions et de poljés dont le surcreusement karstique peut dépasser 100 à 150 m (ex : bassin de Shuohang). Localement des avens géants constituent des regards sur les circulations souterraines.

◇ **Climat :** A la station de Ziyun (fig. 31), le régime climatique est du même type que celui de Zhijin. La température moyenne est de 15,3°C (janvier/5,7°C, juillet/22,7°C). Il tombe en moyenne 1337 mm/an, concentrés sur les mois d'été (992 mm d'avril à août, soit 74% du total). L'amplitude pluviométrique va de 1 à 15 (janvier/15,7 mm, juin/241 mm).

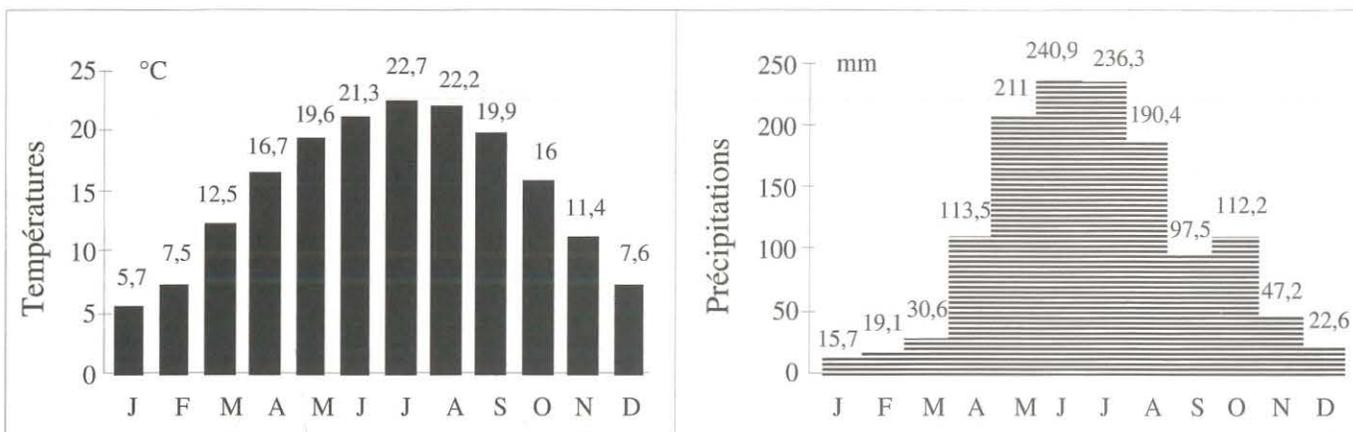
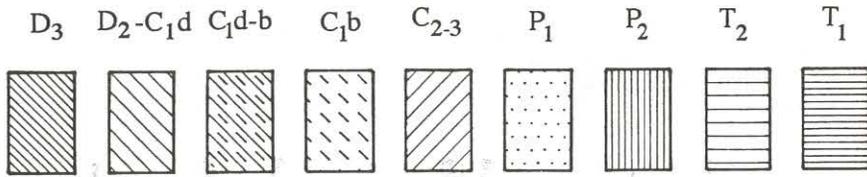


Figure 31 : Données climatiques du comté de Ziyun (Guizhou), températures et précipitations.
Climatic data of Ziyun county (Guizhou), temperature and precipitation.

Figure 32 :
Carte géologique et hydrogéologique de la zone de la Gebihe (Ziyun, Guizhou). Légende des symboles géologiques : cf. fig. 29, p. 45.

Geological and hydrogeological maps of Gebihe area (Ziyun, Guizhou).
Geological key : see fig. 29, p. 45.



Débit en l/s et mois de la mesure $\frac{30}{5}$

Rapides

Puits (avec profondeur)

Perte

Puits avec regard sur les circulations souterraines

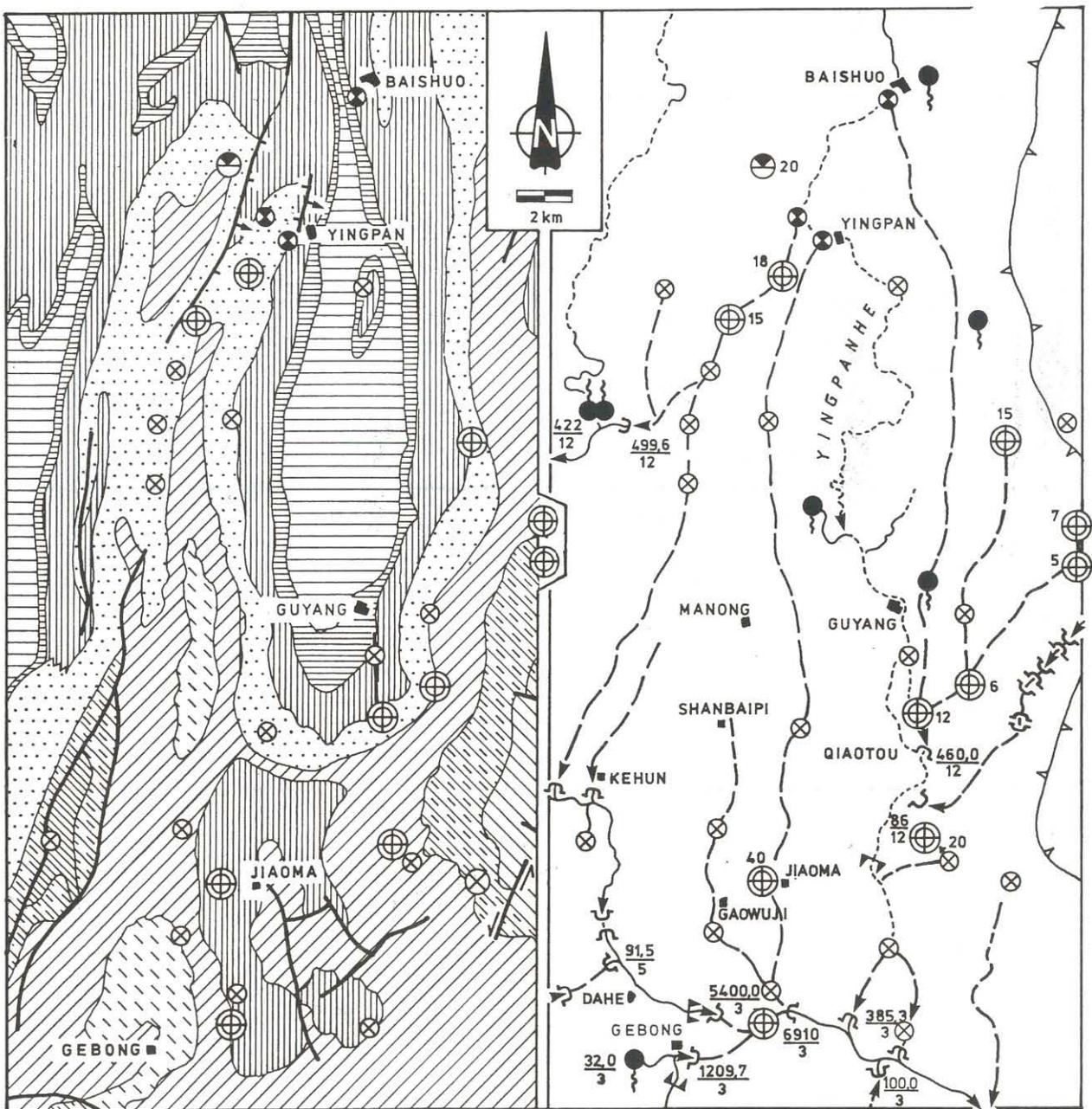




Figure 33 : Tracé du parcours souterrain de la Gebihe (Ziyun, Guizhou).
Underground passage of Gebihe (Ziyun, Guizhou).

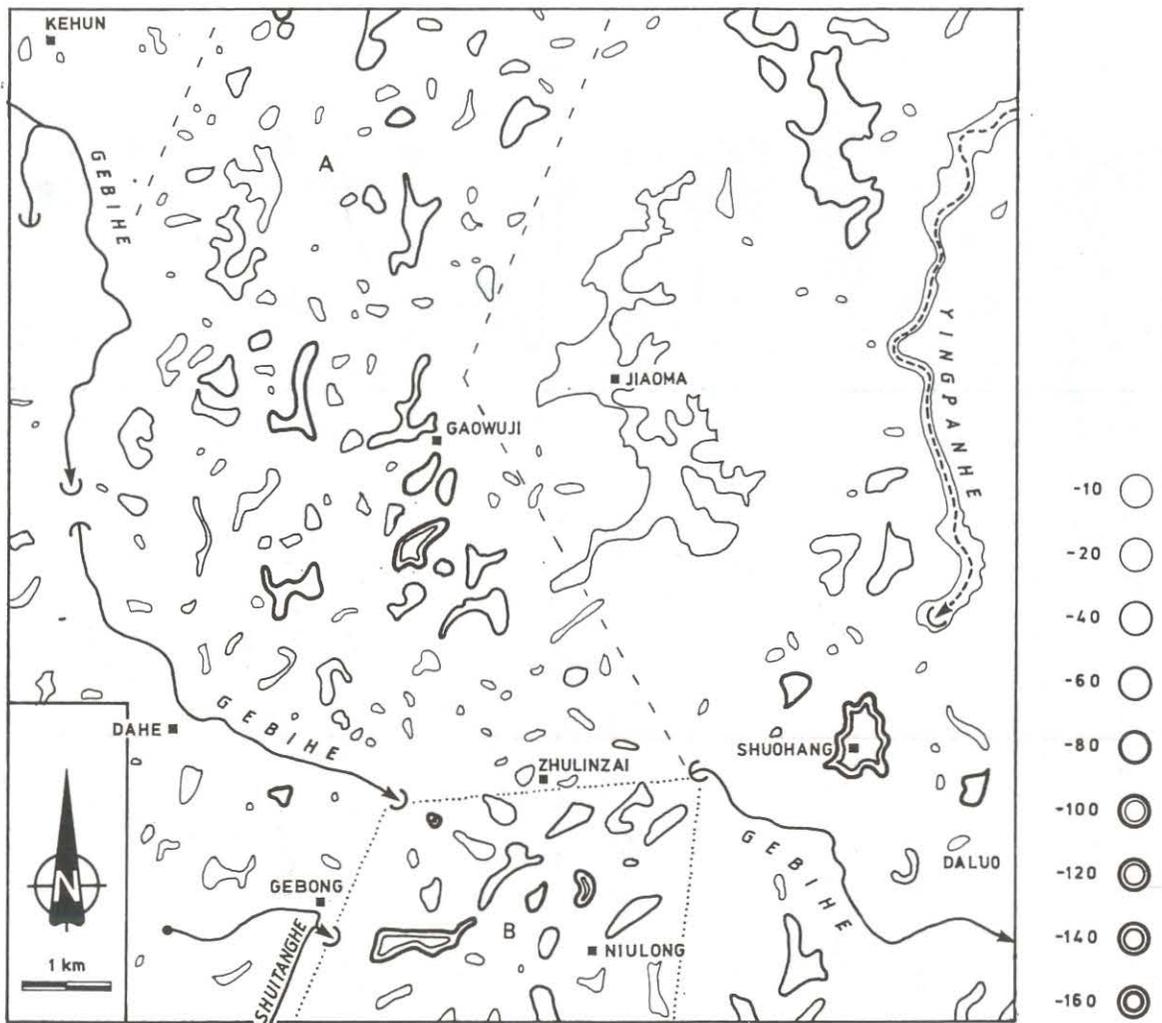


Figure 34 : Distribution des dépressions dans la zone de la Gebihe (Ziyun, Guizhou).
Distribution of depressions in Gebihe area (Ziyun, Guizhou).

LES RESEaux DE LA GEBIHE

Rivière Gebi

Ziyun n° 89/23

Amont : Z = 928 m (perte) Dév. = 7746 m Dén. = - 418 m

Aval : Z = 790 (résurg.) Dév. = 4150 m Dén. = + 100 m

La rivière principale (Gebihe) et son affluent (Shuitanghe) disparaissent sous terre à 930 m d'altitude pour résurger à 790 m. L'essentiel du cours souterrain est accessible et constitue le magnifique réseau décrit ci-dessous. Celui-ci présente deux parties : un réseau amont de 7,7 km formé par les deux pertes pérennes et un réseau aval de 4,2 km accessible par la résurgence. La jonction entre ces deux tronçons n'a pu être réalisée en raison de l'existence de siphons, l'un dans la galerie active, l'autre dans une galerie semi-active suspendue (fig. 33, 35). (BCo.)

Hydrogéologie : Le système souterrain de la Gebihe se situe à 20 km au SE de Ziyun, tout près du village de Gebong. Cette grotte-tunnel géante est formée par la perte de deux rivières de taille et d'origine différentes : la Gebihe et la Shuitanghe. Il traverse d'ouest en est le flanc occidental du synclinal de Jiaoma et résurge ensuite près de l'axe du synclinal, non loin d'une grande faille N-S exploitée par le cours aval de la Gebihe aérienne (fig. 32, 34). Le réseau se développe d'abord dans les calcaires du Carbonifère (C_{1d}, C₂₋₃), puis dans ceux du Permien inférieur (P₁). Le pendage est de 27° avec une direction est.

La Gebihe draine un vaste bassin de 2400 km² dans des terrains sédimentaires allant du Dévonien au Trias. 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 50 à 100 m³/s en saison des pluies, ce qui expliquerait 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.

Au nord de la Gebihe, le synclinal de Jiaoma (fig. 32) est drainé par de petites rivières souterraines dont l'une a été jaugée à 300 l/s à l'étiage. Elle rejoint probablement le système.

Le faciès chimique des eaux est purement karstique, avec peu de sulfate (< 30 ppm), de chlorure (< 3 ppm) et de sodium (< 3 ppm). Le long du cours souterrain, la saturation des eaux augmente légèrement, les teneurs en HCO₃ passant de 130 à 200 ppm et le TH de 7,2 à 9,2°H. Il n'y a pas de CO₂ agressif.

A. LE RESEAU AMONT

Le réseau amont mesure 7746 m de développement pour 418 m de dénivelé jusqu'au siphon actif situé juste après le grand puits d'effondrement intermédiaire (fig. 35, point 3).

1. Les rivières Gebihe et Shuitanghe

La perte de la Gebihe (Dadong) débute par un lac de 270 m de long sous un magnifique porche en ogive de 116 m de haut pour

25 m de large. Au bout du lac, on passe sous un énorme puits haut de 370 m (infra) et large de 200 m qui traverse le plateau. Le débit à la perte est de 5,4 m³/s en mars. Après avoir franchi le chaos de blocs provenant du puits, la rivière se poursuit par une succession de grands lacs souterrains entrecoupés de petits rapides nécessitant des débarquements. Après une "étroiture" de 20 m x 15 m, on débouche dans une salle chaotique au bout de laquelle se trouve la confluence avec la rivière Shuitanghe.

La perte de la rivière Shuitanghe, qui se situe près du village de Gebong, a un débit plus faible (1,2 m³/s en mars) et les galeries empruntées sont plus petites (10 m x 20 m). Le parcours est similaire à celui de la Gebihe. Il s'agit de longs lacs entrecoupés par de petits rapides formés par les énormes blocs tombés du plafond. Dans toute la galerie le courant d'air est très violent et s'inverse suivant la météo.

A l'aval de la confluence, un lac de plus de 1000 m de long, nécessitant une navigation fastidieuse, s'étire dans une énorme galerie aux parois noirâtres plongeant dans l'eau glauque. On débouche enfin à la base d'un aven géant qui rejoint le plateau, le puits central de 210 m. (infra 3).

2. Le puits de 370 m et les porches étagés

Après 1 heure de "grimpe", au départ par un petit sentier, puis à travers les herbes et la broussaille (attention aux glissades en cas de pluie!), nous arrivons à une superbe grotte-tunnel suspendue de 137 m de long, 70 m de large et 50 m de haut bien visible depuis le bas. Elle est à la cote + 226 m par rapport à la perte et débouche sur un effondrement de 200 m de diamètre qui correspond à la moitié supérieure d'un puits géant de 370 m. Nous sommes dominés par une haute falaise de plus de 150 m ; devant nous un canyon sauvage rempli d'une végétation dense, en bas le trou noir béant d'où l'on entend monter le bruit de la rivière.

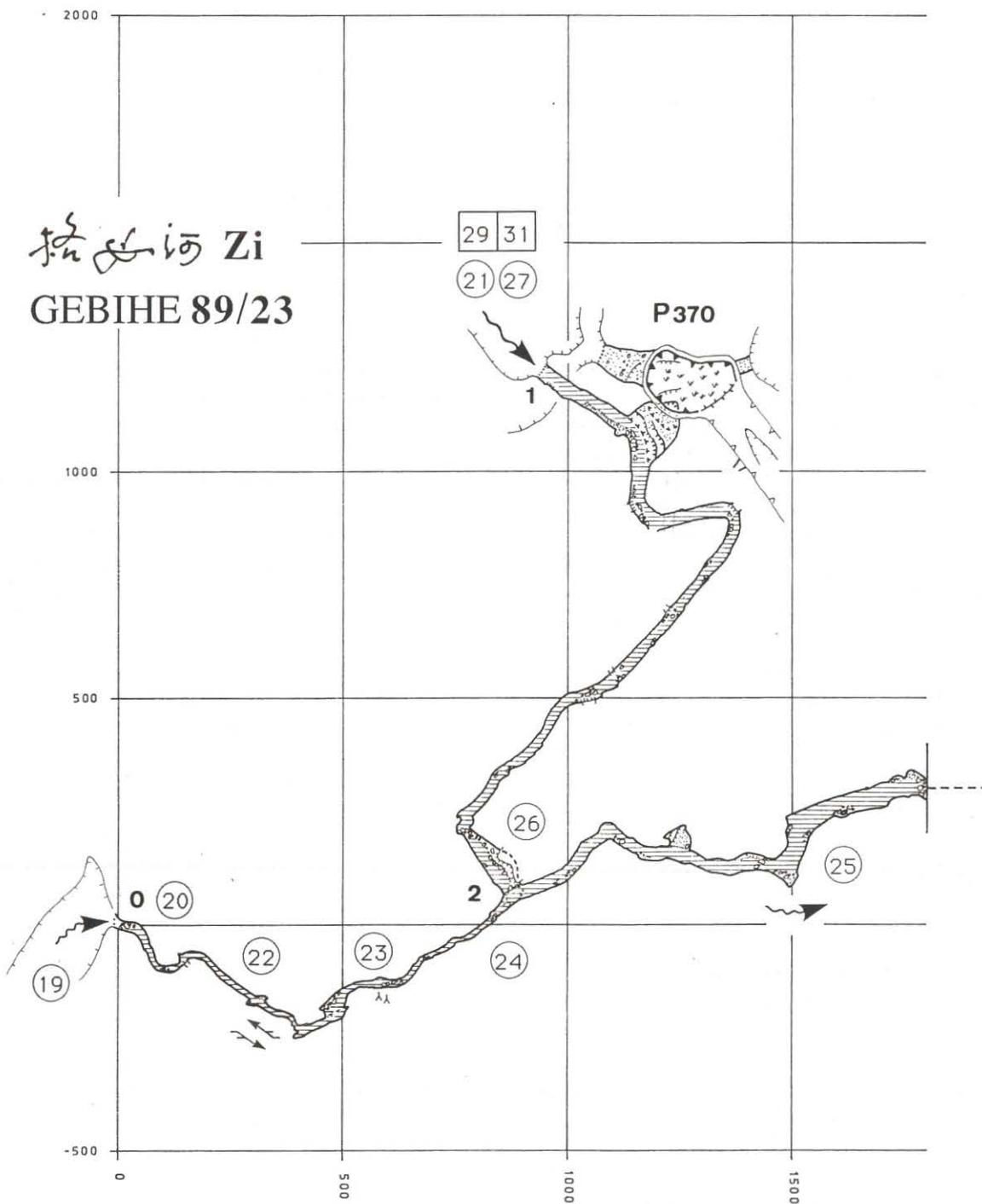
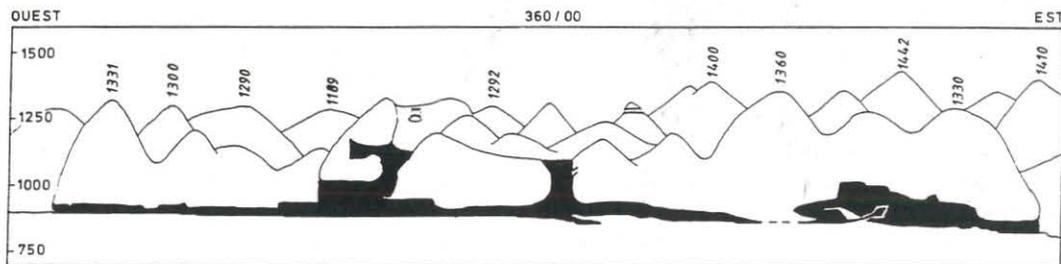
La descente commence par une pente inclinée de 40 m, suivie par un passage en vire de 20 m pour éviter les chutes de pierres. Un premier jet de 22 m plein vide mène à un grand palier ; nous longeons la paroi sur quelques mètres, puis la pente s'accroissant fortement, nous fractionnons une première fois. Le deuxième fractionnement est installé au départ d'un tronçon de 40 m "plein gaz" qui domine de 170 m le lac d'entrée ; un petit noeud agrémenté la descente.

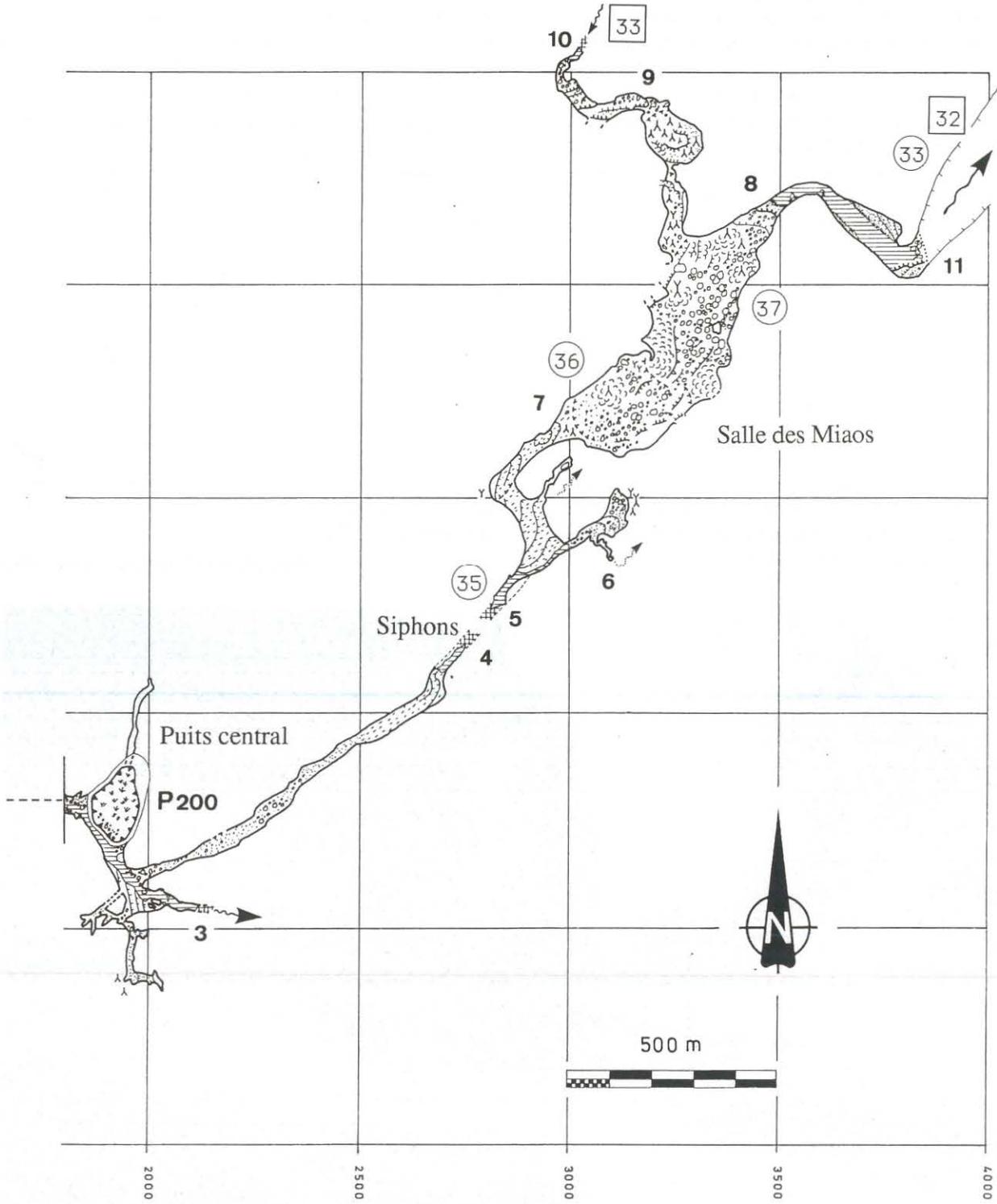
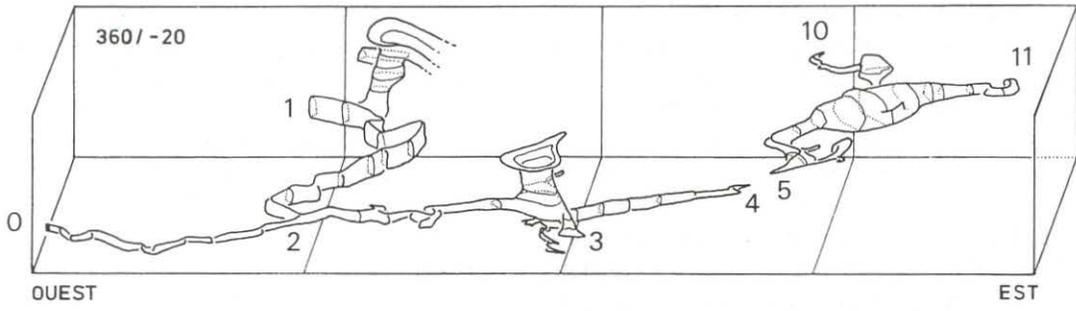
Nous arrivons de nouveau sur un énorme palier, la vue est fantastique : à l'amont le majestueux porche d'entrée de Dadong se reflète dans les eaux calmes du lac d'entrée, à l'aval la suite du réseau et sa galerie titanesque de 150 m de haut ! Nous traversons ce palier en marchant sur environ 130 m et installons une nouvelle corde quinze mètres plus bas. Là, nous avons la surprise de trouver une mini-plateforme délabrée faite de bambous et de lianes. Elle servait autrefois pour rejoindre l'exploitation de nitrate située sur le gros palier. Les trois derniers fractionnements sont installés et nous prenons pied sur les blocs de la rivière. (JLM et JPB)

numéro et nom	village	Z	dév.	dén.	ext.	géologie	rem.
Zi 89 23	Système de la GEBIHE	Gebong	928	11896	- 445	C123	
	RESEAU AMONT	Gebong		7746	- 418	P1	à revoir
	RESEAU AVAL	Xadong		4150			

Tableau 4 : Spéléométrie du système de la Gebihe (Ziyun, Guizhou). *Gebihe cave data (Ziyun, Guizhou).*

Figure 35 : Plan et coupe du système de la Gebihe (Ziyun, Guizhou). *Gebihe system (Ziyun, Guizhou), plan and profile.*





3. Le puits central d'effondrement et le fond

Depuis le camp de base de Gebong, 2 h de marche sont nécessaires pour rejoindre l'immense orifice du puits situé au coeur du karst à cônes et pitons. L'aven, large de 150 m, s'ouvre au fond d'un ancien ouvala présentant des terrasses cultivées dans sa première partie. Au bord, la végétation empêche d'apercevoir le fond d'où monte le grondement de la rivière. Voilà qui rappelle de vieux souvenirs "papouasiens" et les puits géants de Minyé et Naré. La descente s'effectue à l'extrémité de la paroi orientale, presque dans l'angle nord du puits. Après plusieurs relais sur arbres et trois fractionnements (quelques blocs instables), on débouche sur un porche noir haut de 25 m, pour prendre pied au sommet d'un puissant éboulis. Après une descente de 50 m dans une végétation de palmiers tendres et de hautes fougères, on atteint la rivière. La hauteur minimum du puits est de 210 m ; à l'aplomb de la rivière, la paroi surplombante atteint 270 m tandis qu'à 200 m de haut, dans l'angle ouest, une cheminée se perd dans l'obscurité.

En haut du cône d'éboulis, à l'arrivée de la corde, une belle galerie fossile se développe pendant 200 m vers le nord, avant de buter sur un remplissage de calcite.

Après s'être frayée un chemin à travers les blocs qui occupent la base du puits, la rivière disparaît à nouveau dans une galerie impressionnante large de 60 m. Finis les longs lacs calmes, la pente s'accroît et la roche est burinée par une quantité de petites marmites suspendues. Au-dessous, c'est un véritable torrent qui écume et tourbillonne dans de grosses marmites. Malheureusement celui-ci finit sa course dans un siphon encombré de troncs d'arbres à la cote - 418 m. Un peu en arrière, en rive gauche, une énorme galerie sert de trop-plein de crue ; 1 km plus loin, un siphon suspendu interdit l'accès au réseau aval (d'après topographie fig. 35).

Pendant les crues d'été, c'est plus de 50 m³/s qui doivent se précipiter vers le siphon aval de telle sorte que celui-ci n'arrive plus à absorber la totalité du débit. A ce moment, la galerie aval s'ennoie et l'eau remonte de 20 m dans le puits comme en témoignent 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. (RM et JB)

Impressions...

Approche du grand puits. Tout près de notre objectif, je suis subjuguée par la majesté qui se dégage du lieu. Nous arrivons par la partie la plus basse, et face à nous, de grands pans de falaise blanche s'élèvent creusés par des excavations plus ou moins sombres. Bien qu'assourdi, le grondement de la rivière nous parvient déjà. Richard commence à équiper une main courante le long de la pente d'accès déjà raide pendant que Claude et moi tirons la topo; au milieu des grandes herbes, ce n'est pas si facile ! A l'aplomb du dernier à-pic, Richard équipe la corde sur un tronc, mais il sera le seul à descendre pour aujourd'hui en reconnaissance rapide car il nous reste peu de temps. De mon point d'observation, je me remplis les yeux du spectacle offert au-dessous de moi : de grandes feuilles forment la forêt restée intacte dans sa sauvagerie. Certaines ressemblent à des feuilles de nénuphar géantes, et les bananiers étalent leurs panaches en étoiles. Tout en bas je peux distinguer la rivière surgissant d'un tunnel à droite pour courir entre les énormes blocs, vestiges de l'ancien éboulis, et s'engouffrer à nouveau dans le porche de gauche. Il y a près de 300 m entre le point le plus haut et la rivière et j'ai beaucoup de mal à me représenter la grotte telle qu'elle était avant : une immense salle fermée !.. (PB)

Photo 11 : Perte de Gebong, Gebong sinkhole.



B. LERESSEAU AVAL

La marche d'approche jusqu'à la résurgence est très belle : depuis la perte, quatre heures à cheminer entre les pitons et les ouvalas, les hameaux et les champs de maïs. La descente vers la vallée où réurge la rivière comporte la traversée d'un énorme porche sec, relique d'un ancien fleuve souterrain qui passait au moins 250 m plus haut que le cours actuel.

1. La résurgence

Le porche de la résurgence est impressionnant : 40 m de large et 50 m de haut. Il s'agit probablement d'une ancienne salle alternativement remblayée — on trouve des remplissages bréchiques presque jusqu'à son sommet — et recreusée en

régime noyé comme le montrent les nombreuses coupoles recoupant la roche ou les brèches. Actuellement, son sol est surcreusé suite à l'incision du canyon situé en aval de la grotte.

Le lac d'entrée est entrecoupé de deux rapides qu'il était un peu difficile de remonter en novembre, en saison sèche. On imagine le torrent impétueux qui doit jaillir ici pendant la saison des pluies, rendant toute incursion sous terre hasardeuse. Le second de ces rapides se trouve à 300 m de l'entrée, immédiatement à l'aval de l'endroit où les eaux apparaissent, entre les éboulis du bas de la grande salle (point 8) (fig. 35).

2. La salle des Miaos (fig. 36)

A cet endroit précis débute l'une des plus grandes cavernes de la planète. Les qualificatifs habituels (énorme, titanesque,

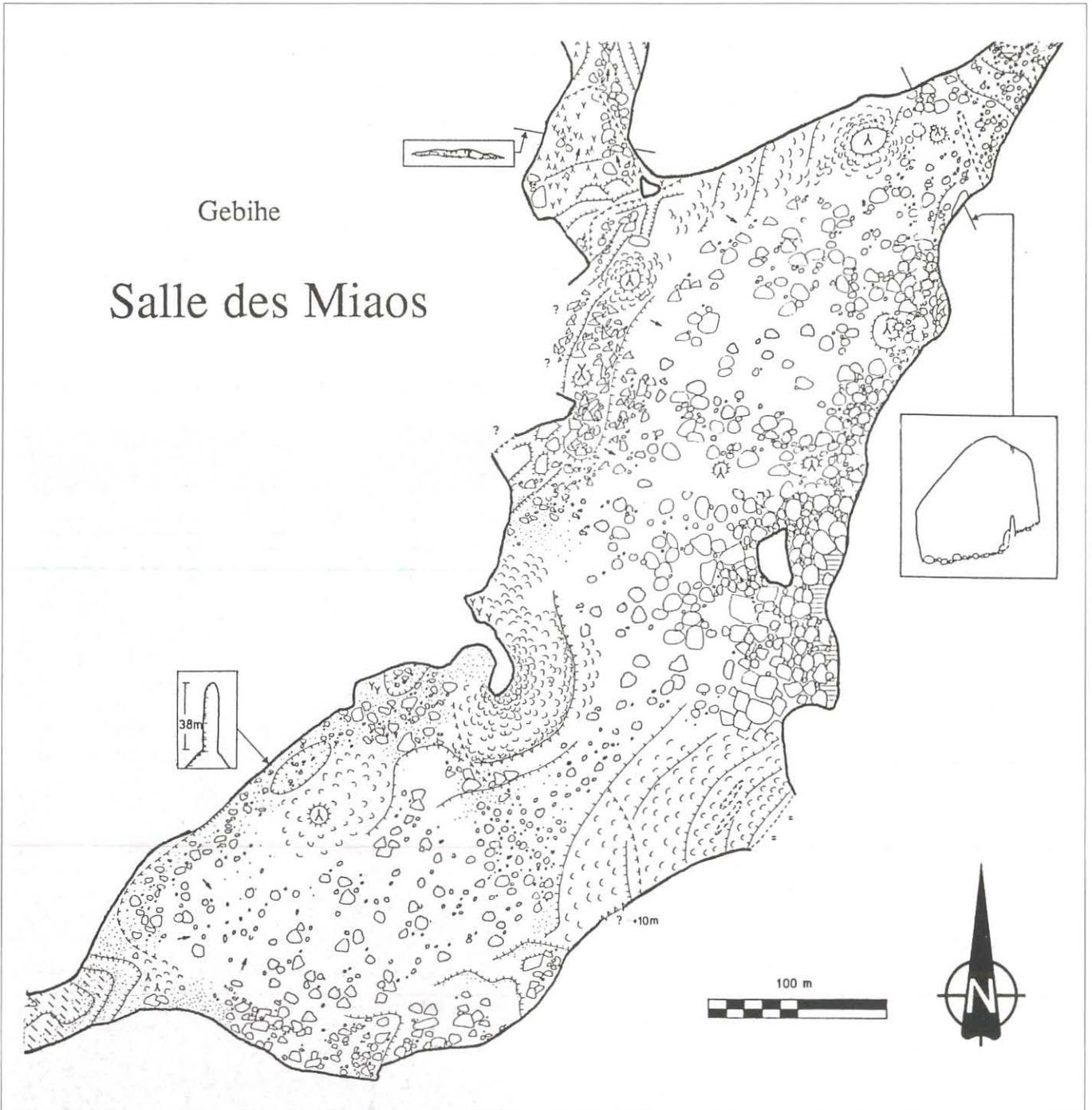


Figure 36 : Plan détaillé de la Salle des Miaos (système de la Gebihe, Ziyun, Guizhou).
Detailed plan of the Miaos Chamber in Gebihe system (Ziyun, Guizhou).

dantesque, dément...) sont impuissants à rendre l'impression d'immensité de ce paysage souterrain. Qu'on en juge : 700 m de long sur 215 m de large, soit 12 hectares de superficie et un volume compris entre 7 et 10 millions de m³, soit 2 à 3 fois celui de la salle de la Verna dans le gouffre de la Pierre Saint-Martin. Par sa taille, c'est actuellement le second vide souterrain connu sur Terre après la salle Sarawak, dans le karst de Mulu, au nord de l'île de Bornéo. Nous n'en avons perçu l'étendue que quand l'équipe s'est dispersée pour chercher une paroi à suivre, tant il est vrai que sous terre, le spéléologue aime "coller" à quelque chose de ferme.

Le plancher est recouvert d'énormes blocs arrondis de 2 à 5 m de haut. Les parois sont le plus souvent recouvertes d'énormes coulées stalagmitiques et de gours sur 20 à 60 m de haut. La voûte est difficile à distinguer, mais elle semble dessiner deux vastes cloches d'effondrement qui atteignent vraisemblablement plus de 100 m de haut, séparées par un ensellement qui ne ferait "que" 70 m de haut.

Cette salle s'est formée le long du trajet principal de la rivière, par effondrements successifs dans le cours actif dont le tracé ne semble pas avoir beaucoup changé au cours des siècles. L'écoulement d'étiage (5 m³/s) se fait sous quelques dizaines de mètres de blocs et on ne perçoit son murmure qu'en quelques endroits. Une circulation d'étiage au moins partielle par d'autres conduits que cette salle n'est pas exclue, puisque la perte se situe loin en amont de la salle elle-même (point 6).

Par contre, pendant les crues, le niveau de l'eau monte suffisamment (80 m) pour déboucher au point haut en amont de la salle (point 7). Celle-ci est alors traversée par un torrent impétueux (la dénivellation de la salle dépasse 100 m) qui a poli les blocs rocheux. Le spectacle d'un fleuve souterrain cascadeur sur ces rochers doit être assez impressionnant, mais il ne ferait pas bon traîner sous terre à cette saison.

Par petite crue, le niveau de l'eau monte dans la zone siphonnante (points 4 et 5) et s'écoule dans les pertes de crues (point 6). Les troncs de 10 m abandonnés indiquent la violence du courant. Le trop-plein du torrent se fait dans une rampe de gros graviers (entre les points 6 et 7) qui tapissent le sol d'une galerie de 5 m de diamètre.

Quand on monte du centre de la salle vers ses parois, l'aspect des blocs change radicalement. Au centre, ce sont des rochers polis, usés par l'érosion, luisants comme les parois d'un canyon. En montant, ils laissent peu à peu place à des roches sèches et rugueuses, couvertes de microconcrétions à patine noire. L'atmosphère elle-même semble évoluer et donne une fausse impression de chaleur quand on monte. En réalité, il fait approximativement 18°C dans toute la salle, soit une température plus forte que la moyenne annuelle de la région. Cette anomalie (positive d'environ 4°C) est certainement liée à l'énorme apport calorifique des crues estivales.

Comme l'atmosphère est un peu sèche et qu'il y a peu de matière organique, les parties hautes de la salle sont dépourvues de faune. Par contre, les zones siphonnantes et les pertes encombrées de bois recèlent une faune assez riche : poissons (peu pigmentés mais bien oculés), diplopodes, criquets, araignées, collembolles...

Quelques énormes stalagmites se lancent à l'assaut des voûtes de la grande salle. L'une d'entre elle atteint 38 m de haut et pourtant il lui faudra encore doubler de taille pour atteindre le plafond ! Ces concrétions énormes donnent une idée du grand âge de la salle, mais il n'est pas encore né celui qui pourra

les dater en prélevant une carotte dans leur cœur !

En amont de la salle (point 7) se développe une grande galerie très droite, au sol tapissé d'argile de décantation. Elle descend en pente douce jusqu'à un siphon (point 5) qui est le frère jumeau de celui qui termine le réseau amont (point 4) (fig. 35). D'après les levés topographiques, il n'y a là que quelques centaines de mètres à plonger pour réunir ces deux fabuleux réseaux. (BCo)

3. L'affluent aval

Un gros affluent rejoint le cours principal à 200 m en amont de la résurgence d'étiage (fig. 35). Cet affluent a été remonté jusqu'à un joli siphon qui serait plongeable. Son débit est important, de l'ordre du m³/s, et la confluence des deux écoulements a dû favoriser la formation de la partie aval de la grande salle. Les crues doivent y être moins importantes, peut-être parce que son bassin-versant est en grande partie constitué de roches karstiques, alors que celui du cours principal est en majorité formé de roches peu perméables, favorisant un ruissellement rapide des eaux de pluies. L'affluent correspondrait peut-être à la perte située à 3 km au NE de la grande résurgence (bassin-versant de 20 km²).

Le cours de cet affluent est de plus en plus surcreusé vers l'aval, et nous l'avons abandonné alors qu'il s'enfonçait dans un canyon souterrain étroit et peu engageant. Par contre, de belles galeries bien concrétionnées se développent en voûte et communiquent avec la grande salle. Elles constituent un petit labyrinthe où nous avons réussi à nous perdre ! (BCo.)

Photo 12 : Le puits central de la Gebihe. The central shaft



RECONNAISSANCE DU KARST DANS LE COMTE DE PINGTANG (GUIZHOU)

— Jean-Luc MOUDOUD, Claude MOURET, ZHANG Shouyue

RESUME :

Le karst à pitons (fenglin-poljé) de Pingtang, dans le sud du Guizhou, a fait l'objet d'une brève reconnaissance en 1989 en vue d'une prochaine expédition. La rivière Lapinghe traverse les plis par une succession de grottes-tunnels, notamment au nord du poljé de Sizhai, d'où le nom de "montagne creuse" donnée à cette zone. La grotte de Ji'an Dong, perchée 120 m au-dessus du poljé de Manhong, abrite un barrage artificiel souterrain pour l'irrigation. La grotte de Heidong, visitée avec les autorités, ferait l'objet d'un aménagement touristique. Un travail important d'exploration et d'étude scientifique reste à faire dans ce comté.

Mots-clés : karst à pitons, fenglin, poljé, grotte-tunnel, barrage souterrain, Pingtang, Guizhou.

摘要：贵州平塘喀斯特踏勘

对平塘峰林短暂的踏勘是为了对黔南进一步考察作准备。拉平河流经的地区形成一系列洞穴，尤其是四寨溶盆的北部称为空山的地区，勘察了高于满哄溶盆120m的吉安洞，讨论了为增加灌溉效益拟封堵洞口抬高地下水库水

位需要解决的水文地质工程地质问题。与平塘县领导一起踏勘的黑洞可能考虑作为旅游洞穴开发。这里的洞穴科学考察是一项有待进行的重要工作。

ABSTRACT: RECONNAISSANCE IN THE KARST OF PINGTANG (GUIZHOU).

In 1989, we briefly reconnoitred the cone-karst of Pingtang in southern Guizhou for a future expedition. The Lapinghe river flows through the folds in a succession of tunnel-caves, especially north of the Sizhai polje, through an area whose name is "hollow mountain". An irrigation dam has been built in Ji'an Dong cave, which is situated 120 m above the Manhong polje. The Heidong cave, which we visited with representatives of the authorities, will be fitted up as a show cave. In this county, important work concerning exploration and scientific investigation remains to be done.

Keywords : Cone-karst, fenglin, polje, tunnel-cave, subterranean dam, Pingtang, Guizhou.

ZUSAMMENFASSUNG: VORERKUNDUNG DES KARSTES VON PINGTANG (GUIZHOU).

Der Kegelkarst von Pingtang im südlichen Guizhou wurde in Hinsicht auf eine zukünftige Forschungsreise erkundet. Der Fluß Lapinghe durchbricht mit einer Serie von Durchflußhöhlen die Faltungen nördlich der Polje von Sizhai, ein Gebiet mit dem Flurnamen "Hohler Berg". In der Höhle Ji'an Dong, 120 m über der Polje Manhong gelegen, wurde ein Staudamm errichtet. Die Höhle Heidong, die mit Vertretern der Behörden begangen wurde, wird zur Schauhöhle ausgebaut. In diesem Landkreis gibt es noch viel zu erkunden und ist noch manche wissenschaftliche Untersuchung durchzuführen.

Stichworte: Kegelkarst, Fenglin, Polje, Durchflußhöhle, unterirdischer Staudamm, Pingtang, Guizhou.

INTRODUCTION

Le karst à piton typique (fenglin-poljé) de Pingtang se situe au sud du Guizhou (lat. 25°50' N, long. 107°19' E) sur le bassin amont du Zhujiang (rivière des Perles) dont le delta se situe près de Canton. Cette zone a fait l'objet d'une reconnaissance de 2 jours en 1989 en vue d'une prochaine expédition. Il existe de nombreuses grottes-tunnels qui traversent les plis, notamment sur le cours de la rivière Lapinghe et de ses affluents, d'où le nom de "Montagne creuse" donné à l'anticlinal situé au nord du poljé de Sizhai (fig. 39 a). Les zones reconnues se situent d'une part près de la route qui relie le comté à la province du Guangxi, et d'autre part le long de la route Pingtang-Guiyang.

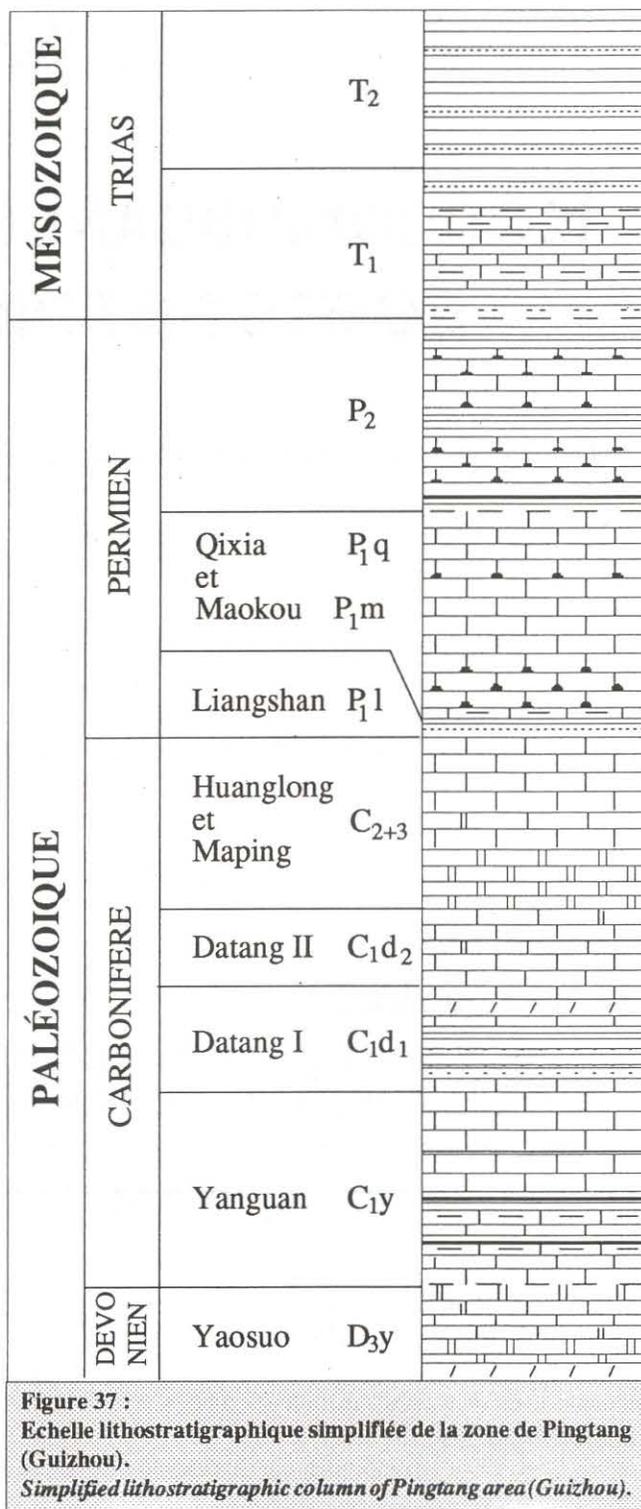
PRESENTATION PHYSIQUE

Situé à une altitude moyenne de 700 à 1000 m, ce comté se trouve sur les pentes qui séparent le haut plateau du Guizhou et le bassin du Guangxi. Cette région qui dépend du grand bassin du Zhujiang (rivière des Perles) est drainée par les eaux de la rivière Lapinghe dont le débit moyen annuel à Pingtang est de 33,35 m³/s. Celle-ci se jette ensuite dans la rivière Hongshuihe (affluent majeur de la rivière des Perles).

◇ **Géologie** : Les roches carbonatées s'étagent du Dévonien au Trias inférieur (fig. 37). Le Trias moyen, le Permien inférieur (P₁l) et le Carbonifère inférieur (C₁d₁) forment les niveaux imperméables de la région (fig. 37). Les plis ont une orientation N-S au sud de Pingtang et NW-SE à l'ouest. On peut noter la présence des failles majeures de Luodian et de Pinglihe ; elles ont toutes deux une direction N-S et une inclinaison de 60 à 70°. Le flanc occidental de l'anticlinal de Pinghuoba forme la ligne de partage des eaux entre les rivières Caoduhe et Lapinghe (fig. 39 a).

◇ **Géomorphologie** : La partie ouest du comté de Pingtang présente un relief principalement formé par un karst du type fenglin-ouvala. L'altitude des sommets varie de 900 à 1200 m, ils dominent de 150 à 300 m le fond des ouvalas. Le pourcentage des formes négatives, par rapport aux formes positives, varie de 7 à 18 %. La partie méridionale du comté, près du village de Sizhai, présente un relief du type fenglin-poljé avec 35 % de dépressions.

Le long du trajet routier qui relie Sizhai aux gorges de la rivière Caoduhe via Pingtang, une coupe morphologique, effectuée à l'altimètre (fig. 39 b) avec distances estimées, montre un étagement du relief entre 580 m (Caoduhe) et 1150 m environ. Cette coupe montre une succession de pitons, de dolines et de poljés emboîtés ou non. Les surfaces qui passent par le sommet des pitons s'étagent sur plusieurs niveaux altimétriques : 1000, 900, 850 et 750 m le long de la route Sizhai Pingtang et 1150, 920-870 et 800 m sur la route de Pingtang à la Caoduhe. Entre cette rivière et Guiyang existent des niveaux plus élevés. Au pied des pitons se trouvent des dolines, des ouvalas, et surtout des poljés, formant aussi des surfaces dont la corrélation régionale reste à préciser. La hauteur des pitons varie en moyenne de 50 à 150 m environ. Cependant ceux bordant la Caoduhe peuvent atteindre 300 m en raison d'un plus fort gradient hypsométrique lié au creusement de la gorge, profonde de 550 m.



Un "mégapoljé" particulièrement remarquable entre 700 et 800 m d'altitude existe le long de la route Pingtang-Sizhai-Guangxi. Long de plusieurs dizaines de kilomètres, large de 3 à 5 km, il est surcreusé de poljés plus petits, comme celui de Sizhai, de dolines d'effondrement plus fréquentes au nord et au centre, et d'avens d'effondrement. Le "mégapoljé" est bordé de falaises découpées en pitons avec un degré évolutif variable. De grand porches fossiles pluridécamétriques sont parfois visibles dans ces falaises, ainsi que des systèmes de pertes-résurgences.

Situé à une altitude moyenne de 760 à 770 m, le poljé de Sizhai s'étend vers le NNE sur une longueur de 4 km et une largeur de 1 à 1,5 km. Il est dominé de 150 à 200 m par le

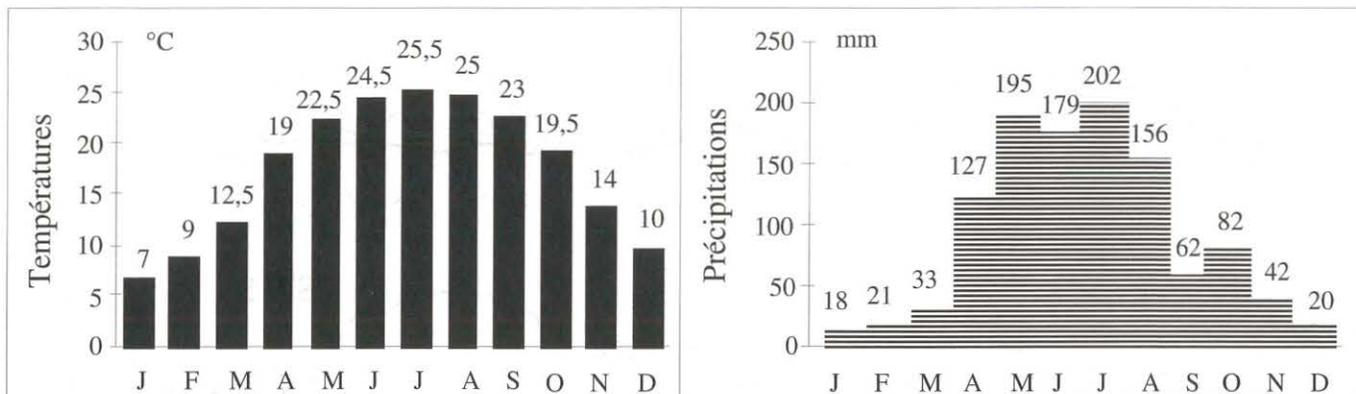


Figure 38 : Données climatiques du comté de Pingtang (Guizhou), températures et précipitations.
Climatic data of Pingtang county (Guizhou), temperature and precipitation.

sommet des pitons. Ce poljé typique, à nappe phréatique peu profonde, est toujours inondé en saison des pluies. Dans sa partie sud, on trouve une série de résurgences (dont Wadong) et d'exurgences qui forment une rivière aérienne s'écoulant dans le fond du poljé et se perdant dans la partie nord. Cette rivière souterraine, grossie par les eaux du poljé de Manhong, conflue quelques kilomètres plus loin avec le cours hypogé de la rivière Lapinghe, au lieu-dit Tianshengqiao.

A l'ouest du poljé de Sizhai se trouvent un petit poljé, puis celui de Manhong (fig. 39 c). Ils sont séparés les uns des autres par des pitons qui dérivent clairement de l'évolution d'anciens interfluves (fig. 39 d). Leur forme dépend aussi de la

nature de la roche et de leur position morphostructurale. Ainsi ceux bordant, à l'ouest, le poljé de Manhong, plus hauts et mieux séparés les uns des autres, correspondent à une position en amont pendage et à un relief de faille.

◊ **Climat** : A la station de Pingtang (alt. 690 m), la température moyenne annuelle est de 17,6°C (janvier/7°C, juillet/25,5°C) et les précipitations de 1137 mm/an (fig. 38). La pluviométrie peut atteindre jusqu'à 1400 mm dans la région. Le régime climatique est un peu moins prononcé que celui de Zhijin et Ziyun. L'amplitude pluviométrique varie de 1 à 11 (janvier/18 mm, juillet/202 mm). D'avril à août, il tombe 859 mm, soit 76 % des précipitations annuelles. (ZS, CM)

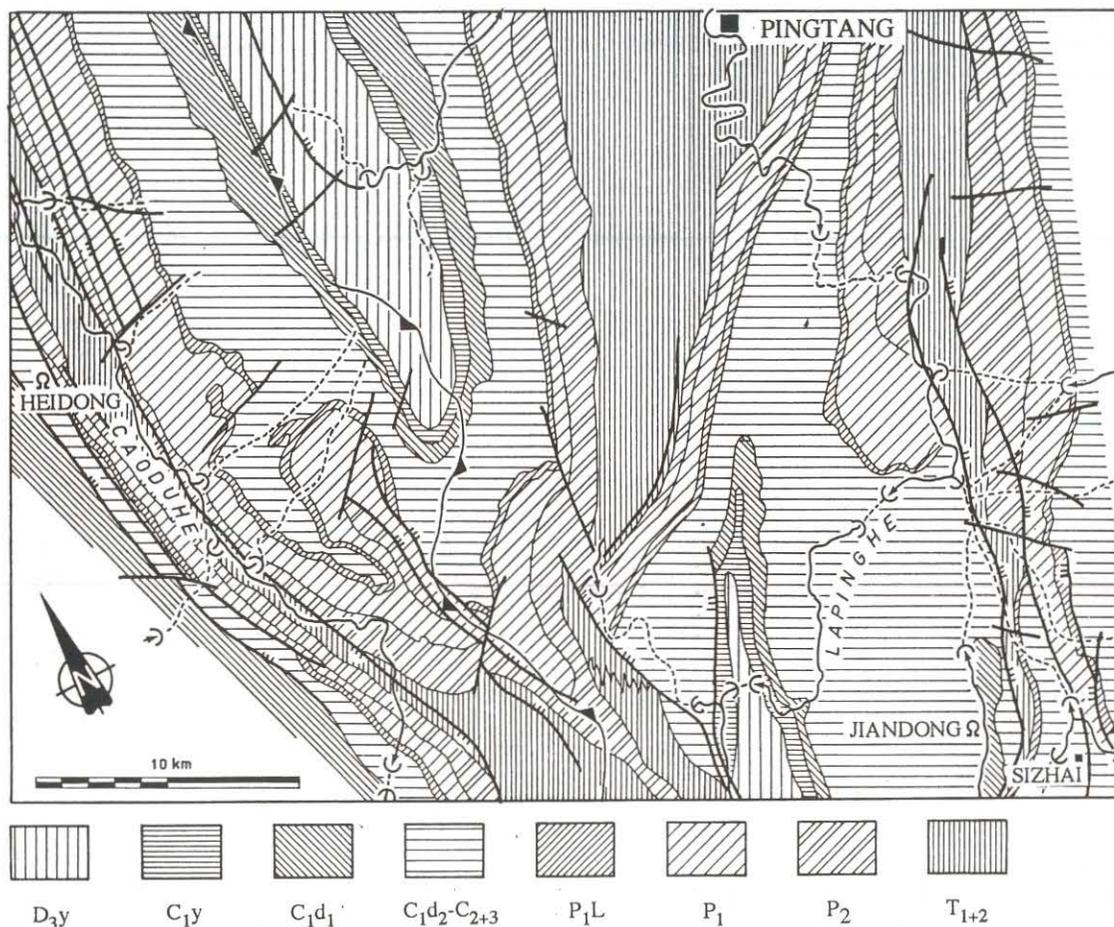


Figure 39 a : Géologie de la zone de Pingtang (Guizhou) (légende fig. 37). Geological map of Pingtang area (Guizhou) (legend fig. 37).

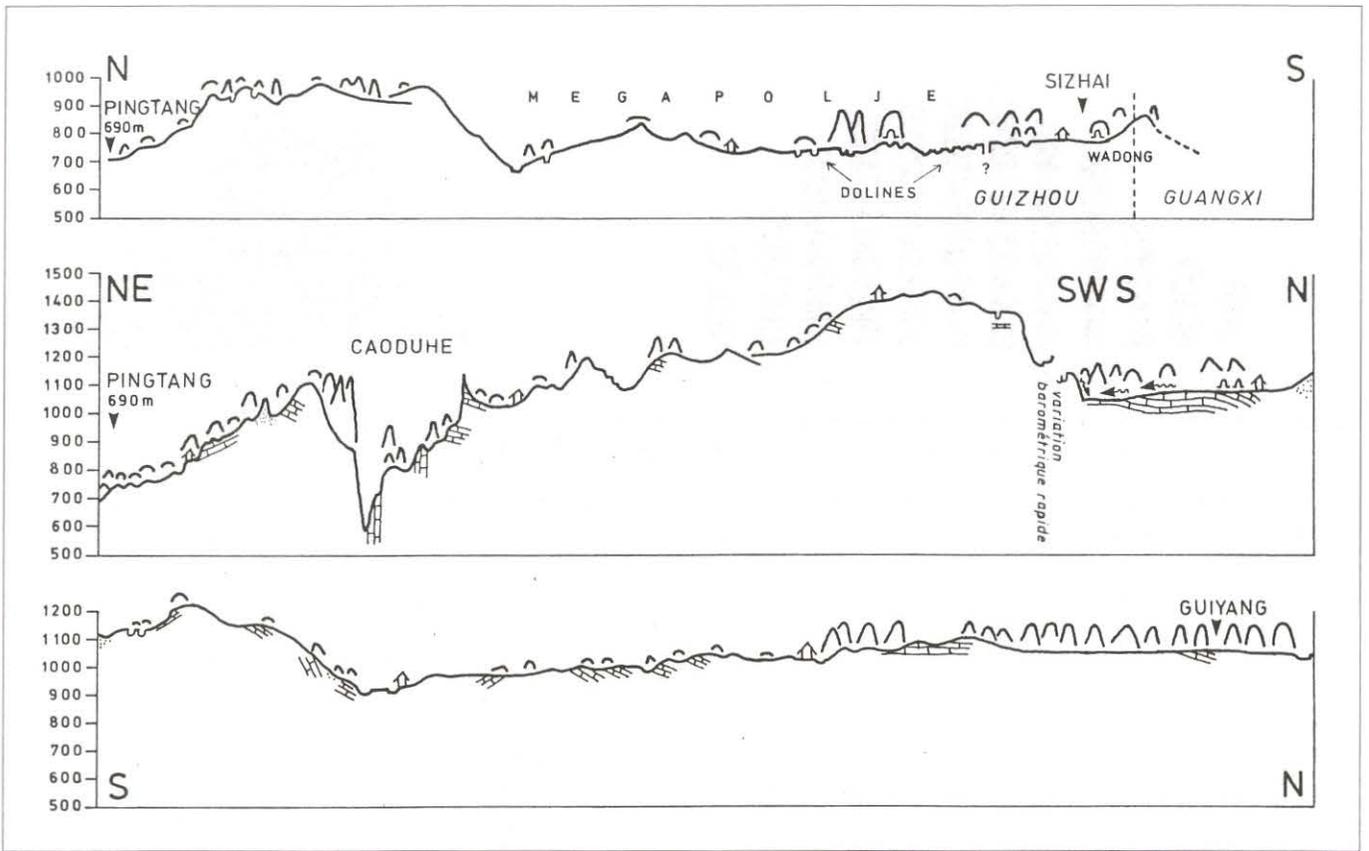


Figure 39 b : Coupe altimétrique du plateau du Guizhou entre la province du Guangxi (au Sud) et Guiyang en suivant la route qui passe par Pingtang (hauteurs barométriques calées à Pingtang ; longueurs proportionnelles au temps passé ; pentages près de la réalité ; longueur totale estimée 225 km).

Altimetric section of Guizhou plateau at the border of Guizhou and (south) Guangxi provinces taken at the Pingtang road. Elevation was measured by altimeter calibrated at Pingtang. The given distance is in accordance with the travelling time. Dips are moderately distorted. The estimated distance is about 225 Km.

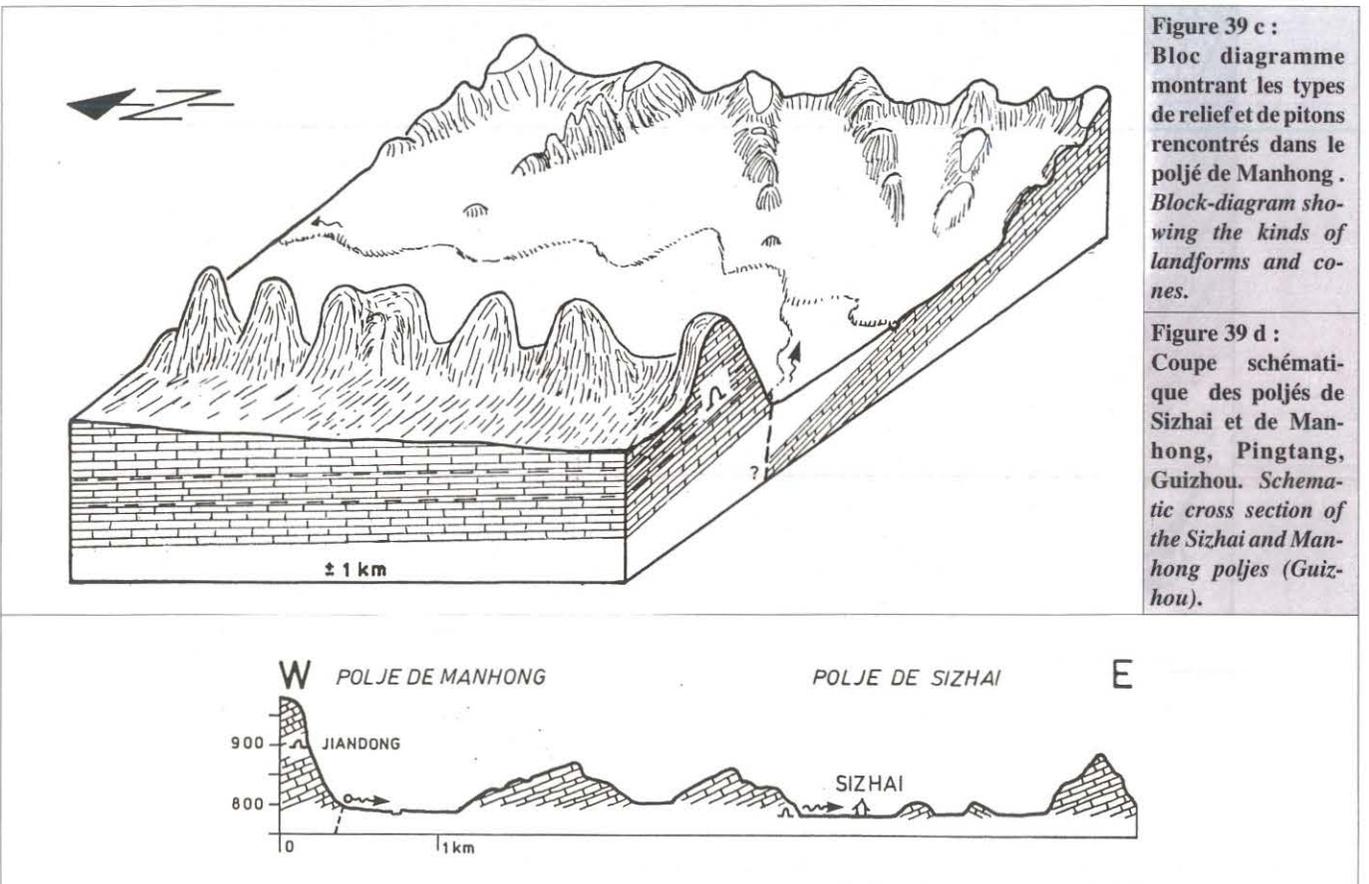


Figure 39 c : Bloc diagramme montrant les types de relief et de pitons rencontrés dans le polje de Manhong. Block-diagram showing the kinds of landforms and cones.

Figure 39 d : Coupe schématique des poljés de Sizhai et de Manhong, Pingtang, Guizhou. Schematic cross section of the Sizhai and Manhong poljes (Guizhou).

PRESENTATION DES CAVITES

A. HEIDONG

Grotte Sombre (fig. 40)

Pingtang n° 89/1

Z = 830 m Dév. = 764 m Dén. = - 43 m

Situation : Elle est située 1 km au SE du village de Pingzhai, en rive gauche et 120 m au-dessus de la rivière Daguihe, qui est un petit affluent de la Caoduhe.

Contexte géologique : Cette cavité se développe dans les calcaires gris clair en bancs épais du Carbonifère moyen et supérieur. Le pendage est à cet endroit de 50 à 60° vers l'est, il peut être localement vertical.

Description : Cette grotte fossile à l'entrée fortifiée est constituée d'une grande galerie descendante (largeur 15 m, hauteur 10 m) avec un point bas à - 43 m. Elle porte bien son nom puisqu'elle renferme de nombreuses concrétions dont la teinte noire ne semble pas être naturelle ; elle peut provenir des nombreux feux et des torches utilisés par les paysans. Dans la zone d'entrée nous avons pu voir des phytokarsts bien développés.

Tout au long des 760 m de parcours, de gros massifs stalagmitiques isolés agrémentent une progression quasi horizontale. La section des galeries présente toujours une forme rectangulaire horizontale plus ou moins arrondie ou déformée par endroit. Le creusement s'est effectué en régime noyé comme en témoignent les nombreuses coupoles de paroi et de plafond. D'innombrables "perles des cavernes" aux formes curieuses, certaines grosses comme le poing (jusqu'à 13,5 cm de diamètre), occupent le sol sur des centaines de mètres carrés. La galerie principale se termine sur un éboulis calcifié au bas duquel s'ouvre un petit puits de 7 à 8 m qui n'a pas été descendu ; il semble néanmoins bouché. Dans le point bas de la cavité, un petit orifice avec un léger courant d'air n'a pas été exploré (désobstruction nécessaire). La teneur en CO₂ mesurée à l'entrée et à - 43 m est de 0,03%. La température au fond de la cavité est de 20,4°C.

Pendant notre visite, nous avons été accompagnés par le directeur du comté et par plusieurs autres officiels ; il est vrai que ceux-ci souhaitent aménager et ouvrir cette cavité au tourisme. Point négatif, l'accès est long, peu aisé, et de nombreuses concrétions ont été cassées ; néanmoins Heidong reste une grotte agréable à parcourir. (CM, ZS, JLM)

B. JI'AN DONG

Situation : Cette cavité se situe à l'ouest du poljé de Sizhai sur le flanc d'un chaînon N-S. Elle s'ouvre à 900 m d'altitude et 120 m au-dessus du poljé de Manhong, côté ouest (fig. 39 a).

Contexte géologique : La bordure du poljé de Manhong forme le contact entre les roches carbonatées et les roches clastiques. Ji'an Dong se développe dans les calcaires gris à gris sombre en bancs moyens de la partie supérieure du Carbonifère supérieur ; sa base est constituée par des bancs épais de marne, d'argile et de "shale". Le pendage est à cet endroit de 6° avec une direction N335°. Elle se développe parallèlement au flanc de l'anticlinal.

Description : Nous avons visité cette cavité à la demande des autorités locales qui veulent en continuer l'aménagement du réservoir souterrain qu'elle abrite à une centaine de mètres de l'entrée. Le gouvernement demande si en élevant le mur du barrage il pourrait augmenter sa capacité afin d'avoir plus

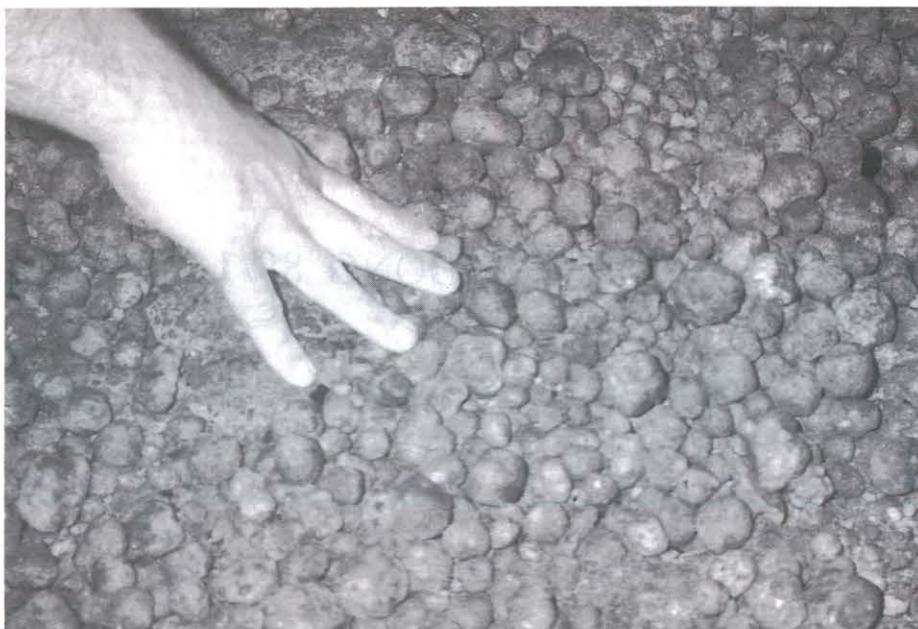


Photo 13 : Perles des cavernes dans la grotte de Heidong.

Cave pearls in Heidong cave.

d'eau pour irriguer les zones voisines (ceci semble possible en laissant entre le mur et la voûte un espace suffisant pour l'écoulement des pointes de crues). La longueur présumée de la cavité serait de 5 km selon les informations du géologue du comté. La galerie principale sèche et étroite à l'entrée (1 à 2 m de large pour 3 m de haut) descend jusqu'à un petit puits (en partie artificiellement bouché) qui absorbe les eaux venues de l'amont (la résurgence n'est pas connue). Un peu avant, nous laissons sur la droite une galerie étroite à courant d'air. A partir du puits, la galerie principale s'élargit et sa section atteint

numéro	nom	village	Z	dév.	dén.	ext.	géologie	rem.
Pi 89 1	HEIDONG Grotte sombre	Pingzhai	830	764	-43	340	C2-3	à revoir

Tableau 5 : Spéléométrie de la grotte de Heidong (Pingtang, Guizhou). Heidong cave data (Pingtang, Guizhou),

maintenant 5 à 8 m de large pour 5 m de haut. Elle est subhorizontale et fermée en partie par le mur du barrage. Le débit normal reconstitué d'après le temps de remplissage du réservoir est de l'ordre de 50 l/s, mais n'est pas estimable directement à cause des tuyaux amenant de l'eau à une micro-centrale électrique. Le débit de crue n'est pas suffisant pour que les eaux puissent ressortir par la galerie d'entrée. Si la partie amont semble très intéressante, la partie aval se terminerait sur des fissures impénétrables. (ZS, CM)

Cette grotte non topographiée a une ouverture de 15 m de large et de 8 m de haut. Un barrage près de l'entrée accumule l'eau destinée aux rizières du poljé. La galerie se rétrécit vers l'amont du plan d'eau. Selon le géologue du comté, on peut la remonter en bateau sur 1 km, franchir un groupe de pitons, et ressortir au jour. En amont, elle provient d'une nouvelle grotte située à la base d'autres pitons. Le débit de la rivière est de l'ordre d'une vingtaine de litres par seconde.

C. LES RESURGENCES DU POLJE DE SIZHAI

Ces deux résurgences (fig.39 a) constituent l'alimentation principale de la rivière qui coule au fond du poljé. Elles se développent toutes deux dans les calcaires du Carbonifère.

◇ WADONG

Cette résurgence est située au bord de la route menant de Sizhai à la province du Guangxi toute proche. Elle s'ouvre au sud-est du poljé à 775 m d'altitude.

◇ EXSURGENCE OUEST DU POLJE

Elle se situe le long de la bordure ouest du poljé de Sizhai, à 780 m d'altitude en bordure du sentier menant au poljé de Manhong.

Un peu en amont de l'ouverture aval (2 m de large pour 6 m de haut) un barrage retient l'eau destinée à l'irrigation. Plus loin la galerie est accessible par une doline d'effondrement et par un aven. Le cours d'eau sort d'un siphon au pied de l'aven et des continuations sont visibles dans les nombreuses dolines adjacentes. (CM)

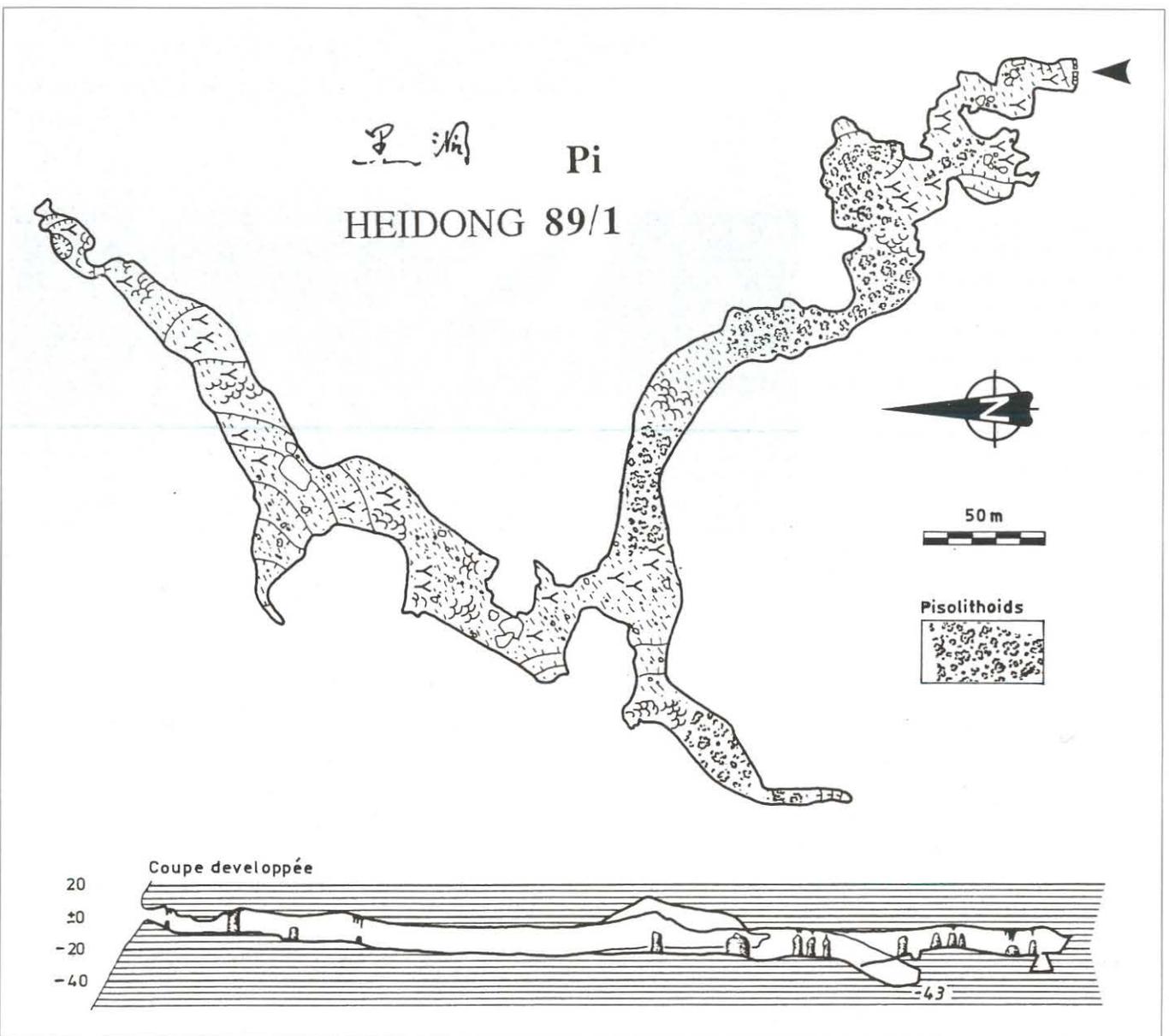


Figure 40 : Plan et coupe de la grotte de Heidong (Pingtang, Guizhou). Heidong cave (Pingtang, Guizhou), plan and profile.

KARSTS ET CAVITES DU COMTE DE WUXI (SICHUAN)

— Jean-Pierre BARBARY, Jean BOTTAZZI, Bernard COLLIGNON, Richard MAIRE,
Jean-Luc MOUDOUD et ZHANG Dachang

RESUME :

La région montagneuse de Wuxi se situe à l'extrémité E de la province du Sichuan, en rive gauche du Yangtse. Elle fait partie des Daba Shan dont le culmen, le Dashennongjia (3053 m), se situe plus à l'E dans le Hubei. La morphologie karstique, en cônes et chevrons étagés, est sous le contrôle d'un style plissé énergétique, orienté E-W, avec écailles et failles inverses. La grande profondeur des vallées et des canyons est liée à la très basse altitude du niveau de base (100 m pour le Yangtse). La gorge de la Daninghe, en aval de Wuxi, présente des parois calcaires de 1000 à 1500 m de haut dans le Permo-Trias. Le climat est de type subtropical de montagne, sous influence de la mousson, avec une tendance à la continentalité : forte amplitude des températures (1 à 5) et des précipitations (1 à 15). P = 1255 mm/an et T = 16,4°C à Wuxi (alt. 210 m).

En raison de l'aspect "alpin", le potentiel hydrokarstique peut dépasser, par exemple, 1600 m dans le synclinal oriental de Wuxi où un regard sur le réseau a été découvert à - 150 m près du village de Tongchengba. Celui-ci pourrait dépasser 2000 m à l'E du Dagan Shan. Ce sont les plus forts potentiels karstiques reconnus en Chine centrale et méridionale. Treize cavités ont été explorées dans un rayon de 30 à 40 km autour de Wuxi, entre 290 et 1080 m d'altitude. Les deux plus importantes sont Sifangdong (- 158 m) dans le synclinal E de Wuxi et Xinlongdong (- 167 m, 1,6 km) à 40 km à l'W de Wuxi. La plupart des émergences sont situées à la base ou sur le flanc des canyons (tufs de cascades).

Mots-clés : karst conique, poljé, gouffre, potentiel hydrokarstique, canyon, structure plissée, synclinal, Silurien, Permien, Trias, Dagan Shan, Wuxi, Sichuan, Daninghe, Yangtse.

摘要：四川巫溪喀斯特与洞穴

巫溪山区位于四川省最东部，在长江左岸，属大巴山南麓，东面是湖北省的大神农架，其最高峰海拔3053m。喀斯特地貌景观呈深切谷地与丘峰、溶洼组成的高原。强烈的东西向褶皱被一系列与褶皱方向相同的逆和逆掩断层所切割，谷地与峡谷的深切切割与低海拔的基准面有关，巫溪以下大宁河下游流经二叠三叠系中的峡谷地段，谷壁高达1000-1500m。气候属季风气候控制而受大陆气候影响的亚热带山区类型，海拔210m的巫溪年平均降水量

1255mm，年平均温度16.4°C。该区喀斯特水的水头就山区所见可逾1600m，在巫溪东部通城坝附近暗河埋深达150m，大官山东部的水头可能超过2000m。对华南喀斯特山区说来，水的势能是很重要的。巫溪周围30-40Km范围内，我们考察了13个洞穴，海拔介于290-1080m之间。深158m的四方洞及深167m、长1.6Km的新隆洞是较为重要的二个。大部分泉水出露于峡谷底部或在壁上呈具有钙华的瀑布。

ABSTRACT: KARST AND CAVES OF WUXI COUNTY (SICHUAN).

The Wuxi mountainous area is located at the far east of Sichuan province, on the left bank of The Yangtse. It lies in the Daba Shan, which culminates at Dashennongjia (3053 m), in the western Hubei. Karstic morphology, with stepped cones and serrated ridges, is controlled by a strong E-W folding, with imbrications and inverse faults. The great depth of the valleys and canyons is linked with the very low altitude of the base level (100 m for the Yangtse). The Daninghe, downstream of Wuxi, flows through gorges at the foot of 1000 to 1500 m high walls of Permo-Triassic limestones. The climate type is mountain subtropical, controlled by monsoons, with a continental tendency: important amplitude of the temperatures (1 to 5) and precipitation (1 to 15). P = 1255 mm/year and T = 16.4°C in Wuxi (210 m a.s.l.).

On account of the large relief, the hydrologic karst potential can exceed 1600 m, such as in the Eastern syncline of Wuxi where a river was reached at -150 m near Tongchengba village. In the eastern part of Daguang Shan, it could exceed 2000 m. These potentials are the most important ones of Southern and Central China. Thirteen caves were explored within a distance of 30 to 40 km around Wuxi, at altitudes between 290 to 1080 m a.s.l. The two most important are Sifangdong (-158 m) in the east syncline of Wuxi and Xinlongdong (-167 m, 1.6 km) which lies 40 km, west of Wuxi. Most of the springs are situated at the bottom or in the walls of the canyons (waterfall travertine).

Keywords: cone-karst, polje, shaft, hydrologic karst potential, canyon, folded structure, syncline, Silurian, Permian, Trias, Daguang Shan, Wuxi, Sichuan, Daninghe, Yangtze.

ZUSAMMENFASSUNG: KARST UND HÖHLEN VON WUXI (SICHUAN).

Das Berggebiet von Wuxi liegt am linken Ufer des Yangtse im Osten der Provinz Sichuan. Es ist ein Teil des Gebirges Daba Shan, dessen höchste Erhebung vom Dashennongjia (3053 m), im Westen von Hubei gelegen, gebildet wird. Die Landoberfläche, die durch gestufte Karstkegel und -kuppen gekennzeichnet ist, wird durch eine starke, von Ost nach West verlaufende Faltung mit Überschiebungen und Überkipnungen geprägt. Die beträchtliche Tiefe der Täler und Schluchten ist durch den niedrig liegenden Vorfluter (100 m Seehöhe beim Yangtse) bedingt. Talabwärts von Wuxi verläuft der Daninghe durch Schluchten zu Füßen von 1000 bis 1500 m hohen permotriassischen Felswänden. Es herrscht ein subtropisches Gebirgsklima mit kontinentaler Neigung, das von stark variierenden Temperaturen und monsunbedingten Niederschlagsmengen geprägt ist. Die Jahresdurchschnittswerte betragen 1255 mm/a Niederschlag und 16,4 °C für Wuxi (210 m Seehöhe).

In "alpiner" Hinsicht kann das karsthydrographische Potential im Osten von Wuxi 1600m betragen (beim Dorf Tongchenba wurde auf -150 m ein hängender Wasserspiegel erreicht) und im Ostteil des Daguang Shan die 2000 m Grenze überschreiten. Das sind die größten Tiefenpotentiale, die von Süd- oder Zentralchina bekannt sind. Dreizehn Höhlen auf Seehöhen zwischen 290 und 1080 m wurden im Umkreis von 30 bis 40 km um Wuxi befahren. Die zwei bedeutendsten sind die Sifangdong (-158 m) in der Synklinale östlich von Wuxi und die Xinlongdong (-167 m), die 40 km westlich von Wuxi liegt. Die meisten Quellen liegen am Grund oder in den Flanken der Schluchten, die wasserfallbedingte Tuffbildungen aufweisen.

Stichworte: Kegelkarst, Polje, Schachthöhle, hydrographisches Potential, Schlucht, Faltenstruktur, Synklinale, Silur, Perm, Trias, Daguang Shan, Wuxi, Sichuan, Daninghe, Yangtze.

Photo 14 : Vue des falaises ouest du Daguang Shan (Wuxi-Sichuan).

View of the western Daguang Shan cliffs (Wuxi-Sichuan).



INTRODUCTION

Le comté de Wuxi se situe à l'extrémité orientale de la province du Sichuan, 40 km au nord des gorges du Yangtse entre Fengjie et Wushan (fig. 42). Cette région montagneuse fait partie des Daba Shan qui culminent à 3053 m au Dashennongjia, le plus haut sommet de Chine centrale, localisé 60 km à l'est de Wuxi, dans la province du Hubei. C'est dans ces montagnes escarpées, entaillées par des gorges vertigineuses, que vivrait "l'Homme Sauvage", légende parallèle à celle du Yéti en Himalaya, et qui a fait l'objet de plusieurs expéditions. C'est un des rares endroits du pays où subsiste une forêt quasi originelle surnommée la "maison du trésor vert".

La profondeur remarquable des vallées (Wuxi n'est qu'à 210 m d'altitude) vient de l'altitude très basse du niveau de base représenté par le Yangtse (alt. 100 m). Aussi, la rivière Daninghe a-t-elle creusée transversalement à l'axe des plis EW, selon un tracé en baïonnette, un des canyons les plus spectaculaires de Chine avec des parois calcaires hautes de 1000 m à 1500 m et percées de grands porches à différents niveaux (descente effectuée en barque à moteur entre Wuxi et Wushan).

En six jours de reconnaissance, à l'aide de plusieurs équipes et deux véhicules, il a été possible de reconnaître différentes zones situées dans un rayon de 50 km autour de Wuxi : les synclinaux à l'E et à l'W, la vallée de la Daninghe et les murailles W du haut synclinal perché du Dagan Shan (2615 m). (photo 14).

PRESENTATION PHYSIQUE

◇ **Géologie** : Les roches carbonatées sont représentées par les puissantes formations du Permien (250-500 m) et du Trias (Trias inférieur = 220-550 m et Trias moyen = 700-1000 m) qui recouvrent en discordance les schistes verts et rouges du Silurien (fig. 43). Le Trias supérieur (700 m) est formé par des pélites rouges. Le Jurassique gréseux et à veines de charbon affleure plus au SW en direction de Fengjie. Les plis, tous orientés E-W, sont souvent étroits, parfois écaillés vers le sud (failles inverses) (fig. 44). Plusieurs anticlinaux ont été creusés en combes comme on peut l'observer au N et au NE de Wuxi.

◇ **Hydrogéologie** (fig. 45) : Cette structure caractéristique détermine des zones karstiques et hydrogéologiques bien individualisées orientées E-W. Quand les rivières recoupent les structures — cas des cluses de la Daninghe en amont et en aval de Wuxi — on observe de multiples émergences situées à différents niveaux, entre 0 et +200 m environ. Au S de Wuxi, on note plusieurs sources perchées avec de grandes cascades de tufs calcaires, comme celle du Cheval Blanc qui mesure plus de 100 m de haut. (photos 15 a et 15 b).

Les crues d'été font monter la rivière de 10 à 30 m, ce qui suggère des débits supérieurs à 1000 m³/s alors que le débit d'étiage est de 20 à 30 m³/s. L'une des sources les plus importantes est celle qui draine le synclinal oriental de Wuxi (alt. 195 m, juste à l'E de Wuxi). Le débit de novembre est estimé à 1 ou 2 m³/s (étiage relatif). Compte tenu de l'amplitude des précipitations, le débit moyen de crue en juin doit atteindre 8 à 12 m³/s.

Du point de vue de l'hydrochimisme des eaux souterraines, on dispose seulement de quelques mesures effectuées dans la grotte de Longwangdong (calcaires du Trias inférieur). Le faciès des eaux est typiquement karstique avec peu de sulfate, de chlorure et de magnésium. La rivière qui coule dans la vallée et la grosse source située plus en amont contiennent par contre beaucoup plus de sulfate et de magnésium.

◇ **Climat** : La station météo de Wuxi (alt. 210 m) donne une bonne idée du régime climatique général (fig. 41). Il s'agit d'un climat subtropical de montagne placé sous le contrôle des vents de mousson.

La température moyenne annuelle est de 16,4°C avec un minimum en janvier (5,7°C) et un maximum en août (27,6°C). L'importance de cette amplitude thermique, de 21,9°C, souligne l'effet de la continentalité. Les hivers sont froids et secs (décembre à février), les précipitations tombant sous forme de neige sur les sommets. Les étés sont très chauds et humides (juin à septembre).

Les précipitations moyennes sont de 1255 mm/an pour une variabilité interannuelle de 1 à 2 (minimum = 811 mm/an, maximum = 1628 mm/an). Le minimum se produit en janvier (15,6 mm) et le maximum en juin (229,9 mm), soit une amplitude de 1 à 15.

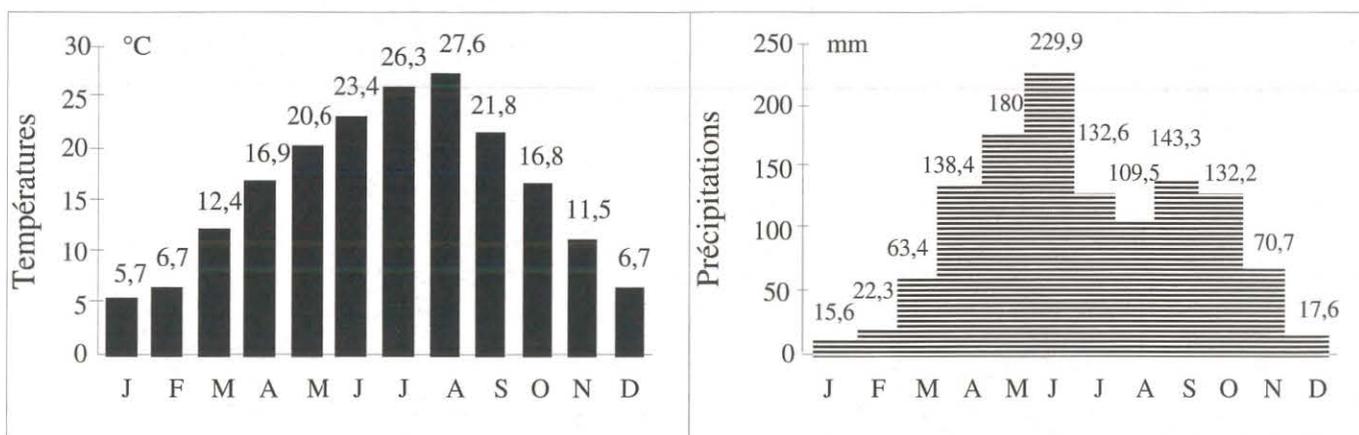


Figure 41 : Données climatiques du comté de Wuxi (Sichuan), températures et précipitations.
Climatic data of Wuxi county (Sichuan), temperature and precipitation.

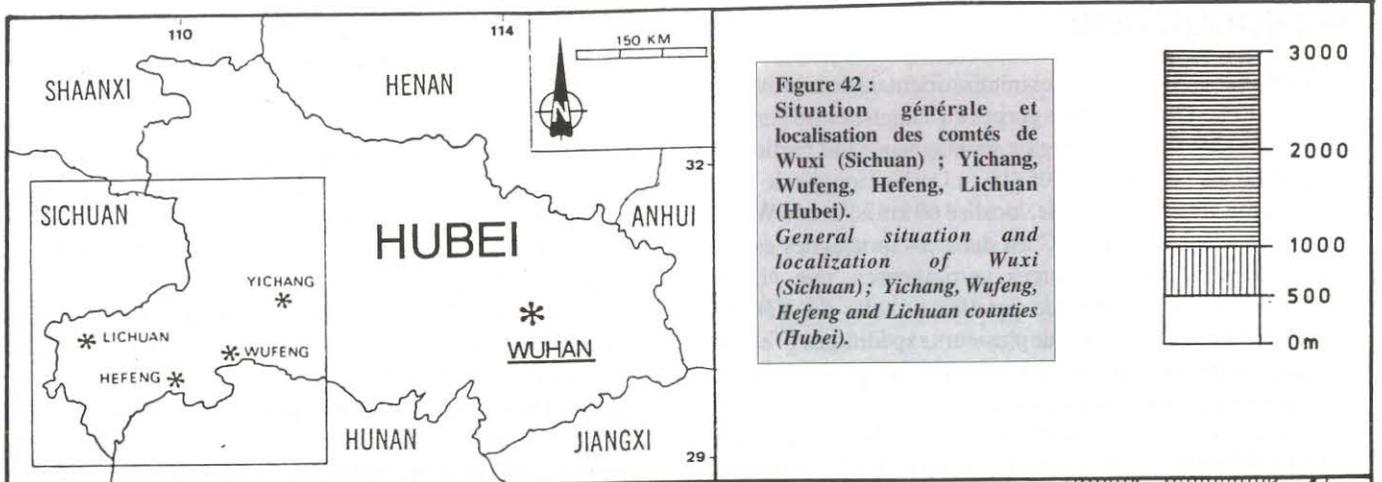
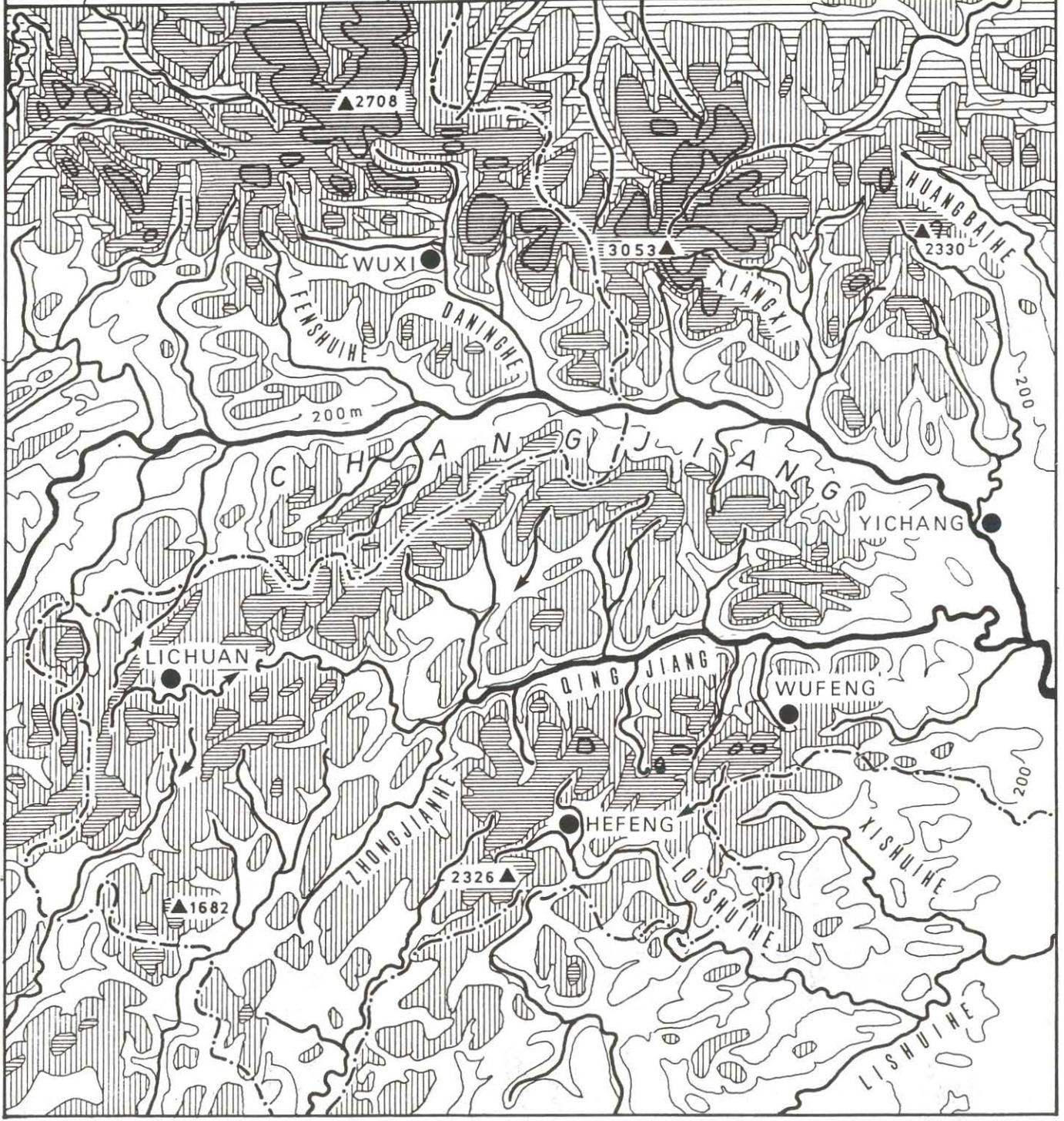
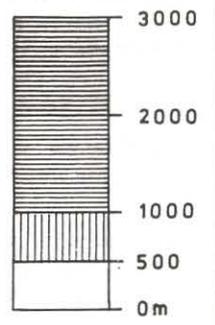


Figure 42 :
 Situation générale et
 localisation des comtés de
 Wuxi (Sichuan) ; Yichang,
 Wufeng, Hefeng, Lichuan
 (Hubei).
 General situation and
 localization of Wuxi
 (Sichuan) ; Yichang,
 Wufeng, Hefeng and Lichuan
 counties (Hubei).



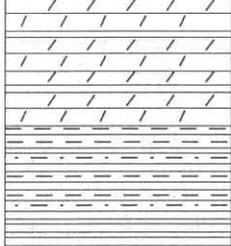
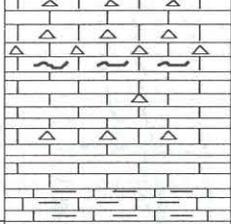
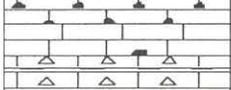
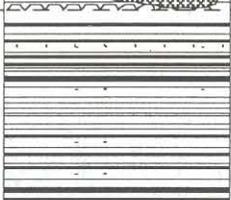
Mésozoïque (Mz)		TRIAS		
	Badong	T ₂ b >700m		roches clastiques.
	Jialingjiang	T ₁ j 702-996m		Partie inférieure : marron à bordeaux, il s'agit de bancs fins à moyens de calcaires argileux avec des bancs de calcaires et des bancs de shale 126 à 130 m. Partie moyenne : bancs épais de dolomie et de brèches dolomitiques avec des gypses et des calcaires en bancs fins.
	Daye	T ₁ d 221-554m		Partie inférieure : bancs de calcaires oolithiques gris clairs épais à massifs. Partie moyenne : bancs fins de calcaires argileux-gris sombres avec des bancs moyens de calcaires intercalés.
Paléozoïque. (Pz)		PERMIEN		
		P ₂ 702-996m		Partie supérieure (0,5 à 28 m) : shales noires et fins bancs de silice ou siliceux. Partie moyenne (3 à 29 m) : bancs épais de calcaire micritique gris foncé. Partie inférieure et base (40 à 83m) : inf: bancs épais de calcaires à chert gris et gris foncé. base: bauxite shale et charbon de mauvaise qualité.
		P ₁		Partie supérieure (147 à 233 m) : bancs épais et massifs de calcaires gris avec de fins bancs de cherts et des cherts. Partie inférieure et base (53 à 122 m) : bancs épais à massifs de calcaire gris foncé avec quelques cherts. base (1,6 à 15 m) : bauxite shale et charbon de mauvaise qualité.
		SILURIEN		
		S 661-882m		roches clastiques.

Figure 43 :

Echelle lithostratigraphique simplifiée de la zone de Wuxi (Sichuan). *Simplified lithostratigraphic column of Wuxi area (Sichuan).*

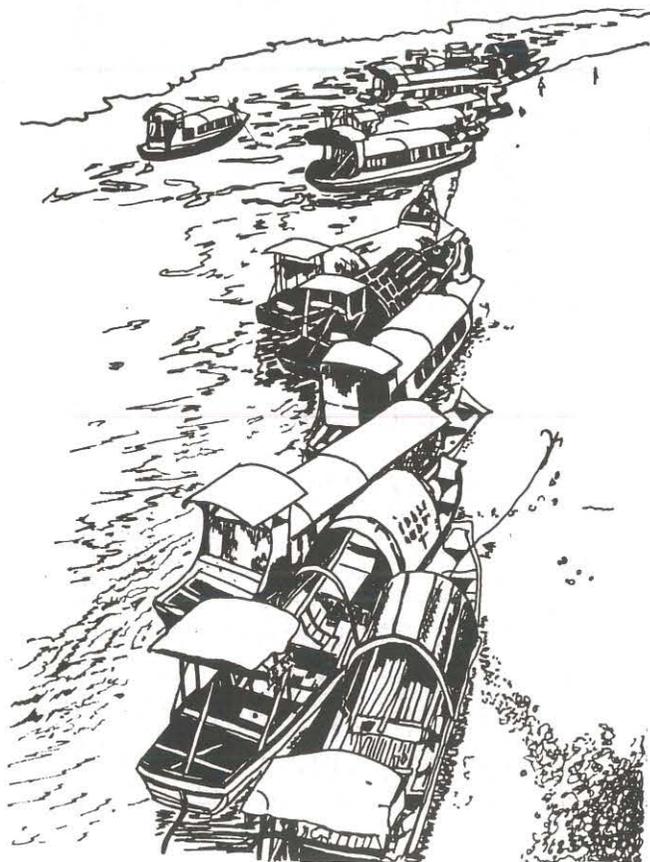


Figure 44 :
 Contexte géologique de la zone de Wuxi (Sichuan) et coupe. (légende géologie : cf. fig. 43)
 Geological context of Wuxi area (Sichuan) and geological section. (geological keys : cf. fig. 43)

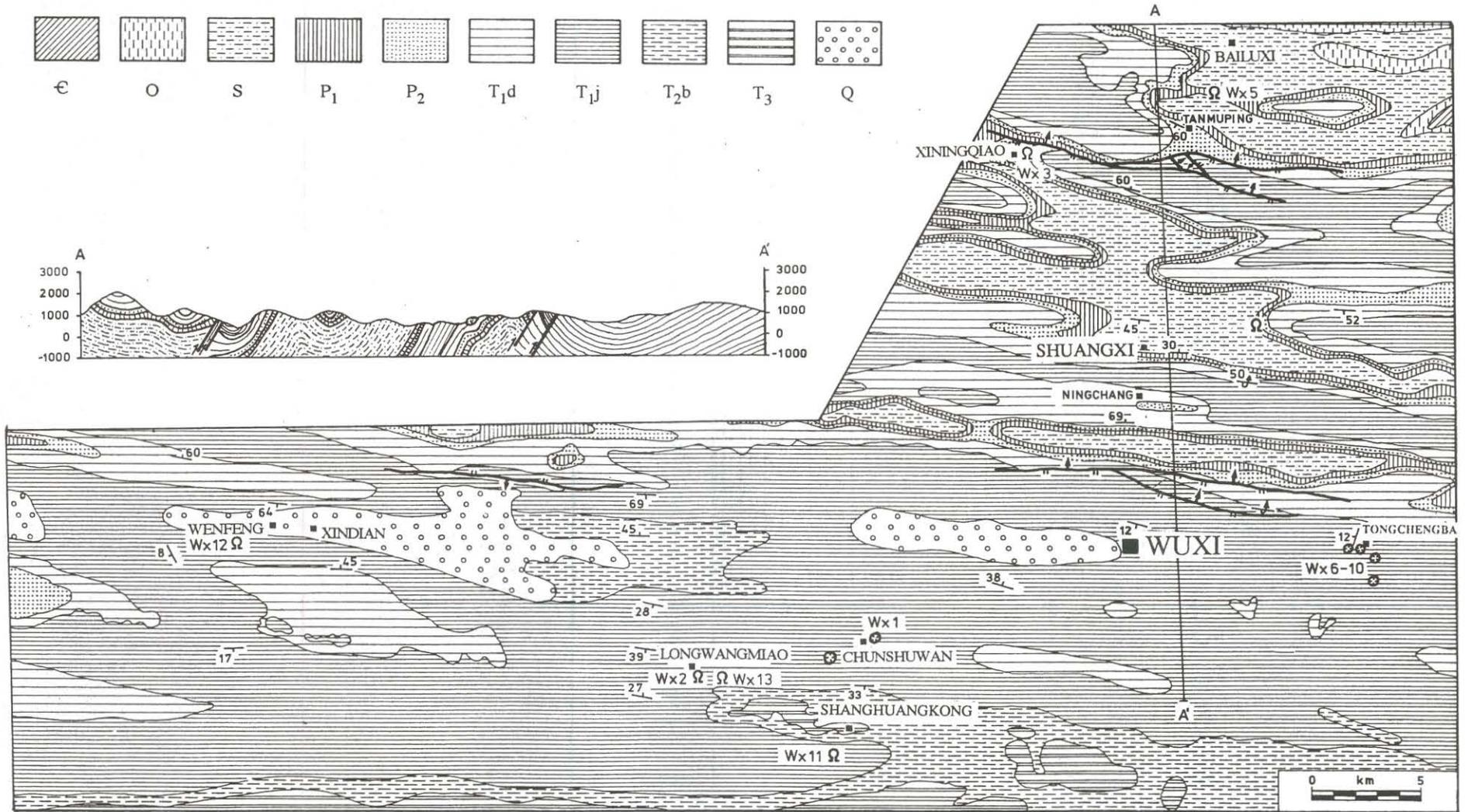
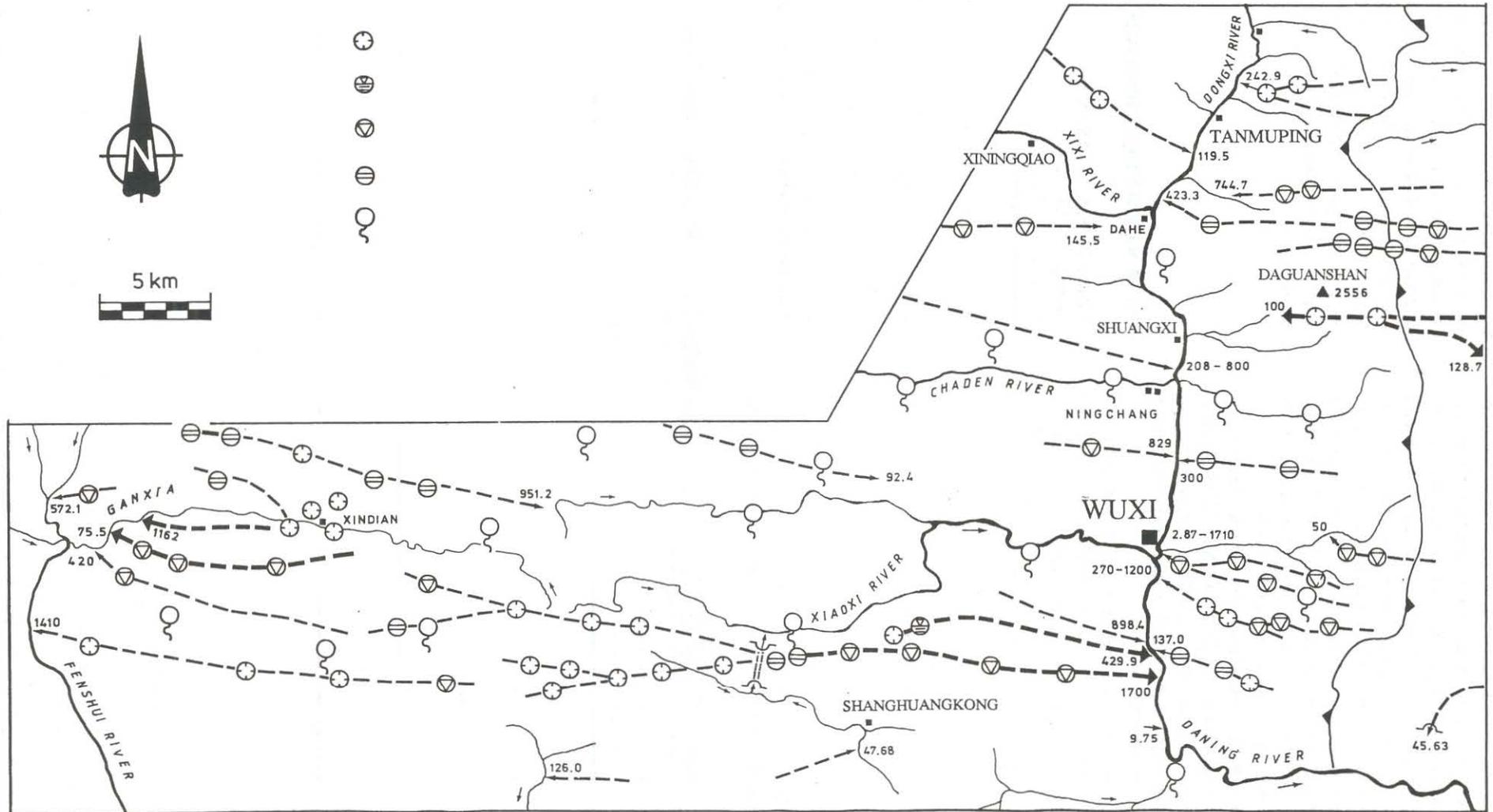


Figure 45 :
 Carte hydrologique de la zone de Wuxi (Sichuan).
 Hydrological map of Wuxi area (Sichuan).



◊ **Paysages karstiques** : la morphologie karstique est différente de celle des plateaux du Guizhou où dominent les vastes étendues de cônes et de pitons. Ici la structure plissée très marquée s'impose dans le paysage. Sur les anticlinaux étroits au N de Wuxi, la forme en chevron domine et atteint rarement la morphologie conique (morphologie en "fer à repasser"). Les fonds de synclinaux sont remblayés et occupés par des poljés dont les pertes de bordure traversent parfois les anticlinaux. Sur les plis les plus amples, notamment à l'W de Wuxi (route Fengjie-Wuxi), de beaux karsts coniques étagés et à ouvalas se sont développés entre 500 et 1500 m d'altitude.

Un karst à buttes et ouvalas (qifeng-ouvala) semble exister sur le haut synclinal perché du Daguang Shan (2500 m) ; nous y avons repéré des pertes situées à 1600 m d'altitude ainsi que de nombreuses dépressions (d'après image satellite et carte topographique au 1/50 000).

La présence d'altérites épaisses recouvrant partiellement les lapiés de même que les abondants remplissages souterrains attestent l'existence d'une ancienne couverture non calcaire — les marnes rouges du Trias supérieur — qui a été détruite et altérée. Des affleurements résiduels de Trias supérieur subsistent dans quelques synclinaux, en particulier à l'W de Wuxi près de Shanghuang. De plus, le sommet de la série calcaire du Trias moyen montre de nombreux bancs schisto-argileux dont l'altération libère un abondant matériel argileux qui colmate dépressions et lapiés : ce phénomène est visible à l'extrémité NE du synclinal oriental de Wuxi, au-dessus du village de Tongchengba. (RM et ZD)

◊ **Les cavités** : Treize cavités principales ont été explorées dont douze topographiées. Par manque de temps, plusieurs n'ont pas

été terminées. De nombreux secteurs n'ont pas été visités à cause aussi de l'accès difficile. L'aspect "alpin" de cette région, symbolisé par une structure plissée remarquable, des canyons profonds et une série calcaire de plus de 1500 m, se traduit par un potentiel hydrokarstique qui dépasse par exemple 1600 m dans le synclinal E de Wuxi (un regard sur le réseau a été découvert à - 150 m près du village de Tongchengba) et probablement plus de 2000 m à l'E du Daguang Shan. Ce sont les plus forts potentiels karstiques connus de Chine centrale et méridionale.

FICHE SIGNALÉTIQUE DU COMTE DE WUXI

Lat. 31°24' N, Long. 109°38' E

Superficie = 4000 km²

Population = 480 000 hb

Densité = 120 hb/km²

Capitale = Wuxi (20 000 hb)

Altitudes extrêmes = 134 m, 2780 m

Forêt = 20 à 30 %

Climat = subtropical humide de montagne

Pluviométrie: >1200 mm/an

Géologie = Plis E-W, Permo-Trias calcaire

Karsts = qifeng-ouvalas, poljés synclinaux, canyons, cavités étagées

Source principale = Wuxi, alt. 195 m, > 2 m³/s

Potentiel hydraulique > 1500 m (synclinal E de Wuxi)

numéro	nom	village	Z	dév.	dén.	ext.	géologie	rem.
Wx 89 1	CHUNSHUPINGTIANKENG Gouffre de chunshuping	Chunshuwan	1080	75	-65	12	T1	
Wx 89 2	XIAOSHUIDONG Grotte où l'eau disparaît	Longwangmiao	709	74	-26	36	T1	à revoir
Wx 89 3	LONGDONG Grotte du dragon	Xiningqiao	320	134	69	103	T1	
Wx 89 4	FENG DONG Grotte du vent	Shuangxi	290	303	34 -13	160	P2T1	
Wx 89 6	SIFANGDONGHE TIANKENG Gouffre de la rivière Sifangdong	Tongchengba	860	342	-158	293	T1	à revoir
Wx 89 5	FENG DONGZI Grotte du vent	Tanmuping	360	176	-9	170	P1	
Wx 89 7	XIAOSHUIDONG Perte de Tongchengba	Tongchengba	930	84	-41	58	T1	
Wx 89 8	NANMUTIANKENG Gouffre du Nanmu	Tongchengba	920	96	-47	33	T1	à revoir
Wx 89 9	SHUJING 1 Puits 1	Tongchengba	910	62	-56		T1	
Wx 89 10	SHUJING 2 Puits 2	Tongchengba	950	57	-54		T1	
Wx 89 11	LONGWANGDONG Grotte du roi des dragons	Shanghuangkong	730	525	17	385	T1	
Wx 89 12	XINLONGDONG Grotte du nouveau dragon	Xindianzi	970	1585	7 -167	650	T1	à revoir
Wx 89 13	GROTTE DU TUNNEL	Longwangmiao	≈700	≈200	≈10		T	à revoir non topo

Tableau 6 : Spéléométrie des cavités explorées dans le comté de Wuxi (Sichuan). Cave data, Wuxi county (Sichuan).

DESCRIPTION DES CAVITES

I. LES CAVITES DE LA ZONE DE TONGCHENGBA

Cette zone fait partie du bassin synclinal situé immédiatement à l'E de Wuxi.

Toutes les cavités décrites se situent autour du village de Tongchengba ; elles se développent dans les calcaires de la base du Trias inférieur (étage Jialingjiang T_{1j}). Il s'agit de calcaires micritiques gris et noirs en bancs fins à moyens. Le pendage est à cet endroit de 7 à 11°, de direction N248° à N290°.

Trois des cavités que nous avons explorées forment un in-

teressant début de réseau. Tongchengba-Xiaoshuidong se situe à l'amont et forme la perte principale de la zone ; la perte du Nanmu se situe en aval et draine une autre partie de la montagne. Quant à SifangdongheTiankeng, c'est le maillon le plus en aval ; il s'agit d'un superbe gouffre, profond de 158 m, qui permet d'accéder au réseau. (JPB.).

A. SIFANGDONGHETIANKENG

Gouffre de la rivière Sifangdong (fig. 46)

Wuxi n° 89/6

Z = 860 m Dév. = 342 m Dén. = - 158 m

Situation : Il se situe à 11 km à l'est de Wuxi tout près du village de Tongchengba.

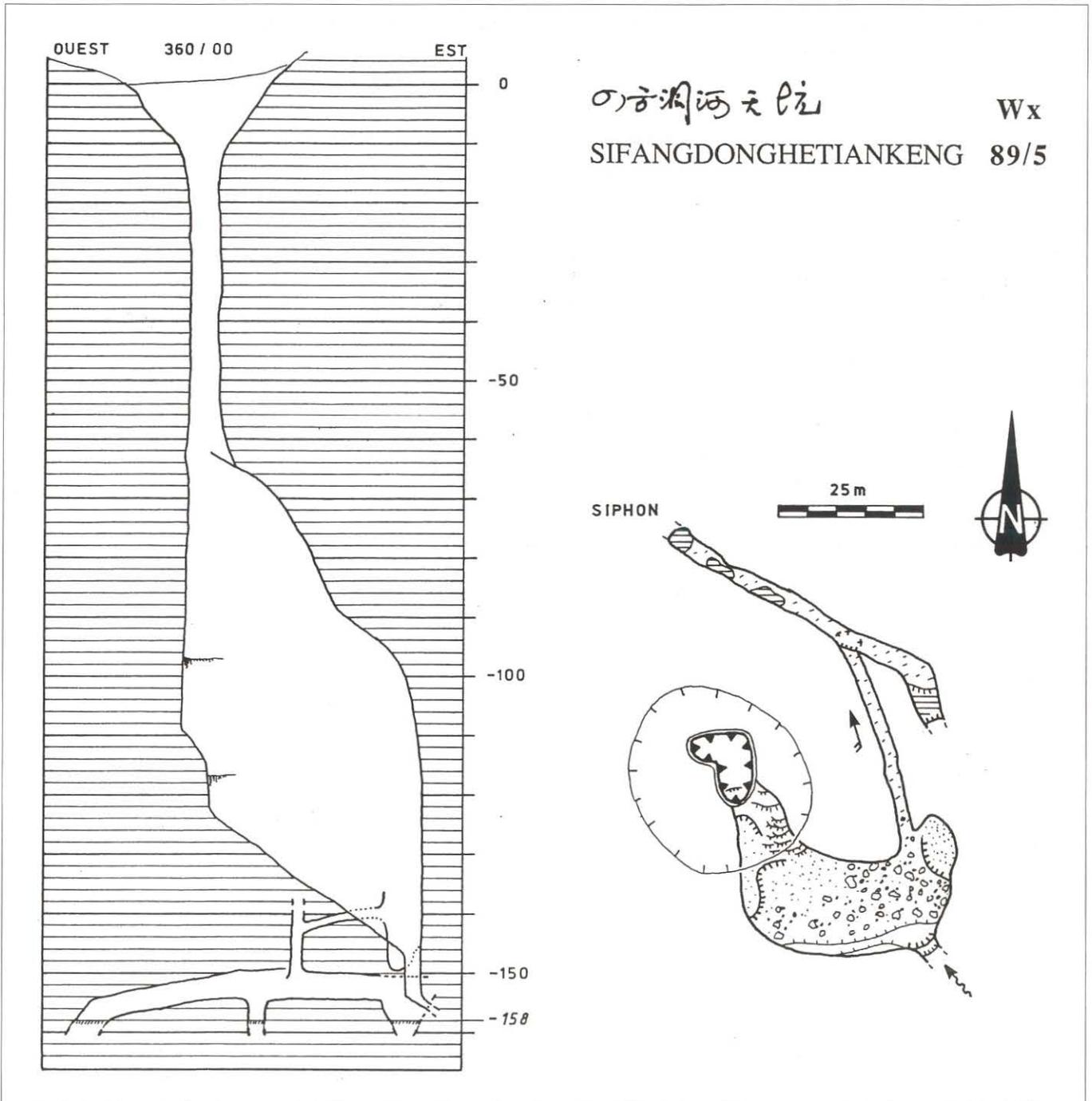


Figure 46 : Plan et coupe du gouffre Sifandonghetiankeng (Wuxi, Sichuan).
Sifandonghetiankeng shaft (Wuxi, Sichuan), plan and profile.

Description : L'entonnoir d'entrée, de 20 m x 30 m, est encombré de végétation qu'il faut couper à la machette pour atteindre la lèvre d'un puits impressionnant d'où remonte le bruit lointain d'une rivière.

Profond de 97 m, ce puits mesure 4 m x 6 m de large sur les 50 premiers mètres. Vers la cote - 60 m, il débouche au plafond d'une salle. Le P97 est suivi immédiatement par un puits de 13 m. La paroi gauche, en descendant, est formée d'une puissante coulée stalagmitique en partie érodée. Derrière, on voit encore la lumière blafarde du puits d'entrée tandis que s'amplifie le grondement de l'eau : une ambiance quasi alpine ! Une vire argileuse longue de 20 m conduit à un ressaut de 6 m. A - 123 m, on prend pied sur le sommet de l'éboulis glaiseux de la salle : celui-ci descend à 45° jusqu'à un ressaut de 5 m où se jette la rivière souterraine (premier siphon à - 154 m) : nous sommes dans le collecteur du système de Tongchengba qui draine l'angle NE du synclinal oriental de Wuxi. L'actif provient de l'angle SE de la salle par une cascade qui n'a pas été remontée mais une jonction avec Nanmu Tiankeng (cf. infra) est très probable.

La suite se situe au-dessus du ressaut de 5 m (angle NE) par une conduite forcée de 2 m x 2 m dans laquelle l'air est aspiré fortement. Après une progression facile de 30 m, on débouche sur un puits de 11 m. Au fond, une galerie argileuse se dirige vers le NW et se termine au bout d'une trentaine de mètres sur un siphon boueux à la cote - 158 m. Le courant d'air s'échappe par un puits ascendant localisé 15 m avant le siphon. L'amont

de la galerie se termine également sur un siphon. La rivière n'est pas retrouvée.

Durant la mousson d'été, les pluies torrentielles provoquent des crues souterraines impressionnantes. L'onde de crue, en pénétrant violemment dans la salle, s'entend de l'extérieur comme un coup de canon tandis que s'échappe un panache de vapeur (témoignage des habitants du village).

Les limons recouvrent les parois de la salle jusqu'à la base du puits de 13 m, indiquant une mise en charge de 50 m. (RM)

B. TONGCHENGBA XIAOSHUIDONG

Perte de Tongchengba (fig. 47)

Wuxi 89/7

Z = 930 m Dév. = 84 m Dén. = - 41 m

Situation : Elle se situe à 11 km à l'est de Wuxi tout près du village de Tongchengba.

Description : C'est avec beaucoup d'espoir que nous descendons le premier puits de cette perte temporaire. 35 m de descente dans une roche saine, et nous prenons pied dans une galerie rapidement coupée par un second puits de 7 m ; malheureusement 30 m plus loin la progression est stoppée par un siphon, bel objectif pour des plongeurs. Tout comme la grotte de Nanmutiankeng, cette cavité se développe vers l'ouest. (JLM)

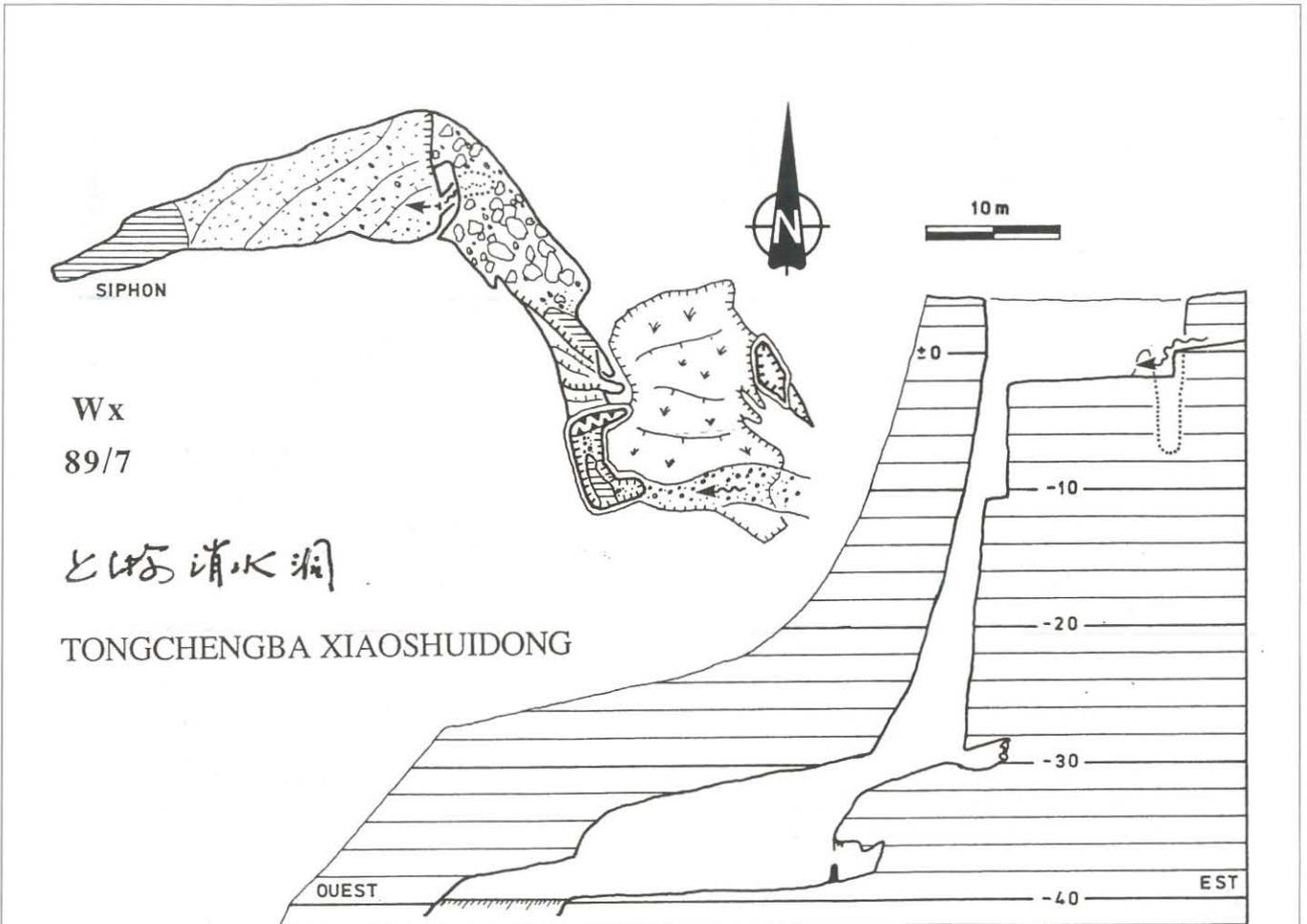


Figure 47 : Plan et coupe de la perte de Tongchengba (Wuxi, Sichuan). *Tongchengba sinkhole (Wuxi, Sichuan), plan and profile.*

C. NANMUTIANKENG.

Gouffre du Nanmu (fig. 48)

Wuxi N° 89/8

Z = 920 m Dév. = 96 m Dén. = - 47 m

Situation : Il se situe à 11 km à l'est de Wuxi tout près du village de Tongchengba.

Description : Cette perte à sec lors des explorations se développe sur une fracture E-W. Un ressaut de 3 m suivi d'un puits de 23 m nous amène à un palier dominant un dernier puits de 17 m. Une vasque d'eau profonde sera notre terminus car nous ne pourrions franchir la voûte mouillante qui fait suite. Le violent courant d'air aspirant s'engouffrant dans la voûte mouillante nous laisse espérer une jonction probable avec le réseau amont du grand puits de SifangdongheTiankeng (supra). A l'amont, une traversée au-dessus du P17 et une escalade nous permettent de descendre un puits parallèle se terminant sur un siphon. (JPB)

D. SHUJING 1

Puits 1 (fig. 49)

Wuxi n° 89/9

Z = 910 m Dév. = 62 m Dén. = - 56 m

Situation : Il se situe à 11 km à l'est de Wuxi tout près du village de Tongchengba.

Description : La légende dit que des soldats auraient jeté des villageois dans ce gouffre, mais nous n'avons trouvé aucun ossement. Ce puits de 56 m que nous ont indiqué les paysans fait partie des très nombreux gouffres qui trouent le plateau ; en une demi-journée nous avons pu en repérer une vingtaine. Après une descente de 50 m, nous prenons pied sur un éboulis ; aucune suite n'est possible sauf peut-être une cheminée hypothétique. Un petit puits parallèle n'a pas été exploré. (JLM)

E. SHUJING 2

Puits 2 (fig. 49)

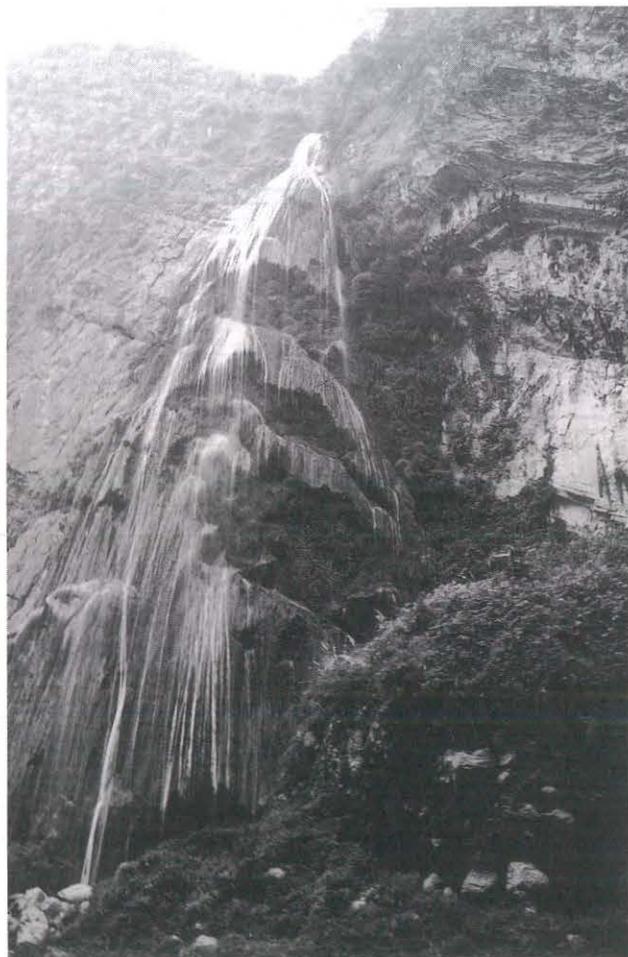
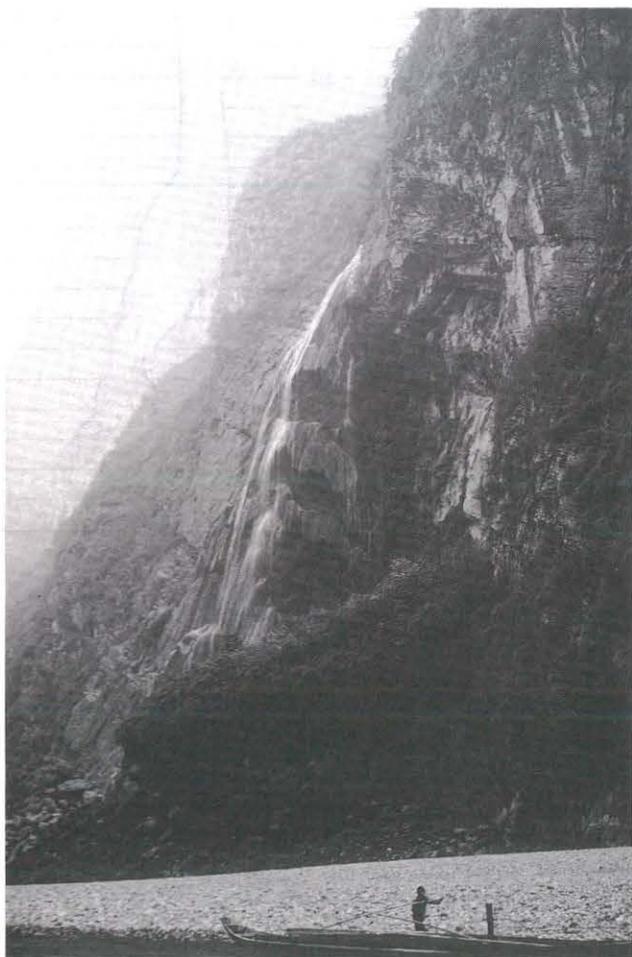
Wuxi n° 89/10

Z = 950 m Dév. = 57 m Dén. = - 54 m

Situation : Il se situe à 11 km à l'est de Wuxi tout près du village de Tongchengba.

Description : Ce puits qui présente une morphologie similaire au puits 1, s'ouvre aussi sur une fracture N-S. Une première descente de 43 m, fractionnée trois fois, mène à un cône d'éboulis fort pentu suivi d'un ressaut de 4 m qui marque la fin de la cavité à la cote - 54 m. Seule une petite lucarne n'a pas été explorée. (JLM)

Photos 15 a et 15 b : La cascade du Cheval blanc, résurgence avec tufs dans les gorges de la rivière Daninghe (Wuxi, Sichuan).
White horse waterfall, resurgence (with calcareous tufa) in Daninghe river (Wuxi, Sichuan).



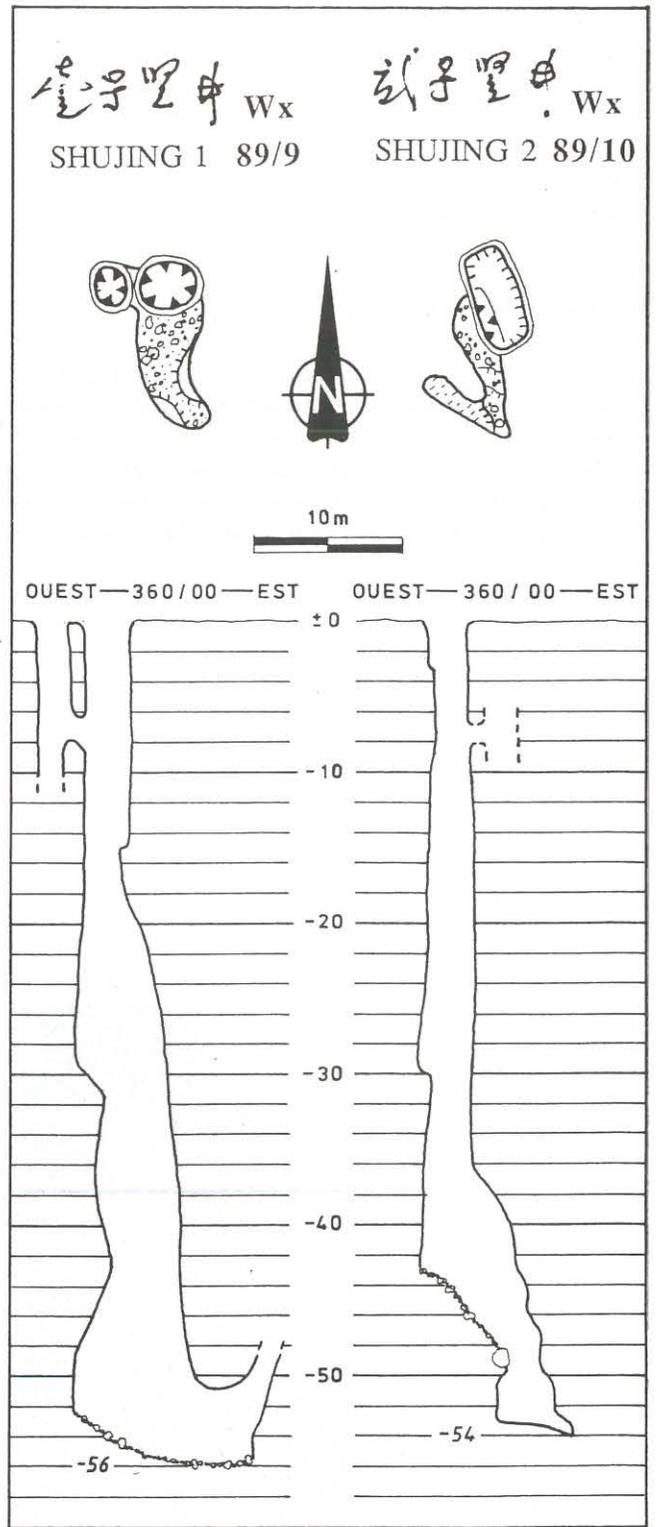
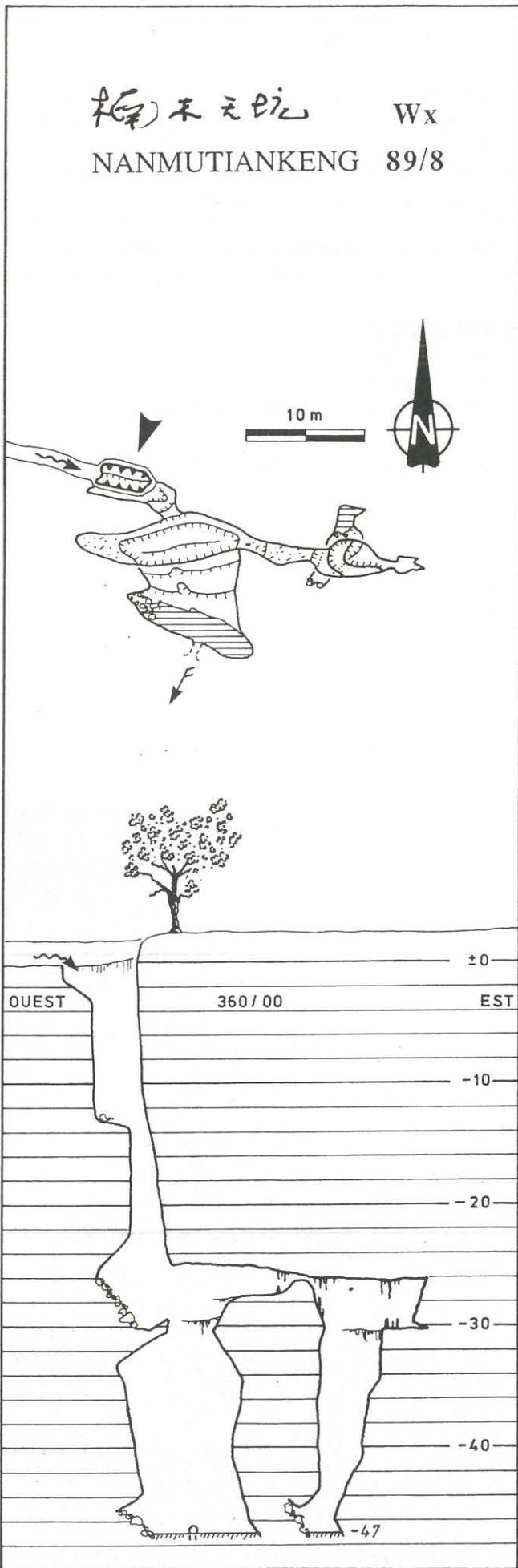


Figure 49 (ci-dessus) :
 Plan et coupe des puits Shujing 1 et 2 (Wuxi, Sichuan).
 Shujing shafts 1 and 2 (Wuxi, Sichuan), plan and profile.

Figure 48 (ci-contre) :
 Plan et coupe de la perte du Nanmu (Wuxi, Sichuan).
 Nanmu sinkhole (Wuxi, Sichuan), plan and profile.

II. LES CAVITES AU NORD DE WUXI

Plusieurs cavités moyennes ont été explorées au nord de Wuxi, vers 300 m d'altitude, à partir de la vallée de la Daninghe et de ses affluents. En altitude, une reconnaissance a permis de visiter la paroi W du synclinal perché du Dagan Shan entre 1200 et 1600 m d'altitude.

A. FENGDONG

Grotte du vent (fig. 50)

Wuxi n° 89/4

Z = 290 m Dév. = 303 m Dén. = - 13 m, + 34 m

Situation : Fengdong se situe dans le village de Shuangxi en rive droite de la rivière Daninghe. Au village prendre la passerelle branlante qui traverse la rivière et emprunter vers l'aval l'ancienne voie principale creusée à flanc de falaise.

Contexte géologique : La cavité s'ouvre dans les strates

verticales du flanc nord d'un anticlinal pincé de direction E-W. Elle se développe dans des calcaires à cherts du Permien supérieur, et dans les calcaires à bancs fins du Trias inférieur (T₁dy).

Description : L'entrée de la grotte, défendue par une porte, sert d'entrepôt de dynamite ; il nous est donc interdit d'utiliser nos lampes à acétylène dans la zone d'entrée, mais cela n'empêche pas le maître des lieux d'utiliser un braséro. Derrière, la suite mal murée est une petite galerie (largeur 3 m, hauteur 2 m) menant à une salle inclinée avec à sa base un lac de même altitude que la rivière Daninghe. Ensuite, la galerie principale mène soit à un ressaut de 15 m sans suite, soit à un puits qui redescend sur la salle. Une autre galerie descendante, de plus en plus étroite, se termine sur un siphon. Le courant d'air légèrement aspirant semble être dû à la simple différence de température (environ 10°C) avec l'extérieur. Cette grotte présente un ensemble de très belles conduites forcées qui se développe dans les strates verticales dominant la rivière Daninghe. (JB et JPB)

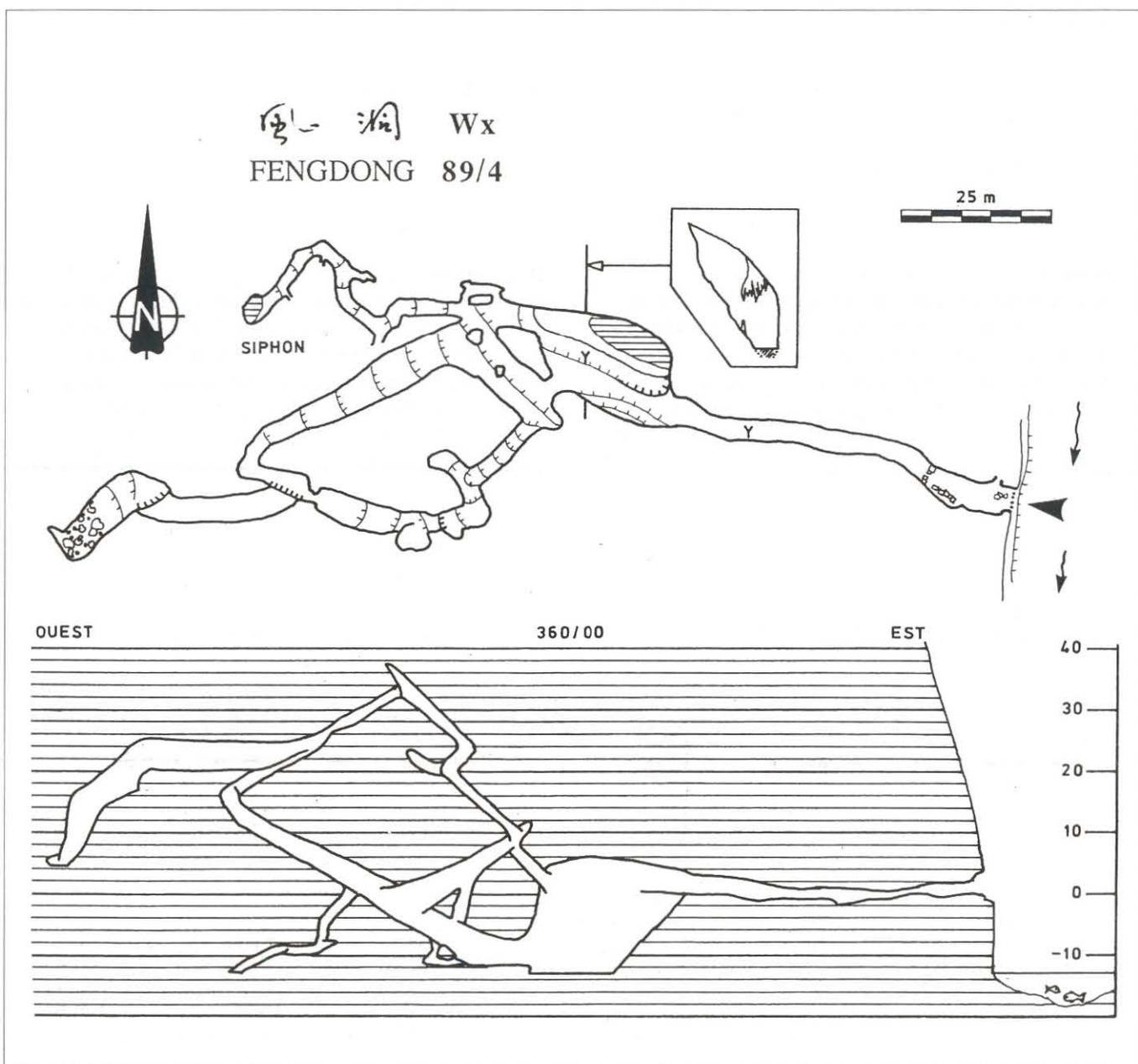
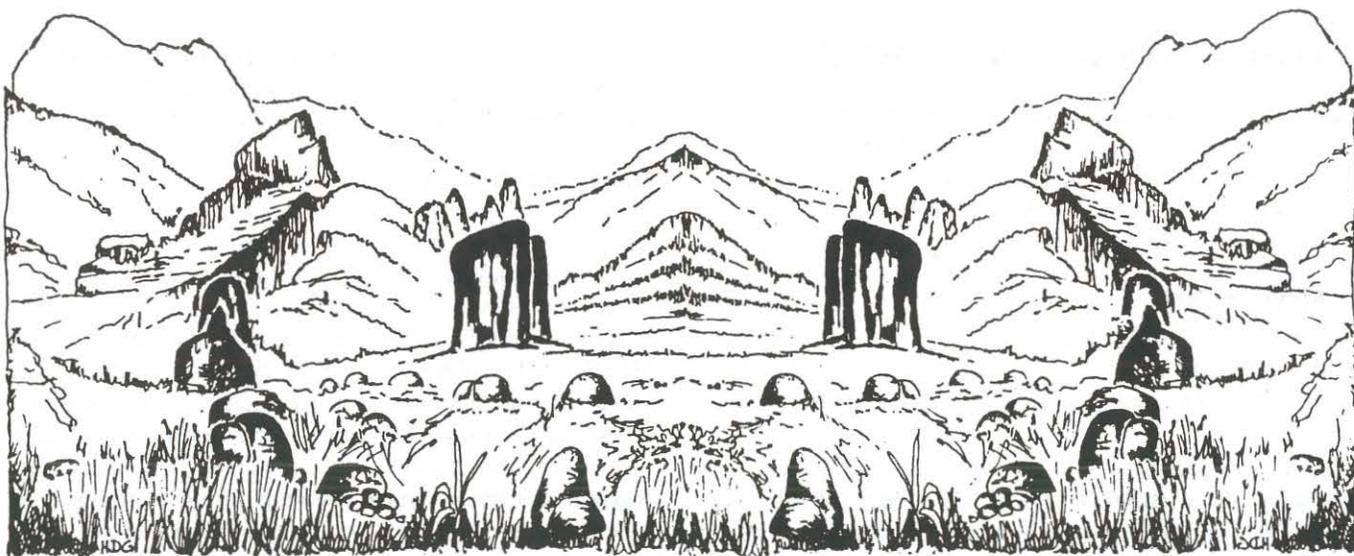


Figure 50 : Plan et coupe de la grotte de Fengdong (Wuxi, Sichuan). *Fengdong cave (Wuxi, Sichuan), plan and profile.*



B. FENGDONGZI

Grotte du vent (fig. 51)

Wuxi n° 89/5

Z = 360 m Dév. = 176 m Dén. = - 9 m

Situation : Cette grotte s'ouvre en rive gauche de la rivière Daninghe à 2 km au nord du village de Tanmuping.

Contexte géologique : Cette résurgence est située sur l'axe d'un synclinal pincé orienté E-W. Elle se développe dans les bancs massifs de calcaire à cherts du Permien inférieur.

Description : L'entrée est située 30 m au-dessus de la rivière ; il s'agit d'une petite galerie concrétionnée horizontale d'environ 4 m de haut par 5 m de large qui se poursuit sur 160 m. Là, un passage étroit derrière une laisse d'eau permet de descendre au siphon terminal. Il est probable qu'il ne s'agisse que d'un siphon temporaire dont l'assèchement expliquerait les dires des gens de Tanmuping quant aux prolongements de la grotte jusqu'à une rivière souterraine. (JB)

C. LONGDONG

Grotte du Dragon (fig. 52)

Wuxi n° 89/3

Z = 320 m Dév. = 134 m Dén. = + 69 m

Situation : Longdong se trouve 100 m à l'est du village de Xiningqiao, en rive gauche de la rivière Xixihe, juste au bord de la route.

Géologie : Cette cavité très simple se développe dans le pendage des couches calcaires du Trias inférieur (T_1 dy).

Description : Une escalade de 8 m permet d'accéder à l'entrée de la cavité (2 m x 2 m). Une petite salle (3 m x 3 m) concrétionnée et une escalade de 3 m nous amènent à un passage étroit (0,5 m x 0,5 m). A partir de cet endroit, la cavité se développe simplement en remontant dans le pendage (40°). Dans la partie terminale, le toboggan prend de belles dimensions, 5 m de large sur 3 m de haut ; hélas celui-ci se termine sur une obstruction de concrétions à la cote + 69 m. (BC et JPB)

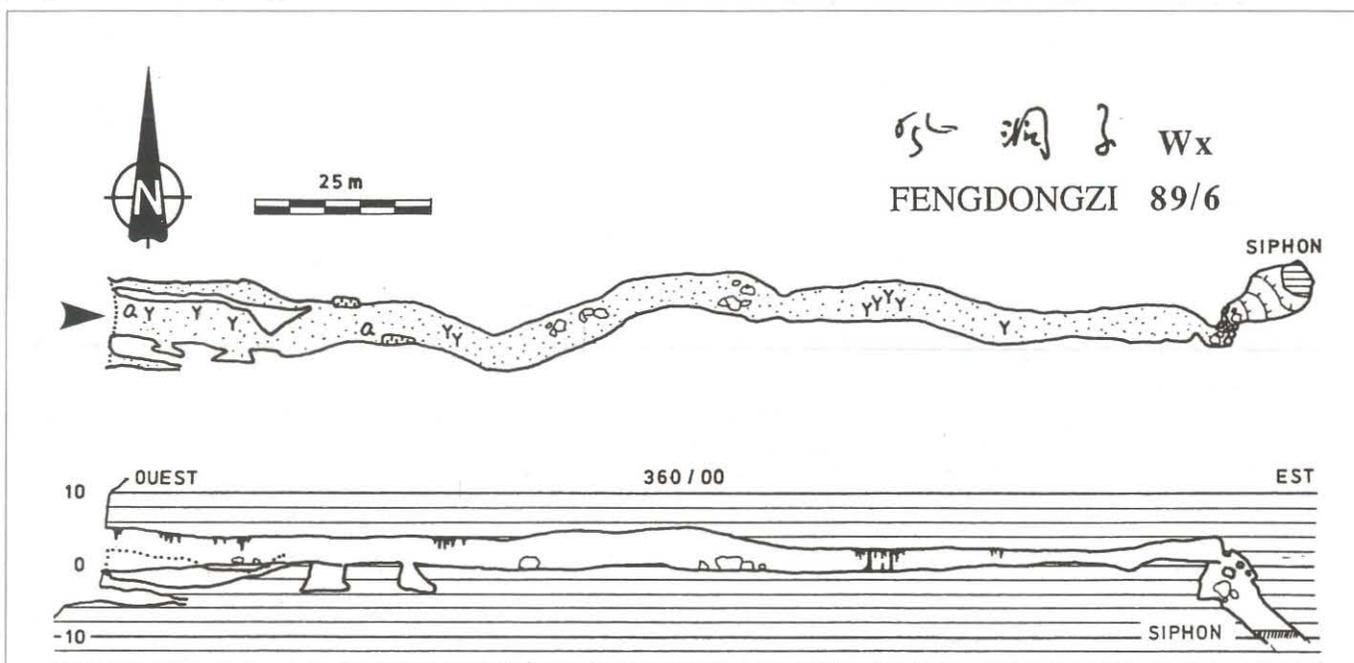


Figure 51 : Plan et coupe de la grotte de Fengdongzi (Wuxi, Sichuan).

Fengdongzi cave (Wuxi, Sichuan), plan and profile.

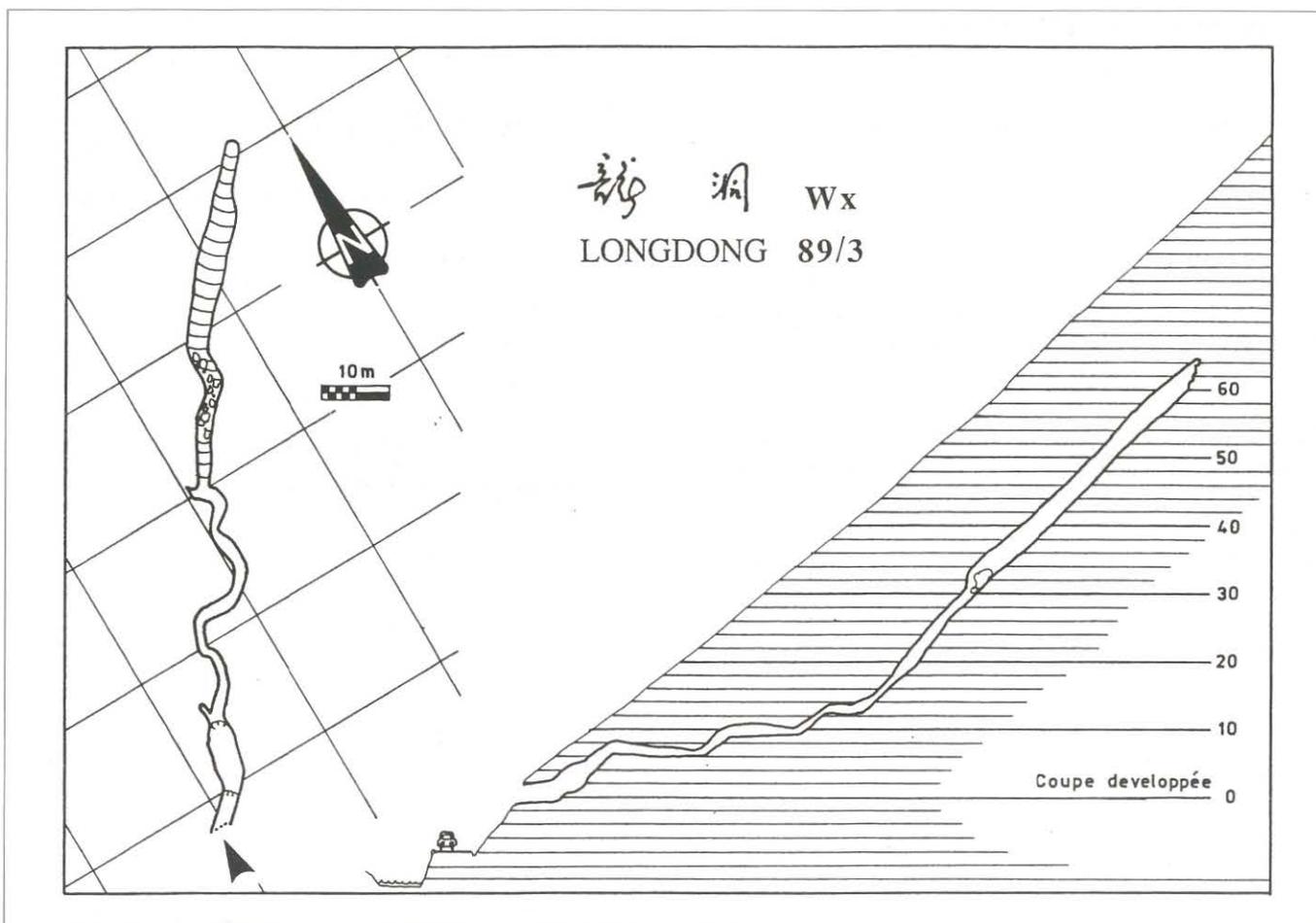


Figure 52 : Plan et coupe de la grotte de Longdong (Wuxi, Sichuan). *Longdong cave (Wuxi, Sichuan), plan and profile.*

III. LES CAVITES DE LA PAROI OUEST DU DAGUAN SHAN

Le karst d'altitude du Daguang Shan, situé à 13 km au nord de Wuxi, est formé par un haut plateau de 80 km² localisé entre 1700 et 2500 m d'altitude. Des pertes, repérées sur les cartes, se situent au fond de larges dépressions. Le drainage karstique s'effectue de deux côtés : à l'E et à l'W (fig. 45). Cette région austère et reculée, au climat rude, est cependant habitée.

Situation : A partir du village de Shuangxi situé au fond de la vallée de la Daninghe (alt. 240 m), on remonte à l'E sur 5 km la vallée se dirigeant au pied des hautes murailles du Xiaoguan Shan (1800 - 2000 m), constituant la partie occidentale du Daguang Shan (2556 m) proprement dit.

Géologie : Le Daguang Shan est formé par l'épaisse série de calcaires permo-triasiques qui repose en discordance sur les schistes verts du Silurien (1100-1200 m d'altitude). Les cavités étagées dans la paroi suggèrent des stades d'évolution du système karstique.

Description : Une série de cavités étagées apparaît dans la paroi. A sa base, une émergence sort au contact des calcaires du

Permien inférieur et des schistes siluriens imperméables par plusieurs griffons. Une grotte s'ouvre quelques mètres au-dessus et bute au bout de 15 m sur un miroir de faille encombré de blocs. Un sentier aérien permet de grimper dans la paroi et d'atteindre un grand porche dédoublé situé 150 m plus haut. Celui-ci mesure au total plusieurs dizaines de mètres de haut. Le tunnel inférieur est éventré sur le côté sud ; il se poursuit dans la montagne, mais l'entrée est défendue par de hauts murs (corde nécessaire pour rejoindre la cavité à partir du sentier). Cette grotte a servi de temple au cours des siècles derniers. Une autre cavité localisée en pleine falaise (porche rectangulaire de 60 m de haut), plus au sud, n'a pu être atteinte faute de temps et de matériel. Des passerelles sommaires, apparemment abandonnées, traversent des abîmes vertigineux pour conduire probablement à la grotte. (RM)

IV. LES CAVITES A L'OUEST DE WUXI

Plusieurs cavités actives et sèches ont été explorées à l'W et au SW de Wuxi entre 700 et 1000 m d'altitude. Le drainage souterrain s'effectue dans l'axe des plis : soit vers l'E pour émerger notamment dans le canyon de la Daninghe (ex : cascade du Cheval Blanc) (photos 15 a et 15 b) à partir du poljé de Shanguang (ponors) ; soit vers l'W en direction de la rivière Fenshui (cas de Xinlongdong, - 167 m). (fig. 45).

A. CHUNSHUPINGTIANKENG

Gouffre de Chunshuping (fig. 53)

Wuxi n° 89/1

Z = 1080 m Dév. = 75 m Dén. = - 65 m

Situation : Il se situe à 12 km au SW de Wuxi tout près du village de Chunshuwan.

Contexte géologique : Ce puits s'ouvre à flanc de montagne et se développe dans les dolomies argileuses et les marnes du Trias inférieur (étage Jialingjiang). Le pendage est de 19° et de direction N274°.

Description : Cette cavité s'ouvre par un minuscule orifice se situant sur une pente herbeuse exposée au SE. Le courant d'air chaud qui en sort nous invite à l'exploration. Une étroiture sévère nous mène au sommet d'un puits de 10 m développé au profit d'une fracture SE-NW. A sa base, un joli trou rond de 1 m de diamètre perce le plancher et donne accès à deux verticales de 15 m chacune. Ces deux puits, de style "alpin", ne présentent aucun concrétionnement. Au fond, un solide pont rocheux barre la suite ; une énergique désobstruction d'une heure en vient à bout et permet de descendre un puits de 25 m. En bas, nous prenons pied sur un tas de graviers lavés par les eaux qui marque la fin de la cavité à la cote - 65 m. Seul un filet d'eau poursuit son chemin dans une fissure SE. (HDG)

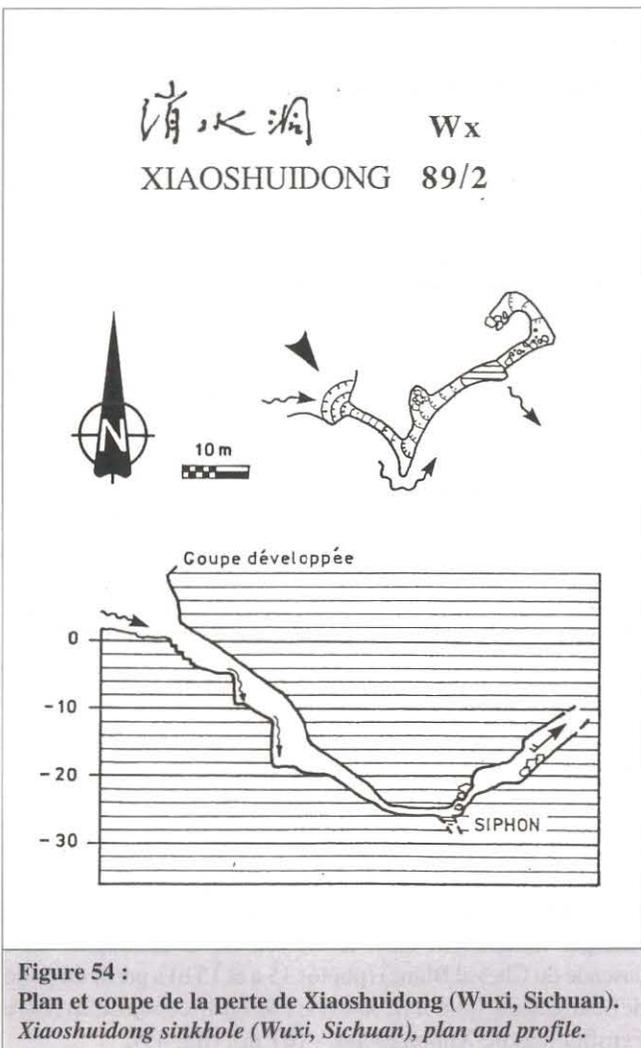


Figure 54 :
Plan et coupe de la perte de Xiaoshuidong (Wuxi, Sichuan).
Xiaoshuidong sinkhole (Wuxi, Sichuan), plan and profile.

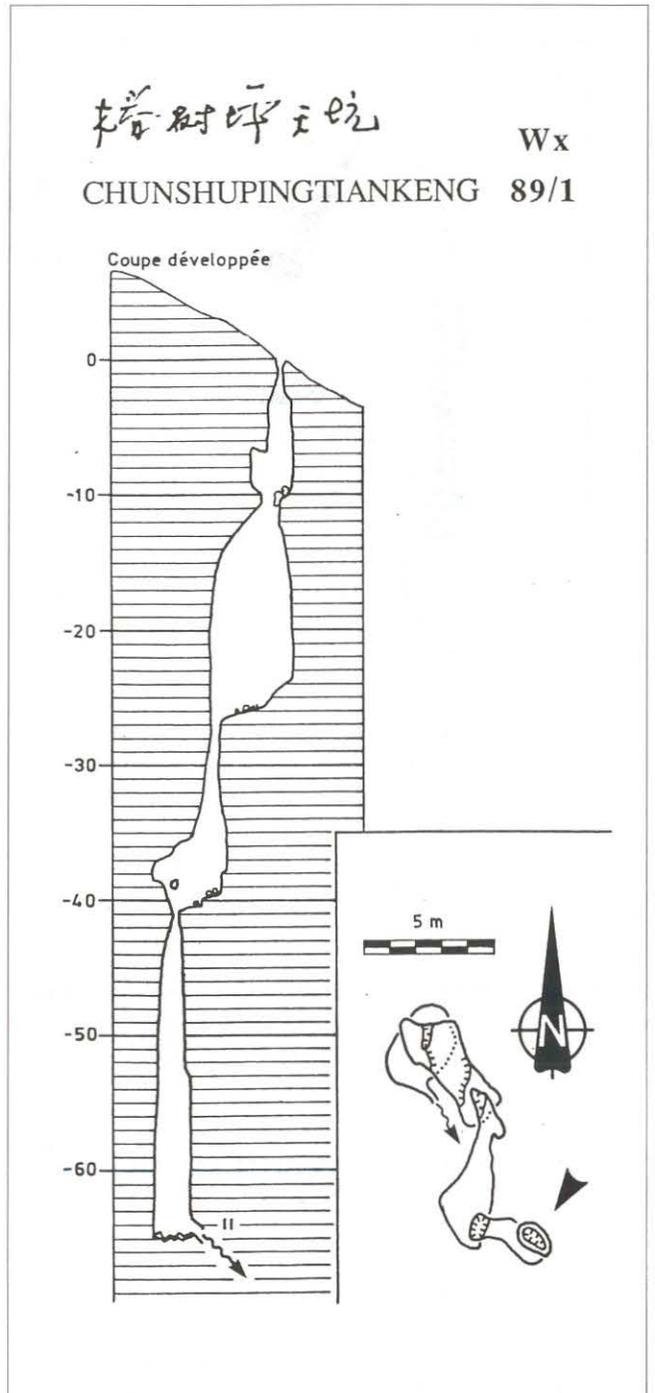


Figure 53 :
Plan et coupe du gouffre de Chunshuping (Wuxi, Sichuan).
Chunshuping shaft (Wuxi, Sichuan), plan and profile.

B. XIAOSHUIDONG

Grotte de la perte (fig. 54)

Wuxi n° 89/2

Z = 709 m Dév. = 74 m Dén. = - 26 m

Situation : Elle est située à 24 km au SW de Wuxi, près du village de Longwangmiao.

Contexte géologique : Sise sur le bord nord du poljé de Shanghuang, cette perte se développe dans les bancs épais de calcaires et de brèches du sommet du Trias inférieur (étage Jialingjiang). Le pendage est de 54° et de direction N170°.

Description : Cette perte s'ouvre par une petite entrée aménagée en gradin. Après deux puits (P5, P6) et une courte galerie déclive, le ruisseau, d'un débit de 20 l/s lors de l'exploration, s'engouffre dans un siphon sombre et boueux. Un passage dangereux dans une trémie de galets en entonnoir nous permet de continuer un peu l'exploration dans une galerie remontante. Malgré un courant d'air aspirant important, nous arrêtons l'exploration très préoccupés par notre retour et le passage de la trémie. Des branches coincées au sommet des puits témoignent d'une mise en charge totale de cette perte et rendent l'endroit peu sympathique. (JPB)

C. LA GROTTÉ DU TUNNEL

(fig. 55)

Wuxi n° 89/13

Z ≈ 700 m Dév. ≈ 200 m Dén. ≈ + 10 m

Situation : Cette cavité sans orifice naturel connu s'ouvre à la faveur d'un tunnel artificiel de drainage qui relie le poljé synclinal de Shanghuang à une vallée située 2 km au N.

Contexte géologique : La grotte se développe dans les calcaires du Trias au sein d'un anticlinal d'axe E-W.

Description : La cavité s'ouvre à 250 m environ de l'entrée du tunnel. Un escalier conduit à une trémie de blocs d'où provient un petit écoulement. Après quelques passages étroits et oppositions, on pénètre dans une salle d'effondrement large de 20 m. En amont, on observe un ancien canal artificiel d'où provient un ruisseau (siphon) ; à l'aval, le mur s'est effondré à la hauteur de la trémie. Le réseau se poursuit au nord par une galerie subhorizontale de 5 à 8 m de large agrémentée de banquettes limoneuses, de laisses d'eau et de quelques concrétionnements. Au bout d'une centaine de mètres, le conduit se jette dans un puits estimé à 8 m qui n'a pas été descendu faute de matériel et de temps. Le fond est occupé par un lac tandis que la galerie paraît continuer en face. (RM)

D. LONGWANGDONG

Grotte du Roi des Dragons (fig. 56)

Wuxi n° 89/11

Z = 730 m Dév. = 525 m Dén. = + 17 m

Situation : Elle est située à 17 km au SW de Wuxi, à proximité du village de Shanghuang.

Contexte géologique : Cette résurgence se développe dans les calcaires en bancs épais du Trias inférieur (T_{1j}). Le pendage est à cet endroit de 19° et de direction N024°.

Hydrologie : Le débit moyen de cette résurgence, 48 l/s, n'était que de 5 l/s lors de l'exploration en ce début d'été d'hiver (11/89). L'eau apparaît à l'extrémité de la cavité qu'elle traverse entièrement, avant de rejoindre une rivière superficielle beaucoup plus importante. Le faciès chimique des eaux est typiquement karstique, avec peu de sulfate, de chlorure et de sodium et beaucoup plus de calcium que de magnésium. La rivière coulant dans la vallée et la grosse source située plus en amont contiennent par contre beaucoup plus de sulfate et de magnésium.

Description : Toute la cavité est si parfaitement alignée sur une grosse fracture que l'on voit le jour à plus de 100 m de l'entrée, alors que la galerie ne fait que 5 m de large. Celle-ci est doublée sur une partie de sa longueur par un conduit secondaire rigoureusement parallèle. La morphologie d'ensemble et les microformes de corrosion omniprésentes (coupoles) indiquent que le creusement s'est fait essentiellement en phase noyée, alors que le niveau du fond de la vallée était situé plus haut. Par la suite, le niveau hydrologique de base s'est enfoncé, et l'érosion a commencé à inciser le plancher du conduit. Cette érosion s'est faite de manière régressive (de l'aval vers l'amont) et n'a pas encore beaucoup progressé (200 m environ).

L'amont du réseau est donc presque horizontal, avec de petits barrages de calcite régulant le niveau de l'eau. Après 400 m et un joli passage en opposition, on bute sur un dernier

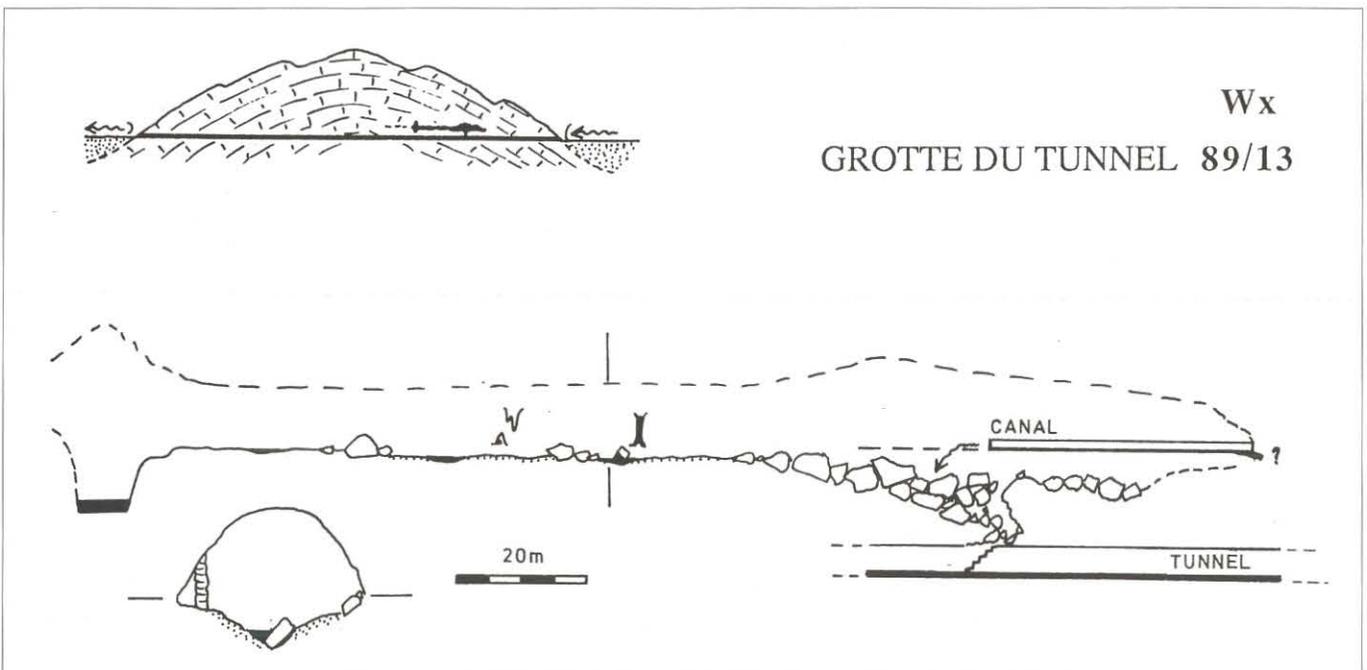


Figure 55 : Croquis de la grotte du tunnel (Wuxi, Sichuan). Sketch of tunnel cave (Wuxi, Sichuan).

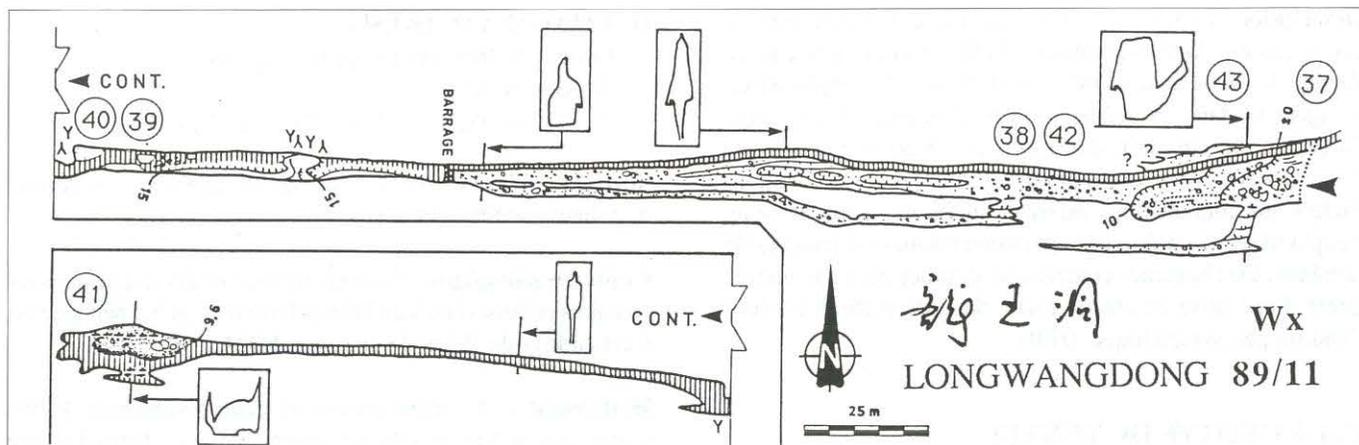


Figure 56 : Plan et coupe de la résurgence de Longwangdong (Wuxi, Sichuan). Longwangdong spring (Wuxi, Sichuan), plan and profile.

lac et le conduit devient siphonnant. La suite appartient aux plongeurs. Quelques suintements coulent du plafond, en suivant de petites stalactites ou jaillissant directement de fissures. Ces eaux sont (en saison sèche) beaucoup moins minéralisées que celles de la rivière principale captée 200 m à l'intérieur de la grotte. Ensuite, un magnifique canal, mi-maçoné et mi-créusé dans la roche, conduit l'eau jusqu'au jour. Cela permet de faire sortir de l'eau une vingtaine de mètres au-dessus de la résurgence naturelle, ce qui est suffisant pour irriguer quelques hectares de rizières situés sur un coteau voisin. (BCo. et JB)

E. XINLONGDONG

Grotte du Nouveau Dragon (fig. 57)

Wuxi n° 89/12

Z = 970 m Dév. = 1585 m Dén. = + 7 m, - 167 m

Situation : Elle est située à 40 km à l'ouest de Wuxi et à 4 km du village de Xindianzi.

Contexte géologique : Cette grotte se développe dans les calcaires et les dolomies du Trias inférieur (étage Jialingjiang). Le pendage est à cet endroit de 8° et de direction N220°.

Description : Cette cavité assez complexe comporte diverses parties apparemment indépendantes les unes des autres, raccordées entre elles à la faveur de quelques éboulements. Elle peut être divisée en cinq parties principales :

1) Etage supérieur "fossile" :

C'est par là que l'on pénètre dans le réseau. Il s'agit d'un large réseau subhorizontal, bien concrétionné et creusé en régime noyé par un écoulement assez lent comme en témoignent les nombreuses coupoles. Il est à moitié colmaté par l'argile et n'est plus parcouru que par quelques suintements. C'est une grotte assez belle qui pourrait être aménagée pour le tourisme ; actuellement, elle est surtout pillée par les collectionneurs de concrétions.

2) L'aven et la grande salle :

Il s'agit d'un magnifique aven, avec de s cannelures, qui aboutit au plafond d'une grande salle d'effondrement encombrée d'éboulis. La genèse de l'aven et celle de la salle pourraient être indépendantes.

3) Zone labyrinthique intermédiaire :

C'est un entrelac de galeries sèches, encombrées de sables et

limons et de blocs, mais pauvres en concrétions. Ce réseau tridimensionnel à coupoles omniprésentes, correspond à une genèse en régime noyé profond, à courant lent. Cette partie semble totalement indépendante de l'étage supérieur, morphologiquement très différent, avec lequel elle ne communique qu'à la faveur de la grande salle d'effondrement.

4) Le réseau actif :

Cette petite rivière pérenne (aux mises en charge importantes) surcreuse son lit dans une galerie grossièrement cylindrique. Ses eaux sont agressives et transportent des débris ligneux.

5) La grande diaclase :

La rivière recoupe une belle diaclase que l'on peut suivre sur une grande longueur et quelques mètres de haut. Cette diaclase communique avec quelques petites galeries sèches dont les parois sont noires. Nous n'avons pas terminé l'exploration faute de temps. (BCo.)

CONCLUSION

La région de Wuxi présente un potentiel important en grottes et en gouffres profonds. Le cas du synclinal oriental de Wuxi, avec un potentiel de plus de 1600 m, est caractéristique : un premier maillon du système karstique a été découvert près du village de Tongchengba. Le karst d'altitude des synclinaux perchés reste encore une inconnue. Tout reste à faire également dans le canyon de la Daninghe en aval de Wuxi où de multiples entrées de cavités ont été observées dans les immenses parois.

L'évolution du relief et des réseaux est en étroite relation avec l'orogénèse néogène (tectonique himalayenne) d'où la vigueur du relief et le contrôle tyrannique de la structure sur le modelé. L'instabilité de certains versants est caractéristique dans le Trias inférieur dolomitique de Wuxi (ex : écroulement du 1/9/87 au sud de la ville faisant 100 victimes). Les glissements sont abondants dans le Jurassique gréseux au nord de Fengjie. Les veines de charbon du Jurassique sont encore exploitées à flanc de falaise dans des conditions très difficiles (route Fengjie-Wuxi). Les rivières descendant des Daba Shan, aux crues d'été violentes, ont subi des aménagements pour augmenter les terres cultivables des basses terrasses. Ces tentatives ont parfois abouti à des échecs cuisants comme au nord de Fengjie, les digues et les berges ayant été emportées sur la rive concave tandis que des accumulations de galets ont stérilisé l'autre rive. (RM)

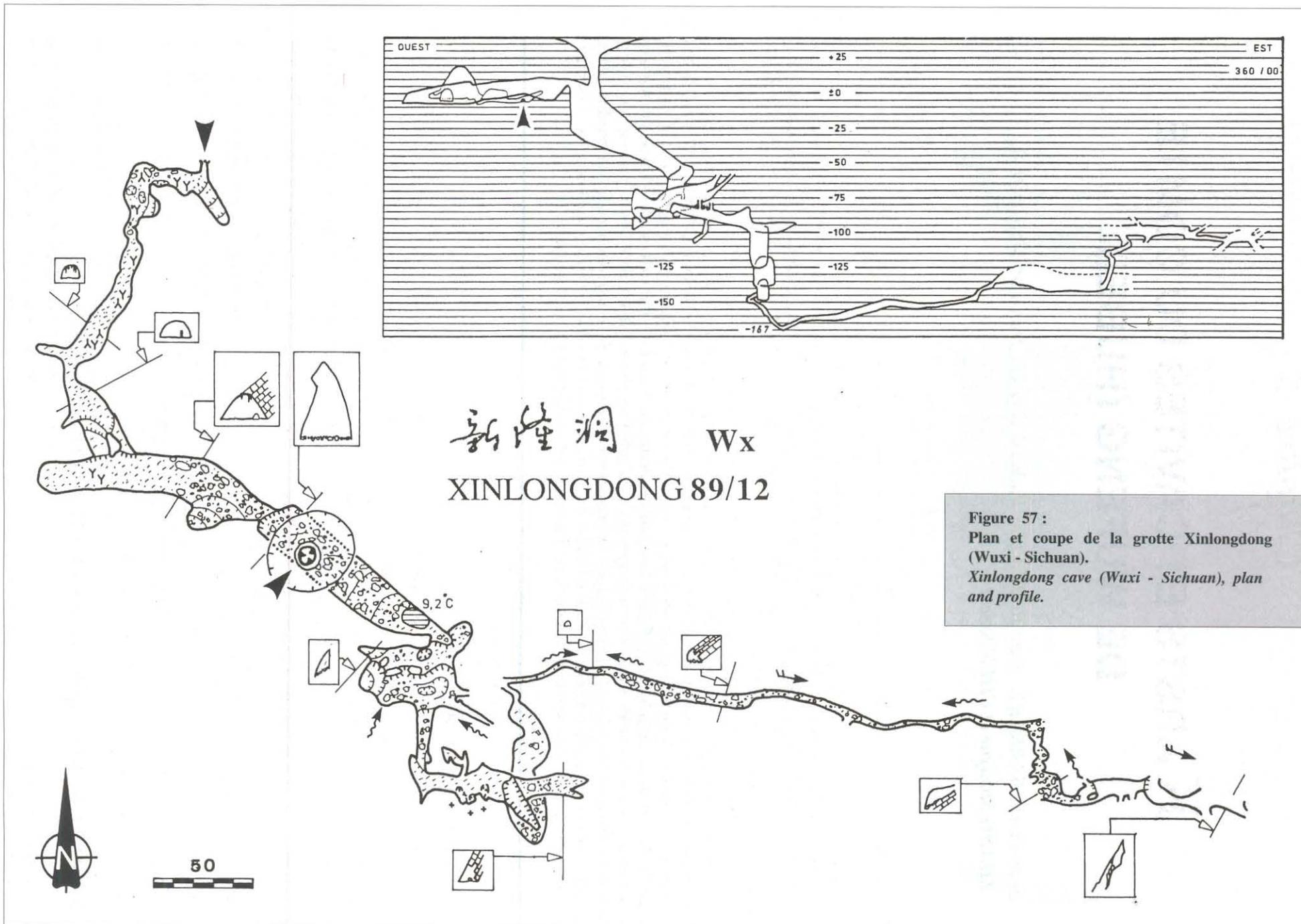


Figure 57 :
Plan et coupe de la grotte Xinlongdong
(Wuxi - Sichuan).
Xinlongdong cave (Wuxi - Sichuan), plan
and profile.



Galerie d'entrée de Longdong Yanzidong (Wufeng - Hubei). (jb)
Longdong Yanzidong entrance.



En remontant la rivière... (CR) — *The river going up...*

is characterized by an important thermic amplitude (1,7°C in January, 24°C in July at 600 m a.s.l.). The precipitation amount to 1400 to 1600 mm/year. The forests cover 70 % of the county (with some climacteric forests at the border of Hunan), cultures 10 % (tobacco, tea, maize, wheat...).

In twelve different caves, 27 km of passages were surveyed. The Longdong system, near Wufeng, is composed of two main caves: the Dadong sinkhole (9,7 km long), which begins at a 100-metre-high entrance at the end of the blind canyon of the Songjiahe river, and the Longdong resurgence (5,7 km). Further to the East, in the mountains, the system of General's cave, East Pitch and West Pitch have been explored. General's cave is a 1,95 km long tunnel-cave to which a labyrinth of passages is connected. The East Pitch and West Pitch are active sinkholes in the bottom of a temporary flowing valley. They are the entrances of a 382 m deep and 5 km long "alpine" system, with pitches, meanders, rivers and potholes. Remarkable sediments were observed: speleothems (Thenardite, gypsum speleothems) and a rhythmic settling with red and grey varve and pebbly beds, 25 m high, testify to a soil withdrawing in terms of a paleoclimatic sequence.

Keywords: *qiufeng, ouvala, polje, canyon, blind valley, sinkhole, resurgence, shaft, climate, climacteric forest, limestone, dolomite, Paleozoic, Ordovician, Wufeng, Hubei.*

ZUSAMMENFASSUNG: KARST UND HÖHLEN VON WUFENG (HUBEI).

Im Südwesten der Provinz Hubei gelegen zeigt die Bergregion von Wufeng, die sich bis auf 2320 m Seehöhe erhebt, eine Landoberfläche mit Qiufeng Uvalas, Quifeng Poljen und tiefen Schluchten. Die von Südwest nach Nordost streichenden Faltungen sind mit 2000 m dickem Kalk und Dolomit (Kambrium bis Trias) bestückt. Das subtropische Bergklima mit deutlich kontinentaler Neigung ist durch eine profilstarke Temperaturkurve (1,7 °C im Januar und 24 °C im Juli auf 600 m Seehöhe) gekennzeichnet. Die Niederschlagsmenge beträgt 1400 bis 1600 mm pro Jahr. 10% der Landoberfläche sind von Landwirtschaft (Tabak, Tee, Mais, Weizen) beansprucht, Wälder bedecken 70% (an der Grenze zu Hunan befinden sich klimakterische Wälder).

27 km Gangstrecke wurden in zwölf Höhlen topographiert. Das Longdong-System, in der Nähe von Wufeng gelegen, besteht aus zwei Haupthöhlen: die temporäre Flußhöhle Dadong (9,7 km), die am Ende der Schlucht des Flusses Songjiahe liegt und mit einem über 100 m hohen Eingang beginnt und andererseits die Resurgenz Longdong (5,7 km). In den Bergen östlich von Wufeng wurde das Höhlensystem Generalshöhle/Ostschacht/Westschacht erforscht. Die Generalshöhle (1,95 km) ist eine Tunnelhöhle, die in ein Labyrinth von Gängen eingebunden ist. Das Ostschacht/Westschacht-System, wovon 5 km Gangstrecke erfasst sind, fungiert als zweifache Bachschwinde zweier temporär wasserführender Täler. Es ist ein 382 m tiefes alpines Höhlensystem mit Schachtstufen, Mäandern, wasserführenden Gängen und Kolken. An Höhleninhalt sind Tropfsteinbildungen (Thenardit, Gips Stalaktiten) bemerkenswert sowie eine 25 m starke rhythmische Ablagerung von roten und grauen Lehmen und Geröllen, die eine Einschwemmung von Böden bezeugen und einer paläoklimatischen Sequenz entsprechen.

Stichworte: *Qiufeng, Uvala, Polje, Schlucht, Sacktal, Schwinde, Resurgenz, Schachthöhle, Klima, klimakterischer Wald, Kalk, Dolomit, Paläozoikum, Ordovizium, Wufeng, Hubei.*



Photo 16 :

Le synclinal perché de Baiyiping (Wufeng-Hubei).

The perched Baiyiping syncline (Wufeng-Hubei).

INTRODUCTION

Le comté de Wufeng se situe au SW du Hubei, à proximité du Hunan, soit à 80 km de Yichang. Cette zone calcaire très montagneuse fait partie des chaînes occidentales de la province du Hubei, à la limite orientale entre les régions montagneuses du cours moyen du Yangtse (secteur des Trois Gorges au N) et les basses terres (bassin de Yichang au NE). La richesse en cavités est grande (grottes-perdes, gouffres-perdes, grottes-émergences). En 15 jours, douze cavités ont été topographiées totalisant 27 km, dont Dadong (9,7 km) commencé par les Belges en 1988, Longdong (5,7 km) et le réseau "alpin" Puits Est - Puits Ouest (5 km). Du point de vue scientifique, les résultats sont prometteurs, en particulier avec l'étude préliminaire d'une grande séquence rythmée de 25 m dans un niveau perché de Dadong (cf. chap.9, p. 146-149).

PRESENTATION PHYSIQUE

La zone de Wufeng se place sur la ligne de partage des eaux des rivières Qingjiang et Lishuihe toutes deux tributaires de rive droite du Changjiang (Yangtse) (fig. 42). Dans ce paysage montagneux culminant à 2320 m, les chaînes plissées s'étagent de 1000 à 2000 m d'altitude. Les massifs karstiques sont séparés par de vertigineuses vallées dont la profondeur varie de plusieurs centaines de mètres à 1000 m.

◇ **Géologie** : les séries de roches carbonatées, puissantes de 2000 m, vont du Cambrien au Trias (fig. 61). La direction des axes de plissement est généralement E-W. Du Nord au Sud, on observe les structures suivantes : le synclinal de Baiyiping, l'anticlinal de Taipingzhuang, le synclinal de Mapengling, l'anticlinal de Changleping, le synclinal de Hupingshan et l'anticlinal de Wantan (fig. 59). On note seulement la présence de deux grandes failles : celles de Duoping (N030°) et de Sujiahe (N080°).

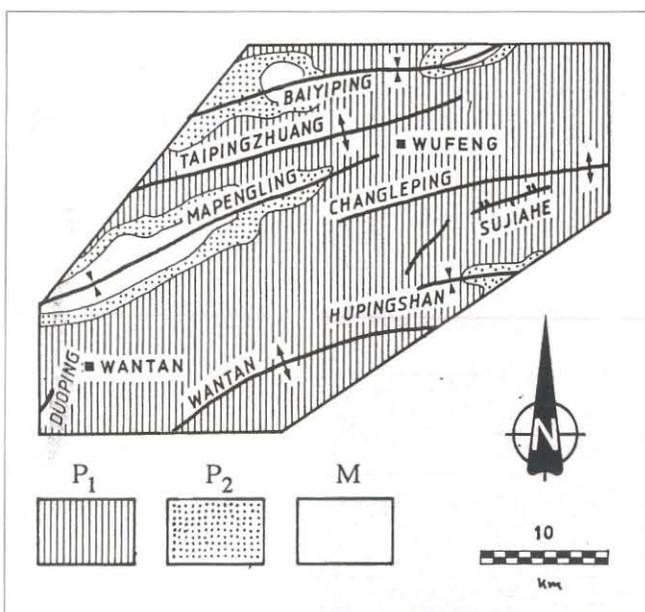


Figure 59 : Principales structures géologiques de la zone de Wufeng (Hubei). P1, Paléozoïque inf. P2, Paléozoïque sup. M, Mésozoïque. Main geological structures of Wufeng area (Hubei). P1, Lower Paleozoic. P2, Upper Paleozoic. M, Mesozoic.

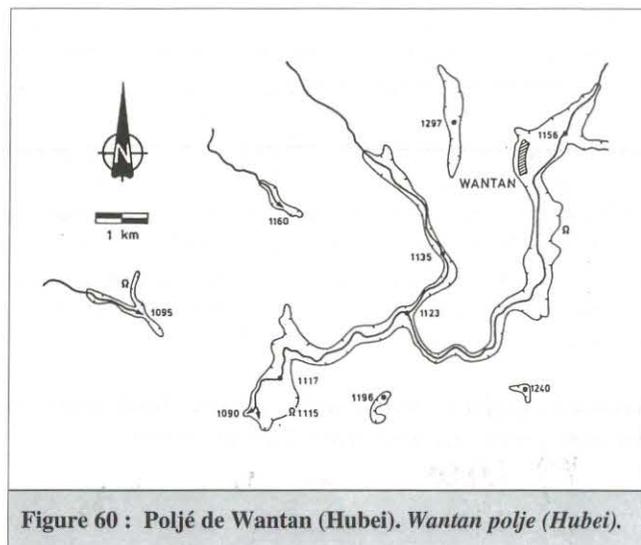


Figure 60 : Poljé de Wantan (Hubei). Wantan polje (Hubei).

Tous les anticlinaux présentent les mêmes caractéristiques ; ils sont larges et coffrés et généralement avec des axes courts (fig. 62). Leur armature est constituée par les formations carbonatées du Paléozoïque. Les synclinaux sont longs et principalement formés par les terrains du Paléozoïque supérieur et du Trias. Les synclinaux et anticlinaux sont affectés par une intense fracturation croisée de directions NE et NW.

◇ **Paysages karstiques** : ils se présentent généralement sous la forme d'un relief typique composé d'ensemble qiufeng-poljé et qiufeng-ouvala. Néanmoins on peut distinguer trois types de paysages en fonction de l'altitude :

- De 1700 à 2000 m, on trouve surtout des ensembles qiufeng-ouvala. La différence d'altitude entre le sommet des buttes et le fond des dépressions varie de 200 à 300 m.
- De 1300 à 1500 m, on rencontre des paysages mixtes qiufeng-ouvala et qiufeng-poljé. La dénivellation entre qiufeng et dépressions n'est plus que de 150 à 200 m.
- De 900 à 1100 m, on observe les ensembles qiufeng-poljé ; c'est la zone des grands poljés étagés (Wantan, Changleping) dont la longueur dépasse souvent 10 km (fig. 60). La différence d'altitude entre les formes positives et négatives varie de 100 à 150 m.

◇ **Climat** : Le climat est de type subtropical humide, mais avec une nuance montagnarde et continentale accentuée. Le régime de mousson est classique avec une saison des pluies d'avril à septembre. A la station de Wufeng (alt. 600 m), les précipitations moyennes sont de l'ordre de 1500 mm/an pour une température moyenne de 13,1°C. Il tombe 1787 mm/an au village de Wantan situé 30 km à l'ouest de Wufeng. Il neige de novembre à mars au-dessus de 900 m, mais celle-ci fond après chaque chute. L'amplitude thermique est beaucoup plus importante que dans les provinces du Guizhou et du Sichuan (janvier/1,7°C, juillet/24°C). Les températures extrêmes vont de 37°C l'été (dans les vallées) à -15°C l'hiver (sur les sommets).

◇ **Végétation** : L'importante couverture forestière, surtout des pins, représente 70 % de la superficie du comté ; elle est liée au caractère très montagneux du paysage et à ses profondes vallées. Certaines forêts climaciques, préservées des actions

humaines, sont présentes à la frontière avec le Hunan. Des Ginkgos, arbres hérités du Secondaire, sont connus au centre du comté.

◇ **Cavités** : 223 cavités ont été recensées par les autorités locales dans le comté, mais le potentiel est largement supérieur. En 1989, nous avons exploré douze cavités totalisant 27 km de développement (tableau 6). Plusieurs cavités semblent appartenir à un grand système ayant pour résurgence la grotte

de Yanzidong-Longdong explorée sur 5,7 km; la perte de Dadong (9,7km) n'en serait qu'un affluent secondaire. S'ouvrant en pleine montagne, au fond d'une vallée à écoulement temporaire, le gouffre-perte de Dongxitiankeng (- 382 m, 5 km) est le plus profond de la région et présente une morphologie "alpine" avec puits, méandres, rivière, marmites. Les cavités étudiées ci-dessous ont été regroupées : système de Longdong, système grotte du Général / Puits Est - Puits Ouest, autres cavités.

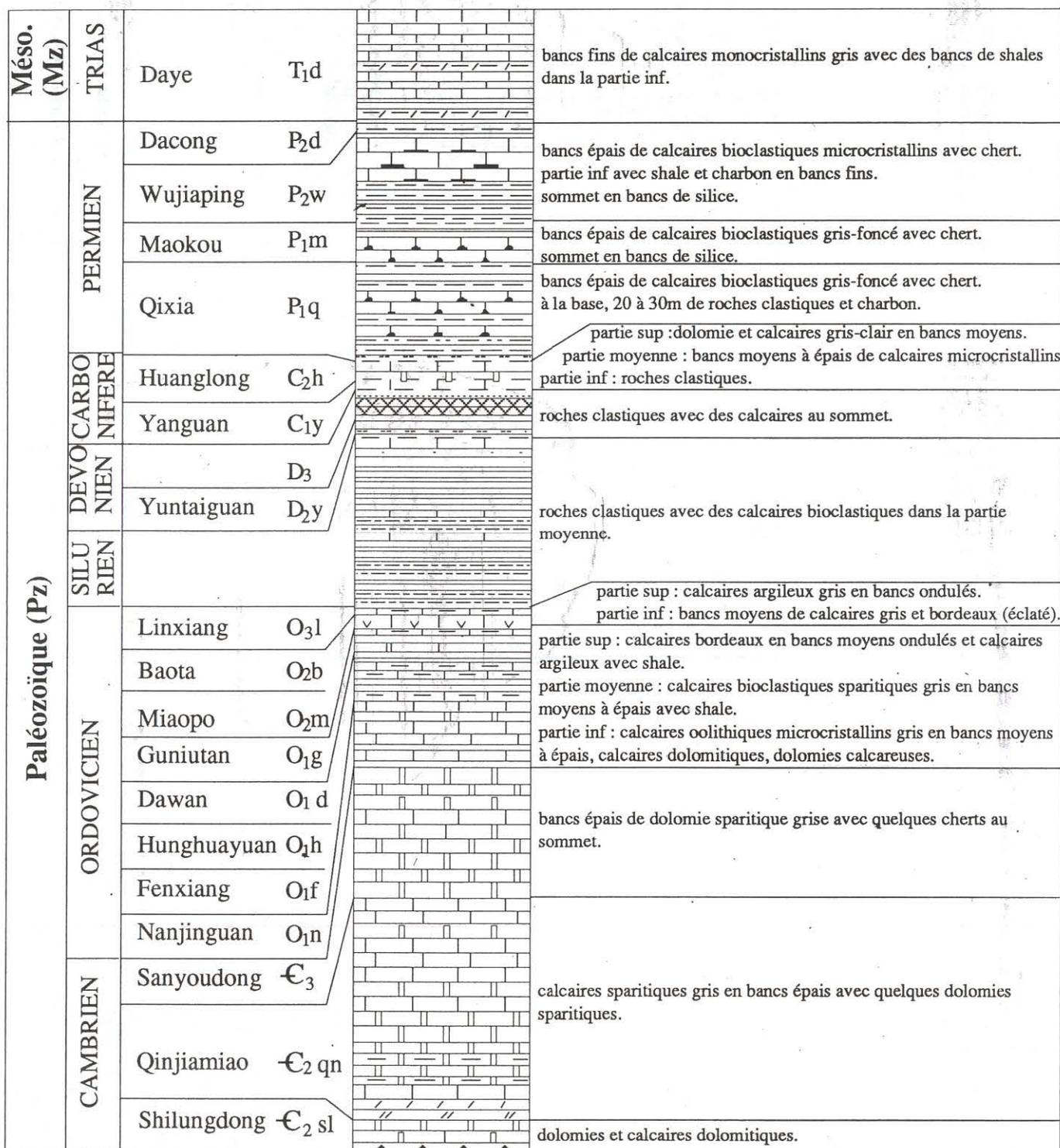
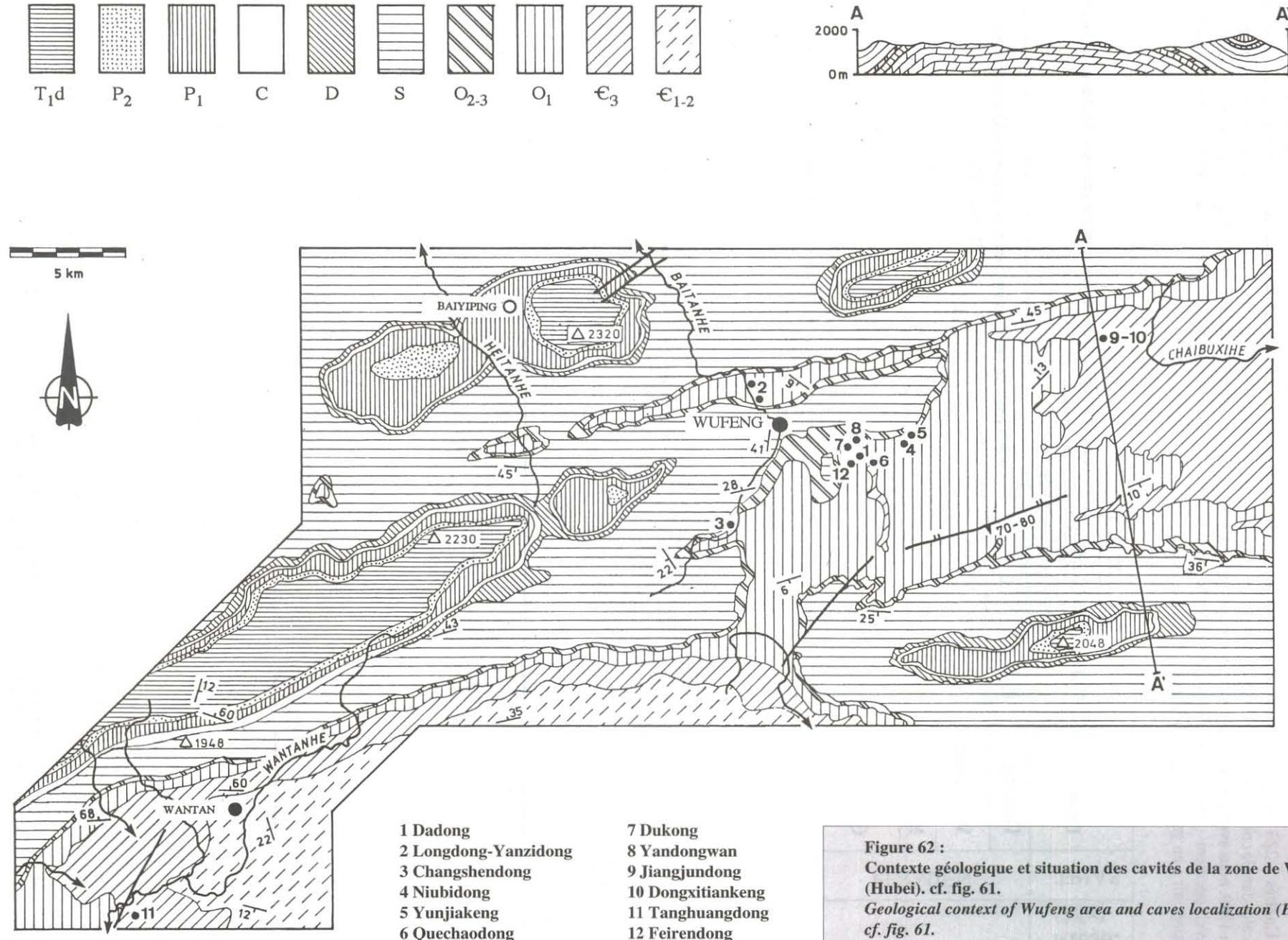


Figure 61 : Echelle lithostratigraphique simplifiée de la zone de Wufeng (Hubei).
Simplified lithostratigraphic column of Wufeng area (Hubei).

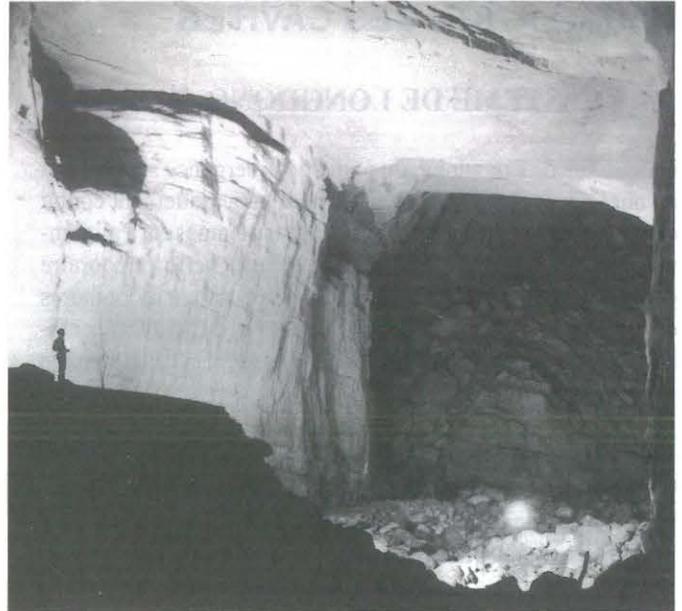


- | | |
|----------------------|-------------------|
| 1 Dadong | 7 Dukong |
| 2 Longdong-Yanzidong | 8 Yandongwan |
| 3 Changshendong | 9 Jiangjundong |
| 4 Niubidong | 10 Dongxitiankeng |
| 5 Yunjiakeng | 11 Tanghuangdong |
| 6 Quechaodong | 12 Feirendong |

Figure 62 :
Contexte géologique et situation des cavités de la zone de Wufeng (Hubei). cf. fig. 61.
Geological context of Wufeng area and caves localization (Hubei).
cf. fig. 61.

FICHE SIGNALÉTIQUE DU COMTE DE WUFENG

Superficie = 2375 km²
 Point culminant = 2320 m
 Climat = Subtropical de montagne à forte amplitude thermique
 Précipitations moyennes = 1400 à 1800 mm/an
 Roches carbonatées = Cambrien au Trias (2000 m)
 Structure = Plis NW-SE
 Morphologie = qiufeng-poljé, qiufeng-ouvala, canyon
 Population = 200 000 hb
 Densité = 84 hb/km²
 Taux de natalité = 1,9 %
 Taux de croissance = 1,1 %
 Capitale = Wufeng (alt. 600 m, lat. 30°12' N, long. 110°40' E)
 Nationalité dominante = Tujia (58 %)
 Forêt = 70 % de la superficie
 Cultures = 10 % de la superficie
 Agriculture : Tabac, thé, bois, maïs, blé, patate, riz, plantes médicinales



numéro	nom	village	Z	dév.	dén.	ext.	géol.	rem.
Wf 89 1	DADONG Grande grotte (voir photo 17 ci-dessus)	Wufeng	780	9683	≈100 -214	1825	O1	à revoir
Wf 89 2	LONGDONG-YANZIDONG Grotte du dragon-Grotte de l'hirondelle	Wufeng	530 583	5692	147	1880	O1	à revoir
Wf 89 3	CHANGSHENG DONG Grotte de la longue vie	Wufeng	770	1106	24 -33	485	O1	
Wf 89 4	NIUBIDONG Grotte du nez de boeuf	Bailuzhuang	1090	316	-16	188	O1	
Wf 89 5	YUNJIAKENG Gouffre de la famille Yun	Bailuzhuang	1040	1074	-157	750	O1	à revoir
Wf 89 6	QUECHAODONG Grotte du nid	Wufeng	880	340	13	244	O1	
Wf 89 7	DUKONG Le vide des Du	Wufeng	764	668	-110	355	O1	
Wf 89 8	YANDONGWAN Grotte du replat	Wufeng	940	136	-45	115	O1	
Wf 89 9	JIANGJUNDONG Grotte du général	Changpuxi	1120	1950	12 -44	442	C3	à revoir
Wf 89 10	DONGXITIANKENG Puits est-ouest	Changpuxi	1080	5003	-382	912	C3	à revoir
Wf 89 11	TANGHUANGDONG Grotte de Tanghuang	Wantan	1115	≈3085	≈-50		C2-3	à revoir
Wf 89 12	FEIRENDONG Grotte de l'homme volant	Wufeng	880	379	18 -13	157	O1	à revoir

Tableau 7 : Spéléométrie des cavités explorées dans le comté de Wufeng (Hubei). Cave data, Wufeng county (Hubei).



DESCRIPTION DES CAVITES

I. LE SYSTEME DE LONGDONG

Le système de Longdong, du nom de l'émergence située 3 km au nord de Wufeng, est le plus important actuellement connu du comté. Ses limites précises ne sont pas connues car l'alimentation s'effectue à la fois par une grande perte temporaire (Dadong) et une multitude de pertes temporaires secondaires d'une part, et par une infiltration directe et diffuse (alimentation autochtone) d'autre part. Huit cavités sont décrites dans ce système.

Hydrogéologie : Le système se trouve dans la partie NW de l'anticlinal de Changleping (fig. 59 et 62). La rivière temporaire de la Songjiahe se perd à Dadong, à 780 m d'altitude, et a creusé un réseau qui se développe au contact du Cambrien et de l'Ordovicien. On suppose qu'elle réurgit à Longdong, à 530 m d'altitude, après avoir passé le coeur du synclinal, à plusieurs centaines de mètres de profondeur. Yanzidong est une branche "fossile" qui se situe 30 m au-dessus et à gauche de Longdong. Ces deux cavités se développent dans les séries ordoviciennes.

La Songjiahe draine un large bassin où affleurent principalement les calcaires et dolomies ordoviciennes. Le lit de la rivière est sec quatre à six mois par an et nous avons échantillonné ici de petites sources jaillissant des calcaires ordoviciens. La plupart de ces sources sont froides, jusque 7°C, soit 3 à 5°C de moins que les autres eaux souterraines de cette région à la même altitude. Nous n'avons pas d'explication satisfaisante à cette anomalie (la zone d'alimentation probable semble trop basse pour receler des nées permanents).

Dans les deux grottes (Dadong, Longdong), le faciès chimique de l'eau est typiquement karstique, avec très peu de sulfate (< 20 ppm), de chlorure (< 5 ppm) et de sodium (< 4 ppm). Les concentrations en Ca et HCO₃ sont plus faibles à la résurgence (respectivement 30-40 ppm et 67-87 ppm) que dans les petites sources échantillonnées près de la perte (56-59 ppm et 144-153 ppm). Il est cependant délicat de comparer directement ces deux types d'écoulements, de débit fort différent. Il reste à prouver par un traçage la communication des deux rivières souterraines ainsi que l'alimentation de Longdong par d'autres écoulements.

A. DADONG

Grande grotte (fig. 63)

Wufeng n° 89/1

Z = 780 m Dév. = 9683 m Dén. = - 214 m

Historique : Une partie de la cavité est explorée sur 3 km par une équipe sino-belge en septembre 1988 (MASSCHLELEIN et ZHANG SHOUYUE, 1988).

Situation : Dadong se situe à 7 km au SE de Wufeng à l'extrémité d'un superbe canyon aveugle où se perd la rivière temporaire Songjiahe (photo 18).

Géologie : Cette énorme perte s'ouvre sur le flanc nord de l'anticlinal de Changleping tout près de l'axe, à la limite des calcaires cambriens et ordoviciens (fig. 59, 62). Le pendage est

à cet endroit de 6° de direction N324°. La partie inférieure de l'Ordovicien inférieur est occupée par des calcaires bioclastiques gris-noir en bancs épais et des bancs gris de calcaires micritiques. Creusée par la rivière Songjiahe, la grotte se développe sur plusieurs niveaux étagés : un à deux fossiles, un temporaire et un dernier, actif, qui n'a pas été atteint. Comme le réseau prend une direction NW, la liaison avec le réseau de Longdong-Yanzidong est probable.

Description : Après avoir passé le magnifique porche d'entrée en encorbellement, haut de plus de 100 m et large d'autant, nous progressons entre d'énormes blocs tombés du plafond en suivant la rivière qui s'écoule contre la paroi de gauche. Le débit très faible provient en grande partie de la grotte de Quechaodong ainsi que de deux hautes cascades tombant en pluie de chaque côté de la galerie. Le jour pénètre jusqu'à la salle-carrefour située à 400 m de l'entrée.

À droite, une salle remontante, suivie d'une galerie de 400 m de long, permet d'accéder au réseau des Belges. Celle-ci présente la particularité d'avoir été partiellement creusée dans les remplissages à l'occasion d'anciennes exploitations de nitrate. On recoupe ensuite une galerie plus vaste (10 m x 10 m). En prenant à gauche, après avoir exploré un petit diverticule en rive droite, on rejoint l'aval du réseau. En prenant à droite, après 100 m de progression, nous explorons vers le SW une branche qui débute par un petit labyrinthe. Il est suivi d'un puits remontant de 18 m donnant accès à la galerie du gypse (10 m x 10 m). Celle-ci débouche en balcon 80 m au-dessus de la salle-carrefour.

Si l'on ignore cette branche, on arrive à une nouvelle bifurcation : la galerie de droite revient vers l'entrée pour finir en balcon 40 m au-dessus de la rivière. La galerie de gauche monte fortement et aboutit au sommet d'un escarpement de 25 m entièrement entaillé dans un remplissage détritique varvé, orange et gris, à strates caillouteuses. Le sommet de ce dépôt présente d'anciennes traces d'exploitation des nitrates. L'étude de cette séquence souterraine exceptionnelle est faite dans la partie II (chap. 9).

À la salle-carrefour, un petit affluent vient doubler le débit ; il provient d'une salle où aucune suite n'est envisageable sans escalade artificielle. L'aval de la galerie principale se poursuit sur la gauche, l'eau disparaît peu à peu dans les blocs. En rive gauche, un beau méandre remontant permet d'atteindre un étage supérieur qui se prolonge par des galeries de 7 m x 7 m ; une branche revient 40 m au-dessus de la salle-carrefour, une autre au-dessus de la salle du petit affluent. Plus loin, dans la galerie principale, on trouve une galerie fossile en rive droite qui permet de rejoindre la galerie creusée ; elle présente de petits diverticules peu intéressants. La galerie principale devient de plus en plus large, jusqu'à 80 m ; il faut suivre la paroi de droite pour ne pas manquer un petit trop-plein de crue dont l'exploration n'est pas terminée. Nous arrivons ainsi à "l'étréture" (3 m de large pour 2 m de haut) où le courant d'air aspirant est très fort ; le fil topo accroché à la paroi flotte horizontalement.

Nous débouchons dans une vaste salle de 200 m de long, 120 m de large et 100 m de haut, riche en blocs et dépôts alluviaux. En rive gauche, une galerie perchée est suivie sur 0,5 km ; on aboutit au sommet d'un puits de 50 m. En face, la galerie continue...

大洞
DADONG

Wf
89/1

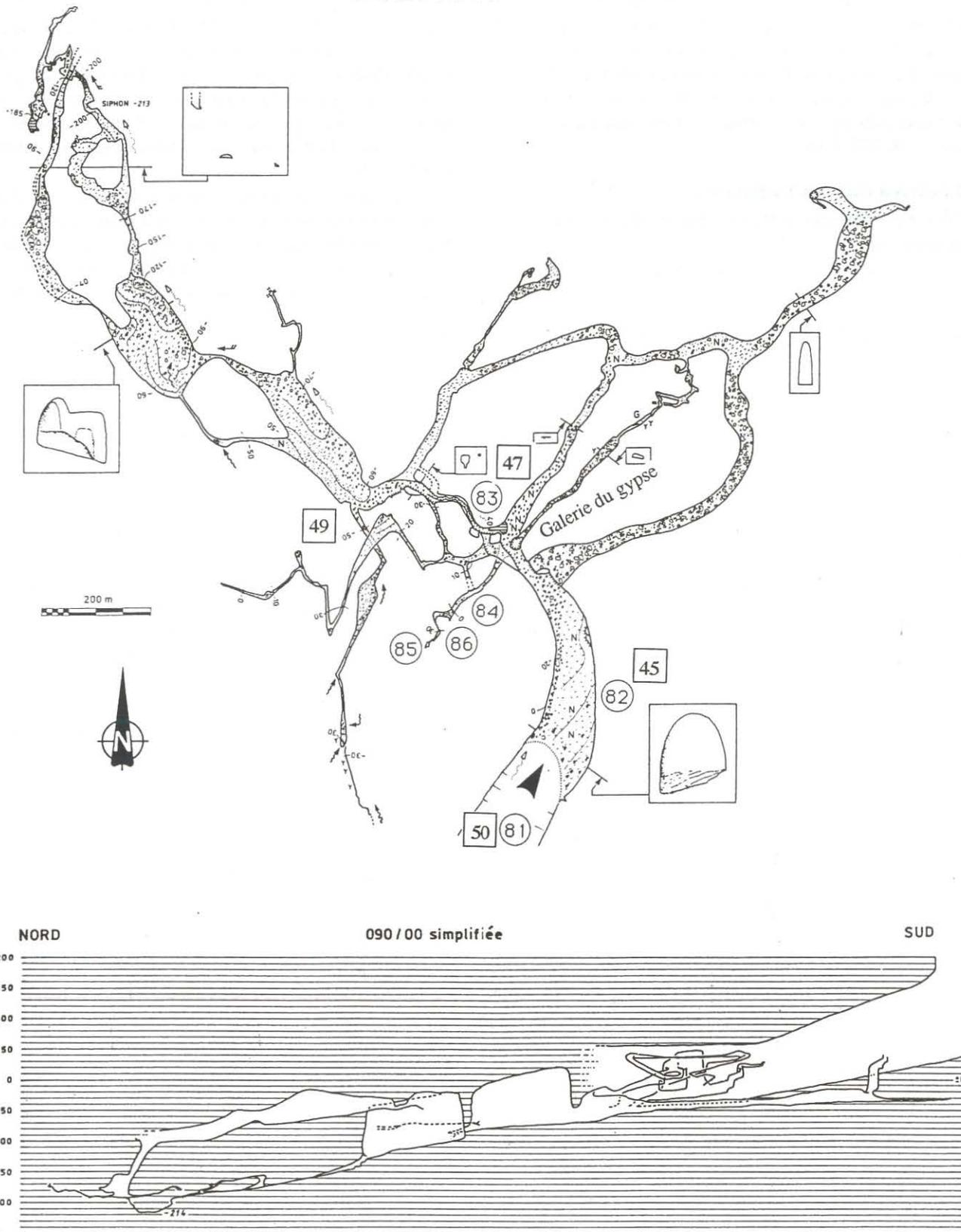


Figure 63 : Plan et coupe de la grotte de Dadong (Wufeng, Hubei). Dadong cave (Wufeng, Hubei), plan and profile.

Revenons à la salle ; au fond, en rive droite, la voûte s'abaisse jusqu'à 50 cm (laminoir avec galets). Derrière, une petite salle, puis une galerie conduit à une rampe de galets instables, haute de 10 à 15 m, qui débouche peu après au pied d'un puits arrosé de 50 m. Ensuite, le réseau devient plus étroit ; des troncs et des branches, plantés dans le sable et l'argile ou coincés dans les rétrécissements, font mauvaise impression. Cette partie sinistre et gluante, d'un développement de plus de 400 m, est entièrement noyée en période de hautes eaux comme en témoigne l'énorme tas de bois se trouvant dans la salle.

Aucune continuation n'a été découverte : arrêt sur siphon suspendu, étroiture et troncs coincés (absence de ventilation). (JB, JPB, RM)

B. LONGDONG-YANZIDONG

Grotte du dragon-Grotte de l'hirondelle (fig. 64)

Wufeng 89/ 2

Z = 530 m et 583 m Dév. = 5692 m Dén. = + 147 m

Situation : Cette superbe résurgence se situe à 2,5 km au NW de Wufeng en rive droite de la rivière Baitanhe. Deux entrées principales permettent d'accéder au réseau : la résurgence de Longdong et l'entrée suspendue de Yanzidong qui donne accès au réseau fossile.

Géologie : L'anticlinal étroit et linéaire de Taipingzhuang s'étire de l'est vers l'ouest sur plus de 10 km (fig. 59) ; sa partie centrale est occupée par les formations de l'Ordovicien (fig. 62). Son flanc nord présente des pendages de 30° à 50° ; sur son flanc sud, ils varient de 25° à 50°.

Les deux entrées très proches se situent dans la cluse de la rivière Baitanhe, chacune d'un côté de l'axe de l'anticlinal : Longdong au nord, Yanzidong au sud.

Longdong s'ouvre dans la partie inférieure de l'Ordovicien inférieur. Il s'agit de bancs épais de calcaires micritiques avec de fins lits de cherts. Les couches présentent un pendage de 15° de direction N328° à N338°. Yanzidong s'ouvre dans les calcaires de la partie moyenne de l'Ordovicien inférieur. Près de l'entrée, le pendage est de 43° avec une direction de 178°.

Au vu des conditions hydrogéologiques et des explorations, l'émergence de Longdong semble servir d'exutoire aux eaux de Dadong. Ce qui signifie que la rivière de Dadong, qui draine le flanc nord de l'anticlinal de Changleping, passe sous le synclinal Mapengling et résurge dans la cluse de l'anticlinal de Taipingzhuang (fig. 62). Cette source semble donc avoir un bassin beaucoup plus important. En effet, de nombreuses inconnues demeurent puisque le débit en ce début d'étiage d'hiver est de 1 à 2 m³/s alors qu'à Dadong le seul cours d'eau aperçu n'atteint pas 10 l/s. Toutes ces hypothèses doivent être confirmées par des analyses plus poussées, des traçages et bien entendu par la suite des explorations.

Dans cette cavité, après la jonction de Longdong et Yanzidong, nous avons trouvé des stalactites de gypse et ceci pour la première fois en Chine. On sait que du gypse s'est déposé ailleurs en Chine dans des bassins fermés, de la fin du Cambrien au début de l'Ordovicien, sous un climat sec et chaud. Mais jusqu'à présent aucun banc de gypse n'a été signalé en surface ainsi que sous terre dans cette région. L'hypothèse la plus vraisemblable est qu'il s'agit d'une décomposition de la pyrite qui imprègne la roche (photos 20 a et 20 b). (ZS et JPB)

1. Entrée par LONGDONG

La résurgence de Longdong, aménagée discrètement par la construction d'un petit canal extérieur, s'ouvre par trois entrées. L'orifice inférieur, étroit et actif, sert d'exutoire unique en basses eaux. L'entrée principale se présente sous la forme d'une belle conduite forcée, de 12 m de diamètre, sculptée du sol au plafond par d'innombrables "coups de gouge". 20 m au sud, un porche "fossile" dédoublé, de 30 m de large et de 10 m de haut, constitue le troisième accès au réseau. La conduite forcée d'entrée et la galerie fossile descendant du porche supérieur se rejoignent au bout de 80 m dans une salle dont la base est occupée par un lac. Pendant 140 m nous progressons sur les berges d'un lac aux eaux calmes, jusqu'à un carrefour où se perd la rivière.

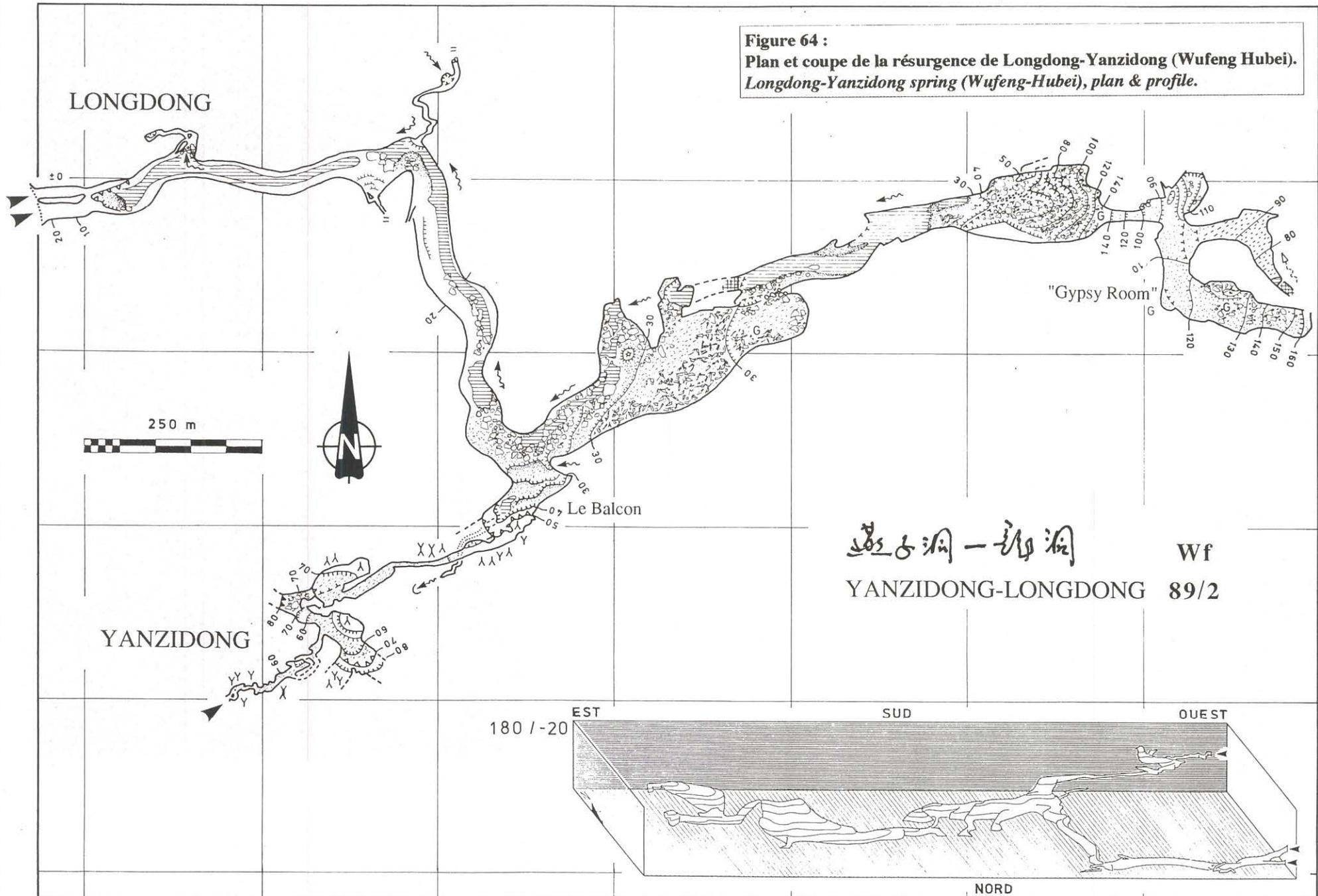
La galerie principale continue vers l'est sur 320 m jusqu'à un large coude. Les rives sont déchiquetées ; de nombreuses marmites et "coups de gouge" prononcés se rejoignent pour former des reliefs acérés que nous surnomons "les planches à clous". Le profil asymétrique est en relation directe avec le pendage marqué de l'Ordovicien. Dans le coude, en rive droite, un petit affluent en méandre débouche par une cascade de 5 m ; il se termine au bout de 200 m sur une trémie. Ensuite, la galerie principale s'élargit jusqu'à 50 à 60 m et prend une direction SSE sur 500 m ; la progression devient de plus en plus accidentée à cause des nombreux blocs. Nous atteignons ainsi le carrefour avec Yanzidong et remontons la rivière qui s'écoule bruyamment entre d'énormes blocs parés d'une magnifique patine bronze et or. La galerie monte et prend des dimensions colossales (de 60 à 110 m de large pour une hauteur de 10 à 50 m) et le sol n'est plus qu'un gigantesque chaos. Ils sont ensuite remplacés par des blocs marnés éclatés en petites plaquettes sous l'action du gypse (décomposition probable de la pyrite). 200 m après le carrefour, la rivière sort d'un lac siphonnant dans un renforcement au nord de la galerie. 240 m plus loin, on retrouve la rivière à la cote + 29 m.

La rivière coule dans une galerie de 30 à 40 m de large aux rives limoneuses. Au bout de 250 m (marche et canotage), on débouche dans une vaste salle (220 x 100 m) qui remonte de 110 m dans des chaos de blocs cyclopéens. Au sommet, un passage de 15 m de large sur 5 m de haut donne sur une rampe éboulitique instable, inclinée à 50°, que l'on descend avec précaution sur 50 m de dénivellation. On parvient ainsi au carrefour de deux autres salles. La première, au NE, est fermée (80 x 50 m) ; la seconde se dirige au S sous la forme d'un vaste conduit de 40 à 60 m de large. La première partie, dénommée "gypsy room", est une salle de 50 x 120 m recouverte par d'épais limons secs et craquelés ; la moitié sud est recouverte par une couche de poudre de gypse et un nombre exceptionnel d'aiguilles de gypse. Dans l'angle SE de "gypsy room", on observe plusieurs stalactites de gypse remarquables, la plus longue mesurant 60 cm de haut sur 15 cm de large (photos 20 a et 20 b). La genèse de ce gypse est liée à l'altération de la pyrite (sulfure FeS₂) contenue dans les calcaires noirs de l'Ordovicien, phénomène fréquent dans les calcaires organiques du Paléozoïque. Plus loin, on avance dans une salle ébouleuse longue de 100 m, puis dans une galerie se terminant au pied d'un mur très incliné de 20 m au sommet duquel on devine un départ (arrêt par faute de temps et de matériel). (JPB et RM)

2. Entrée par YANZIDONG

800 m en amont de Longdong, Yanzidong s'ouvre en falaise

Figure 64 :
Plan et coupe de la résurgence de Longdong-Yanzidong (Wufeng Hubei).
Longdong-Yanzidong spring (Wufeng-Hubei), plan & profile.



par un petit porche (3 m de large) dissimulé par la végétation. Un fort courant d'air chaud sort de cette entrée située 53 m au-dessus de l'altitude de la résurgence. Une petite galerie, de 3 m de large en moyenné et de direction WNW, mène dans un conduit plus important SE-NW où l'on trouve de nombreux piliers stalagmitiques et colonnes. Nous continuons l'exploration vers ce qui semble être l'amont du réseau, et laissons dans cette partie de la cavité plusieurs conduits. Après avoir repris une direction ENE et franchi un chaos de blocs, nous arrivons dans une salle (largeur 25 m, longueur 45 m) dont la base est occupée par les restes d'une exploitation de nitrate. La suite, cachée par les monticules de terre résiduelle de l'exploitation, se situe dans la partie basse de la salle. Une galerie quasi rectiligne de 300 m de long et de direction ENE mène au balcon, point de jonction avec le réseau de Longdong.

Remarques : Température de l'eau dans un gour = 16,8°C. Présence de chauve-souris. (JPB)

C. QUECHAODONG

Grotte du nid (fig. 65)

Wufeng n° 89/6

Z = 880 m Dév. = 340 m Dén. = + 13 m

Situation : Cette résurgence s'ouvre 200 m en amont de la perte de Dadong, en rive droite de la rivière Songjiahe. Il faut remonter sur une centaine de mètres le petit écoulement incrustant qui recoupe le chemin d'accès de Dadong.

Géologie : La cavité se développe dans les formations de l'Ordovicien inférieur.

Description : L'entrée est jolie. Avec ses quelques petits gour étagés, elle fleure bon la rivière. Suit une galerie assez spacieuse (4 m x 3 m), entrecoupée de petits bassins où un bateau n'est pas inutile. A 50 m de l'entrée, un passage supérieur

encombré d'argile abrite un nid. Au fur et à mesure que l'on progresse, la section diminue jusqu'à devenir franchement étroite. Quelques passages entre blocs à négocier, quelques dernières marmites et la galerie devient surbaissée. Nous nous sommes arrêtés quand cela devenait franchement "rastègue" pour une grotte chinoise ! (BCo.)

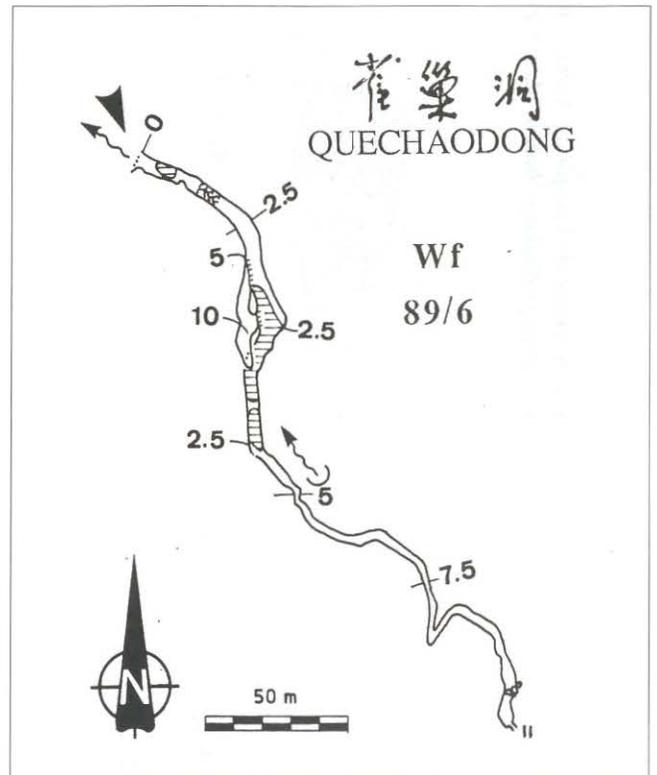


Figure 65 : Plan de la grotte de Quechaodong (Wufeng, Hubei). Plan of Quechaodong cave (Wufeng, Hubei).

Photo 18 :

Entrée de la perte de Dadong au bout de la vallée aveugle de la rivière Songjiahe.

Entrance of Dadong sinkhole at the end of Songjiahe blind valley.



D. FEIRENDONG

Grotte de l'homme volant (fig. 66)

Wufeng n° 89/12

Z = 880 m Dév. = 379 m Dén. = - 13 m, +18 m

Situation : Elle est située 7 km au SE de Wufeng, 500 m en amont du porche de Dadong, en rive gauche de la rivière Songjiahe.

Géologie : Sise dans la partie centrale de l'anticlinal, elle se développe au sommet de l'Ordovicien inférieur. Ce tronçon de galerie semble correspondre à un ancien parcours souterrain de la Songjiahe.

Description : L'entrée rectangulaire, visible de loin, mesure 40 m de large sur 25 m de haut. Elle est perchée une centaine de mètres au-dessus du fond de la vallée. A l'intérieur, une galerie encombrée d'éboulis descend en forte pente. Au point bas, on observe des vestiges d'anciennes constructions et de fours à nitrate. A mi-pente nous avons suivi sur une cinquantaine de mètres une galerie surbaissée entre une strate en plafond et de grandes dalles éboulées au sol qui finissent par obstruer totalement la galerie. Le conduit principal remonte

ensuite sur une centaine de mètres. Les éboulis sont remplacés par des concrétions qui obstruent toute la galerie. Dans cette partie, on peut observer de vieilles concrétions massives. (CR)

E. DUKONG

Le vide des Du (fig. 67)

Wufeng n° 89/7

Z = 764 m Dév. = 668 m Dén. = - 110 m

Situation : Cette cavité se trouve 6 km au SE de Wufeng, côté E de la route.

Géologie : Sise sur le flanc nord de l'anticlinal de Changleping, cette belle doline d'effondrement et de dissolution s'ouvre dans les calcaires bioclastiques gris foncé du sommet de l'Ordovicien inférieur. Le pendage est à cet endroit de 12° et de direction N342°. Vu sa position, elle doit probablement dépendre du système de Longdong.

Description : C'est par une gorge étroite, située au sud, que nous accédons au fond de cette grosse doline de 80 m de diamètre et 110 m de profondeur. Au pied de la falaise nord s'ouvrent deux entrées : la première qui est la perte principale

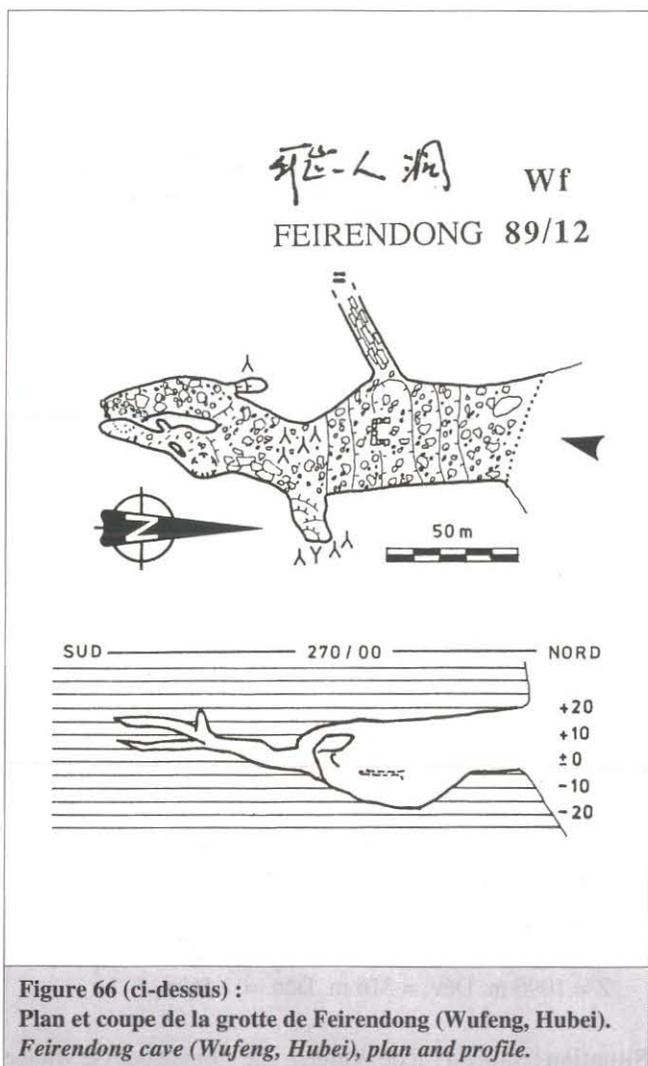


Figure 67 (ci-contre) :
Plan de la grotte de Dukong (Wufeng, Hubei).
Plan of Dukong cave (Wufeng, Hubei).



se développe sur soixante mètres et se termine sur un remplissage de boue, la seconde bute encore plus rapidement sur une coulée stalagmitique. En longeant la base de la falaise orientale, nous explorons une galerie d'une centaine de mètres et sommes stoppés par un siphon. Trois autres petits diverticules ne donnent rien, si ce n'est l'observation d'un superbe phyto-karst. Enfin une dernière galerie s'avère colmatée au bout de cinq mètres par des galets ! L'exploration de ce site a été décevante, mais guidés par les paysans, la prospection aux alentours s'est révélée plus attrayante. (JLM)

F. YANDONGWAN

Grotte du replat (fig. 68)

Wufeng n° 89/8

Z = 940 m Dév. = 136 m Dén. = - 50 m

Situation : S'ouvrant en bordure d'un ouvala, elle se situe 800 m au NW de Dadong.

Géologie : Sise sur le flanc nord de l'anticlinal de Changleping, cette cavité s'ouvre dans les calcaires bioclastiques gris-foncé du sommet de l'Ordovicien inférieur. Le pendage est de 12° et de direction N342°. Compte tenu de sa localisation, elle dépend probablement du système de Longdong.

Description : Après l'exploration de Dukong, des paysans nous ont conduit à cette superbe entrée de 20 m de large sur 5 m de haut. La galerie plonge très rapidement en laissant présager une belle exploration. Au bout de 80 m, nous descendons un puits de 8 m ; celui-ci est dominé par une cheminée d'une trentaine de mètres d'où provient un petit filet d'eau. Malheureusement, cinquante mètres après le puits, un siphon bloque la progression. Seule une petite escalade visible en hauteur permettrait peut-être de continuer l'exploration. (JLM)

G. YUNJIAKENG

Gouffre de la famille Yun (fig. 69)

Wufeng n° 89/5

Z = 1040 m Dév. = 1074 m Dén. = - 157 m

Situation : Il est situé à 6 km à l'ouest de Wufeng et 500 m au nord du village de Bailuzhuang.

Géologie : Située sur le flanc nord de l'anticlinal de Changleping, la cavité s'est développée dans la partie supérieure de l'Ordovicien inférieur. Il s'agit de calcaires bioclastiques gris-noir en bancs moyens à épais, de marnes bordeaux en bancs ondulés et de calcaires marneux. Au sommet, on trouve quelques bancs de "shale" intercalés qui annoncent la transition avec l'Ordovicien moyen. Le pendage est de 7°, direction N288°.

Description : Cette perte pérenne se jette dans un vaste puits d'effondrement incliné et encombré de blocs, large de 70 à 100 m à l'entrée, long de 250 m et profond de 150 m. La ressemblance avec l'aven géant de Kavakuna en Nouvelle Bretagne est assez frappante. La végétation descend jusqu'à - 60 m. Une ancienne exploitation des nitrates (fours et importants déblais) est présente en rive droite entre - 60 et - 120 m. A l'étiage, l'eau disparaît au fond du puits. Un passage "bas", haut de quelques mètres et large de 25 m, aboutit dans une salle

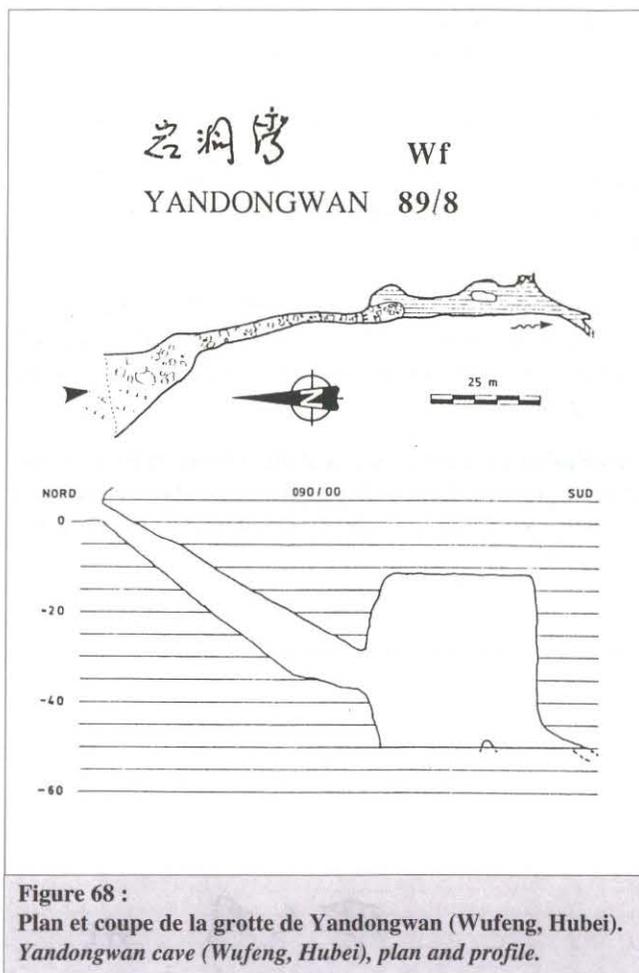


Figure 68 :
Plan et coupe de la grotte de Yandongwan (Wufeng, Hubei).
Yandongwan cave (Wufeng, Hubei), plan and profile.

rectangulaire de 70 m x 200 m (hauteur : 50 m) dans laquelle on observe un cône alluvial (galets) suivi par un bassin de décantation (chenaux anastomosés dans limons noirs), puis par un amoncellement de blocs.

A l'extrémité, une petite galerie au sol limoneux, longue de 80 m, se termine sur une étroiture sableuse parcourue par un courant d'air aspirant. Une désobstruction de 2 h permet d'atteindre une salle (80 m x 50 m) couverte de limons et embrumée (les gamins qui nous suivent ont allumé un feu dans le boyau). Un cône de boue "foireux" et actif, situé dans l'angle NW en provenance d'une cheminée, n'a pu être remonté devant la menace d'être enseveli sous des blocs flottants sur l'argile et la succion de nos bottes. Après une seconde salle, plus petite (50 m x 30 m), un conduit étroit se dirige au NE sur 100 m de développement (arrêt sur cheminée concrétionnée). Un boyau en rive droite, long d'une trentaine de mètres, aboutit sur un puits de 5 m qui n'a pas été descendu (plancher stalagmitique suspendu). (RM)

H. NIUBIDONG

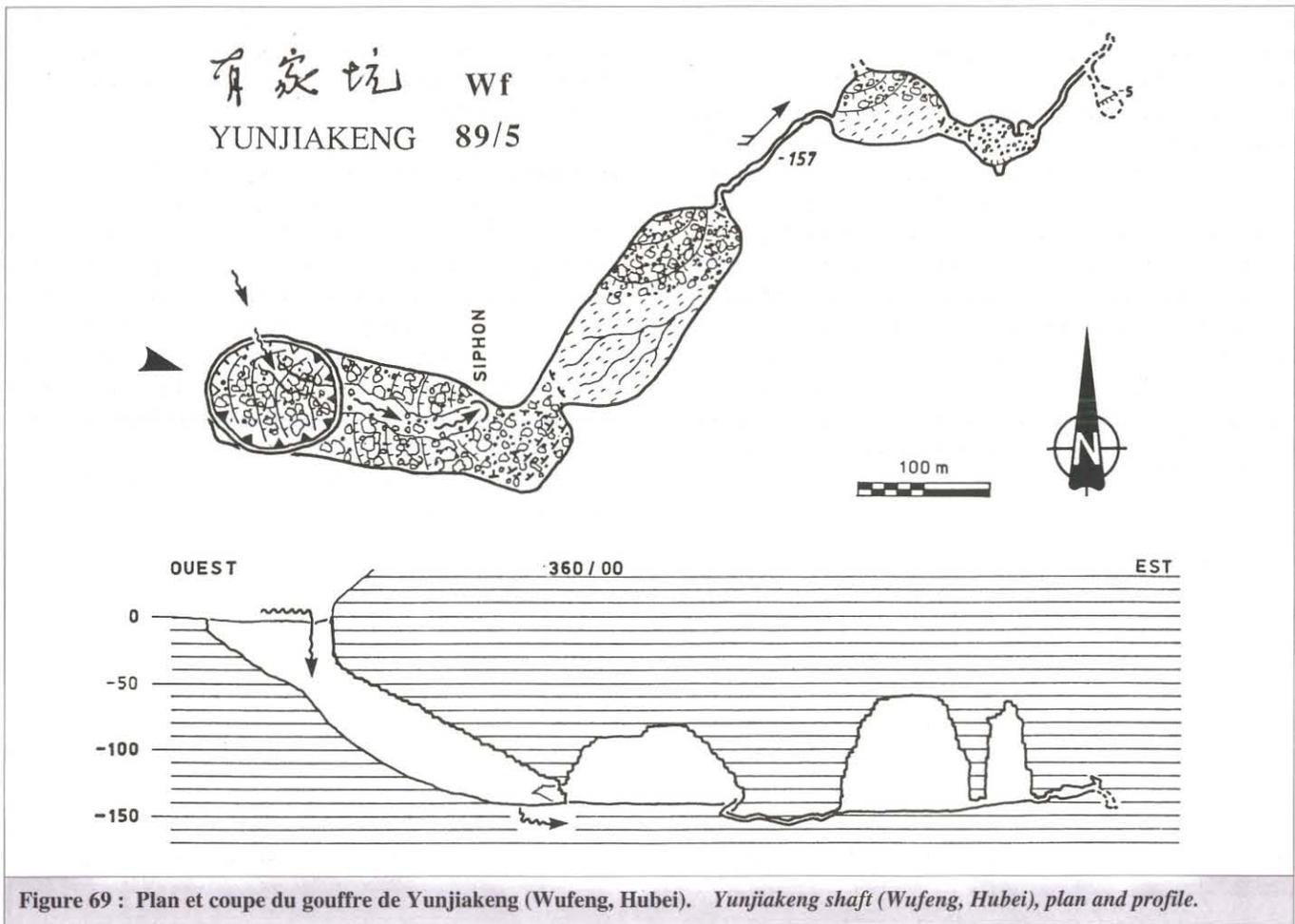
Grotte du nez de boeuf (fig. 70)

Wufeng n° 89/4

Z = 1090 m Dév. = 316 m Dén. = - 16 m

Situation : Située à l'E de Wufeng, elle s'ouvre dans le village de Bailuzhuang, juste derrière le bâtiment officiel du gouvernement local, qui l'utilise parfois pour des meetings.

Géologie : Sise dans le flanc nord de l'anticlinal de Changle-



ping, cette grotte s'est développée en zone phréatique peu profonde dans la partie supérieure de l'Ordovicien inférieur. Il s'agit de calcaires bioclastiques gris-noir en bancs moyens à épais, de marnes bordeaux en bancs ondulés et de calcaires marneux. Le pendage est de 13° et de direction N332°.

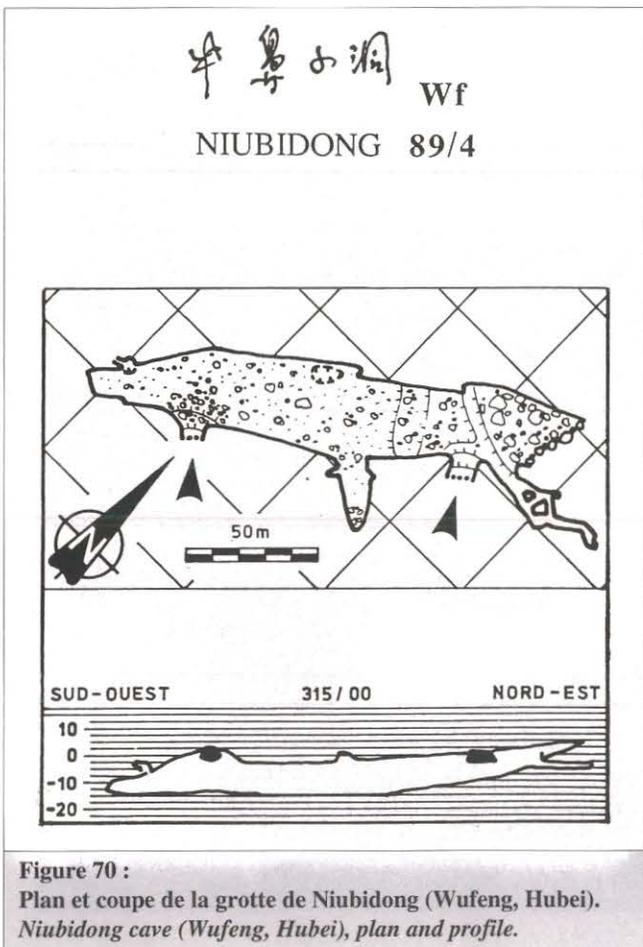
Description : Il s'agit d'un unique tronçon de galerie fossile à laquelle on peut accéder par deux entrées en balcon. Cette galerie de belles dimensions (largeur 30 m, hauteur 15 m) et aux formes très pures est hélas colmatée à l'amont comme à l'aval par des effondrements. (photo 19) (JPB)

II. LE SYSTEME GROTTES DU GENERAL / PUIS EST - PUIS OUEST

Présentation

Le système karstique regroupant la grotte du général (dév. 1950 m) et le puits Est et le puits Ouest (dév. 5003 m ; dén. de - 382 m) forme un remarquable exemple de perte. Les puits jumeaux, séparés seulement par une paroi mince de quelques mètres, reçoivent chacun les eaux de deux rivières aériennes coulant en sens inverse et drainant deux bassins distincts.

Une rivière coulant de l'est vers l'ouest traverse la grotte du Général et se jette 200 m plus loin dans le Puits Ouest profond de 80 m. Le puits Est, profond de 40 m, est un vaste entonnoir de 100 m de long sur 50 m de large. Il reçoit les eaux de la rivière Changpuxi qui coule de l'ouest vers l'est. Vu l'avancée des explorations, ces deux cavités devraient jon-



tionner rapidement pour former le premier maillon d'un réseau très important : son dénivelé dépasserait les 400 m et sa longueur les 7 km.

Alors que nous pensions que ce réseau se développait vers la rivière Chaibuxi toute proche, c'est au contraire vers le NW que se dirige pour l'instant la rivière souterraine du Puits Est - Puits Ouest. Il est encore possible que le réseau revienne sur ces pas, mais la cote atteinte au siphon terminal est déjà bien en deçà de l'altitude de la rivière Chaibuxi. Aussi est-ce probablement à la résurgence de Longdong-Yanzidong, distante de plus de 10 km et située 600 m plus bas, que pourraient résurger les eaux de ce réseau. Ceci reste à confirmer par de nouvelles explorations et peut-être par une opération de traçage. Quoiqu'il en soit, il est fort probable que le système grotte du Général et Puits Est - Puits Ouest devienne un des premiers - 500 m de Chine. (JPB)

A. JIANGJUNDONG

Grotte du Général (fig. 71)

Wufeng n° 89/9

Z = 1120 m Dév. = 1950 m Dén. = - 44 m, + 12 m

Situation : Elle est située 3 km à l'est du village de Changpuxi, au bout de la vallée aveugle qui porte le même nom.

Géologie : Sise sur le flanc N de l'anticlinal coffré de Changleping, elle se développe dans les calcaires et les dolomies du Cambrien supérieur (coupe, fig. 62). Le pendage est de 17° et de direction N305°.

Description : Cette perte, qui développe actuellement près de 2 km, est formée d'un ensemble de conduites forcées de toutes tailles s'enchevêtrant sur plusieurs niveaux. Trois entrées connues permettent d'accéder au réseau. L'entrée amont où se perd le ruisseau, à sec lors des explorations, se présente sous la forme d'un porche triangulaire d'une dizaine de mètres de large sur 20 m de haut. La galerie d'entrée, légèrement descendante, se développe plein sud sur 260 m dans l'alignement d'une grosse fracture. Elle est doublée dans la zone d'entrée par un petit réseau labyrinthique qui rejoint la surface.

Deux autres petits réseaux d'extension NNE viennent se raccorder sur le flanc E de la galerie tout comme le labyrinthe d'entrée. Au bout de 260 m, la galerie principale change brutalement de direction pour se diriger plein W. Les dimensions, jusque là assez modestes (5 m de large jusqu'au premier carrefour, puis 20 m), prennent de l'ampleur pour atteindre 40 m. Sur la gauche de la galerie nous explorons un réseau remontant de direction SE ; faute de temps, nous ne pouvons équiper les remontées (artif. nécessaire). Depuis ce nouveau carrefour, nous apercevons déjà le superbe porche aval qui

Photo 19 : Grotte de Niubidong (Wufeng-Hubei). (cf. fig. 70).

Niubidong cave (Wufeng-Hubei). (cf. fig.70).

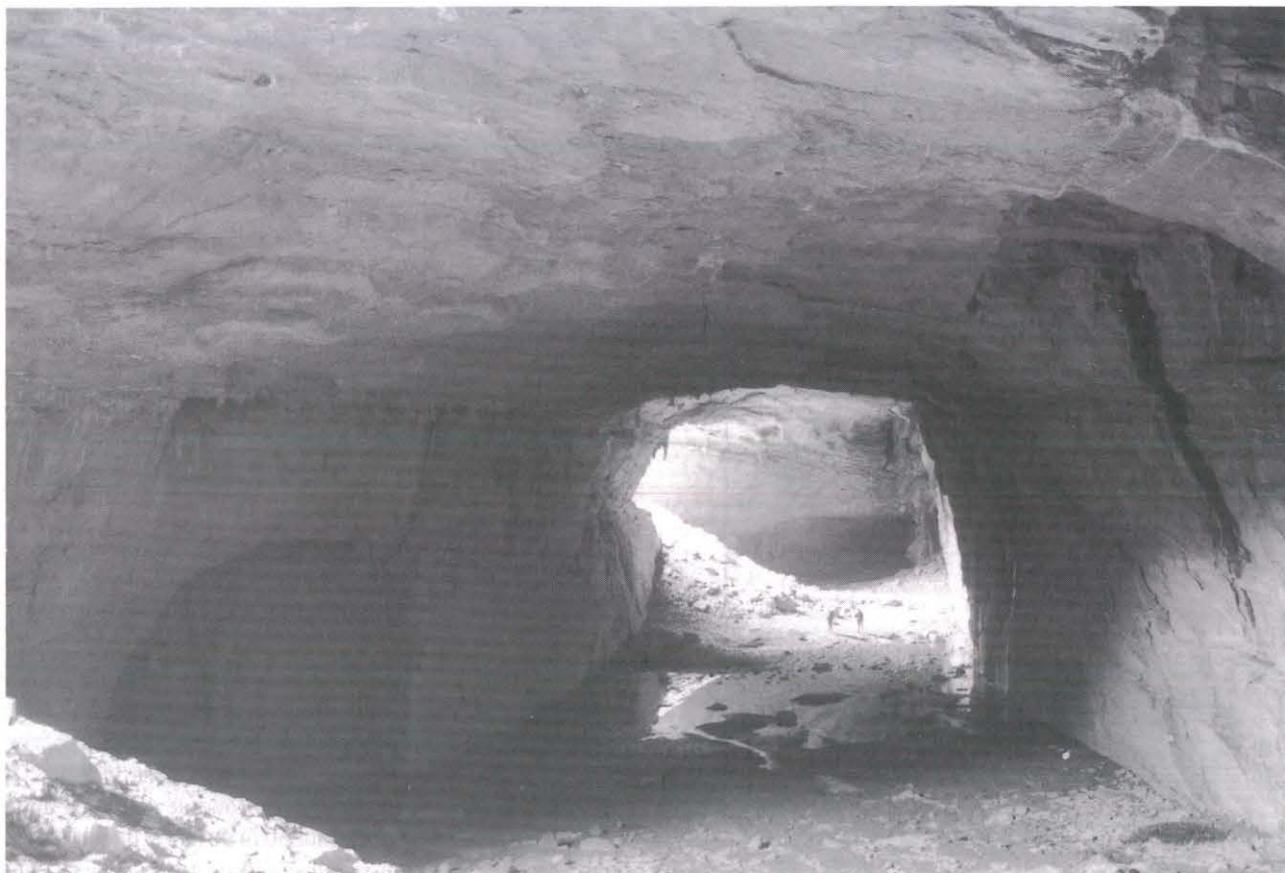
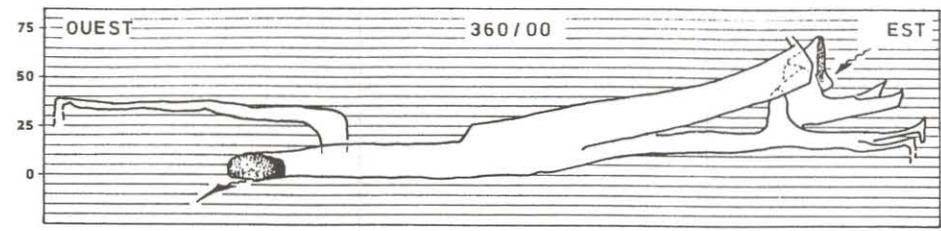
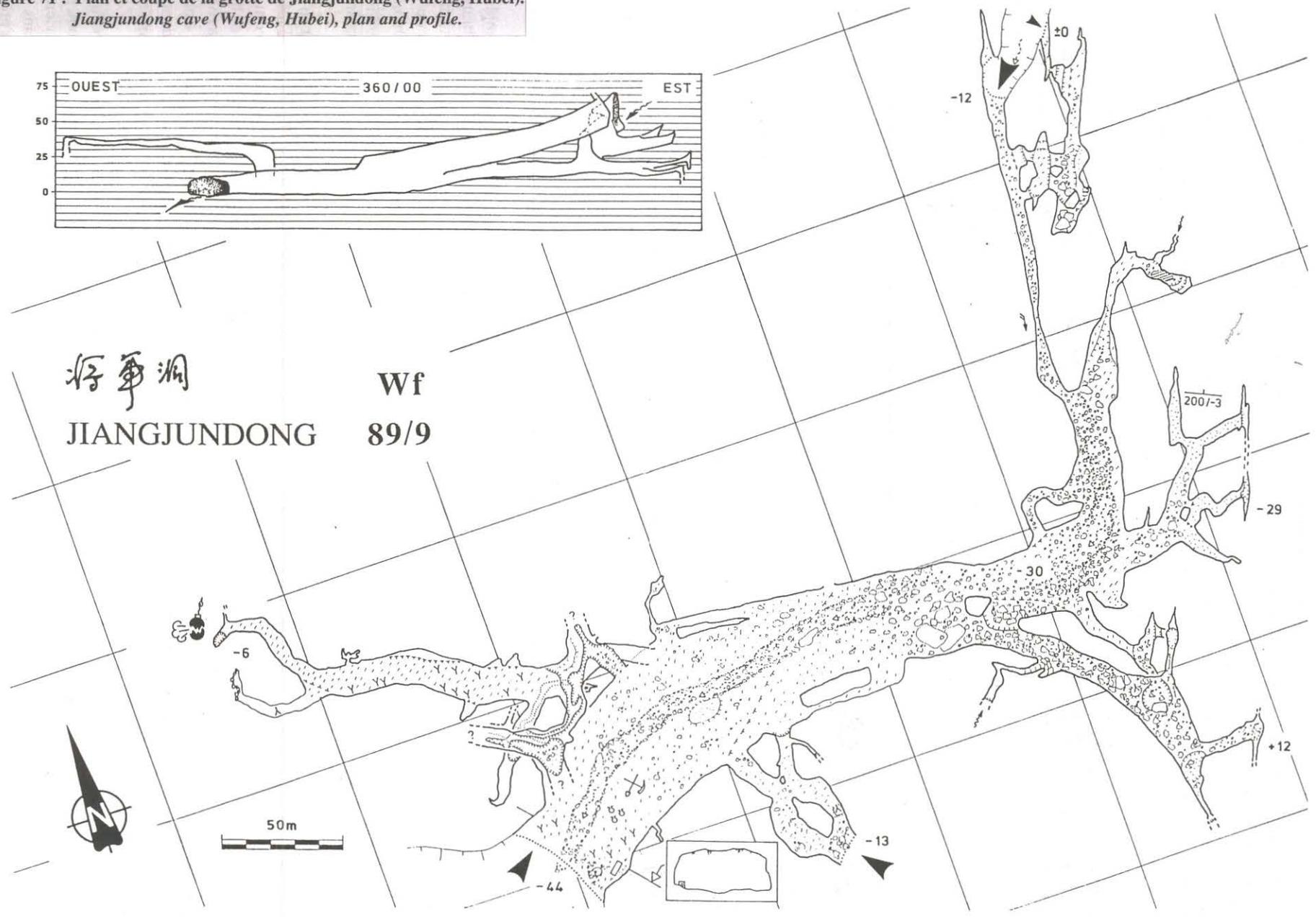


Figure 71 : Plan et coupe de la grotte de Jiangjundong (Wufeng, Hubei).
Jiangjundong cave (Wufeng, Hubei), plan and profile.



将军洞 Wf
JIANGJUNDONG 89/9



inonde de lumière toute la galerie dont la largeur atteint 60 m ! 50 m avant la sortie, nous topographions vers le SE deux galeries qui mènent à une entrée intermédiaire.

Nous explorons aussi un réseau remontant complexe dont l'axe principal semble se diriger vers les puits jumeaux. De nombreux points d'interrogations demeurent et notamment un puits d'une trentaine de mètres d'où s'échappe un bon courant d'air, malheureusement les circonstances défavorables ne nous ont pas permis de pousser plus avant les explorations de ce réseau. (JPB)

B. DONGXITIANKENG

Puits Est - Puits Ouest (fig. 72, 73)

Wufeng n° 89/10

Z = 1080 m Dév. = 5003 m Dén. = - 382 m

Situation : Ces puits-perles se situent 3 km à l'est du village de Changpuxi au bout de la vallée aveugle et à l'ouest de la grotte du Général.

Géologie : Située sur le flanc nord de l'anticlinal coffré de Changleping, cette cavité s'est développée dans les calcaires et les dolomies du Cambrien supérieur. Le pendage est de 17° et de direction N305°.

Description du puits Est :

Au bas du P 80 d'entrée, une courte progression mène à une bifurcation avec une belle galerie d'orientation NNW.

A droite, après avoir parcouru 150 m vers le nord, nous arrivons au sommet d'un beau P15. A sa base, la galerie se divise en deux branches parallèles qui se dirigent vers le nord et se rejoignent 50 m plus loin. A partir de ce point, la direction change brusquement vers l'est. La galerie haute de 5 à 10 m n'est pas trop large, ce qui permet de passer, tantôt en opposition, tantôt en escalade, au-dessus d'un profond lac de 50 m de long se terminant sur un nouveau croisement.

A gauche, malgré un fort courant d'air aspirant, nous ne pourrions découvrir la suite qui semble se situer sous des blocs. A droite, la galerie continue en descendant ; elle est aussi parcourue par un violent courant d'air aspirant : arrêt sur rien (cote - 156 m), si ce n'est une marmite profonde qui nécessite l'utilisation d'un canot. Cette partie de la cavité semble particulièrement intéressante et peut réserver de bonnes surprises.

A gauche, nous explorons sur la droite un petit diverticule en conduite forcée qui repart vers l'aval, parallèlement à la galerie. Celui-ci se termine au bout de 100 m sur un siphon. Trente mètres plus loin, nous croisons une petite rivière qui arrive en cascades, "la rivière du Puits Est". Après une petite escalade, nous suivons son cours pendant 70 m jusqu'à un siphon à la cote -83 m. Un peu avant, 150 m de petites galeries fossiles remontantes, se développant vers l'est, vont buter sur une trémie-faille orientée N-S.

A l'aval, on laisse sur la gauche deux galeries distantes de 100 m ; celles-ci proviennent du Puits Ouest. Un peu avant la seconde, sur la droite, un petit réseau de conduites forcées permet de rejoindre la base du P15. La rivière continue son chemin vers le nord-ouest, puis bifurque plein ouest dans un

passage étroit peu engageant. 30 m avant, nous prenons sur la gauche une galerie basse où il faut bientôt ramper sur les galets. Au bout d'une trentaine de mètres, nous arrivons au confluent avec la rivière du Puits Ouest qui débouche en rive gauche. Nous franchissons la voûte mouillante du tronc. La progression se fait ensuite en opposition dans une fracture. L'affluent du Puits Ouest quitte la fracture au profit d'une petite conduite forcée de 1 m de diamètre en moyenne. Durant son parcours sinueux d'une soixantaine de mètres, il reçoit en rive droite les eaux du trop-plein d'un minuscule siphon. Puis, de nouveau, il croise une fracture E-W.

C'est alors que le trou fait à ses explorateurs le cadeau d'un superbe puits-faille de 70 m qu'il faut équiper sur la gauche. Nous faisons de multiples pendules pour éviter l'eau, et descendons le P30 qui suit. Le bas de la faille est occupé par des laisses d'eau qui imposent de progresser en opposition. Après un chaos de blocs descendant, la rivière quitte la faille.

Ici commence une longue succession de marmites et de cascades ; une branche latérale passe au pied d'une faille d'où souffle un courant d'air, puis rejoint la galerie principale. Un premier affluent "sous marmite" augmente fortement le débit de la rivière. La progression est très aquatique et nous regrettons de ne pas avoir nos pontonnières ; malgré le climat subtropical, il fait froid ! Un nouvel affluent vient doubler le débit, puis cette très belle rivière souterraine se jette dans le siphon terminal à la cote - 382 m.

Faute de temps, tous les diverticules ne sont pas explorés et ce trou très particulier nous réserve probablement encore de belles surprises.

Description du Puits Ouest :

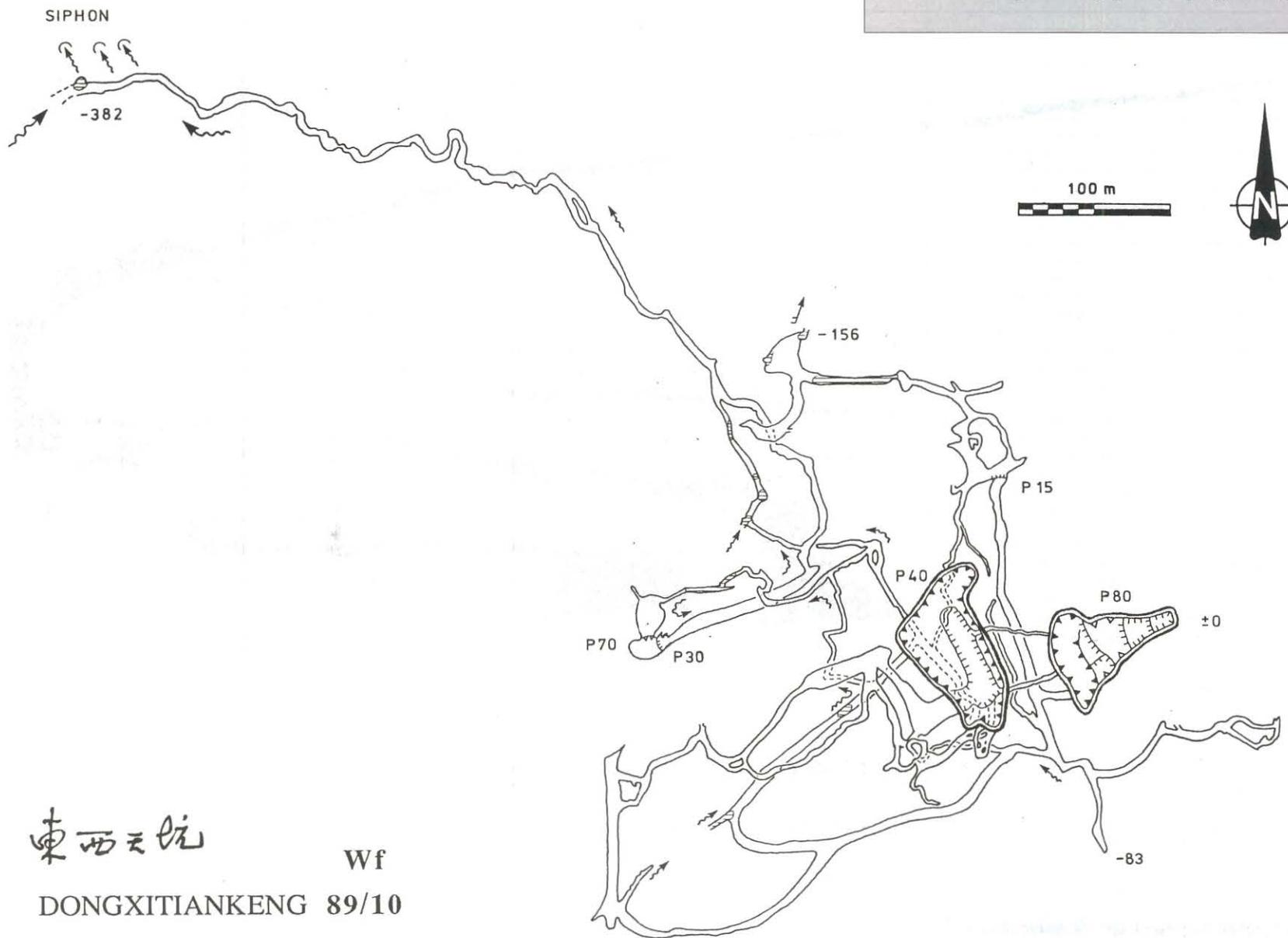
En bas du P 40 d'entrée, deux petits passages permettent de rejoindre la paroi du Puits E ; mais l'eau prend un tout autre chemin, elle descend un petit ressaut dans une belle galerie (20 m x 10 m) qui se divise rapidement. A l'extrême gauche, un complexe de conduits remonte jusqu'à la cote - 2 m et débouche à plusieurs reprises dans la paroi du puits ou dans la zone d'entrée.

La galerie aval continue par un laminoir rempli de galets. Il vaut mieux emprunter sur la gauche une branche latérale (2 m x 4 m) où la progression est plus aisée. Celle-ci monte légèrement, puis descend franchement tandis qu'une succession de marmites en agrément le parcours. De nombreux troncs d'arbres gisent çà et là comme pour nous rappeler qu'il ne doit pas faire bon trainer dans les parages quand il pleut !

On arrive alors dans une belle faille N-S formant un P37 suivi d'un P10. Fort heureusement, la rivière est à sec lors de l'exploration. A l'extrémité sud, la faille remonte à la verticale avec des troncs coincés dans tous les sens jusqu'à 20 m de haut. Un petit siphon actif arrive sur le côté ouest et forme la rivière du Puits Ouest dont les eaux se jettent dans un long lac siphonnant. Au sud-est, une galerie sèche remonte en pente douce et on arrive alors par une patte d'oie. Tout droit, on recoupe rapidement la "rivière du Puits Est".

A gauche, la conduite forcée descend, retrouve la "rivière du Puits Ouest" qui sort de l'aval du lac siphonnant, puis rejoint au bout de 170 m la "rivière du Puits Est". La "rivière du Puits Ouest" bifurque 50 m avant cette jonction dans une conduite forcée ; la confluence se fait finalement tout près de la voûte mouillante du tronc.

Figure 72 : Plan du puits de Dongxitiankeng (Wufeng, Hubei).
Dongxitiankeng pitch (Wufeng, Hubei), plan.



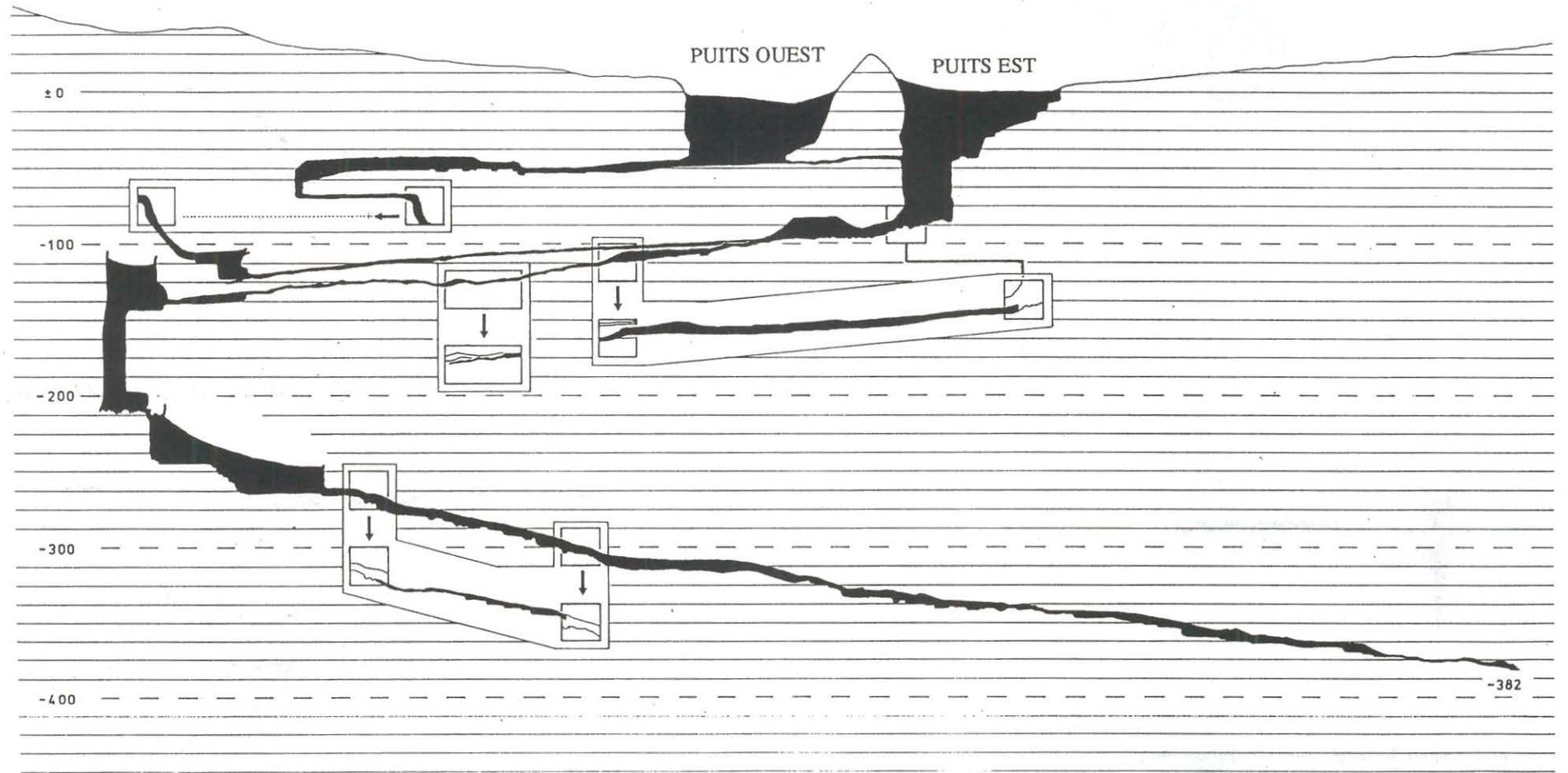
東西天坑

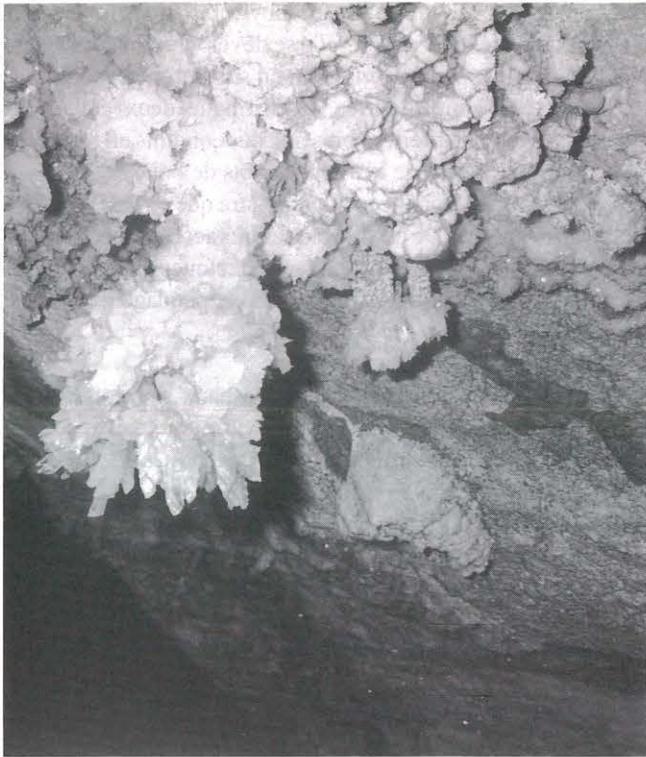
Wf
DONGXITIANKENG 89/10

Figure 73 : Coupe du puits de Dongxitiankeng (Wufeng, Hubei).
Dongxitiankeng pitch (Wufeng, Hubei), profile.

DONGXITIANKENG

Coupe développée simplifiée





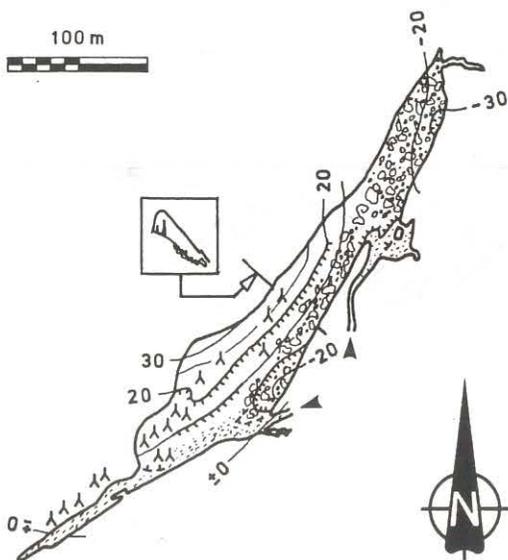
Photos 20 a (ci-dessus) et 20 b (ci-contre) :
Deux types de concrétions de gypse dans "Gypsy room"
(Longdong-Yanzidong, Wufeng-Hubei). (cf. fig. 64).

Two kinds of gypsum speleothems in "Gypsy room" (Longdong-Yanzidong, Wufeng-Hubei). (cf. fig. 64).

长生洞

Wf

CHANGSHENG DONG 89/3



III. AUTRES CAVITES

A. CHANGSHENG DONG

Grotte de la longue vie (fig. 74)

Wufeng n° 89/3

Z = 770 m Dév. = 1106 m Dén. = + 24 m, - 33 m

Situation : Cette grotte aménagée se trouve 4,5 km au SW de Wufeng, en rive gauche d'une petite rivière.

Géologie : Elle se développe dans les formations de l'Ordovicien inférieur. Il s'agit de bancs épais gris foncé de calcaires bioclastiques micritiques et de calcaires dolomitiques sparitiques. Le pendage est de 14° et de direction N332°.

Description : La cavité s'ouvre par deux entrées, l'une située 90 m au-dessus de la rivière, l'autre 15 m plus haut. Dans cette dernière, on trouve de nombreux bancs de graviers. Le concrétionnement est abondant avec notamment de hautes stalagmites à petit diamètre. A certains endroits, le plafond s'est effondré, créant de nombreux chaos où gisent pêle-mêle concrétions et gros blocs.

Figure 74 (ci-contre) : Plan de la grotte aménagée de Changshengdong (Wufeng, Hubei).
Changshengdong show cave (Wufeng, Hubei) plan.

B. TANGHUANGDONG

Grotte de Tanghuang (fig. 75)

Wufeng n° 89/11

Z = 1115 m Dév. = 3085 m Dén. = - 50 m environ

Situation : Elle se trouve à la fin du grand poljé de Wantan, à 6 km au SW du village (fig. 60).

Avertissement : La topographie de cette cavité a été publiée a titre indicatif, car elle recèle de nombreuses erreurs sur les bouclages. Elle est donc à reprendre entièrement au cours des prochaines explorations.

Géologie : Sise sur le flanc NW de l'anticlinal de Wantan, elle s'ouvre dans les formations du Cambrien supérieur. Il s'agit de bancs épais de dolomies sparitiques grises, de calcaires dolomitiques et de dolomies calcaireuses avec au sommet quelques cherts. Le pendage est de 13° et de direction N120°.

Cette cavité a été formée par les eaux du poljé. A la saison des pluies, elle fonctionne en ponor, relayant ainsi les deux autres pertes qui deviennent insuffisantes pour évacuer les eaux du poljé. Ce qui signifie que la partie terminale du poljé se trouve sous 25 m d'eau ! Quelques conduits sont en forme de siphon et l'on trouve de nombreux sédiments clastiques amenés par les eaux du poljé. Dans les galeries inférieures, presque toutes les concrétions ont été reprises par l'érosion. La perte non pénétrable absorbe près de 3000 l/s en saison des pluies, contre 500 l/s en saison sèche.

Description : Cette cavité de type labyrinthique s'ouvre sur le bord est du poljé de Wantan ; elle se développe tantôt perpendiculairement au pendage et tantôt en suivant le pendage.

Dans la zone d'entrée on distingue deux étages de galeries. Le niveau inférieur présente des conduits en forme de siphon où l'on trouve de très gros dépôts de boue et de galets décimétriques ; c'est par cet étage sinistre que circule les eaux en saison des pluies. De belles galeries très accidentées forment le niveau supérieur où l'on rencontre quelques concrétionnements. Des petits passages creusés dans le pendage réunissent les deux niveaux.

A 1 km de l'entrée, les deux réseaux se rejoignent et nous suivons une galerie parsemée de vasques d'eau et de lacs dont le plus long mesure plus de 50 m. Les formes de corrosion sont très prononcées et le plancher est recouvert de nombreux coups de gouge et cupules. Une fine patine de boue recouvre le sol et le rend très glissant ; de nombreuses marmites agrémentent la progression. Le réseau se dirige plein sud, mais il est très difficile de suivre une véritable galerie principale tant les départs sont nombreux, de plus, le courant d'air reste très diffus, donc pas facile à suivre. Nous nous sommes arrêtés sur de nombreux points d'interrogation !

La résurgence présumée de ce système se situe dans la vallée de la rivière Loushui, en aval de Hefeng, à quelques 20 km à vol d'oiseau. Cette percée hydrogéologique serait la plus longue que nous ayons reconnue en Chine. (JPB et ZS)

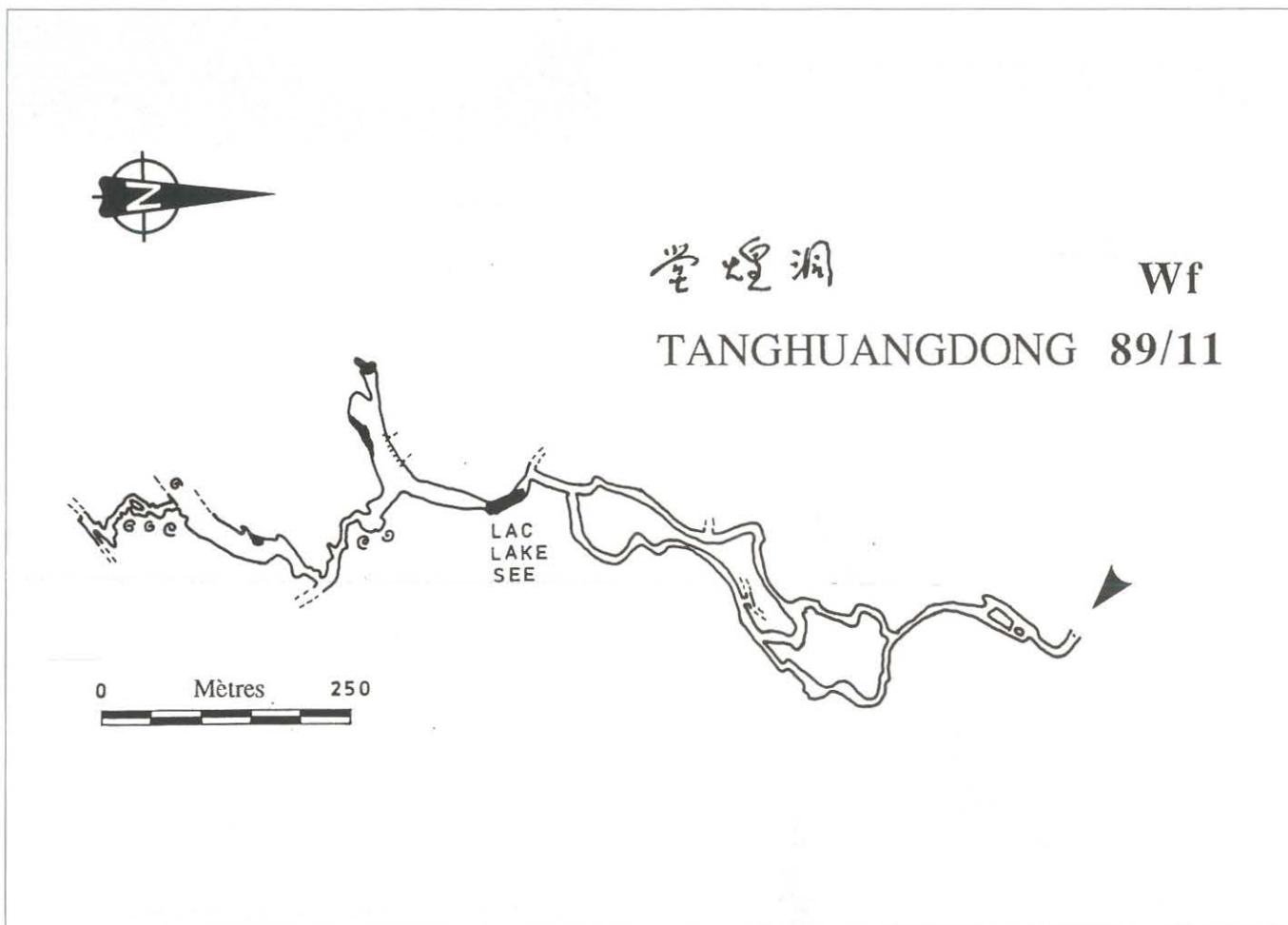


Figure 75 : Plan de la grotte de Tanghuangdong (Wufeng, Hubei). Tanghuangdong cave (Wufeng, Hubei), plan.

KARSTS ET CAVITES DU COMTE DE HEFENG (HUBEI)

— Jean-Pierre BARBARY, Jean BOTTAZZI, ZHANG Dachang, CHEN Shicai

RESUME :

Le comté montagneux de Hefeng est situé dans l'angle SW du Hubei, à côté de celui de Wufeng, et culmine à 2326 m. Il s'agit d'une région plissée, SW-NE, armée par les calcaires du Permien et du Trias. Le karst est de type qiufeng-ouvala, avec poljés et canyons. Le climat subtropical humide ($P = 1687$ mm/an et $T = 16^{\circ}\text{C}$ à Hefeng, alt. 520 m) présente une amplitude pluviométrique marquée entre l'hiver et l'été (janvier/26 mm, juillet/304 mm).

Durant une reconnaissance de trois jours, nous avons topographié sept cavités totalisant 3,3 km. Ces grottes sont réparties sur deux systèmes hydrogéologiques, alignés sur le synclinal de Hefeng et situés de part et d'autre de la rivière Loushuihe. Le système de Yanziping, au NE, est alimenté par des pertes dont les eaux résurgent probablement à la grotte-émergence de Wanrendong. Au SW, le système de Taiping draine un grand poljé (grotte-ponor de Cedong). Située au fond de la vallée de la Loushuihe, la grotte-émergence de Yinquandong (1,3 km), exutoire du système, est un bon exemple de delta souterrain à niveaux étagés.

Mots-clés : calcaire, Permien, Trias, qiufeng, ouvala, poljé, ponor, delta souterrain, grottes étagées, résurgence, canyon, climat, système hydrogéologique, Hefeng, Hubei.

摘要：湖北鹤峰喀斯特与洞穴

邻近五峰的鹤峰是位于湖北西南部的山城，最高点海拔2326m，二叠三叠纪灰岩褶皱方向呈北东—南西向。喀斯特地貌呈具有溶盆、峡谷的丘峰—溶洼类型，属潮湿的亚热带气候，冬夏间的雨量变幅为元月份26mm，七月份304mm。鹤峰县城高程520m，年平均降水量1687mm，年平均温度 16°C 。

在三天的考察中，测量了总长3.3Km的7个洞穴。这些洞穴属于二个地下水系统，沿着鹤峰向斜位于娄水河两岸分布。东北侧的燕子坪系统补给源于落水洞群，并可能排泄于万人洞，西南侧的太平系统通过侧洞向娄水河排泄溶盆中的水。位于娄水河谷的阴泉洞长1.3Km，是一个具多层状演化的暗河三角洲的例子。

ABSTRACT: KARSTS AND CAVES OF HEFENG COUNTY (HUBEI).

The mountainous county of Hefeng located in the SW corner of Hubei, near the Wufeng county, culminates at 2326 m. It is a SW-NE folded area, of Permian and Trias limestones. The type of the karst is qiufeng-ouvala, with poljes and canyons. The humid subtropical climate ($P = 1687$ mm/year and $T = 16^{\circ}\text{C}$ in Hefeng, alt. 520 m) presents a pluviometric amplitude marked between winter and summer (january/26 mm, july/304 mm).

During a three days reconnaissance trip, we surveyed 3,3 km in seven caves. These caves are distributed amongst two hydrogeological systems, lined up on the Hefeng syncline and located on both sides of the Loushuihe river. The Yanziping system, on the NE side, is fed by sinkholes whose water resurges probably at the Wanrendong emergence-cave. On the SW side, the Taiping system drains a large polje (Cedong ponor-cave). Located in the bottom of the Loushuihe valley, the Yinquandong emergence-cave (1,3 km), resurgence of the system, is a good example of an underground delta with stepped levels.

Keywords : limestone, Permian, Trias, qiufeng, ouvala, polje, ponor, underground delta, cave levels, resurgence, canyon, climate, hydrogeological system, Hefeng, Hubei.

ZUSAMMENFASSUNG: KARST UND HÖHLEN VON HEFENG (HUBEI)

Der bergige Landkreis von Hefeng liegt im Südwesten von Hubei in der Nähe von Wufeng und erhebt sich bis auf 2326 m Seehöhe. Es ist ein zwischen Südwesten und Nordosten gefaltetes Gebiet mit Kalken aus dem Perm und Trias. Der Karst ist von Quifeng-Uvalas, Poljen und Schluchten gezeichnet. Das feuchte subtropische Klima (1687 mm Niederschlag pro Jahr, 16°C Durchschnittstemperatur in Hefeng auf 520 m Seehöhe) weist eine jahreszeitliche pluviometrische Amplitude zwischen 26 mm im Januar und 304 mm im Juli auf.

In drei Forschungstagen wurden in sieben Höhlen 3,3 km Gangstrecke aufgenommen. Diese Höhlen befinden sich in zwei hydrogeologischen Systemen, die entlang der Synklinale von Hefeng zu beiden Seiten des Flusses Loshuihe liegen. Das Yanziping System auf der Nordostseite wird durch Schwinden gespeist, deren Wasser vermutlich in der Quelhöhle Warendong zutage treten.. Auf der Südwestseite entwässert das Taiping System ein großes Polje (Cedong Ponor-Höhle). Zu Beginn des Loushuihe Tales bildet die Quelhöhle Yinquandong (1,3 km) ein gutes Beispiel eines unterirdischen Flußdeltas mit gestaffelten Gangniveaus.

Stichworte: Kalkstein, Perm, Trias, Quifeng, Uvala, Polje, Ponor, unterirdisches Delta, Niveauhöhle, Quelhöhle, Schlucht, Klima, Hydrogeologisches System, Hefeng, Hubei.

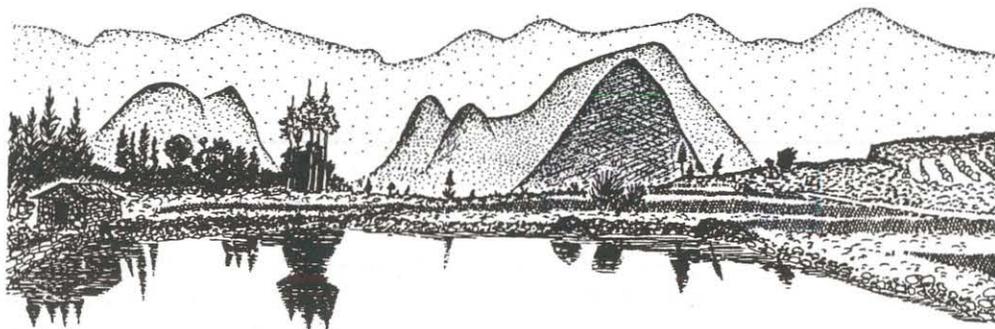


Photo 21 (et dessin) : Poljé de Taiping ; les grottes explorées sont d'anciennes pertes situées vers la base des falaises en arrière plan.
Taiping polje ; the caves described further are located at the bottom of the cliff.

INTRODUCTION

En venant dans le comté de Hefeng, notre objectif était de prendre contact avec les autorités locales qui nous ont d'ailleurs accueillies très chaleureusement. Par ce biais, une petite équipe de cinq personnes a effectué le travail de reconnaissance dans diverses zones karstiques. Nul doute que ce comté, situé immédiatement à l'ouest de celui de Wufeng, présente un grand intérêt pour les explorations et la recherche (fig. 42). Nous avons topographié sept cavités en trois jours (tableau 8), et déjà deux zones semblent très intéressantes.

PRESENTATION PHYSIQUE

◊ **Géologie** : Cette région fait partie du synclinorium de Hefeng qui est occupé par des formations s'étageant du Paléozoïque supérieur au début du Mésozoïque (fig. 79). Les roches clastiques du Trias moyen (groupe Badong) occupent la partie centrale du long synclinal de Taiping-Yanziping, orienté SW-NE, alors que les flancs sont occupés par les roches carbonatées du Permien et du Trias inférieur. Les pendages sont de l'ordre de 40° sur le flanc SE et de 20 à 25° sur le flanc NW (fig. 78).

◊ **Géomorphologie** : Cette région montagneuse, culminant à 2326 m près de Taiping, présente un paysage typique de qiufeng-ouvala. Des chaînes s'étirent E-W à NE-SW dans la même direction que les plis. La rivière Loushui, avec un débit moyen de 27 m³/s, représente le drain principal de cette région. Elle prend sa source dans ce comté et coule en baïonnette selon un tracé N-S en coupant perpendiculairement, par des cluses, les structures anticlinales.

◊ **Climat et hydrologie** : A la station de Hefeng (alt. 520 m), la température moyenne annuelle est de 16°C et la pluviométrie de 1687 mm/an. Le régime des pluies est classique avec une longue saison humide, d'avril à septembre, qui regroupe 77 % des précipitations annuelles. L'amplitude pluviométrique intermensuelle est forte et va de 1 à 12 (janvier/26 mm, juillet/304 mm) (fig. 76). Des chutes de neige se produisent en altitude de

novembre à mars. L'humidité relative varie de 71 % à 89 % et l'évaporation potentielle est de 1037 mm/an.

Le régime hydrologique de la Loushui est conforme au régime pluviométrique (fig. 77). L'étiage a lieu en janvier (4,5 m³/s) et le maximum en juillet (54,9 m³/s).

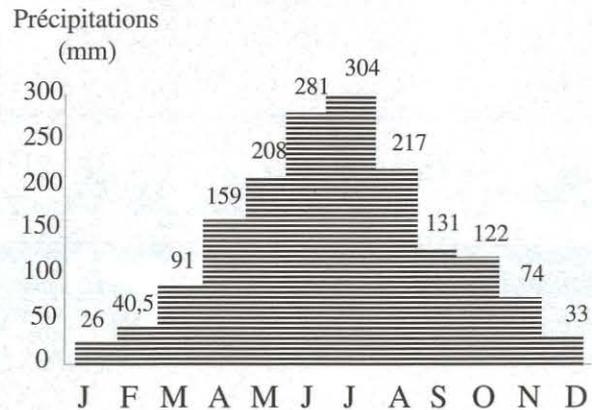


Figure 76 : Précipitations moyennes dans le comté de Hefeng (Hubei).
Average precipitation of Hefeng county (Hubei).

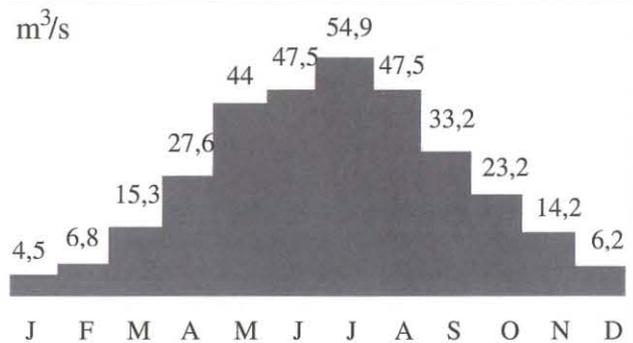


Figure 77 : Débit moyen de la rivière Loushui mesuré à la station de Hefeng (Hubei).
Loushui river average discharge (Hefeng, Hubei).

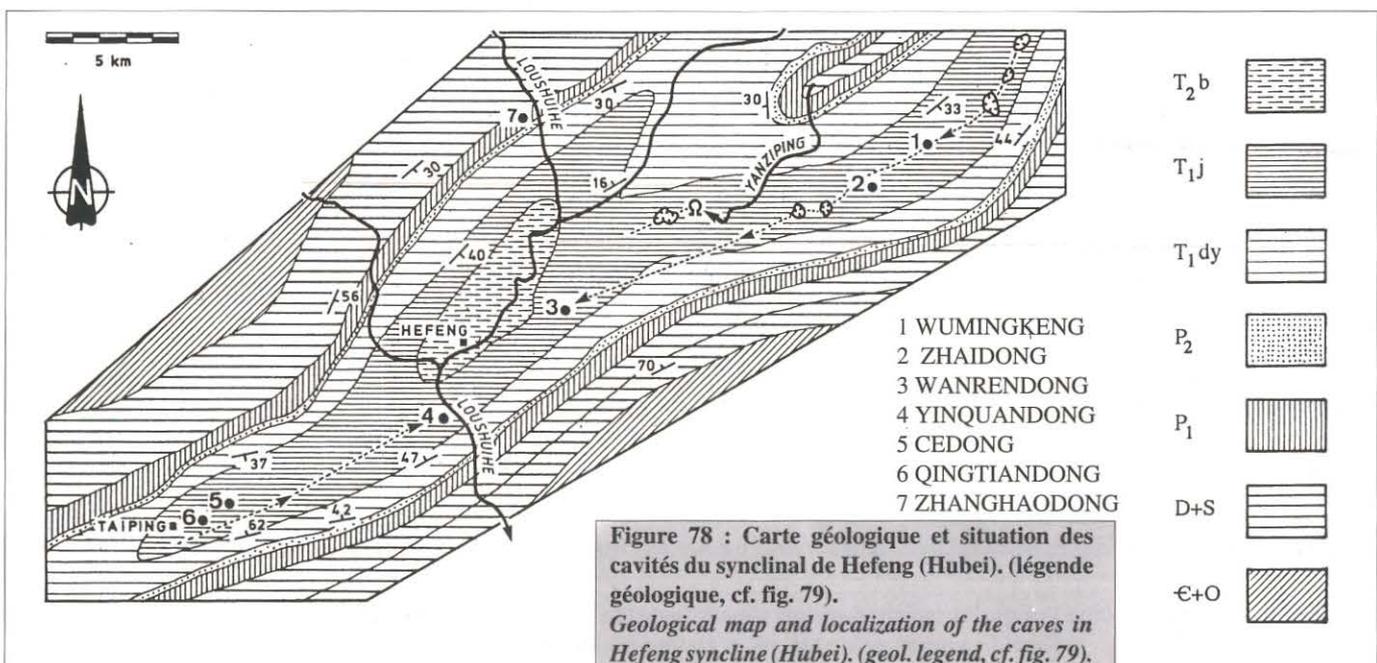




Photo 22 :

L'accès à la ré-
surgence de
Yinquandong
se fait par bar-
que dans les
gorges de la ri-
vière Lous-
huihe.

*The Loushuihe
canyon give ac-
cess to Yinquan-
dong spring
(Hefeng-Hubei)*

◇ **Cavités** : Contrairement aux autres comtés visités, Hefeng possède une abondante documentation ancienne sur ses grottes qui semblent avoir pris une part importante dans l'histoire de la région (Zhanghaodong, Qingtiandong). De nombreuses cavités ont été utilisées comme villages fortifiés. Malgré cette richesse historique, aucune recherche et aucune exploration n'a été effectuée. Très intéressé par nos explorations, le gouvernement local envisage, en fonction des découvertes, l'aménagement et l'ouverture d'une grotte destinée au tourisme.

Sept cavités ont été topographiées représentant un total de 3,3 km. Les deux zones visitées appartiennent à deux systèmes hydrogéologiques situés de part et d'autre de la vallée du Loushuihe. Le système de Yanziping draine la branche NE du synclinal de Hefeng et le système de Taiping la branche SE (fig. 78). (JPB et CS)

FICHE SIGNALÉTIQUE DU COMTÉ DE HEFENG

Lat. 29°55' N, Long. 110°01' E
Culmen = 2326 m
Capitale = Hefeng (alt. 520 m)
Nationalité principale = Tujia
Climat subtropical humide
Précipitations = 1687 mm/an (Hefeng)
Températures = 16°C (Hefeng)
Janvier = 26 mm, Juillet = 304 mm
Rivière Loushuihe = 27 m³/s (débit moyen)
Calcaires = Permien et Trias inférieur
Structure plissée SW-NE
Karst = qiufeng-ouvala, poljés, cluses

numéro	nom	village	Z	dév.	dén.	ext.	géologie	rem.
He 89 1	QINGTIANDONG Grotte du ciel ensoleillé	Taiping	970	354	12 -45	205	T1	à revoir
He 89 2	CEDONG Grotte d'à côté	Taiping	930	318	-12	160	T1	à revoir
He 89 3	YINQUANDONG Résurgence de l'ombre	Hefeng	540	1267	135	340	T1	
He 89 4	ZHAIDONG Grotte du village fortifié	Yanziping	1320	113	-7	113	T1	à revoir
He 89 5	WANRENDONG Grotte des dix mille personnes	Hefeng	620	350	7 -25	293	T1	à revoir
He 89 6	WUMINGKENG Puits sans nom	Yanziping	1160	198	-61	140	T1	
He 89 7	ZHANGHAODONG Grotte de Zhang Hao	Yanziping	580	764	4 -39	450	P1	à revoir

Tableau 8 : Spéléométrie des cavités explorées dans le comté de Hefeng (Hubei). *Caves data, Hefeng county (Hubei).*

Figure 79 (ci-contre, p. 105) : Echelle lithostratigraphique simplifiée de la zone de Hefeng (Hubei).
Simplified stratigraphic column of Hefeng county (Hubei).

MÉSOZOÏQUE		TRIAS			
PALÉOZOÏQUE	PERMIEN	Badong	T _{2b} ² 1036m		Roches clastiques et marnes.
		Jialingjiang	T _{1j} ² 232-292m		Calcaires, calcaires dolomitiques gris et gris-blanc en bancs épais.
		Daye	T _{1j} ¹ 310-539m	Calcaires et dolomies	
			T _{1dy 609-913m}	Calcaire gris et gris-noir en bancs fins à moyens, calcaires oolitiques et dolomies.	
	DEVONIEN	Dalong	P _{2d} 14-38m		
		Wujiaping	P _{2w} 14-119m		Marno-calcaire gris à gris-noir, calcaires siliceux, calcaires dolomitiques.
		Maokou	P _{1m} 145-261m		Bancs épais de calcaires gris à gris-noir, calcaire avec lits de silex, calcaires dolomitiques et quelques filons de charbons à la base.
		Qixia	P _{1q} 117-206m		
SILURIEN	Xiejinsi	D _{3x} 22-31m		Roches clastiques.	
	Huangjiadeng	D _{3h} 5-41m			
	Yuntaiguan	D _{2y} 0-330m			
	Xiaoxi	D _{2x} 0-307m			
	Luoreping	S _{2lr} 935-1094m			
	Longmaxi	S _{1ln} 788-932m		Roches clastiques.	

DESCRIPTION DES CAVITES

I. LE SYSTEME DE YANZIPING

Ce système draine la partie NE du synclinal de Hefeng. Sise en fond de vallée, à 540 m d'altitude, la résurgence de Wanrendong est probablement alimentée par les eaux de la rivière Yanziping qui se perd 6 km au NE, mais aussi par la perte de Zhaidong qui se situe 12 km au NE dans une zone perchée 700 m plus haut (fig. 78).

A. WUMINGKENG

Puits sans nom (fig. 80)

Hefeng n° 89/6

Z = 1160 m Dév. = 198 m Dén. = - 61 m

Situation : Cette grotte se situe 20 km au NE de Hefeng près du village de Yanziping (n°1, fig. 78).

Contexte géologique : Ce puits s'ouvre sur le flanc sud du synclinal de Hefeng. Il se développe dans les calcaires du Trias inférieur (étage Jialingjiang T_j).

Description : L'équipement est plus aisé par le petit puits (20 m x 10 m) que par le gros gouffre (75 m x 30 m). A la base du puits de 60 m, on prend pied sur un talus de blocs, dans une salle de décantation qui marque le fond de la cavité. De l'autre côté du talus, un petit méandre étroit ne permet pas, hélas, d'atteindre le puits géant annoncé par les paysans. (JB)

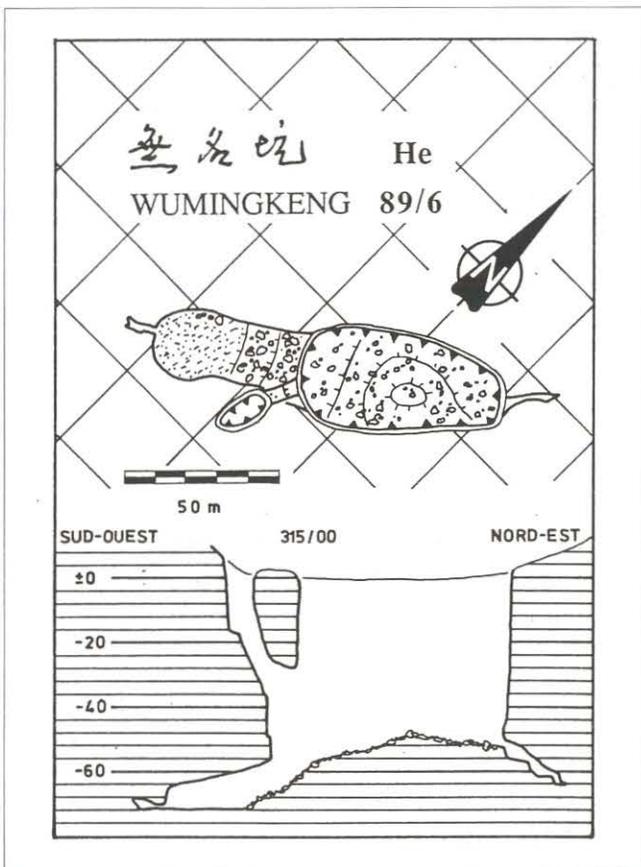


Figure 80 :
Plan et coupe du puits de Wumingkeng (Hefeng, Hubei).
Wumingkeng shaft (Hefeng, Hubei), plan and profile.

B. ZHAIDONG

Grotte du village fortifié (fig. 81)

Hefeng n° 89/4

Z = 1320 m Dév. = 113 m Dén. = - 7 m

Situation : Cette grotte-perte se situe 17 km au NE de Hefeng, tout près du village de Yanziping (n°2, fig. 78).

Contexte géologique : La cavité s'ouvre sur le flanc sud du synclinal de Hefeng. Elle se développe dans les calcaires du Trias inférieur (étage Jialingjiang T_j) et constitue probablement un affluent important de la rivière souterraine de Yanziping qui résurgerait à Wanrendong 10 km au SW.

Description : L'entrée se présente sous la forme d'un vaste effondrement ovale de 100 m de long sur 50 m de large. C'est à la fois un regard sur un réseau souterrain et la perte d'un ruisseau aérien temporaire qui le rejoint par une cascade de 25 m. La descente se fait à pied par l'est car le côté ouest est une falaise d'environ 100 m de haut dans laquelle on aperçoit un porche fossile.

Délaissant l'amont, ainsi que le porche perché, nous avons reconnu uniquement le début de la galerie aval, qui présente des dimensions moyennes (10 m x 10 m), puis 10 m de haut pour 5 m de large. Elle est parcourue par un courant d'air aspirant sensible. Après avoir franchi une première laisse d'eau en escalade, nous nous sommes arrêtés sur une grosse marmite qui nécessite un équipement et un canot. Il est remarquable que le cours du ruisseau de surface soit pratiquement superposé avec son aval souterrain ! (JB et ZD)

C. WANRENDONG

Grotte des 10 000 personnes (fig. 82)

Hefeng n° 89/5

Z = 620 m Dév. = 350 m Dén. = + 7 m, - 25 m

Situation : Cette grotte se situe 4 km l'ENE de Hefeng au fond d'une gorge haute de 200 m (n°3, fig. 78).

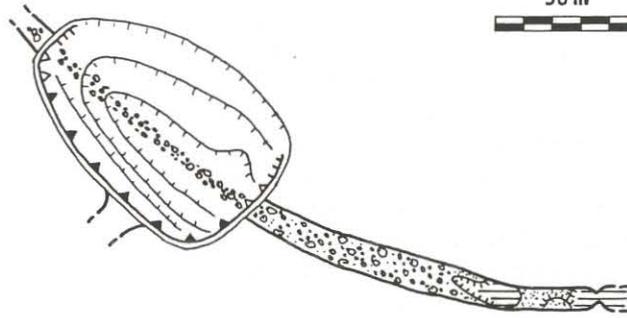
Contexte géologique : Cette résurgence s'ouvre sur le flanc sud du synclinal de Hefeng et se développe dans les calcaires du Trias inférieur (étage Jialingjiang T_j). Elle sert probablement d'exutoire aux eaux de la rivière souterraine de Yanziping et à celles des pertes de Zhaidong.

Description : La résurgence est un vaste siphon dominé 25 m plus haut par un porche fossile, de 20 m de haut sur 15 m de large, qui présente des traces de fortifications. Nous avons reconnu la galerie principale et laissé plusieurs diverticules sur notre droite. Le parcours est aisé et parfois orné de coulées stalagmitiques ; on arrive rapidement à une première désescalade donnant sur un plan d'eau qu'il faut contourner pour remonter en face. 100 m plus loin, même opération, le rocher est très propre et se prête bien à l'escalade. Au-delà de la deuxième laisse d'eau, on arrive à une salle ; derrière, la galerie continue. Entre les blocs du plancher, une désescalade permet d'atteindre le torrent souterrain ; l'importance du débit (de l'ordre de 1 m³/s) et la taille modeste de la galerie (1,5 m de large) ne permettent pas d'exploration plus poussée sans équipement adapté. Le seul point négatif pour les explorations futures : l'absence de courant d'air. (JB)

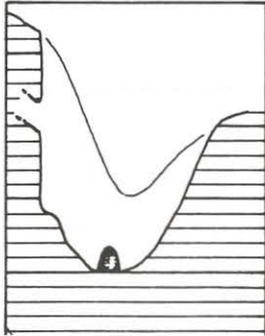
寨洞 He
 ZHAIDONG 89/4



50 m



S-OUEST 315/00 N-EST



NORD 090/00 SUD

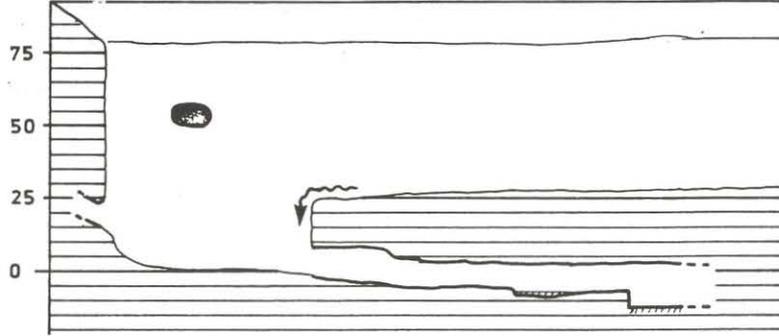


Figure 81 : Plan et coupe de la perte temporaire de Zhaidong (Hefeng, Hubei). *Zhaidong sinkhole (Hefeng, Hubei), plan and profile.*

寨人洞 He
 WANRENDONG 89/5

50 m

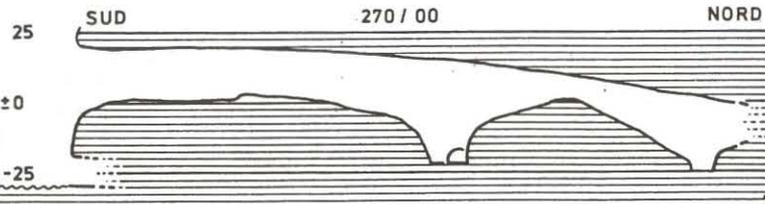
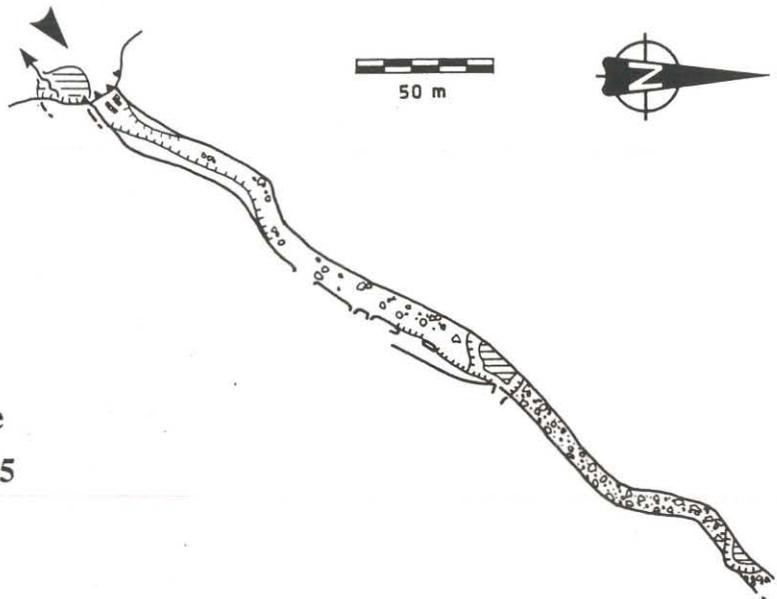


Figure 82 : Plan et coupe de la résurgence de Wanrendong (Hefeng, Hubei). *Wanrendong spring (Hefeng, Hubei), plan and profile.*

II. LE SYSTEME DU POLJE DE TAIPING

Ce système hydrogéologique, localisé en rive droite de la Loushuihe, correspond à la branche SW du synclinal de Hefeng. Nous avons effectué une reconnaissance d'une journée dans le grand poljé perché de Taiping qui mesure 4 à 5 km de long sur 1,5 km. Nous avons exploré partiellement deux cavités, reconnu un puits et une troisième grotte. Les trois cavités intéressantes se situent toutes sur le bord du poljé. Qingtiandong est pour l'instant l'entrée amont du réseau ; ses eaux semblent sortir 1 km plus loin d'une belle résurgence ayant de disparaître au bout de 400 m dans la grotte de Cedong. A l'extrémité ENE du poljé, un vaste effondrement constitue un regard sur une grosse galerie, de 15 m de haut sur 5 m de large, se dirigeant vers l'aval du réseau.

D'ores et déjà, on peut dire qu'un vaste réseau souterrain doit se développer du poljé de Taiping à la résurgence de Yinquandong (n°4, fig. 78). C'est maintenant aux futurs explorateurs de jouer. (JPB)

A. QINGTIANDONG

Grotte du ciel ensoleillé (fig. 83)

Hefeng n° 89/1

Z = 970 m. Dév. = 354 m. Dén. = - 45 m, +12 m

Situation : Qingtiandong s'ouvre tout près du village de Taiping en bordure du poljé (n°6, fig. 78).

Contexte géologique : Située au bord du poljé, la grotte de Qingtiandong se développe dans les calcaires du Trias inférieur (T_j). C'est une cavité de type labyrinthique contrôlée par deux directions de diaclases.

Description : L'entrée actuellement sèche — sans doute un ancien ponor — s'ouvre dans une falaise criblée d'entrées sur le bord oriental du poljé de Taiping (photo 23). Dans les années 1700, pendant les guerres, elle servit de "palais" sommaire à un roi Tujia. Un poème de bienvenue et de paix, datant de 1722, est gravé dans l'entrée.

Il s'agit d'une cavité extrêmement complexe qui forme la tête d'un réseau important qui reste à explorer. Au cours d'une reconnaissance, nous avons exploré 350 m de galeries dans la zone d'entrée et sommes ressortis par une seconde

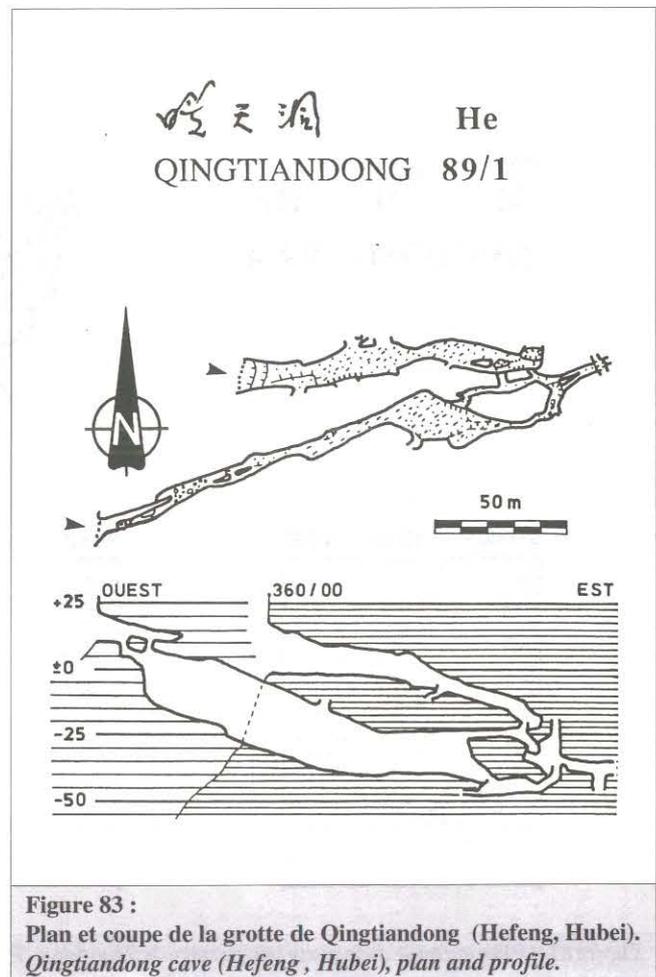


Figure 83 :
Plan et coupe de la grotte de Qingtiandong (Hefeng, Hubei).
Qingtiandong cave (Hefeng, Hubei), plan and profile.



Photo 23 :

Perte fossile perchée dans les falaises bordant le poljé de Taiping (Hefeng, Hubei) tout près de l'entrée de Qingtiandong. (cf. fig. 83).

Ancient sinkhole perched in the cliffs bordering Taiping polje (Hefeng, Hubei) near Qingtiandong cave. (cf. fig. 83).

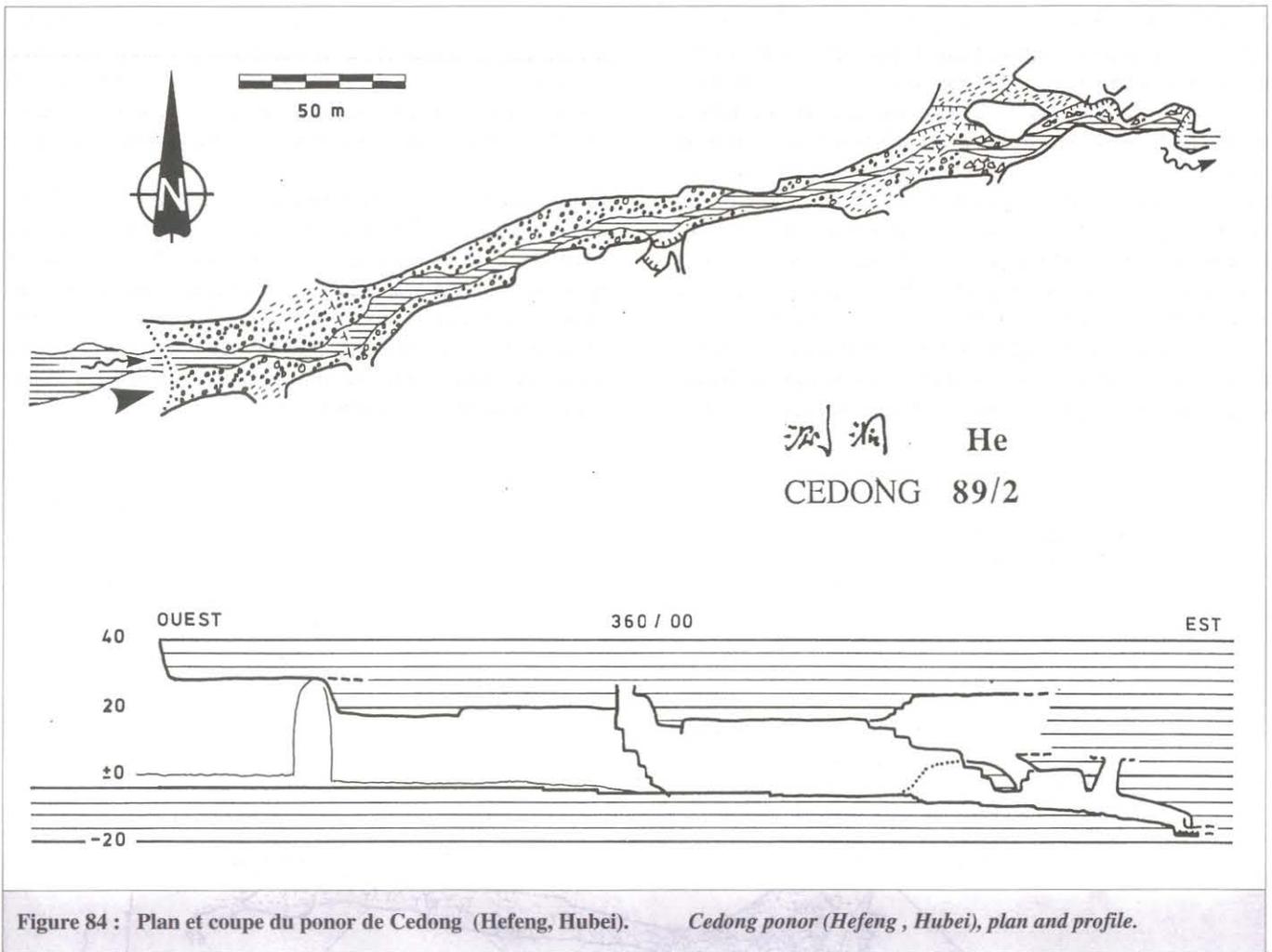


Figure 84 : Plan et coupe du ponor de Cedong (Hefeng, Hubei).

Cedong ponor (Hefeng, Hubei), plan and profile.

entrée. Mais nous n'avons pas atteint la galerie principale dans laquelle s'écoulerait, selon les paysans, une rivière souterraine. Le réseau topographié s'oriente déjà W-E parallèlement au poljé. (JPB et CS)

B. CEDONG

Grotte d'à côté (fig. 84)

Hefeng n° 89/2

Z = 930 m Dév. = 318 m Dén. = - 12 m

Situation : Ce ponor, en bordure du poljé, se situe tout près du village de Taiping et en aval de la grotte de Qingtiandong (n°5, fig. 78).

Contexte géologique : La cavité se développe dans les calcaires du Trias inférieur (T_j) qui forment le plancher du poljé de Taiping.

Description : En saison sèche, la perte de Cedong est alimentée par une petite résurgence aux eaux très claires qui sort, 300 m en amont, du bord du poljé. La galerie principale, de 15 m de large sur 25 m de haut, est occupée presque entièrement par les eaux calmes et peu profondes de la rivière. A 260 m de l'entrée, la taille de la galerie se réduit de moitié et la pente s'accroît ; la rivière commence à cascader et se perd 60 m plus loin dans un siphon turbulent à la cote - 12 m. De nombreux départs se trouvant des deux côtés de la galerie n'ont pas été explorés ;

d'après les paysans, l'un d'entre eux jonctionnerait avec une grotte située 1 km plus loin. Comme la grotte de Qingtiandong, Cedong est orientée W-E, parallèlement au bord du poljé. En saison des pluies, le ponor de Cedong absorbe un débit important, sans doute plusieurs m³/s. Quand la cavité ne peut évacuer la totalité du débit, l'eau remonte de 10 à 15 m, provoquant l'enneigement d'une grande partie du poljé de Taiping. (JPB)

C. YINQUANDONG

Résurgence de l'ombre (fig. 85)

Hefeng n° 89/3

Z = 540 m Dév. = 1267 m Dén. = + 135 m

Situation : Cette résurgence s'ouvre en rive droite de la rivière Loushuihe, 2 km en aval de Hefeng (n°4, fig. 78).

Contexte géologique : Située dans le flanc sud du synclinal de Hefeng, elle se développe dans les calcaires en bancs moyens du Trias inférieur (étage Jialingjiang T_j). Le pendage est de 50° et de direction N330°.

Description : Cette grotte a la particularité de posséder 6 entrées connues étagées sur un dénivelé de 135 m ; trois d'entre-elles servent encore d'exutoires de trop-plein comme en témoignent les nombreuses traces laissées par les eaux. En étiage, l'eau sort par une résurgence vaclusienne. La cavité est formée de trois conduits parallèles se développant

NE perpendiculairement au pendage selon un delta souterrain typique. Ils rejoignent la grosse galerie principale dont l'orientation est beaucoup plus infléchie vers l'est. La galerie inférieure, de petites dimensions (en moyenne 2 m de large pour 2 m de haut), est spectaculaire grâce à ses formes d'érosion prononcées : coups de gouge, marmites, lames, trous dans les parois ; les vitesses de circulation doivent être importantes. Un siphon barre l'accès à l'amont, mais un passage dans le pendage permet de rejoindre la galerie médiane. Celle-ci, de 8 à 15 m de large, doit servir de trop-plein lors des grosses crues ; le sol est encombré de blocs et de plages de sable brun foncé.

Contrairement aux deux autres conduits, la galerie supérieure (niveau de + 47 m) est très concrétionnée et depuis longtemps abandonnée par les eaux. Située encore plus haut, la

galerie du nuage est la plus importante de la cavité et probablement la plus ancienne. A l'aval, elle débute par une petite entrée en falaise (+ 135 m) suivie d'une zone de broyage. Ensuite, elle descend jusqu'à la salle où confluent les trois galeries parallèles, et se termine un peu plus bas sur un gros siphon suspendu.

Remarque : Cette cavité forme un remarquable exemple de delta souterrain et d'étagement de réseau, phénomènes liés au creusement de la vallée de la rivière Loushuihe. Son intérêt spéléologique est grand car elle constitue la résurgence du bassin synclinal de Taiping et de son vaste poljé qui se situe plusieurs centaines de mètres plus haut. A noter quatre chauves souris de bonne taille qui ont été aperçues dans la partie inférieure de la cavité. (JPB et CS)

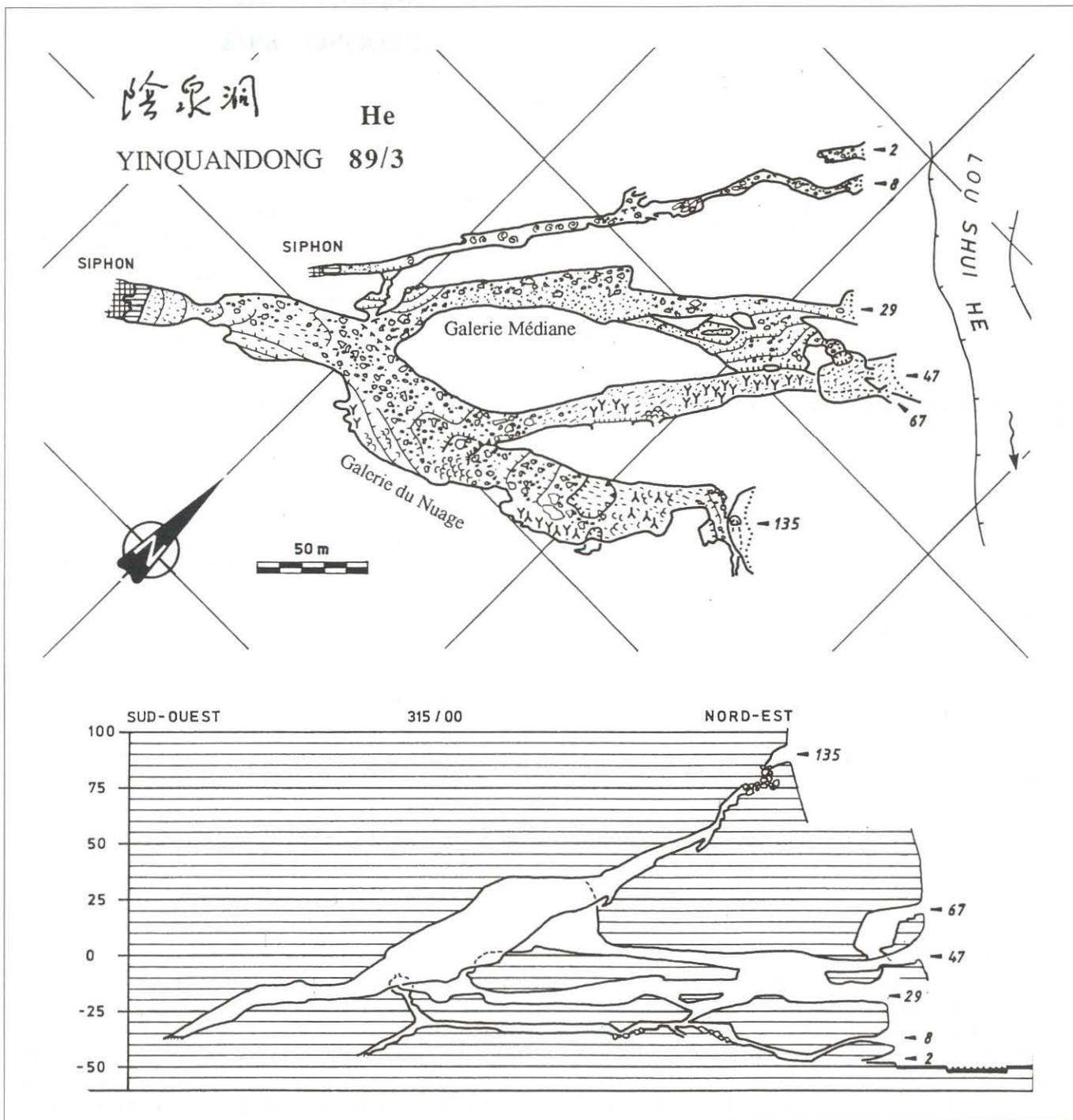


Figure 85 : Plan et coupe de la résurgence de Yinquandong (Hefeng, Hubei). *Yinquandong spring (Hefeng, Hubei), plan and profile.*

III. AUTRE CAVITE

A. ZHANGHAODONG

Grotte de Zhanghao (fig. 86)

Hefeng n° 89/7

Z = 580 m Dév. = 764 m Dén. = + 4 m, - 39 m

Situation : Cette grotte se trouve à 9 km au nord de Hefeng et ne semble pas appartenir au système synclinal de Yanziping (n° 7, fig. 78).

Contexte géologique : Localisée dans le flanc nord du synclinal de Hefeng, cette résurgence se développe le long d'une fracture dans les calcaires à cherts du Permien inférieur.

Description : L'entrée se subdivise en plusieurs petites diaclases qui recouperent une galerie, de 1 m de large sur 5 m de haut, orientée sur une grande fracture rectiligne. Au NE, au bout de 30 m, le conduit débouche en falaise. Au SW, la galerie presque rectiligne se poursuit sur 250 m et aboutit à un carrefour.

A gauche, un petit laminoir permet, après 100 m à quatre pattes et un ressaut de 5 m, de shunter l'autre itinéraire plus long, mais plus confortable.

En effet, par la galerie nord, on arrive à une nouvelle intersection de diaclases. Celle de gauche donne tout de suite sur une petite rivière dont le débit moyen est de 300 l/s. L'amont de la rivière, étroit, est un complexe de diaclases et de petites galeries annexes dont deux reviennent au carrefour précédent. L'aval actif, plus vaste (2 m x 3 m), se rétrécit progressivement. La suite devient "fumeuse". Laissons parler le spéléo de base Jean Bozo : *« nous perdons l'actif sur la gauche et recoupons le laminoir cité plus haut. De nouveau il faut ramper dans des galets terreux. Le fond est atteint par un boyau étroit qui chemine au gré des nombreuses diaclases qui quadrillent le secteur. Le courant d'air reste sensible dans cette zone »*.

Les habitants des alentours disent que cette grotte rejoint une galerie fossile très vaste et longue de 5 km. Celle-ci serait accessible par la falaise et aurait servi de refuge à Zhang Hao un chef paysan en révolte contre les seigneurs locaux. Une tentative d'escalade vers le début de la grande fracture n'a pas permis de l'atteindre. (JB)

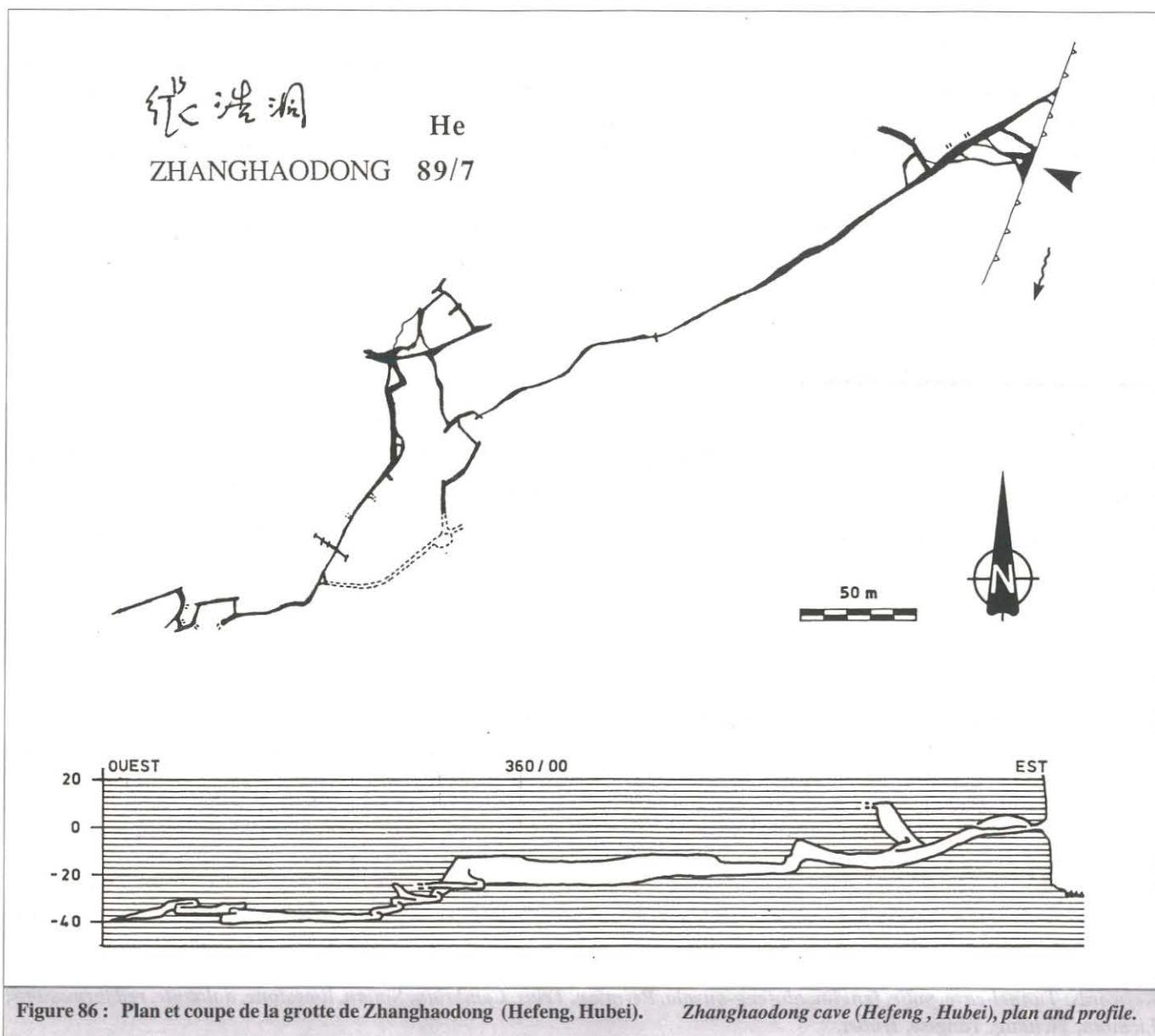


Figure 86 : Plan et coupe de la grotte de Zhanghaodong (Hefeng, Hubei). Zhanghaodong cave (Hefeng, Hubei), plan and profile.

COMTES DE LICHUAN ET DE YICHANG (HUBEI)

— Jean-Pierre BARBARY, Richard MAIRE, Jean-Luc MOUDOUD, ZHANG Shouyue

RESUME :

Deux visites complémentaires ont été effectuées dans le Hubei. Dans le comté de Lichuan, situé au SW de la province, le vaste poljé du même nom mesure 25 km x 30 km. Il est drainé par le Qingjiang, affluent du Yangtse, dont la perte a creusé la grotte-tunnel de Tenglongdong, la plus grande grotte de Chine explorée par une équipe sino-belge en 1988. Le karst, développé dans les calcaires du Permo-Trias, est de type fenglin et qiufeng-ouvala. Deux cavités ont été topographiées : Tanxiangdong (0,7 km) et Changmangdong (0,2 km).

Le bassin rouge de Yichang est localisé à la sortie des "Trois Gorges" du Yangtse ; il est rempli par les formations rouges (conglomérats, grès, silts) du Crétacé-Eocène consécutives à l'orogénèse crétacée de Yanshan. Juste au NW, nous avons pu observer le contact entre la surface karstifiée des dolomies cambriennes et les conglomérats crétacés piégés dans des cavités et des dépressions. La petite cavité perchée de Jinshidong, longue de 221 m, est située dans le karst à vallées sèches et ouvalas façonné dans le Cambrien.

Mots-clés : grotte-tunnel, poljé, fenglin, qiufeng-ouvala, Permo-Trias, Cambrien, Sinien, calcaire, dolomie, formations rouges, Lichuan, Yichang, Yangtse, Hubei.

摘要：湖北利川、宜昌喀斯特踏勘

位于湖北西南部的利川座落在25Km宽、30Km长的溶盆中，长江支流清江发源于该处。外源水流清江开掘出中国最长的洞穴腾龙洞，该洞于1988年为中国—比利时洞穴科学考察队作了详细调查。二叠三叠纪组成的碳酸盐岩地块其喀斯特地貌景观为丘峰—溶洼类型。此次调查了檀香

洞(0.7Km)及长蟒洞(0.2Km)。宜昌红色盆地位于长江三峡出口处，在燕山运动以后沉积了白垩—第三纪红色碎屑岩建造，在喀斯特剥蚀面上，我们见到了红色岩系沉积在洞穴中的现象。调查了发育寒武系中长221m的金狮洞。

ABSTRACT: LICHUAN AND YICHANG COUNTIES (HUBEI).

Two extensive visits were made in Hubei. In Lichuan county, a polje of the same name, located in the south-west of the province, is 25 km wide and 30 km long. It is drained by the Qingjiang, a Yangtse affluent, whose sinkhole formed the Tenglongdong tunnel-cave, which is the longest in China and was explored in 1988 by a Chinese and Belgian team. The type of the karst, in Permo-Trias limestones, is fenglin and qiufeng-ouvala. Two caves were surveyed: Tanxiangdong (0.7 km) and Changmangdong (0.2 km). The red Yichang basin is located at the exit of the "Three Gorges" of the Yangtse; it is filled with red Cretaceous-Eocene sediments (conglomerates, sandstones, silts) accumulated during the Yanshan Cretaceous orogenesis. Right in the NW, we were able to have a look at the contact of the karst surface with the Cambrian dolomites and the Cretaceous conglomerates trapped in caves and basins. The small perched Jinshidong cave, 221 m long, is located in a karst with dry valleys and ouvalas formed in the Cambrian.

Keywords: Tunnel-cave, polje, fenglin, qiufeng-ouvala, Permian, Trias, Cambrian, Sinian, limestone, dolomite, red formations, Lichuan, Yichang, Yangtse, Hubei.

ZUSAMMENFASSUNG: LICHUAN UND YICHANG (HUBEI).

Zwei weitere Gebiete wurden in Hubei untersucht. Im Bezirk von Lichuan, gibt es ein Polje gleichen Namens, das 25 km breit und 30 km lang ist. Es wird vom Qingjiang entwässert (einem Zubringer des Yangtse), dessen Schwinde die Tenglongdong bildet. Sie ist die längste Höhle von China und wurde 1988 von einer chinesisch-belgischen Forschungsgemeinschaft erkundet. Zwei Höhlen, Tanxiangdong (0,7 km) und Changmangdong (0,2 km) wurden vermessen.

Das Rote Becken von Yichang liegt am Ausgang der "Drei Schluchten" des Yangtse. Hier finden sich rote kreidezeitliche bis eoäne Ablagerungen (Konglomerate, Sandsteine, Schluffe), die infolge der kreidezeitlichen Yanshan Orogenese entstanden. Im Nordwesten konnte der Kontakt von verkarsteten kambrischen Dolomiten mit kreidezeitlichen Konglomeraten, die in Karsthohlformen liegenblieben, untersucht werden. Die kleine verschlossene Höhle von Jinshidong, 221 m lang, liegt in kambrischen Muttergestein eines Karstes mit Trockentälern und Uvalas.

Stichworte: *Flußhöhle, Durchflußhöhle, Polje, Quifeng Uvala, Perm, Trias, Kambrium, Kalkstein, Dolomit, Rotliegendes, Lichuan, Yichang, Yangtse, Hubei.*



Photo 24 :

Concrétions dans la grotte de Jinshidong qui se développe dans les dolomies du Cambrien (Yichang-Hubei)

Speleothems in Jinshidong cave (Cambrian dolomite) (Yichang-Hubei).



Photo 25 :

Entrée de la grotte de Jinshidong, alt. 450 m (Yichang, Hubei).

Jinshidong cave entrance, alt. 450 m (Yichang, Hubei).

INTRODUCTION

A la fin du séjour, deux visites complémentaires ont été effectuées dans la province du Hubei. Le karst du comté de Lichuan, à l'extrémité SW de la province, possède la plus grande grotte de Chine, Tenglongdong, explorée par une équipe sino-belge en 1988. Deux nouvelles cavités, de dimensions assez modestes, ont été topographiées. Dans l'angle extrême SW du Hubei, en zone karstique intramontagnarde, signalons le bassin synclinal de Laifeng riche en conglomérats et silts rouges du Crétacé-Eocène.

Au débouché des gorges du Yangtse ("Trois Gorges") se situe le bassin détritique de Yichang bourré par les formations rouges du Crétacé-Eocène. Au NNW de Yichang, dans les dolomies du Cambrien, une zone a été visitée (Jinshidong).

I. LE KARST DU COMTE DE LICHUAN

Le comté de Lichuan se situe à l'extrémité ouest du Hubei, à proximité de la province du Sichuan. Cette région karstique est réputée pour sa morphologie typique de karst à fenglin et qiufeng-ouvala. Elle présente également l'un des plus grands systèmes perte-émergence de Chine, celui de la rivière Qingjiang, situé juste à l'E de la ville de Lichuan. Il s'agit d'une perte active doublée par une vaste grotte-tunnel (Tenglongdong) et d'autres cavités non reliées totalisant 40 km de galeries. Son exploration a été faite par une équipe sino-belge en 1988 (MASSCHELEIN et ZHANG SHOUYUE, 1989).

Une visite de trois jours nous a permis de visiter le tunnel fossile de Tenglongdong, le relief environnant et d'explorer deux cavités nouvelles : une petite perchée au-dessus du bassin de Lichuan (Changmangdong, 0,2 km) riche en remplissages, une seconde située plus à l'ouest (Tanxiangdong, 0,7 km).

◇ **Géologie** : La zone plissée calcaire de Lichuan est caractérisée par une succession d'anticlinaux et de synclinaux orientés

SW-NE, armés par les calcaires et dolomies du Permien (P₂) et du Trias (T₁₋₂). La grotte de Tenglongdong est creusée dans les calcaires stratifiés du Permien.

◇ **Climat** : Le régime climatique est de type subtropical de montagne. A la station de Lichuan, vers 900 m d'altitude, l'amplitude thermique est forte (janvier : 1,5°C environ, juillet : 23°C) de même que l'amplitude pluviométrique (janvier : 17 mm, juin : 207 mm). Ces valeurs moyennes sont calculées pour la période 1959-86 (d'après MASSCHELEIN et ZHANG SHOUYUE, 1989, p. 10). (fig. 87).

◇ **Géomorphologie** : Le relief typique est un karst à buttes et cônes (fenglin et qiufeng-ouvala) façonné dans les calcaires du Permien et du Trias. Dans les structures plissées plus étroites, l'influence du pendage donne lieu à des buttes étagées en forme de chevrons. Le bassin de Lichuan est en réalité un vaste poljé de plusieurs centaines de km² qui a profité du substrat étanche jurassique ; il est recouvert d'alluvions et de sols rouges. La rivière Qingjiang (débit moyen = 12 à 15 m³/s) le traverse d'ouest en est, et se perd dans un ponor spectaculaire. A côté se situe la grotte-tunnel fossile de Tenglongdong correspondant à l'ancienne perte de la rivière. Celle-ci traverse un relief de buttes et ressort par un système de couloirs-dépressions, tunnels tronçonnés et canyons secs provenant de l'effondrement du plafond d'un ancien réseau. C'est dire l'âge relativement ancien de cette paléocavité.

FICHE SIGNALÉTIQUE DU COMTE DE LICHUAN

Lat. 30°18' N, Long. 108°56' E

Superficie = 4 600 km²

Population = 700 000 hb

Densité = 152 hb/km²

Nationalités = Tujia et Miao (45 %)

Altitudes extrêmes = 300 à 2000 m

Ressources principales = Charbon, gaz, tabac, thé

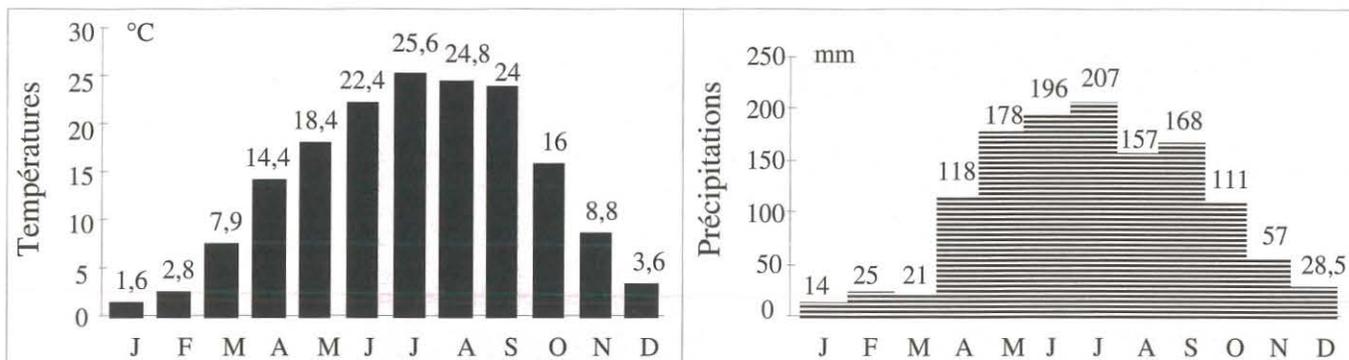


Figure 87 : Données climatiques du comté de Lichuan (Hubei), températures et précipitations.

Climatic data of Lichuan county (Hubei), temperature and precipitation.

numéro	nom	village	Z	dév.	dén.	ext.	géologie	rem.
Li 89 1	CHANGMANGDONG Grotte du boa	Lichuan	1175	283	-15	185	T	
Li 89 2	TANXIANGDONG Grotte du santal	Baiyangtang	1415	689	-17 +3	260		à revoir

Tableau 9 : Spéléométrie des cavités explorées dans le comté de Lichuan (Hubei). *Cave data of Lichuan county (Hubei).*

A. CHANGMANGDONG

Grotte du Boa (fig. 88)

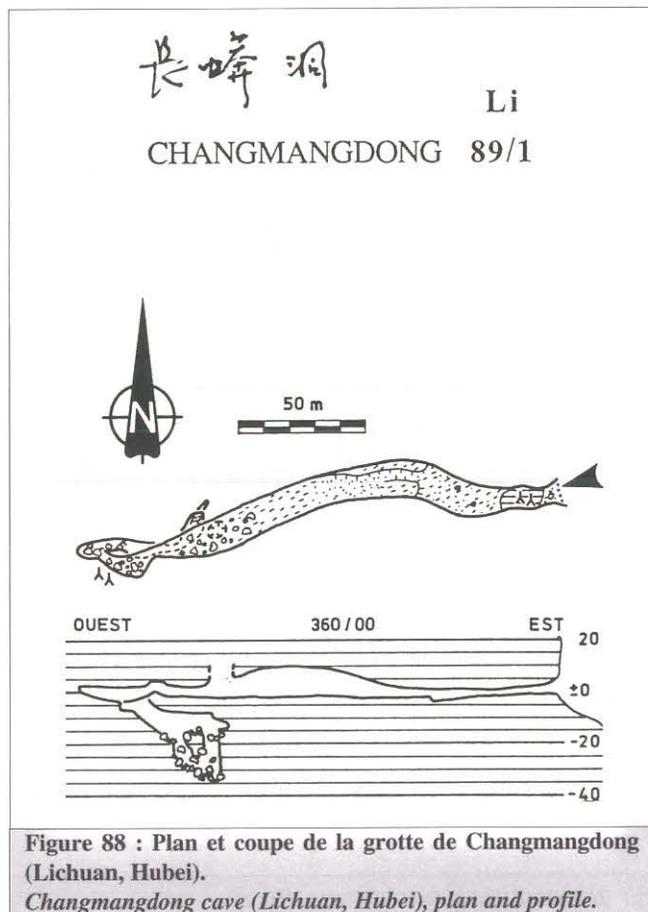
Lichuan n° 89/1

Z = 1175 m Dév. = 283 m Dén. = - 15 m

Description : Cette grotte fossile s'ouvre juste au nord de Lichuan, sur les premiers reliefs dominant le vaste poljé de Lichuan, une centaine de mètres au-dessus du fond alluvial. L'entrée, large de 4 m et haute de 2 m, donne sur une galerie dont la première partie sert d'abreuvoir pour du bétail (mares). On y observe également d'anciennes exploitations de nitrate. Le conduit se poursuit à l'ouest sur 180 m et présente des remplissages détritiques anciens qui ont été recreusés. La galerie aboutit sur une petite salle d'effondrement et donne sur un puits déchiqueté et dédoublé profond d'une quinzaine de mètres. Le fond se termine sur des blocs et des étroitures. (JLM et RM)

Karstologie : Cette cavité se développe dans les calcaires du Trias inférieur dans un relief de buttes dont la pente, plus ou moins réglée, atteint 30 à 35°. Perchée 100 à 120 m au-dessus du poljé de Lichuan, cette grotte présente une ancienne morphologie d'écoulement noyé prouvant son ancienne relation avec une perte de bordure. D'abondants remplissages détritiques (silts varvés), calés localement par des spéléothèmes, ont été observés et étudiés sommairement. Des prélèvements pour le paléomagnétisme (sur les varves) et la datation U/Th (sur calcite) ont été effectués afin de préciser l'âge de ces dépôts (tabl. 17, p. 142). La teinte rouge de certains remplissages argilo-limoneux montre qu'il y a eu érosion externe des sols rouges et leur transfert dans le karst. (RM)

NB : T = 14°C, pCO₂ = 0,02 % (fond de la grotte).



B. TANXIANGDONG

Grotte du Santal (fig. 89)

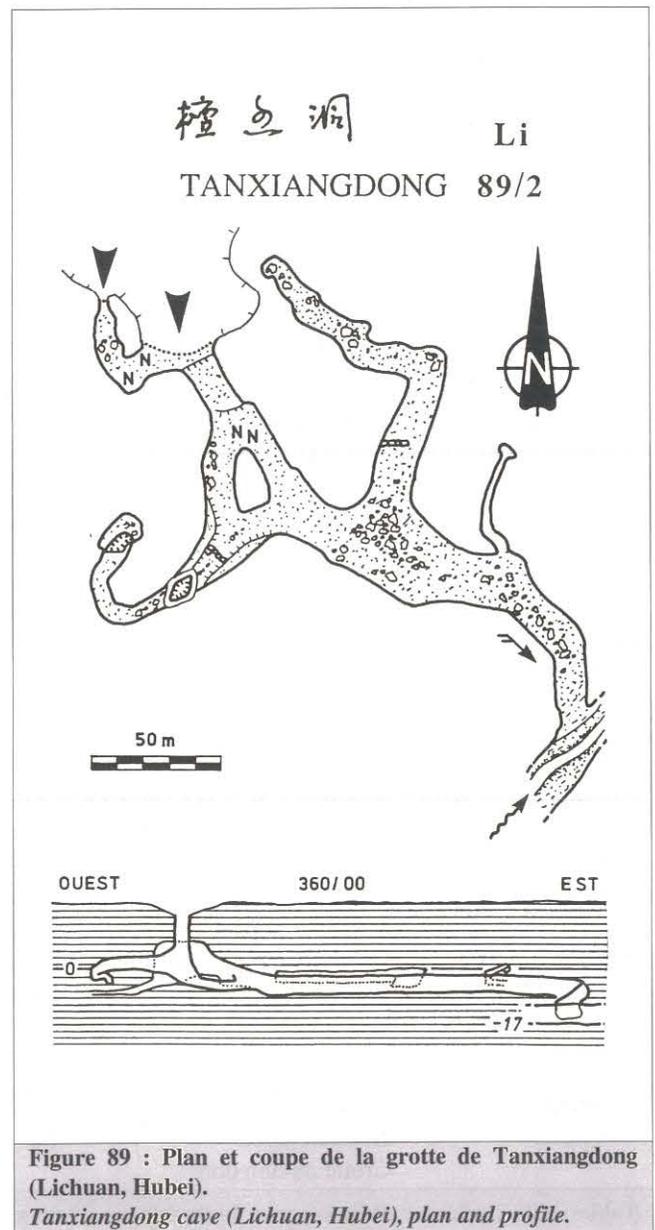
Lichuan n° 89/2

Z = 1415 m Dév. = 689 m Dén. = - 17 m, + 3 m

Situation : Cette cavité s'ouvre sur le flanc nord du long anticlinal étroit, de direction SW-NE, situé immédiatement à l'ouest du poljé de Lichuan.

Description : Dès l'entrée de cette cavité nous pouvons observer de nombreux témoignages d'une importante activité humaine. Outre les traditionnelles exploitations de nitrates, de nombreux murs barrent l'accès des galeries annexes, prouvant que la grotte fut utilisée comme refuge pendant des périodes troublées de l'histoire.

Dans la zone d'entrée, une courte galerie sur la droite ramène rapidement au jour. Le conduit principal se dédouble jusqu'à un croisement sur la droite avec une branche sans suite, si ce n'est un beau puits remontant qui rejoint la surface. Nous explorons sur la gauche une galerie de 150 m de long. Ensuite la pente s'accroît et la galerie principale recoupe une rivière souterraine s'écoulant vers le NE. Cette partie de la cavité est



parcourue part un fort courant d'air aspirant qui nous laisse présager une suite fort intéressante. Malheureusement, par manque de temps, nous nous sommes arrêtés là...

II. RECONNAISSANCE DANS LE COMTE DE YICHANG

Situé à la sortie des "Trois Gorges" du Yangtse, le comté de Yichang a été visité sommairement dans sa partie NW. Nous avons parcouru un transect SE-NW montrant respectivement :

- les formations rouges du Crétacé-Eocène du bassin de Yichang ;
- le contact discordant avec la surface karstique des dolomies cambriennes ;
- le karst et des cavités anciennes recoupées par le creusement des vallées (ex : Jinshidong) ;
- les dolomies du Précambrien (Sinien) bien visibles à la sortie des gorges du Yangtse.

Une cavité fossile (Jinshidong), creusée dans le Cambrien dolomitique, a été visitée et topographiée en vue d'un futur aménagement touristique. Nous avons émis des réserves quant à l'opportunité de cet aménagement notamment à cause de l'importante colonie de chauves-souris habitant cette cavité.

FICHE SIGNALÉTIQUE DU COMTE DE YICHANG

Lat. 30°42' N, Long. 111°11' E

Capitale = Yichang

Climat = Subtropical, chaud et humide

Géologie = Bassin rouge du Crétacé-Eocène

Substratum W = Dolomies du Cambrien et du Sinien

A. JINSHIDONG

Grotte du Lion Doré (fig. 90)

Yichang 89/1

Z = 450 m Dév. = 221 m Dén. = - 20 m

Situation : La grotte de Jinshidong se situe une vingtaine de km au NNW de Yichang tout près du village de Sunjiaping. Elle s'ouvre vers 450 m d'altitude, dans un karst à ouvalas et vallées sèches recouvert par une garrigue.

Géologie : La cavité se développe dans les dolomies à lits de silex du Cambrien. Elle est perchée de 100 m au-dessus d'une vallée sèche dont le fond plat est cultivé.

Description : Cette grotte sèche a été recoupée latéralement par le creusement de la vallée et le recul du versant. Il s'agit d'un vaste conduit unique de 15 à 25 m de large et de 10 à 20 m de haut, très concrétionné. La partie W se termine sur un conduit surbaissé et obstrué par des concrétions et des dépôts argileux. La partie E aboutit sur un salle rectangulaire de 40 m x 40 m. Nous avons noté la présence d'une importante colonie de chauves-souris (plusieurs centaines) et d'un gros rat blanc.

Karstologie : Cette cavité fossile est ancienne compte tenu de sa situation perchée et recoupée. L'entrée montre qu'il s'agit d'une galerie décapitée ; celle-ci se poursuit de plusieurs mètres par une paroi alvéolée où se trouve un vieux plancher stalagmitique érodé. Cet ancien réseau creusé en régime noyé représente donc aujourd'hui un niveau endokarstique perché. Les abondants remplissages détritiques et chimiques, plus ou moins érodés et remaniés, témoignent de la complexité de l'évolution : silex altérés, sols rouges soutirés, concrétions à séquences alternées (contaminations pédologiques marquant des ruptures bio-climatiques), (photo 35, p. 140). (RM)

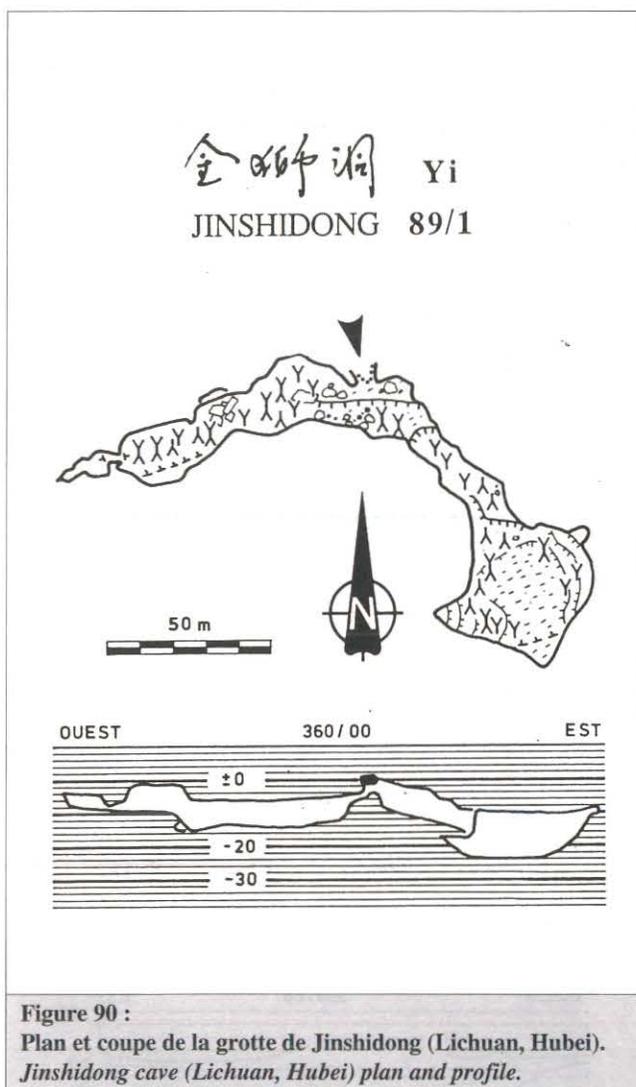


Figure 90 : Plan et coupe de la grotte de Jinshidong (Lichuan, Hubei). Jinshidong cave (Lichuan, Hubei) plan and profile.

numéro	nom	village	Z	dév.	dén.	ext.	géologie	rem.
Yi 89 1	JINSHIDONG Grotte du lion doré	Sunjiaping	450	221	-20	168	C	

Tableau 10 : Spéléométrie de la grotte de Jinshidong (Yichang, Hubei). Jinshidong cave data (Yichang, Hubei).

Deuxième partie

ETUDES SCIENTIFIQUES
THEMATIQUES

Chapitre 8 :

ETUDES HYDROCHIMIQUES ET BACTÉRIOLOGIQUES

Chapitre 9 :

LES REMPLISSAGES KARSTIQUES

Chapitre 10 :

LES SYSTÈMES KARSTIQUES ET LES CAVITÉS

Chapitre 11 :

GENÈSE DES KARSTS DE CHINE DU SUD

Chapitre 12 :

EVOLUTION DE LA MATIÈRE ORGANIQUE, INDICATEUR DE L'ÉROSION

Chapitre 13 :

KARST ET ENVIRONNEMENT

ETUDES HYDROCHIMIQUES ET BACTERIOLOGIQUES

— Bernard COLLIGNON et JIN Yuzhang

RESUME :

Au cours de l'expédition, nous avons étudié systématiquement la composition des eaux souterraines et son évolution le long des grandes rivières qui constituent le trait marquant de l'hydrogéologie régionale. Comme il s'agit d'aquifères calcaires, la plupart des eaux sont bicarbonatées calciques, avec peu de chlorures ou de sulfates. Lors de l'expédition (en saison sèche), toutes les eaux étaient sursaturées par rapport à la calcite et donc sans pouvoir corrosif. Elles contenaient très peu de CO_2 dissous, tout comme l'atmosphère souterraine avec laquelle elles étaient en équilibre. Les charges en nitrates sont moyennes, plus faibles que ce que nous attendions dans des régions aussi densément peuplées. Il faut voir là le résultat d'une agriculture très économe en fertilisants. Les seules eaux atypiques sont celles qui proviennent des couches charbonneuses du Permien détritique. Elles ont une composition exceptionnelle : très acides, sulfatées, avec beaucoup de fer et de manganèse. Au contact de l'encaissant calcaire, elles sont rapidement neutralisées.

Le deuxième aspect de notre travail a été l'étude de la qualité bactériologique des eaux. Comme nous l'attendions, la pollution bactériologique des grandes rivières souterraines est très importante. Plus grave encore et contre toute attente, la situation s'est révélée très préoccupante pour les petites sources karstiques qui sont aussi fortement contaminées.

Mots-clés : karst, hydrochimie, bactériologie, pollution, qualité de l'eau, nitrate, sulfure, charbon, Chine.

摘要：水化学与水中细菌的研究

水化学

野外：为了解喀斯特现象及减轻样品重量以免带着样品旅行，进行了大量野外的水质测定。金女士测定pH、温度、TH、TDS(HACH44600型电导仪/TDS计) 溶解 CO_2 、Ca、Mg。一些水样取双份(纯的及加入大理石粉末用以测定侵蚀性 CO_2) 供实验室测定。柯里尼昂先生测定pH、温度、Cl、 CO_2 及 HCO_3 含量(分别用 AgNO_3 、NaOH、及 H_2SO_4 滴定)，测定前还取少量试样用HCl酸化，以保持水中的Fe、Mn和Ca供室内测定。

实验室：金女士测定侵蚀性 CO_2 、Cl和 HCO_3 (滴定法)。考察期间的小实验室设在旅馆里。柯里尼昂先生在法国阿维尼翁大学科学系水文地质实验室对水样进一步测定。Ca、Mg、Na、K、Fe、Mn用原子吸收方法， NO_3 及 SO_4 用离子色谱方法。

分析结果：

碳酸钙：大部分水样表明典型喀斯特水。

Mg：大部分水样的Ca/Mg比值为4—7，说明灰岩分布远比白云岩广泛，在纯白云岩区只取了很少的水样。

Na、K、Cl：含量很低(90%的水样低于总盐的10%)，远离海洋的喀斯特区通常如此。Na和K浓度相近在沉积岩区域不多见，可能是钾肥的污染。

CO_2 和pH：全部水样溶解 CO_2 含量很低，pH值十分高(7.5—8.5)，原因是大的洞穴中空气 CO_2 含量仅为0.02-0.04%，取样时值生物活动微弱的冬季及洞室宽敞等原因。

NO_3 ：对喀斯特区说来，其浓度相对较高(2-20ppm)，但仍低于饮用水最高的允许值(45ppm)，在欧洲农业区这一浓度达20-80ppm。说明考察区地下水受到肥料的污染，但因肥料充分利用而减弱。主要河流的污染较喀斯特泉为弱。

SO_4 ：煤矿矿坑水高达200-900ppm的 SO_4 含量与铁有关，来自富硫的煤层。象通常喀斯特区的水那样， SO_4 不是主要阴离子，75%水样 SO_4 占了阴离子的5-15%，但是远

大于预期的浓度。50%的试样 SO_4 含量超过50ppm, 这可能与上二叠统煤系地层中黄铁矿含量较高有关, 或与燃煤有关的 SO_2 对大气的污染。

Mn、Fe: 来自上二叠统的水中浓度很高, 与黄铁矿的溶解产生的 SO_4 含量有关。pH很低(低到2.8)说明高的Mn和Fe浓度(可高达164ppm)产生的原因。在天然水中是异常的。喀斯特水中Mn和Fe浓度远比欧洲要高, 可能与碎屑岩广泛出露有关。

当源于煤矿的酸性水(pH值2.8-3.2)流入喀斯特区时, 因基岩溶解及喀斯特水混入而迅速增加pH值。在流入几百米后即接近平衡。寒武系与二叠系含水层水化学不同, 前者 SO_4 和Mg含量很低, 后者 SO_4 、Fe、Mn、Mg较富集, 这与夹于灰岩中的碎屑岩层有关。

考察期间所测定的河水对方解石均过饱和, 那时适值旱季并且 CO_2 含量正好。夏季应不同, 雨季必然出现更强的侵蚀。据水流量与碱含量估计的溶蚀量为40mm/Ka。

水中细菌研究

在代表考察区主要水资源的大暗河中取样。所有水样均沿着水的流程采集, 以观察细菌污染如何变化。也曾试图在小泉及水池中找可饮用水源。应用了无危险的生物学标志—大肠杆菌。

三分之二的样品表明有高度的污染: 每毫升中大肠杆菌1—22, 这些水不能饮用。污染发生在大的喀斯特河流中, 小的泉水也有污染。主要河流的高度生物污染在暗河段也未减轻。

高的污染程度与人口密度有关, 尽管大部分粪便用作肥料, 带入河中的细菌超过天然水自净能力。呈伏流时, 由于是时间太短(几小时或几天)及未暴露于阳光下, 也因大量蝙蝠群带入的有机物及其粪便而未能净化。

在中国, 因水质差而通常饮用开水, 洞穴考察队员不会象在热带地区那样一再受到痢疾的困扰。

ABSTRACT: HYDROCHEMICAL AND BACTERIOLOGICAL STUDIES.

HYDROCHEMISTRY

MAIN CHEMICAL FEATURES

◇ *Calcium carbonate* : Most of the waters show a classical karstic figure.

◇ *Mg* : Ca/Mg range from 4 to 7 in most of the samples ; this means that limestones are much more frequent than dolomites (we sampled few waters coming from pure dolomite areas).

◇ *Na - K - Cl* : Very low contents (less than 10 % of total dissolved salts in 90 % of the samples, as usual in karstic areas, which are far from the sea. Similar concentrations of Na and K were found, which is quite scarce for a sedimentary area. A possible explanation is human pollution by fertilizers.

◇ *CO₂ and pH* : All the waters contain very little dissolved CO₂ and the pH is quite high (7.5 to 8.5), because the air itself in the big caves does not contain much CO₂ (0.02 to 0.04 %). The caves are windy and the sampling was made in winter, when biological activity is very low.

◇ *NO₃* : The concentrations are relatively high for karstic areas (2 to 20 ppm), but lie below the maximum WHO standard for drinkable waters (45 ppm) and below the levels observed in European cultivated areas (20 to 80 ppm). Explanation : there is a pollution by fertilizers but it is reduced by their very efficient use. The main rivers are less polluted than the karstic springs.

◇ *SO₄* : The water coming from the coal mines, which are rich in sulphur, has a very high content of SO₄ (200 to 900 ppm), which is related with iron. In the water originating from the karst, SO₄ is not the dominant anion (between 5 and 15 % of anions in 75 % of the samples). This is usual in karstic areas, but the concentrations are far above what we expected. 50 % of the samples contained more than 20 ppm. Some possible explanations are: very high content of pyrite in the upper Permian series, which constitutes the upper basin of some rivers, quite pyritous limestones of some carbonate series (Trias), pollution by atmospheric SO₂ linked to coal combustion.

◇ *Mn-Fe* : Very high concentration in the waters coming from the upper Permian, directly linked to the SO₄ content ; that is a consequence of the dissolution of pyrite contained in the Permian clastic rocks near the coal levels ; the very low pH level (down to 2.8 !) explains the large amounts measured (up to 164 ppm), which are exceptional in natural waters. In karstic waters, the concentrations are higher than those observed in Europe ; explanation : detritic outcrops in most river basins.

The water coming from the coal mines is very acidic (pH ranges from 2.8 to 3.2). When it enters the karstic area, the pH increases very fast as a result of dissolution of the bedrock and its mixing with karstic waters. The figure 95 shows that within a few meters pH is near to equilibrium.

The chemical figure of the waters coming from Cambrian and Permian aquifers can be distinguished. The former contains very little SO₄ and Mg. The latter is richer in SO₄, Fe, Mn and Mg, which relates to detritic layers between the limestones.

As far as calcium carbonate is concerned, all the rivers were oversaturated at the time of the expedition. It was the dry season and they contained very little CO₂. It should be different in summer, which is probably the time when most of the erosion takes place.

We evaluated the specific ablation (from the discharge and the alkaline content of the water) to 40 mm/1000 years.

BACTERIOLOGICAL QUALITY OF KARSTIC WATERS

We took water samples in the big underground rivers explored during the expedition. These represent the main water resources of these regions. Sampling was made all along the flow, to see how bacteriological pollution varied. We also tried to find drinkable waters in the little springs and the rimstone pools.

In order to find out if the water was drinkable, we used a safe biological mark : coliform bacteria. Their presence is a proof of faecal contamination, which is the main cause of many diseases (dysentery, polio, hepatitis, cholera, typhus,...). A small water sample (1 ml) is filtrated through a porous film (0.5 micron). The coliforms stay on the filter and are breded (35°C) in presence of a nutritious environment (TERGITOL TTC). Each bacteria of the sample generates a colony consisting of millions of bacteria and these colonies can be eye-counted. The whole device weighs only a pound.

Two thirds of the samples show high levels of contamination varying between 1 to 22 coliform in 1 ml. These waters are not drinkable (reference : the WHO standard for drinkable water is a maximum of 3 coliform in a 100 ml sample). Pollution occurs in the big karstic rivers (this is quite common all over the world) and also in the small springs. In the main rivers, the high level of biological pollution does not decrease while the waters flow underground.

This method is convenient for speleological teams, who cannot carry heavy devices. The accuracy is limited by the size of the sample (1 ml) and the temperature variations during incubation. For these reasons, we intend to use bigger samples (10 ml) and a temperature regulator in future experiments. With such improvements the device should weigh 1.5 kg.

The high contamination levels are related to the very high population density (300 hab/km²), which is uncommon for karstic areas. Despite the fact that a large part of the faecal materials is used on fields, the bacteriological input in the rivers extends the self-purification ability of the natural waters. During the underground flow, the waters are not purified for the following reasons: the stay time is too short (some hours or days) ; the waters are not exposed to solar UV ; big bats colonies bring more organic and faecal matters.

In China, because of the poor water quality, people mostly drink boiled water. Thus, it is possible to find drinkable hot water in almost every place and the members of the speleological team did not suffer the dysenteries so frequent during expeditions in tropical regions.

Keywords: karst, hydrochemistry, bacteriology, pollution, water quality, nitrate, sulfur, coal, China.

ZUSAMMENFASSUNG:

HYDROCHEMISCHE UND BAKTERIOLOGISCHE UNTERSUCHUNGEN

HYDROCHEMIE

◇ *Kalziumkarbonat*: Die meisten Wässer weisen Karsttypische Werte auf (siehe Abbildung).

◇ *Mg*: In den meisten Proben (siehe Abbildung) ist vier- bis siebenmal mehr Ca als Mg enthalten. Dies bedeutet, daß Kalksteine häufiger als Dolomite auftreten und nur wenige Wässer beprobt wurden, die aus reinen Dolomitgebieten stammen.

◇ *Na, K, Cl*: Wie von einem Karstgebiet, das weit vom Meer entfernt liegt zu erwarten ist, tritt wenig Na, K und Cl auf (In 90% der Proben machen sie weniger als 10% der Gesamtsalzmenge aus). Die Konzentration von Na und K ist ähnlich, was bei einem sedimentären Einzugsgebiet ungewöhnlich ist. Eine mögliche Erklärung könnte Umweltbelastung durch kalihaltige Dünger sein.

◇ *CO₂ und pH-Wert* : Alle Wässer enthielten wenig gelöstes CO₂ und der pH-Wert ist mit 7,5 bis 8,5 ziemlich hoch, weil die Luft der großräumigen und bewetterten Höhlen wenig CO₂ enthielt (0,02 bis 0,04%). Außerdem wurden die Proben im Winter genommen, als die biologische Aktivität gering war.

◇ *NO₃*: Für Karstgebiete ist die Konzentration von 2 bis 20 ppm (Abb) verhältnismäßig groß, liegt jedoch unter dem von der WHO empfohlenen Maximalwert für Trinkwasser (45 ppm) und unter den Werten, die in landwirtschaftlich genutzten Gebieten Europas auftreten (20 bis 80 ppm). Es besteht zwar eine Belastung durch Düngemittel, doch werden diese sehr effizient eingesetzt. Die Hauptflüsse sind stärker belastet als die Karstquellen.

◇ *SO₄*: Wässer, die aus Bergwerken mit stark schwefelhaltiger Kohle stammen, haben einen sehr hohen SO₄-Anteil (200 bis 900 ppm), der mit dem Eisengehalt zusammenhängt (Abb.). In Karstwässern ist es, wie für Karstgebiete üblich, kein dominierendes Ion (5 bis 15 % der Gesamtionen in 75 % der Proben), aber der Gehalt ist weit höher als wir erwartet haben: 50 % der Proben enthalten mehr als 20 ppm (Abb.). Erklärende Möglichkeiten sind der hohe Pyritgehalt mancher triassischer Karbonatgesteine und die Belastung durch atmosphärisches SO₂, das von Kohleverbrennung herrührt.

◇ *Mn, Fe*: Wässer, die durch das Obere Perm fließen, weisen einen sehr großen Mn- und Fe-Gehalt auf, der direkt mit dem SO₄-Gehalt zusammenhängt (Abb.). Dies ist eine Folge der Auslösung von Pyrit aus kohleführenden klastischen Permlagen. Der sehr niedere pH-Wert (bis herunter zu 2,8 !) erklärt die für natürliche Wässer hohen Werte von bis zu 164 ppm. In Karstwässern ist der Gehalt größer als der, den wir von Europa her kennen. Die Ursache sind detritische Einschlüsse in fast allen Einzugsgebieten.

Die Wässer, die aus Kohlebergwerken stammen, sind sehr sauer. Der pH-Wert schwankt zwischen 2,8 und 3,2. Treten sie in ein Karstgebiet ein, steigt ihr pH-Wert wegen Kalklösung rasch an und sie mischen sich mit den Karstwässern. Die Abbildung zeigt, daß nach einer Fließstrecke von nur wenigen hundert Metern das Gleichgewicht fast erreicht ist. Die chemische Zusammensetzung der Wässer ist für kambrische und permische Aquifere unterscheidbar (siehe Tabelle, Abb.). Die ersteren enthalten wenig SO₄ und Mg, während die Letzteren an SO₄, Fe, Mn und Mg reicher sind, was sich auf detritische Ablagerungen zwischen den Kalkschichten zurückführen läßt.

Alle im Verlauf der Expedition beprobten Flüsse waren mit Kalziumkarbonat übersättigt. Es herrschte Trockenzeit und die Flüsse enthielten wenig CO₂. Im Sommer, während der Regenzeit, wenn die hauptsächliche Abtragung stattfindet, dürfte es anders

aussehen. Wie errechneten aus Schüttung und Alkaligehalt der Wässer eine spezifische Ablation von 40 mm / 1000 Jahre.

DIE BAKTERIOLOGISCHE QUALITÄT DER KARSTWÄSSER

Während der Expedition nahmen wir Wasserproben von großen unterirdischen Flüssen. Sie stellen die wichtigsten Bezugsquellen für Trinkwasser dieser Gebiete dar. Entlang der ganzen Fließstrecke wurden Proben entnommen, um zu sehen, wie die bakteriologische Belastung variiert. Wir versuchten auch Trinkwasser aus kleinen Gerinnen und Sinterbecken zu entnehmen.

Um herauszufinden, ob das Wasser trinkbar ist, verwendeten wir einen ungefährlichen biologischen Indikator: Kolibakterien. Ihre Anwesenheit ist ein Anzeiger für fäkale Verunreinigungen, welche die Ursache vieler Krankheiten bilden: Dysenterie, Polio, Hepatitis, Cholera, Typhus, u.s.w. Eine kleine Wasserprobe (1 ml) wird durch einen Membranfilter (0,5 µm) filtriert. Die Kolibakterien bleiben auf dem Filter hängen und werden in einem Nährmedium (Tergitol TTC) bei 35 °C bebrütet. Die einzelnen Bakterien wachsen auf dem Filter zu Kolonien heran, die mit dem bloßen Auge gezählt werden können. Die ganze Vorrichtung wiegt nur ein Pfund. Diese Methode ist für speleologische Untersuchungen geeignet, weil schwere Vorrichtungen nicht transportiert werden können. Die Genauigkeit wird durch die Größe der Probe (1 ml) und die Temperaturschwankungen während der Brutzeit beschränkt. Wir haben deshalb vor, bei zukünftigen Versuchen größere Proben (10 ml) und einen Temperaturregler zu verwenden. Unter solchen Voraussetzungen dürfte die Vorrichtung ungefähr 1,5 kg wiegen.

Zwei Drittel der Proben waren mit 1 bis 22 Kolibakterien stark verunreinigt. Die Wasser waren nicht trinkbar, denn laut Empfehlung der WHO dürfen maximal 3 Kolibakterien in 100 ml Wasser vorkommen. Verschmutzung tritt sowohl in großen Karstflüssen auf (was weltweit "normal" ist), aber auch in kleinen Gerinnen. Bei den großen Flüssen nimmt der hohe Grad an biologischer Belastung während des unterirdischen Verweilzeit nicht ab.

Der hohe Verschmutzungsgrad hängt mit der für Karstgebiete ungewöhnlich großen Bevölkerungsdichte von 300 Einwohner / km² zusammen. Trotz des Umstandes, daß ein Großteil der Fäkalien in der Landwirtschaft verwendet wird, übersteigt die bakterielle Zufuhr die Selbstreinigungskraft der natürlichen Wassers. Beim unterirdischen Verweilen reinigen sich die Wasser nicht, weil die Verweildauer von einigen Tagen oder Stunden zu kurz ist und sie der UV-Strahlung des Sonnenlichts nicht ausgesetzt sind. Fledermauskolonien tragen zusätzlich organische und fäkale Stoffe ein.

In China trinken die Menschen wegen der schlechten Wasserqualität fast nur abgekochtes Wasser, das fast überall zu Verfügung gestellt wird und die Mitglieder der höhlenkundlichen Forschungsgruppe hatten nicht unter den Durchfällen zu leiden, die bei Forschungsreisen in tropische Gebiete häufig sind.

Stichworte: Karst, Hydrochemie, Bakteriologie, Umweltverschmutzung, Wasserqualität, Nitrat, Schwefel, Kohle, China.



Photo 26 :

Résurgence du système de grottes-tunnels de la Gebihe. Situation durant l'été 1988 (petite crue). La qualité bactériologique des eaux des grandes rivières souterraines est mauvaise de même que pour les petites sources karstiques. Cela tient à la forte densité de la population rurale. Cependant la contamination en nitrates, de 2 à 20 mg/l, demeure moyenne et se situe sous le seuil de 50 mg/l (norme de potabilité de l'OMS).

Resurgence of Gebihe system (Ziyun, Guizhou). Small flood in summer 1988. Bad bacteriological quality (organic and faecal matters). Concentrations in NO₃: 2-20 mg/l, relatively high for karstic areas, but below the levels observed in European cultivated areas (20-80 mg/l).

I. SYNTHÈSE DE L'ÉTUDE HYDROCHIMIQUE

Bernard Collignon et JIN Yuzhang

Au cours de l'expédition GEBIHE 89, nous avons procédé à 140 analyses d'eau. Les objectifs de ce gros travail de terrain ont été les suivants :

1) établir les principales caractéristiques chimiques des eaux de quelques karsts chinois, et cela pour différents étages géologiques ; une attention particulière a été portée aux grandes rivières souterraines qui, par leur grande taille, constituent la principale originalité de ces karsts.

2) évaluer l'impact des activités humaines sur la qualité chimique de ces eaux ; c'est un problème crucial dans des régions rurales aussi peuplées.

3) mesurer la charge carbonatée des eaux — un paramètre important de la vitesse de karstification — et leur état de saturation par rapport à la calcite, ce qui a des conséquences directes sur la formation des grottes et des concrétionnements.

4) étudier des eaux associées à d'éventuelles concrétions exceptionnelles.

5) comparer les méthodes analytiques de terrain des équipes françaises et chinoises.

A. PRÉSENTATION DES MÉTHODES ANALYTIQUES

Nos analyses représentent surtout les grandes rivières souterraines et extérieures visitées dans les karsts subtropicaux du Sud et du Centre de la Chine. On a également échantillonné des sources karstiques (20 % des échantillons), des lacs souterrains (4 %), l'eau s'écoulant des concrétions (6 %), l'eau des mines de charbon, enfin l'eau de condensation souterraine.

♦ **Sur le terrain** : Nous avons essayé d'obtenir le plus de données possibles par mesure directe afin d'interpréter sur place les phénomènes et pour réduire le poids des échantillons transportés pendant deux mois. Le Pr Jin mesurait le pH, la température, la salinité (conductimètre HACH 44600), le CO₂ dissous, Ca, Mg (titrimètre HACH 16900). Elle prenait deux échantillons d'eau (pure et additionnée de poudre de marbre pour en mesurer l'agressivité). B. Collignon mesurait le pH, la température et dosait Cl, CO₂ et HCO₃ (titrage avec AgNO₃, NaOH et H₂SO₄). Un petit échantillon était alors conservé pour le laboratoire, après acidification pour maintenir en solution Ca, Mg, Fe, Mn.

♦ **Au laboratoire** : Le Pr Jin a mesuré le CO₂ agressif (essai au marbre), Cl et HCO₃ (par titrage) dans un petit laboratoire transporté durant l'expédition et installé dans chaque hôtel. B. Collignon a étudié les échantillons acidifiés au Laboratoire d'hydrogéologie de la faculté des sciences d'Avignon (grâce à l'amabilité du Pr Blavoux qui nous a également prodigué de nombreux conseils). Ca, Mg, Na, K, Fe, Mn ont été dosés par absorption atomique (avec une flamme air-acétylène) et NO₃ et

SO₄ par chromatographie ionique.

B. FACIES CHIMIQUE DES EAUX DU KARST CHINOIS

On trouvera en annexe du chapitre deux tableaux (n°13, n°14) rassemblant les résultats physico-chimiques.

1. Un faciès bicarbonaté calcique

A l'exception des eaux provenant des mines de charbon, la majorité des eaux analysées ont un faciès bicarbonaté calcique, typique des aquifères en roche calcaire. Pour 70 % des eaux, les bicarbonates représentent plus de 75 % des anions (exprimés en termes de quantité en réaction) et le calcium, plus de 80 % des anions. L'état de saturation par rapport à la calcite est étudié ci-dessous.

2. Magnésium, chlorure, sodium et potassium

Le magnésium est nettement moins abondant que le calcium ; seuls 10 % des échantillons en contiennent plus de 20 %. Les dolomies ne représentent donc qu'une faible part des roches karstifiées étudiées. Le rapport Ca/Mg est généralement compris entre 4 et 7.

Toutes les eaux sont assez pauvres en chlorures, sodium et potassium. A cette distance de la mer, entre 500 et 1100 km, les apports de NaCl par les précipitations sont négligeables. De plus, les roches carbonatées en contiennent très peu. Seuls quelques lits d'évaporites, dans les séries du Permien, permettent l'augmentation locale des teneurs (ex : échantillons BC 12-13-14).

3. Dioxyde de carbone (CO₂) et pH

Toutes les eaux karstiques sont très pauvres en CO₂ dissous et ont des pH relativement élevés (7,5 à 8,5). En effet, les cavités traversées par les rivières (grottes-tunnels) ont une atmosphère très pauvre en CO₂. Toutes les analyses d'air souterrain indiquent des teneurs comprises entre 0,02 et 0,04 % de CO₂, soit à peine plus qu'à l'extérieur. Des concentrations identiques ont été mesurées dans le Guizhou lors de l'expédition franco-chinoise de 1986 et dans le Hubei par l'expédition sino-belge (EK et al., 1989).

Trois raisons expliquent ces faibles teneurs :

- beaucoup de cavités sont larges et bien aérées (thermoventilation) ;
- les analyses ont été réalisées en saison froide, alors que l'activité biologique du sol était très ralentie, d'où la faible production de CO₂ ;
- la plus grande partie du karst est cultivée et donc dépourvue de végétation en automne après les récoltes.

4. Les nitrates (fig. 91)

Les nitrates constituent la forme de pollution chimique des eaux souterraines la plus largement répandue en Europe. Il est donc intéressant de savoir ce qu'il en est dans un pays assez peu industrialisé et à forte population rurale. Car c'est l'homme qui apporte au karst l'essentiel des nitrates : par les engrais azotés, le fumier, les rejets urbains ou industriels.

Les eaux échantillonnées contiennent généralement de 2 à 20 mg/l de NO₃. C'est à la fois beaucoup et peu. C'est beaucoup si on les compare à celles des karsts européens de même altitude (1300-1800 m), où les eaux en renferment moins

de 2 mg/l. Mais les montagnes européennes, au-dessus de 1000-1200 m, sont peu peuplées avec moins de 5 hb/km². On aurait donc pu craindre de trouver en Chine de très fortes teneurs en nitrates, supérieures aux normes de potabilité de l'OMS (50 mg/l), comme cela se voit dans certains endroits du Gers, du Poitou ou du Nord de la France.

En pratique, les teneurs sont plus faibles, car l'emploi des engrais chimiques est très limité. Quant aux engrais organiques, comme le fumier, le lisier animal ou humain, ils sont utilisés de manière parcimonieuse. Ainsi, presque tout le potentiel fertilisant est utilisé par les plantes ; seule une très faible partie est lessivée par les pluies et rejetée dans les eaux souterraines. Il est d'ailleurs impressionnant de voir un paysan chinois apporter à chacun de ses choux une petite louche de lisier, sans en perdre la moindre goutte !

Malgré la forte densité de population rurale, les eaux karstiques échappent ainsi largement à la pollution par les nitrates. Il en sera autrement le jour où les engrais chimiques viendront remplacer cette gestion stricte et économique du fumier.

On peut pousser l'analyse des résultats un peu plus loin, en discriminant trois catégories d'eaux souterraines : les grandes rivières qui traversent le karst, les émergences purement karstiques et les eaux de concentration.

1) Les grandes rivières drainent des bassins d'alimentation variés, où les calcaires côtoient des roches détritiques. Elles contiennent peu de nitrates : 15 % des échantillons seulement renferment plus de 6 mg/l de NO₃. (photo 26).

2) Les sources karstiques en détiennent sensiblement plus : 53 % des échantillons ont des teneurs supérieures à 6 mg/l. Le transfert des nitrates vers les eaux souterraines s'y fait donc plus efficacement que sur d'autres types de roches. Cependant, les concentrations demeurent modérées, avec une valeur maximale de 16 mg/l.

3) Le troisième groupe rassemble les eaux qui ont subi une concentration, notamment par évaporation : eaux de condensation, de gours, de suintement des fistuleuses. Elles sont encore plus chargées et c'est dans cette famille que l'on trouve les trois échantillons les plus nitrates (BC 8, 9 et 43).

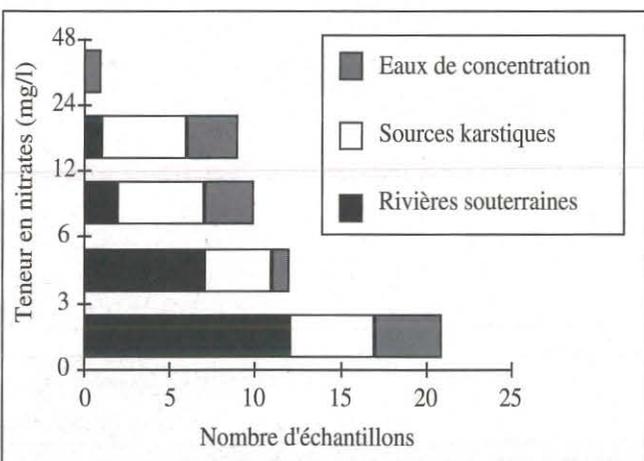


Figure 91 : Teneurs en nitrates de diverses catégories d'eaux souterraines.
Nitrate contents of different classes of waters.

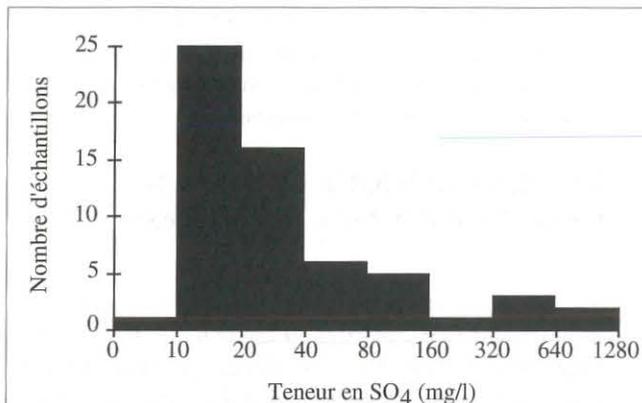


Figure 92 : Distribution des teneurs en sulfates.
Histogram of sulphate contents.

5. Les sulfates (fig. 92)

Distinguons les mesures effectuées dans les petites mines de charbon, riches en sulfures, et celles faites dans les eaux karstiques.

◊ **Dans les mines de charbon** : Le grand système hydrogéologique de Santang (Zhijin/Guizhou) se développe dans un synclinal dont le coeur est carbonaté, mais dont les marges sont formées par des séries détritiques permienues, riches en charbon et sulfures métalliques. Les sources qui jaillissent des grès et des mines de charbon ont un chimisme exceptionnel. Très acides, elles contiennent beaucoup de fer et de sulfates. Ceci résulte de l'attaque de minéraux sulfurés (pyrite), avec oxydation des sulfures en sulfates. C'est à ce phénomène que sont dues les très fortes concentrations en fer, manganèse et sulfates des échantillons BC 2, 4, 10, 12, 13, 14.

◊ **Dans les eaux karstiques** : Les eaux des karsts chinois étudiés sont relativement riches en sulfates. Elles en possèdent pratiquement toutes plus de 10 mg/l et 60 % des échantillons en contiennent plus de 20 mg/l. Ces sulfates ne sont pas apportés par les aérosols marins car l'océan est beaucoup trop loin. Deux origines sont probables, et leurs effets se cumulent : les sulfates et sulfures contenus dans la roche et le dioxyde de soufre apporté par les pluies. Dans ce dernier cas, notons que l'atmosphère est très chargée en SO₂ à cause de la combustion du charbon qui constitue, et de loin, la principale énergie pour le chauffage et la cuisine.

D'après le faciès des eaux, on constate que le gypse et les sulfures sont abondants dans les séries détritiques du Permien, et moins abondants dans le Trias carbonaté. Ils semblent rares dans les séries du Cambrien. Dans le comté de Wufeng (Hubei), la base de l'Ordovicien est relativement riche en pyrite, d'où l'existence de remarquables concrétions de gypse dans les grottes de Dadong et de Longdong (chap. 5).

6. Fer et manganèse (fig. 93)

Les eaux issues du Permien détritique sont exceptionnellement riches en fer et en manganèse. La forte acidité des eaux leur permet de conserver en solution jusqu'à 165 mg/l de fer et 7 mg/l de manganèse. Mais il ne s'agit pas d'eaux d'origine karstique.

Les eaux typiquement karstiques renferment beaucoup moins de fer et de manganèse. Néanmoins, les teneurs sont

sensiblement plus fortes que celles que l'on rencontre en Europe ; 20 % des échantillons contiennent de 1 à 4 mg/l de fer. Cela est dû à l'existence d'affleurements de roches détritiques dans presque tous les bassins-versants.

C. FACIES CHIMIQUE ET NATURE GEOLOGIQUE DES AQUIFERES

Sur le tableau 11, on a représenté la composition des eaux échantillonnées selon la position stratigraphique des aquifères. Le diagramme de Piper (fig. 94) sépare également les eaux selon le même critère. On voit que l'analyse chimique discrimine complètement les eaux du Cambrien (bicarbonatées calciques ; Ca/Mg moyen = 6,6) et celles du Permien (plus riches en sulfates et en magnésium ; Ca/Mg moyen = 4,7).

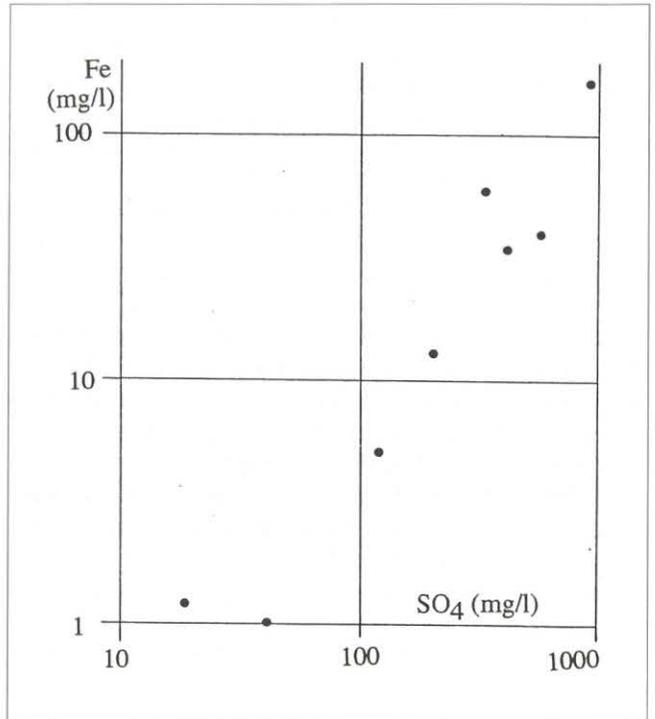


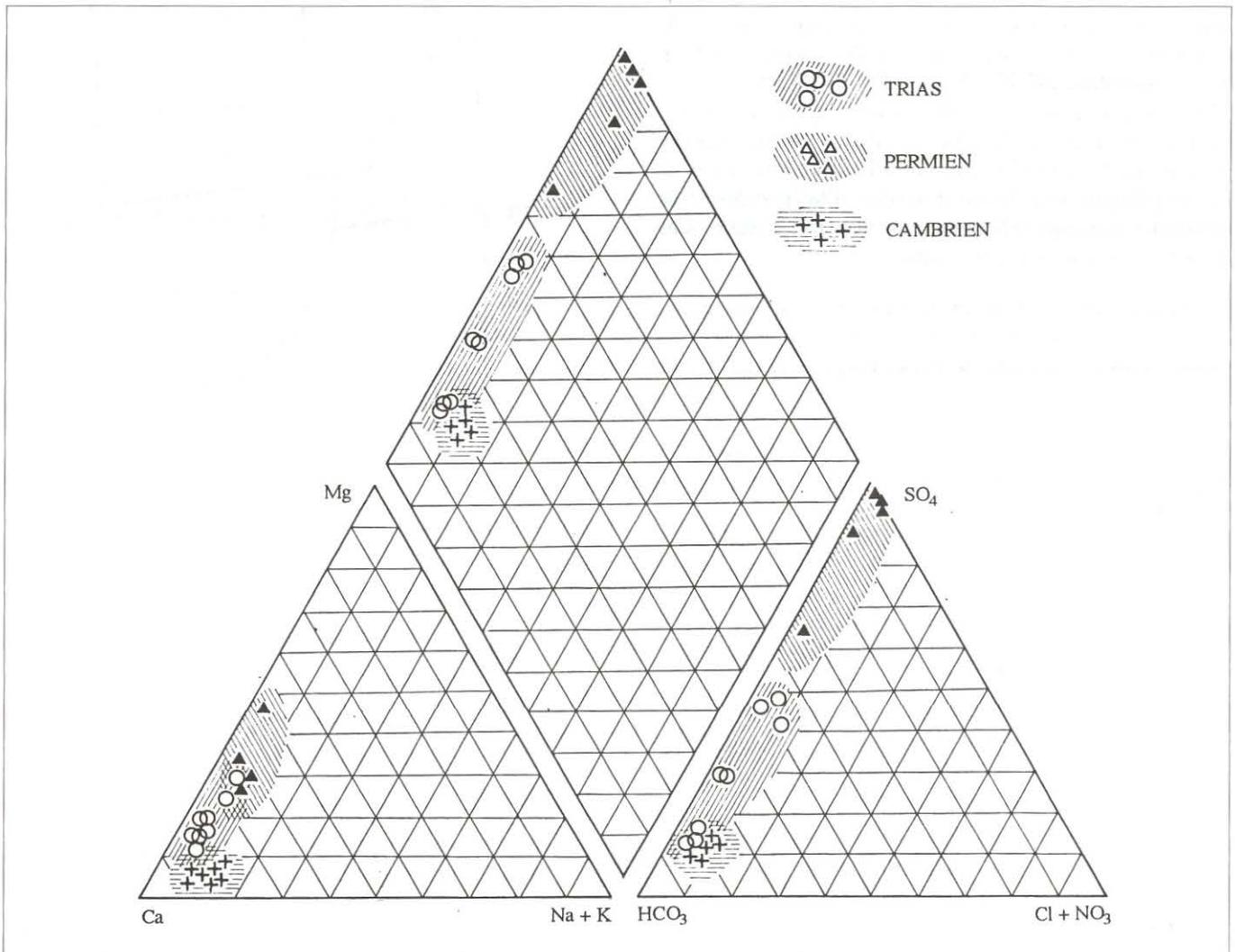
Figure 93 :
Corrélation entre les plus fortes teneurs en fer et en sulfates indiquant une origine commune : les minéraux sulfurés.
There exists a very strong link between (Fe) and (SO₄) in the aquifers of the detritic Permian.

Photo 27 : Extrémité du poljé de Zhijin (Guizhou).
Limit of the Zhijin polje (Guizhou).



Le Cambrien est donc représenté par des calcaires assez purs, alors qu'il existe d'abondantes dolomies cambriennes dans d'autres régions (ZHANG, 1989). Par contre, au niveau du Permien, ces calcaires sont associés à des formations détritiques et évaporitiques, riches en soufre, fer, manganèse et aussi magnésium. Quant aux aquifères triasiques, leurs eaux ont un faciès

intermédiaire entre celui des eaux du Permien et du Cambrien, avec plus de magnésium et de sulfates que ces dernières. Cela signifie que dans les zones étudiées, les niveaux de Trias sont plus riches en gypse et en dolomie que ceux du Cambrien, sans que les évaporites y atteignent la puissance et l'extension que l'on trouve dans le Trias européen ou méditerranéen.



pH	Concentration (ppm)										
	CO ₂	HCO ₃	SO ₄	Cl	NO ₃	Ca	Mg	Na	K	Fe	Mn

TRIAS

Moyenne	8,2	0	123	54,7	4	12	55	6,5	2,3	1,7	0,9	
Ecart type	0,1	0	12,7	24,1	0,71	5	6,9	2,01	0,5	0,7	0,3	

PERMIEN

Moyenne	5		22	402	3	15	72	23	7	2	61	4
Ecart type	2,3		39	355			35	16,9	3,7	0,5	70,6	2,6

CAMBRIEN

Moyenne		1	145	16	5	7	53	4	3	2	0,8	
Ecart type		0,4	31,7	5,15	1,28	3,1	12	1,37	2	0,6		

Figure 94 (ci-dessus) : Représentation sur un diagramme de Piper des eaux des aquifères de divers étages géologiques, qui met en évidence des ensembles bien distincts.

Piper diagram showing the different waters of various aquifers (Cambrian, Permian, Triassic).

Tableau 11 (ci-contre) : Composition moyenne des aquifères des trois grands ensembles géologiques.

Chemical composition of the waters of various aquifers (Cambrian, Permian, Triassic).

D. SATURATION DES EAUX ET TAUX D'ABLATION SPECIFIQUE

1. Deux catégories d'eaux

◇ **Les eaux sous-saturées non karstiques :** Les eaux du synclinal de Santang (Zhijin) ont acquis au contact des dépôts détritiques et charbonneux une acidité exceptionnelle. Ces eaux sont donc très agressives avec un pH compris entre 2,8 et 3,2 (échantillons BC 12, 13, 14 et PJ 14, 20). Dès qu'elles pénètrent dans les affleurements calcaires, les eaux sont neutralisées par attaque de la roche ; le pH augmente rapidement et atteint déjà 6,5 après 500 m de ruissellement sur les calcaires. Le fer précipite sous forme d'oxydes, d'hydroxydes et de carbonates, tapissant le fond du lit de la rivière d'une couche gélatineuse rousse peu appétissante !

◇ **Les eaux saturées et sursaturées des rivières karstiques :** Toutes les eaux sont à l'état de saturation par rapport à la calcite. Selon les méthodes de ROQUES et BAKALOWICZ, le delta pH, qui exprime la différence entre le pH mesuré et le pH d'équilibre, est compris entre 0,15 et 0,75 selon les stations. Tous ces échantillons correspondent à des rivières souterraines importantes (il s'agit de drains principaux, à l'exception de l'échantillon BC 82).

A l'étiage, les grandes rivières souterraines charrient des eaux sursaturées par rapport à la calcite et n'ont donc aucun pouvoir corrosif. Ceci peut s'expliquer par la relative lenteur des écoulements, qui permet aux eaux d'atteindre l'équilibre avec la roche au niveau du sol, au contact d'une atmosphère un peu plus riche en CO₂ que celle des grottes.

En crue, par contre, une partie au moins de ces rivières doit charrier des eaux agressives. En effet, comment expliquer autrement les énormes volumes excavés et l'absence de barrage de calcite ?

◇ **Evolution de la composition chimique des eaux en aval des mines de charbon :** Nous avons vu ci-dessus que les eaux qui coulent sur les affleurements de Permien à Santang (Zhijin) sont très acides, ce qui leur permet de garder en solution de fortes quantités de fer et de manganèse. On constate que cette minéralisation évolue très rapidement dès que les eaux entrent en contact avec les calcaires. Elles sont neutralisées et tendent vers un faciès karstique classique (fig. 95).

2. Le taux d'ablation spécifique

Le taux d'ablation spécifique (dissolution spécifique) correspond à la vitesse d'érosion totale, superficielle et souterraine, à l'échelle du massif. Il est délicat de l'estimer à partir des seules mesures d'étiage, alors que les eaux de crue sont vraisemblablement moins minéralisées. Nous ne donnerons qu'un ordre de grandeur. Par exemple pour :

- une pluviométrie de 1400 mm/an ;
- une lame d'eau infiltrée de 800 mm/an représentant un taux d'écoulement de 57 % ;
- une minéralisation de 50 mg/l de calcium ;

le taux d'ablation spécifique serait de 40 mm/millénaire soit de 40 m³/km²/an.

A l'exception de la rivière de Santang (supra), on ne constate pas d'évolution simple et claire de l'état de saturation

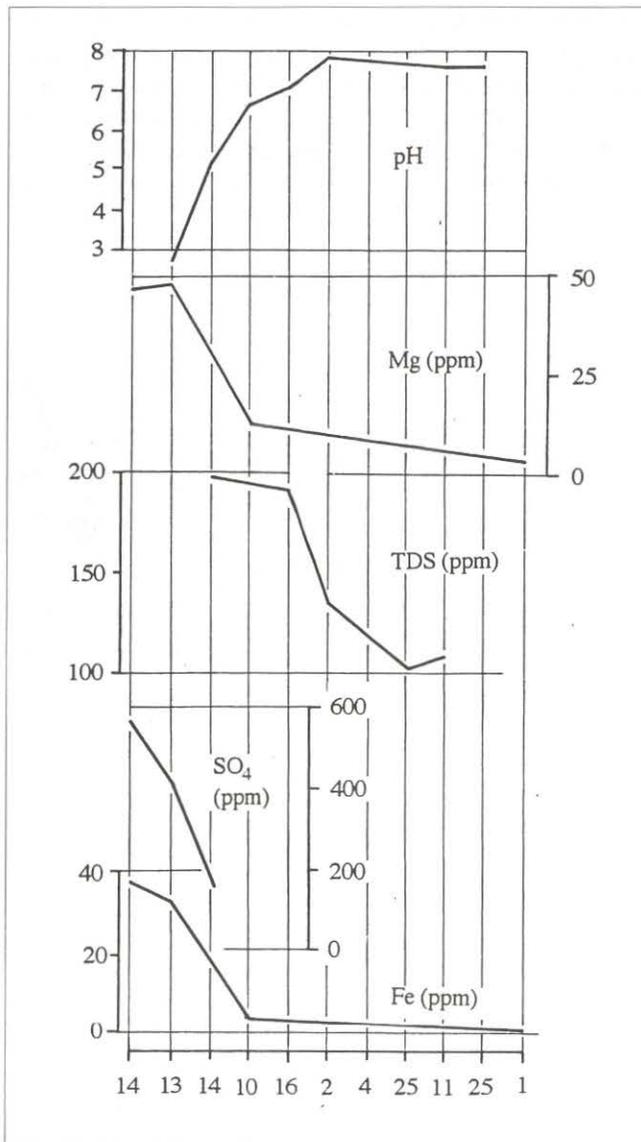


Figure 95 :
Evolution des eaux en aval des mines de charbon (Permien) dans le synclinal de Santang (Zhijin, Guizhou).
Chemical variation below the coal mines (Permian) at Santang syncline (Zhijin, Guizhou).

des eaux, de l'amont vers l'aval. Dans les deux rivières où nous avons échelonné les prélèvements d'amont en aval, les delta pH varient de 0,1 à 0,3 unité d'une station à l'autre, sans tendance générale.

Les eaux sursaturées n'ont pas pour autant de très fortes charges en bicarbonates ou en calcium. En pratique, elles sont plus pauvres en CO₂, HCO₃ et Ca que celles des karsts méditerranéens par exemple. Mais elles sont quand même sursaturées, en contact avec une atmosphère souterraine aussi pauvre en CO₂ que l'atmosphère extérieure.

E. REMARQUE SUR LES EAUX DE CONDENSATION

L'échantillon BC 43 est particulier. Il s'agit d'une eau de condensation recueillie goutte à goutte dans une coupole de corrosion localisée à l'entrée de la grotte-résurgence de Longwandong (Wuxi/Sichuan). Elle est très riche en nitrates, en

calcium et probablement en chlorures. En revanche, sa teneur en sulfates n'est pas très forte. Un tel échantillon est indicatif des gaz et poussières de l'atmosphère. Nous pensons y trouver beaucoup de sulfates, car les paysans chinois se chauffent et font la cuisine avec du charbon riche en soufre qui dégage de très irritantes fumées. Celles-ci sont riches en dioxyde de soufre (SO₂), le gaz responsable des pluies acides dans les régions industrielles du monde entier.

Par contre, l'échantillon 38 prélevé dans une grotte correspond à de la condensation interne ; il ne montre aucune particularité chimique.

II. ETUDE DE LA QUALITE BACTERIOLOGIQUE DES EAUX KARSTIQUES

Bernard Collignon

A. ECHANTILLONNAGE ET METHODES ANALYTIQUES

◊ **Echantillonnage** : Nous nous sommes surtout intéressés aux grandes rivières souterraines qui constituent la principale ressource en eau de ces régions (Gebihe, Dadong, Daxiaocaokou). C'est là qu'ont été réalisées les principales explorations en 1989. Dans ces rivières, on a prélevé plusieurs échantillons, échelonnés le long de l'écoulement, pour apprécier l'évolution de la contamination lors du transit souterrain. Pour disposer de points de comparaison, on a également échantillonné quelques points d'eaux susceptibles d'être moins pollués : gours, petites sources, eaux d'infiltration.

◊ **Méthodes analytiques** : Pour déterminer si une eau est biologiquement polluée, on utilise comme indicateur la présence de bactéries coliformes. Ces germes ne sont pas directement pathogènes, mais ils constituent un très bon indicateur de pollution fécale, car ils font partie de la flore intestinale des mammifères. La plupart des maladies liées à l'eau (dysenterie, choléra, typhoïde, poliomyélite, hépatite, parasitoses) sont en effet directement causées par la contamination d'origine fécale des eaux de boisson.

Pour les besoins de l'analyse, un certain volume d'eau est filtré à travers une membrane poreuse (0,5 micron) qui retient les bactéries. Cette membrane est mise en contact avec un milieu nutritif et mise en culture pendant 24 heures à 35 °C. Chaque bactérie donne naissance à une colonie de millions d'individus, visible à l'oeil nu. On procède alors au dénombrement des colonies.

Pour les besoins de l'expédition (peu d'encombrement, peu de poids), nous avons utilisé des échantillonneurs complets de 1 ml (filtre + milieu de culture) fabriqués par la société MILLIPORE (milieu TERGITOL TTC). Les échantillons sont placés dans une enceinte isolée (boîte en polystyrène expansé), périodiquement rechargée d'eau à 35°C. La température ainsi obtenue oscille entre 35 et 30°C. Un test préliminaire de la méthode, effectué par le laboratoire des eaux ANJOU-RECHERCHE, a montré que de telles oscillations influent peu sur le résultat final.

B. RESULTATS

Sur le tableau 12 et la figure 96, on constate que la majorité des eaux échantillonnées présentent de forts taux de contamination (de 1 à 22 coliformes pour 1 ml dans 2/3 des échantillons). Elles seraient en grande majorité considérées comme non potables selon les normes internationales (l'OMS fixe la norme à 0 coliforme fécal - thermotolérant - et 2 ou 3 coliformes au total et occasionnellement pour un échantillon de 100 ml).

Si cette forte pollution biologique n'est pas vraiment une surprise pour les grandes rivières souterraines, elle est plus inquiétante (et un peu déroutante) en ce qui concerne les petites sources où nous espérions trouver des eaux moins contaminées en raison d'un long séjour souterrain.

Quant aux rivières de surface, elles présentent des taux de contamination énormes, soit de 50 à 200 fois plus que les normes admises dans les pires conditions d'hygiène publique : celles des camps de réfugiés. De plus, on n'observe pas de diminution sensible de la contamination au cours du transit souterrain.

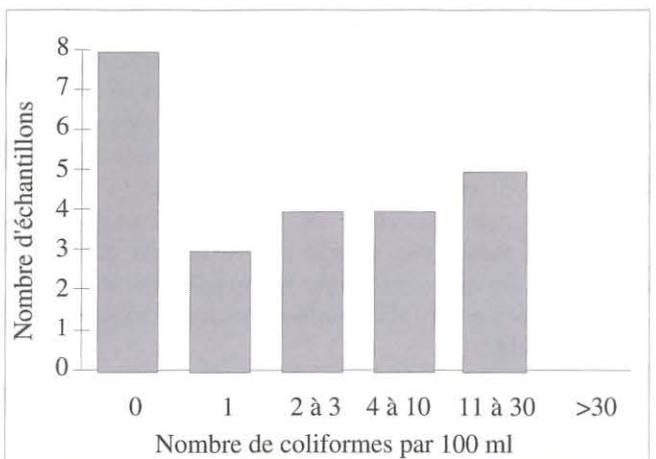


Figure 96 : Contamination en coliformes des échantillons d'eau. Coliform contamination of water samples.

C. CONCLUSIONS

1. la méthode employée

Elle est bien adaptée aux conditions d'une telle expédition, où chaque gramme est compté. Le matériel pèse moins de 1 kg et s'est révélé suffisamment robuste. Sa manipulation est aisée, même sous terre, et ne demande aucune formation particulière. C'est donc une méthode expérimentale fiable, tout en restant à la portée des spéléologues de terrain.

La précision des résultats est cependant limitée :

- par le volume échantillonné (1 ml), insuffisant pour les eaux de relativement bonne qualité (le résultat de 0 coliforme dans un échantillon de 1 ml peut correspondre à des eaux sans coliformes, mais aussi à des eaux où un échantillon de 100 ml en contiendrait plusieurs dizaines) ;
- par le contrôle insuffisant de la température d'incubation, qui permet le développement de tas de germes parasites, qui rendent plus difficile la lecture des filtres.

Pour ces deux raisons, nous envisageons à l'avenir d'emporter un matériel de filtration plus complet, permettant de traiter de 10 à 100 ml d'eau et un petit dispositif de régulation de température pour l'incubateur. L'ensemble pèse alors environ 2 kg.

2. Les taux de contamination observés

Les régions rurales visitées sont très peuplées. La densité y est comparable à celle des régions les plus peuplées d'Europe (300 hb/km²), ce qui est exceptionnel pour un contexte hydrogéologique de ce genre, très vulnérable à la pollution bactérienne (d'habitude, les régions karstiques sont peu peuplées). Dans ces conditions, un fort taux de pollution fécale est compréhensible.

Par contre, on aurait pu attendre des valeurs plus faibles, du fait que la plupart des matières fécales ne sont pas rejetées directement dans les eaux superficielles, comme cela se pratique encore trop souvent en Europe. En Chine, ces substances riches en azote sont soigneusement récupérées pour être utilisées comme engrais.

En suivant le cours des grandes rivières souterraines, on ne constate pas de nette diminution du taux de contamination, comme cela se voit souvent pour les eaux superficielles, dès que l'on s'éloigne de la source de pollution. Les rivières que nous avons suivies ont des transits souterrains trop rapides (quelques heures ou quelques jours) pour que l'auto-épuration (par oxydation) soit efficace. D'ailleurs, la grande taille de ces rivières elle-même constitue un facteur défavorable pour l'oxydation, puisqu'elle signifie que le rapport surface au contact de l'air/volume est faible. Quant au transit souterrain, il soustrait ces eaux à l'action bactéricide des rayons ultraviolets du soleil.

Dernier facteur aggravant, la présence de grosses colonies de chauves-souris qui rechargent l'eau en matière organique et fécale tout au long de son cours. (photo 28).

3. Conséquence pour l'hygiène de l'eau

Avons-nous été pour autant très malades ? Avons-nous souffert des sempiternelles "chiasses" qui clouent au lit les expéditions spéléologiques dans les pays tropicaux ? Non, car il existe en Chine une pratique traditionnelle très efficace pour stériliser l'eau de boisson : elle est systématiquement bouillie et conservée à haute température dans des bouteilles thermos. C'est une mesure de prophylaxie indispensable. Nous l'avons souvent doublée d'une bonne chloration de l'eau conservée dans les gourdes.

Photo 28 (ci-contre) :

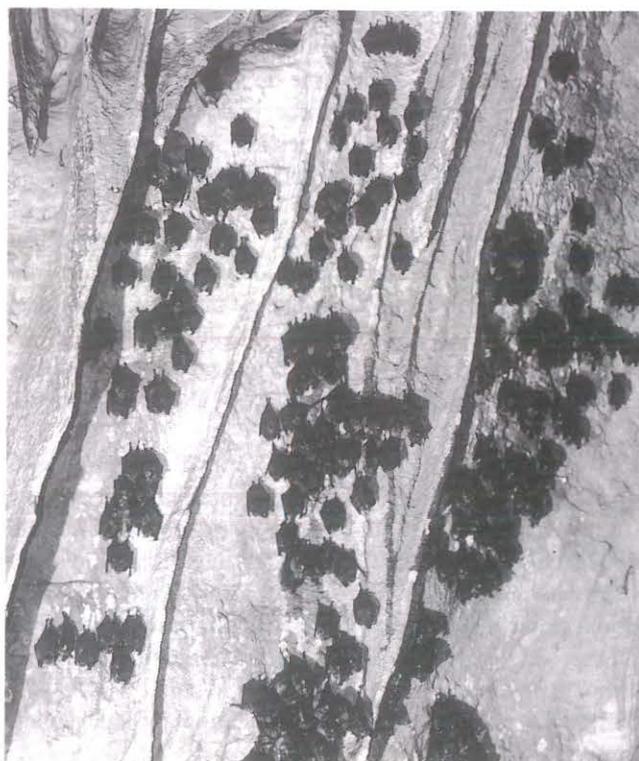
Colonie de chauves-souris dans la grotte de Jinshidong (Yichang, Hubei). L'abondance des chiroptères dans les cavités de Chine du Sud contribue à aggraver la contamination des eaux souterraines par un apport supplémentaire en matières organiques et fécales.

Bats in Jinshidong cave (Yichang, Hubei). These important colonies of Chiroptera bring more organic and faecal matters, and contribute to the water pollution.

N° Station	CT 100 ml	BT 100 ml
LIANGCHA (ZHIJIN)		
2 sur Permien	20	400
3 2000 m en aval	2	50
5 entrée grotte amont	7	80
6 amont du confluent, côté Liangcha	5	60
7 amont du confluent, côté Yijiehe	11	150
GEBONG (ZIYUN)		
22 affluent, à 500 m de l'entrée	3	150
23 affluent, à 1000 m de l'entrée	12	300
24 affluent, 50 m amont confluent	29	500
25 700 m aval confluent	7	2000
26 rivière, 50 m amont confluent	18	500
27 rivière princip. à l'entrée	1	500
GEBIHE (ZIYUN)		
33 résurgence	0 ?	?
34 gours grande salle	6 ?	?
35 siphon	3 ?	?
36 gours grande salle	1 ?	?
LONGWANGDONG (WUXI)		
37 résurgence	1	40
39 stalactite très active	0	60
41 siphon	0	100
42 stalactite active	0	15
45 grosse résurgence amont cavité	2	60
DADONG (WUFENG)		
81 affluent amont porche	0	40
82 affluent incrustant sous porche	0	25
83 rivière principale	0	9
84 gros affluent en rive gauche	0	11

Tableau 12 :

Analyses bactériologiques des eaux. Résultats exprimés en coliformes totaux (CT) et bactéries totales (BT) pour 100 ml.
Bacteriological analysis of waters. Results in total coliforms (CT) and total bacteria (BT).



n°	station de prélèvement	temp °C	CO ₂ tot ppm	CO ₂ agr ppm	pH	TDS ppm	TH H°	Ca ppm	HCO ₃ ppm	Cl ppm
SANTANG (ZHJIN-GUIZHOU)										
14	Rivière Ertang Qingjiao	15,5	12		5,17	200	11,3	54		
20	"	16,7		7	4,48	220	11,7	52	3,5	
16	Rivière du côté du pont	16,7	6		7,17	194	9,2	49		
3	Rivière à la résurgence	14	5		7,75	101	5,7	41		
15	"	13,7	9		7,72	100	10,7	41		
21	"	16,4	9		7,46	107	5,9	40	131	
1	Longtangdong, entrée résurgence	17	4		7,44	124	8,4	55		
2	"	13,9	4		7,76	129	11,2	45		
17	"	15,6	5		7,91	136	8,4	49		
22	"	16,4		0	7,57		8,3	47	89	
4	Ponor de Santang, entrée résurgence	14,4	5		8,08	100	7,9	36		
18	"	14,7	4		8,3	80	5,6	36		
23	"	16,4	4	0	8,08	94	5,5	34	100	0
12	Source karstique de Dashuigou	17,4		0	7,54	85	4,9	30	128	
19	"	13,5	6		7,54	89	5,3	32		
24	"	16,4	6	3	7,48	90	4,9	33	103	
25	Résurgence de Wangjiachong	17,8		0	7,58	117	6,8	42	107	
11	Résurgence de Zhoujiazai	17,6		1	7,63	108	5,7	38	104	
YIJIEHE (ZHJIN-GUIZHOU)										
6	Rivière Niujiaochong	15,3	5		8,15	138	10,3	48		
5	Rivière Liangchahe	15,5	5		7,97	148	8,1	49		
8	Eau sortant d'une fissure dans les pelites	18	7		7,82	158	8,9	53		
7	En aval du barrage de Xiaotuoluo	16,7	5		8,18	170	14,7	58		
10	Rivière de la station hydroélectrique	16,8	8		8,22	180	11,4	58		
13	"	17,4		0	8,18	171	9,7	49	124	
9	Rivière de Daxiaocaokou	17	4		8,22	179	10,1	59		
27	Résurgence de la Yijiehe à Xiazai	21,8		0	8,19	179	9,9	61	125	
26	Bassin à Dajidong	22,5		0	7,94	144	13	54		
GEBIHE (ZIYUN-GUIZHOU)										
28	Perte de Gebong	21,8	4	0	8,34	118	10,2	51	207	
30	"	14,8		0	8	128	7,8	50	141	
29	Perte de la Gebihe	20,8	3	0	8,24	125	11,8	47	191	
31	"	14,7		0	8,13	119	7,2	46	127	
33	Affluent nord de la rivière souterraine	14,8		0	7,5	133	7,7	50	156	
32	Résurgence de la Gebihe	14,7		0	7,64	159	9,2	64	202	
WUXI (SICHUAN)										
34 F	Ponor de Longwangmiao	11	9		8,34	180				
34L	"	12,6		0	8,08	180	10,3	56	169	
35L	canalisation dans le tunnel	12,6		0	8,18	158	9,5	59	169	
36L	Résurgence Sunjiawan à Shanghuang	12,5		0	8,04	158	9,9	59	181	
42L	Rivière souterraine de Xinlongdong	12,5		2	8,22	101	5,4	38	94	
44 F	Source à Yudongxi	15,6	13		7,4	199				
44L	"						12,5	74	212	
39 F	Source karstique de Fengdong à Tanmuping	12,5	6		7,8	114	6,6	44		
41 F	Résurgence rivière souterraine de Tanmuping	12,6	8		7,44	179	10,1	69		
43L	Résurgence de Longdong à Daguanshan	12,6	2	2	8,13	95	5,1	38	94	
37L	Résurgence de Fengdong à Shuangxi	12,4	5		7,53	202	14,5	64	131	
38 F	Rivière à Tanmuping Fengdong	11,8								
40 F	Rivière au sud de Tanmuping	12,2	3		7,97	147	7,9	54		
WUFENG (HUBEI)										
50L	Dadong, eau vadose à l'entrée	6,6		0	8,05	148	8,4	59	153	
45 F	Dadong, eau vadose à l'entrée	8,6	7		8,02	144	9,1	56	143	
46 F	Dadong, rivière souterraine	11,4	4	0	7,91	130	7,9	50	130	
47 F	Dadong, rivière souterraine	9,7	7		8,02	128	7,7	46		
48 F	Dadong, rivière souterraine	9,4	6		8,11	125	7,2	47		
49 F	Dadong, affluent rivière souterraine	9,3	7		8,2	120	6,9	46		
51L	Dadong, siphon rivière souterraine	7,4		0	7,8	99	5,7	38	109	
55L	Yanzidong, rivière souterraine	9,6		0	7,99	83	4,8	30	87	
54L	Yanzidong, lac souterrain	8			7,92		5,6	40		18
52L	Longdong, lac souterrain	8,6	0		8,02	84	4,8	31	67	
53L	Longdong, eau tombant dans lac souterrain	9,1			8,14	99	5,8	40	104	4,7
56 F	Jiangjundong, eau tombée du plafond	10,9				116				
56L	"	9,8		0	8,36		7,4	38	134	7
57 F	Jiangjundong, source fissurale	8,4	4	0	8,1	120	6,5	42	134	7
57L	"	9,9		0	8,06	120	6,7	43	125	3,5
58 F	Tanghuangdong, source fissurale	8	6		8,44	132	7,9	41	158	3,5
59L	Tanghuangdong, gour	9,6		0	8,33	163	10,5	47	177	
61L	Tanghuangdong, lac	8,6		4	8,06	132	7,5	38	143	3,5
60L	Dongxitiankeng, écoulement vadose au fond	10,1		0	8,1		7,4	38	133	4,5
62L	Dongxitiankeng, écoulement vadose à l'entrée	8,4		0	8,3	129	7,6	48	148	3,5
63L	Fissure englacée			8	7,69	127	8,4	32	118	52,7
64 F	Shangbaiyiping, cours d'eau	10,4	5		8,41	109	8,6	42	118	3,5
HEFENG (HUBEI)										
65 F	Rivière Loushuihe	11,4	5		8,38	88	5,6	34	99	3,5
66L	Yinquandong, écoulement dans conduite forcée	12,4		0	7,61	117	6,7	44	127	4,5
67L	Cedong, source taiping près entrée	13,8			7,45	152	9,6	55	177	4,5

Tableau 13 :
Résultats des analyses physico-chimiques effectuées sur le terrain (octobre-décembre 1989).
Results of physico-chemical analysis in the field during the dry season (october-december 1989).

GUIZHOU	Zhijin	n° Station	Type	Débit l/s	Localisation précise	temp. °C	pH	CONCENTRATION(ppm)											
								CO ₂	HCO ₃	SO ₄	Cl	NO ₃	Ca	Mg	Na	K	Fe	Mn	
Pingtang	SANTANG	1 Santang	résurgence	3000	aval du synclinal					695		5	36	2,7	2,1	1,8	1,4	<	
		8 Ganlaodong	flaques	0	dans argile de la grotte	11,4	7,81	1	87	40	2,5	21	43,5	2,15	1,6	0,6	<	<	
		9 Ganlaodong	microgours	0	cascade de concrétions	11,3	7,75	1	107	17	2,5	21	49	2,6	1,9	1,2	1,2	<	
		10 Santang	rivière	50	500 m aval limite calcaire	16,7	6,75		18	120	2,5	<	50,5	12,5	5,8	2,3	5	1	
		11 Santang	source	1	100 m amont de 10	13,9	7,54		90	14		15	36	14,9	2,2	1,8	<	<	
		12 Santang	suintem. mine	0,1	petite mine abandonnée	16,1	3,26		0	900			128	44	9	2,8	164	6,8	
		13 Santang	rivière	20	rivière principale à côté de 12	15,8	2,8		0	410			79	22	12	3,1	34	2,8	
		14 Santang	rivière	2	rivière affluente à côté grande mine		3		0	565			66	34,5	5,4	2	39	5,2	
	Ziyun	GUANZHAI	2 Liangchahe	rivière	200	amont, sur Permien	15,2	8,21	1	132	201	5	<	54,5	7,7	1,5	2,6	12,8	1,4
			3 Liangchahe	rivière	300	2 km aval point 2, sur Trias	15,4	7,91	2	134	43	3,5	<	54	7,9	1,9	0,8	0,6	<
			4 Liangchahe	source	0,2	rive gauche, amont grotte, incrustante				110	334		5	50	1,2	1,1	1,2	59	2,2
			5 Liangchahe	rivière	300	entrée amont traversée	16	8,36	0	132	41	3,5	<	50,5	7,45	2,5	0,8	1	<
			6 Liangchahe	rivière	300	confluent côté Liangchahe	16,1	8,15		132	46	3,5	<	54	7,8	1,7	1,8	0,6	<
			7 Yijiehe	rivière	2000	confluent côté Yijiehe	16,8	8,01		105	88	5	6	60	6,85	3,3	1	<	<
			15 Daxiaocaokou	source	0,1	sur chemin résurgence					29		15	57	2,95	1,7	1,8	<	<
			16 Daxiaocaokou	résurgence	4000	principale système		8,19		125	88		18	64	7,35	2,6	1,6	<	<
			17 Daxiaocaokou	rivière	20000	où se jette Daxiaocaokou					36		7	56	8,2	2,3	3,1	<	<
			18 Zhijin	source	5	très claire, fond du poljé principal					13		<	34,5	1,45	0,9	1,4	<	<
Ziyun	GEBIHE	30 Pingtang	résurgence		dans poljé					14		4	76	3,1	1,7	0,9	<	<	
		31 Pingtang	résurgence		du poljé					14		<	65,5	7,05	2	1,4	<	<	
		32 Pingtang	réservoir		barrage dans grotte					13		15	80,5	5,8	1,9	2	0,8	<	
		19 Gebong	rivière	500	1 km amont perte affluent	20,6	8,02	1	152	22	3,5	4	56	4	1,4	1,8	<	<	
		20 Gebong	gours	0,01	rive droite affluent					18		22	74	1,69	18	7,8	0,9	<	
		21 Gebihe	rivière	5000	amont perte		8,3		138	26		4	47,5	3,9	1,5	1,3	<	<	
		22 Gebong	rivière sout.	500	500 m aval perte affluent	18,6	7,99	4	142	26	2,5	4	55	2,1	1,2	2,5	<	<	
		23 Gebong	rivière sout.	500	1000 m aval perte affluent	18,7	7,76		137	46			69	5,2	2,1	0,9	2	<	
		24 Gebong	rivière sout.	500	50 m amont confluent, affl.	19,4	7,77	3	134	38	2,5		45	5,2	2,6	1,5	2,6	<	
	Wuxi	LONGWANGDONG	37 Longwangdong	résurgence	5	sortie au jour	14,8		1	182	34		10	55	6,2	3		<	<
			38 "	condensation	0	sur stalactites								50,5	17	1,8	1,7	<	<
			39 "	stalactite	0,05	100 m aval siphon	15,4		1	113			8	48	7	3	1	4	<
			40 "	rivière sout.	5	100 m aval siphon	15		1	182	15		10	53	6,4	3,5	1,7	<	<
			41 "	rivière sout.	5	siphon terminal					14		12	62,5	4,8	2,3	1,2	<	<
			42 "	stalactite	0,02	plafond entrée grotte	14,2			90	14		4	41	3,3	2,6	1,9	<	<
			43 "	condensation	0	entrée grotte					14		46	210	4,2	6,3	3,4	<	<
			44 "	rivière	100	en amont grotte et station 45	11			161	115		7	62	13,8	6,2	2,1	<	1
			45 "	résurgence	20	opalescente, dans lit galets rivière 44	14,2		2	174	23		6	30	8,4	1,9	2,4	<	<
			Wufeng	AUTRES GROTTES	46 Fengdong	cascade		sortant grotte pour filer vers tunnel					14		<	78	10,1	2,8	2,3
47 "	perte				perte du poljé					23		5	46	7,8	2,5	2,2	<	<	
48 Fengdong	bassin				grotte face show cave					18		8	68	5	14	2,5	<	<	
49 Fengdong										21		4	72	4,4	16	2,6	1	<	
51 "										15		9	40	2,3	2,8	3,6	<	<	
52 "										14		15	40	2,6	2,4	3	<	<	
53 "										11		6	33	2,4	1,4	1,7	<	<	
58 "	résurgence	10			200 m alt, dans les gorges					20		<	50	4	2	<	<		
Wufeng	HUBEI	60 "	émergence	50	1200 m alt, est de Wuxi					9,4		<	35	1,8	2,6	3	<	<	
		61 "	émergence		idem, aval point 60 après 6 km	12,6				31		<	47	4,8	4,1	3	<	<	
		62 "	source	1000	200 m alt, source est du synclinal					50		4	71	8,9	4,9	1,3	<	<	
		59 Dadong	flaque	5	aval perte	14				11			44	3,6	1,5	2,3	0,8	<	
81 Dadong	rivière sout.	1	affluent avant porche	11,8		1	167	25	4,5	5	61	5,8	2,4	1,8	<	<			
82 Dadong	cascade	1	droite porche	7,2	8,02	2	198	18	7	12	70	4,2	0,9	3,1	<	<			
83 Dadong	rivière sout.	8	500 m aval perte	9,3	8,02	1	138	11	4,5	4	40	3,7	3	1,6	<	<			
84 Dadong	rivière sout.	2	affluent	8,8		1	123	14	4,5	7	51	4,4	3,2	2,1	<	<			
85 Dadong	cascade	0,5	affluent plafond	8		1	121	16	3,5	8	42	2,6	1,9	1,2	<	<			
86 Dadong	cascade	1	affluent principal	7		1	120	20	3,5		64	6,6	7,1	2,6	<	<			

Tableau 14 :
Composition hydrochimique des échantillons (mesures effectuées au laboratoire d'hydrochimie d'Avignon).
Hydrochemical characters of water samples (analysis : Hydrogeology laboratory of Avignon).

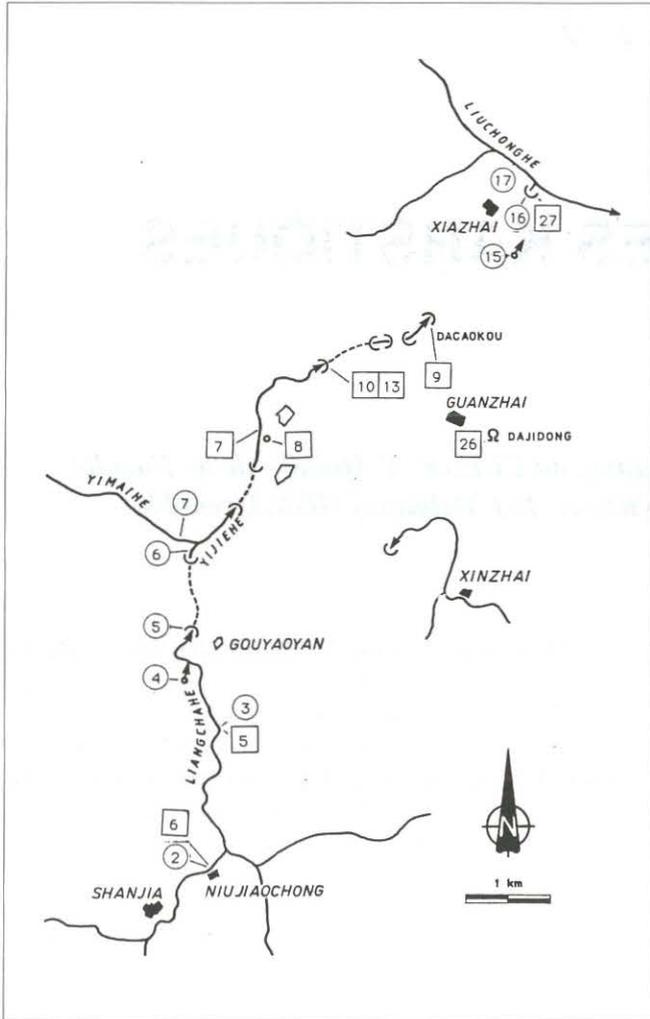


Figure 97 (ci-contre) :
 Localisation des prélèvements d'eaux dans la zone de Daxiaocaokou, synclinal de Guanzhai (Zhijin, Guizhou). (cf. chap. 1).
 Localization of water samples in Daxiaocaokou area, Guanzhai syncline (Zhijin, Guizhou). (cf. chapter 1).

Figure 98 (ci-dessous) :
 Localisation des prélèvements d'eaux dans le système synclinal de Santang (Zhijin, Guizhou). (cf. chap. 1).
 Localization of water samples in the Santang syncline system (Zhijin, Guizhou). (cf. chapter 1).

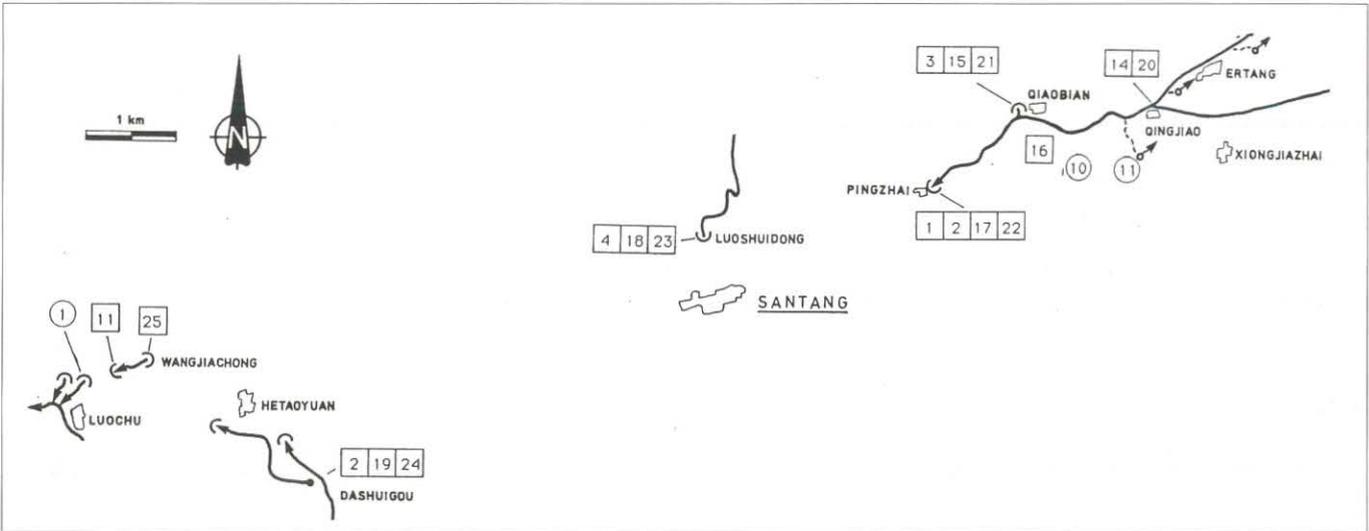
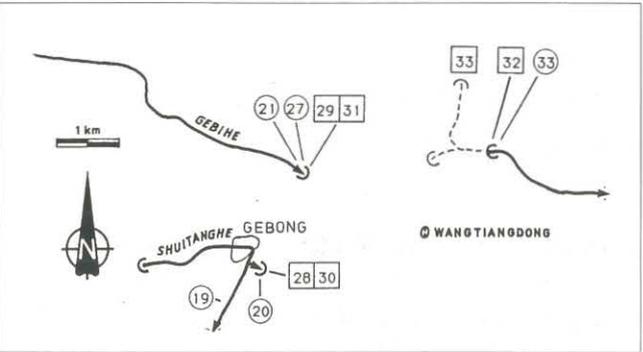


Figure 99 (ci-contre) :
 Localisation des prélèvements d'eaux dans le système de la Gebihe (Ziyun, Guizhou). (cf. chap. 2).
 Localization of water samples in the Gebihe system (Ziyun, Guizhou). (cf. chapter 2).



LES REMPLISSAGES KARSTIQUES

— Richard MAIRE

Avec la collaboration de l'Institut de Géologie de Beijing, du CERAK (Y. Quinif) de la Faculté Polytechnique de Mons (Belgique), de S. Pomel (CNRS) et J.-J. Delannoy (IGA, Grenoble)

RESUME :

Les remplissages karstiques étudiés sont : les concrétionnements (spéléothèmes et travertins), les dépôts détritiques indurés (conglomérats) et la grande séquence détritique souterraine de Dadong (Wufeng/Hubei). Les spéléothèmes des karsts subtropicaux de Chine sont très développés dans les réseaux fossiles étagés. Ils constituent des enregistreurs du milieu. Les morphologies (ex : calcites colonnaire, saccharoïde engrenée, en mosaïque) et structures cristallines (ex : structures microstromatolitique, peloteuse, oncolitique) sont des indicateurs qui renseignent notamment sur les conditions de l'infiltration. Les contaminations détritiques (grains de sols, hydroxydes, poussières éoliennes) sont des indicateurs du soutirage des sols, c'est-à-dire de déstabilisation de la couverture végétale et pédologique (rhéxistase). La distribution des 58 datations isotopiques U/Th montre un concrétionnement abondant au cours du Pléistocène supérieur, notamment pendant l'Eemien. Toutefois, il semble y avoir une formation relativement continue des spéléothèmes.

La consolidation des remplissages détritiques (brèches, poudingues) permet leur conservation. L'étude pétrographique des éléments du squelette renseigne sur l'origine des matériaux et le bassin-versant d'origine. Les ciments calcitiques sont variés : travertineux (touffes de cristaux aciculaires), saccharoïde engrenée, micritique... Les conglomérats fluviaux, situés à différents niveaux (ex : Daxiaocaokou/Zhijin-Guizhou), sont des témoins de l'enfoncement de la karstification avec la surrection tertiaire.

La séquence rythmée de Dadong, épaisse de 20 à 25 m, est localisée dans un niveau fossile de la grotte-perde de Dadong (+ 100 m) (Wufeng, Hubei). Elle présente une alternance de lits de graviers et de couches de limons varvés. Cet ensemble sédimentaire est un enregistrement du régime hydroclimatique régional et témoigne d'une rupture climatique s'étalant sur plusieurs siècles ou plusieurs millénaires. L'abondante coloration rouge de la matrice des graviers et des varves — hydroxydes provenant de l'altération pédologique de l'Ordovicien schisteux — indique une érosion et un soutirage des sols. Ce processus a dû être initié par un climat aux saisons sèches et humides très contrastées.

Mots-clés : remplissage karstique, concrétionnement, spéléothème, travertin, datation U/Th, dépôt détritique, conglomérat, brèche, limon, séquence, varve, enregistreur, indicateur, sol, altération, érosion, rupture climatique, paléoclimat.

摘要：洞穴沉积物

喀斯特沉积物包括洞穴钙质沉积及钙华、固结的碎屑沉积以及暗河碎屑沉积等。中国亚热带喀斯特区在不同时期洞穴中的钙质沉积物十分重要，因其是环境的记录。其形态及结晶结构表明渗透条件，碎屑物质的含量则显示出土壤侵蚀作用，这可表明土壤及植被变化。58个U/Th同位素测年资料表明晚更新世、特别是晚更新世初期是重要的

洞穴钙质沉积物发育期。这类沉积建造似乎是不间断的。并为碎屑沉积的固结而保存下来。碎屑沉积岩石学研究表明沉积物成因及原始水文网，碳酸钙胶结物种类繁多。

五峰大洞中具厚20-25m，由砾石层和纹泥层组成的韵律层、记录了区域水文气候动态。

ABSTRACT: THE KARST SEDIMENTS.

The karst deposits studied are concretions (speleothems and travertines), lithified detritic deposits (conglomerates) and the large underground detritic series of Dadong (Wufeng/Hubei). The speleothems of the subtropical karsts of China are very important in the stepped fossil systems. They are the environment recorders. Morphologies (e.g. columnar, meshed saccharoid, mosaic calcites) and

crystalline structures (e.g. microstromatolitic, balled, oncolitic) especially provide information about the infiltration conditions. The detritic contaminations (grains of soil, hydroxides, eolian dusts) provide information about the soil withdrawals, i.e. the unsteady of the pedologic and vegetal cover ("rhexistase"). The distribution diagram of 58 U/Th isotopic datings shows an important concretion phase during the upper Pleistocene, especially during the Eemian. However, it seems that the speleothems formation has been relatively unceasing.

Some cave sediments are preserved by the consolidation of the detritic fillings (breccia, pudding stone). The petrographic study of the skeleton parts provides information about the origin of the deposits and about the original watershed. The calcitic cements are varied, e.g. travertinous (tuffs of acicular crystals), meshed, micritic saccharoid, etc. The fluvial conglomerates, located on several levels (e.g. Daxiaocaokou/Zhijin-Guizhou), provide information about the karstification hollow during the Tertiary uplift.

The rhythmic series of Dadong (Wufeng county), 20 to 25 m thick, is located in the fossil level of the Dadong sinkhole-cave (+ 100 m). It shows an alternation of gravel beds and layers of varved loams. This sedimentary site is a record of the regional hydroclimatic regime and testifies to climatic alterations lasting several centuries or millenias. The important red colouring of the gravels and varved seams (hydroxides resulting from the pedologic alteration of the schistous Ordovician) testifies to soil erosion and withdrawing. This process must have been triggered off by a climate with very contrasted dry and wet seasons.

Keywords : Karst fillings, speleothem, travertine, U/Th dating, detrital deposit, conglomerate, breccia, loam, clay, rhythmic sedimentation, recorder, indicator, soil, alteration, erosion, climatic change, paleoclimate.

ZUSAMMENFASSUNG: DIE KARSTABLAGERUNGEN.

Die untersuchten Karstablagerungen sind Sinterbildungen (Tropfsteine, Kalktuffe), konsolidierte detritische Sedimente und eine umfangreiche detritische Schichtung in der Dadong (Wufeng, Hubei). Die Tropfsteine des subtropischen Karstes von China sind wichtige Zeugen der Umweltbedingungen in den gestuften fossilen Höhlensystemen. Ihre Morphologien (z.B. säulenförmige, würfelige, körnige Kalzite) und kristallinen Strukturen (mikrostromatolithisch, kugelig, onkolithisch) geben Hinweise auf Einsickerungsbedingungen. Ihre detritischen Verunreinigungen (Bodenbestandteile, Hydroxide, äolische Stäube) weisen auf Bodenabtragungen hin und damit auf Wandlungen der Boden- und Pflanzenbedeckung ("Biostase", "Rhexistase"). Das Verteilungsdiagramm der 58U/Th Daten zeigt eine bedeutende Sinterbildungsphase während des Oberen Pleistozäns, besonders im Eem. Die Sinterbildung scheint jedoch relativ gleichmäßig abgelaufen zu sein.

Karstablagerungen sind auch als konsolidierte detritische Füllungen (Brekzien, Konglomerate) erhalten. Die petrographische Untersuchung ihres Gerüsts gibt Auskunft über die Herkunft der Ablagerungen und dadurch über die ursprüngliche Wasserscheide. Die kalzitischen Zemente sind unterschiedlich: Tuff-artig (mit azikularen Kristallstrukturen), gitterförmig, mikritisch, etc. Die fluvialen Konglomerate, die auf mehreren Niveaus gefunden wurden (z.B. Daxiaocaokou, Zhijin, Guizhou), geben Hinweise auf Unterbrechungen der Verkarstung im Verlauf der tertiären Hebung.

Die rhythmischen Ablagerungen der Dadong (Wufeng), 20 bis 25 Meter stark, befinden sich auf einem fossilen Niveau (+100 m). Sie bestehen aus einer Abfolge von kreuzgeschichteten Lehm- und Geröllablagerungen, die ein Protokoll regionaler hydroklimatischer Verhältnisse darstellen und die klimatischen Wechsel mehrerer Jahrhunderte oder Jahrtausende bezeugen. Die kräftige Rotfärbung der Ablagerung, beruhend auf Hydroxiden aus der pedologischen Umwandlung des geschieferten Ordoviziums, weist auf Abtragung und Verfrachtung des Bodens hin. Der Vorgang muß in einem Klima mit kontrastreichen Trocken- und Feuchtzeiten stattgefunden haben.

Stichworte: Karstsedimente, Tropfsteinbildung, Travertin, U/Th dating, detritische Ablagerung, Konglomerat, Brekzie, Lehm, Ton, rhythmische Ablagerung, Informationsträger, Indikator, Boden, Umwandlung, Abtragung, Klimawechsel, Paläoklima.

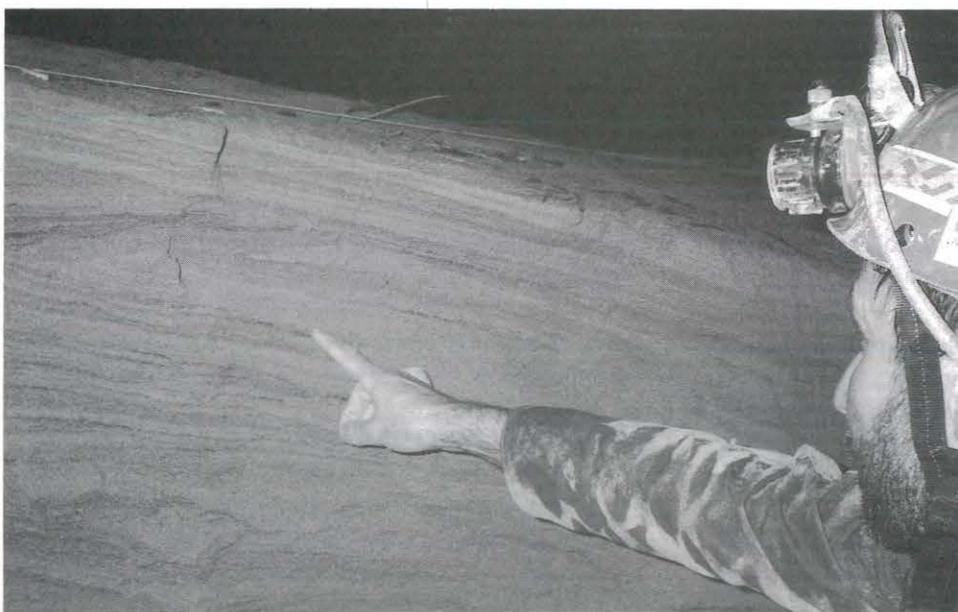


Photo 29 :

Limons rythmés de crue, actuels, dans la grotte-perde de Dadong (Wufeng, Hubei occidental). Ces dépôts sont situés dans la grande salle localisée à 750 m de l'entrée et à plusieurs dizaines de mètres au-dessus du lit de la rivière (à sec en hiver).

Laminated silts in a large room of Dadong cave (Wufeng, Hubei), 750 m from the entrance. They are situated several ten meters above the river (dry in winter).

INTRODUCTION

Les abondants remplissages des cavités subtropicales de Chine constituent des témoins de l'évolution souterraine. On étudie successivement les spéléothèmes et travertins, les remplissages détritiques indurés (brèches, conglomérats) et une grande séquence détritique rythmée (coupe de Dadong/Wufeng-Hubei). Les morphologies cristallines et les contaminations des spéléothèmes et des ciments des conglomérats sont étudiés sur lames minces. L'interprétation des datations U/Th et de la composition chimique des concrétionnements est effectuée dans un cadre géomorphologique.

La relation endokarst-exokarst, notamment avec le soutirage des sols et leur piégeage souterrain, est un phénomène majeur qui renseigne sur les ruptures climatiques en zone subtropicale. Spéléothèmes et séquences détritiques jouent ainsi le rôle d'enregistreurs du paléoenvironnement régional au niveau du régime hydroclimatique (types de cristallisation, granulométrie) et de la couverture biopédologique (contamination en sols rouges).

I. LES CONCRETIONNEMENTS KARSTIQUES (SPÉLÉOTHÈMES ET TRAVERTINS)

Dans les karsts subtropicaux de Chine méridionale et centrale, les concrétionnements souterrains sont abondants dans les réseaux "fossiles", c'est-à-dire inactifs et perchés à différents niveaux au-dessus des réseaux actifs. La dimension de certains piliers stalagmitiques (jusqu'à 15 à 20 m de diamètre), leur situation géomorphologique dans des tunnels perchés et leur état d'altération sont des éléments qui témoignent de leur ancienneté. Mais il peut exister des coulées stalagmitiques de très grandes dimensions, encore actives, comme dans la salle des Miaos du réseau aval de la Gebihe (fig. 36, p. 53).

Lors de l'expédition franco-chinoise de 1986, 58 datations U/Th ont été effectuées par l'Institut de Géologie de Pékin. Plusieurs échantillons montrent un âge supérieur à 350 000 ans qui est la limite de la méthode (ZHANG SHOUYUE et BARBARY, 1988, p. 82-84).

Compte tenu de leur situation géomorphologique, l'intérêt de ces spéléothèmes réside dans leur étude micromorphologique qui permet de dresser un portrait du paléoenvironnement au moment de leur formation. Les concrétionnements karstiques sont de remarquables enregistreurs du milieu naturel car ils répondent immédiatement aux changements bioclimatiques. Leur étude, en zone tropicale, est encore au stade exploratoire.

Les concepts d'enregistreur et d'indicateur du milieu :

Certains caractères de l'environnement naturel sont enregistrés par les spéléothèmes et les travertins. Faisons bien la différence entre l'*enregistreur*, représenté par la concrétion, et l'*indicateur* figuré, par exemple, par la contamination pédologique ou la structure cristalline.

Comme les concrétions karstiques sont des relais chimiques, l'enregistrement est indirect, mais son avantage est d'être instantané à l'échelle géologique et climatique. Par

comparaison, les sols sont des enregistrements directs, mais retardés à cause des transformations chimiques liées à l'altération des matières minérales et organiques.

Les spéléothèmes enregistrent ainsi les conditions hydrologiques de l'infiltration (ex : fabriques et structures cristallines indiquant la vitesse de précipitation), voire de l'écoulement général de la cavité (ex : phase d'érosion torrentielle). Ils enregistrent aussi et surtout les périodes de stabilité et d'instabilité de la couverture végétale et pédologique par l'absence ou l'abondance des contaminations provenant du soutirage des sols. Enfin, ces dépôts chimiques ne prennent toute leur signification que lorsqu'ils sont associés, en alternance, avec les remplissages détritiques.

A. LES MORPHOLOGIES CRISTALLINES DES SPELEOTHEMES

La pétrographie des spéléothèmes de la zone tropicale est encore moins connue que celle des spéléothèmes du domaine tempéré. Or cette étude est importante pour comprendre la signification environnementale du concrétionnement (MILLS, 1965 - MAIRE, 1990, p. 456).

La pétrographie des spéléothèmes des grottes subtropicales de Chine, notamment dans le Guangxi et le Guizhou, a fait l'objet de quelques travaux. Par exemple, dans la grotte de Xiniu (Zhenning/Guizhou), QIU YUNXIN (1984) a mis en évidence plusieurs types de calcite que nous avons également observés : colonnaire, en petites touffes, granulaire. Il envisage les problèmes de recristallisation et le rôle de l'ion magnésium dans les morphologies cristallines. Les substances argileuses constituent un obstacle à la recristallisation et à la croissance des cristaux, d'où une structure microcristalline.

Des lames minces ont été fabriquées à partir d'échantillons de stalagmites, stalactites, coulées, planchers, perles... provenant de cavités variées du Guizhou, du Sichuan et du Hubei. Distinguons successivement les fabriques cristallines (ex : la calcite colonnaire) et les structures ou séquences de cristallisation (ex : les structures microstromatolitiques). Nous ne reviendrons pas sur l'expression de structure bandée qui regroupe toutes les structures rythmés, de loin les plus fréquentes, compte tenu de la succession des microséquences de croissance.

Rappel méthodologique : *il ne faut pas perdre de vue que le changement brutal d'échelle, de l'oeil nu ou la loupe au microscope (optique, électronique) pose des problèmes d'interprétation. Dans un premier temps, il importe d'observer l'organisation morphologique à l'échelle de toute la lame mince. Une technique simple consiste à projeter, soit directement la lame mince (montée sous cache), soit la diapositive de la lame (photogramme). Cela permet d'avoir une vision d'ensemble, pour un grossissement modéré, pouvant aller de 20 à 50 fois.*

1. Les fabriques cristallines

Les fabriques cristallines désignent les types de cristallisation de la calcite. Dans les spéléothèmes des karsts subtropicaux de Chine, on retrouve les grands types d'organisation cristalline décrits ailleurs dans le monde. L'observation au microscope

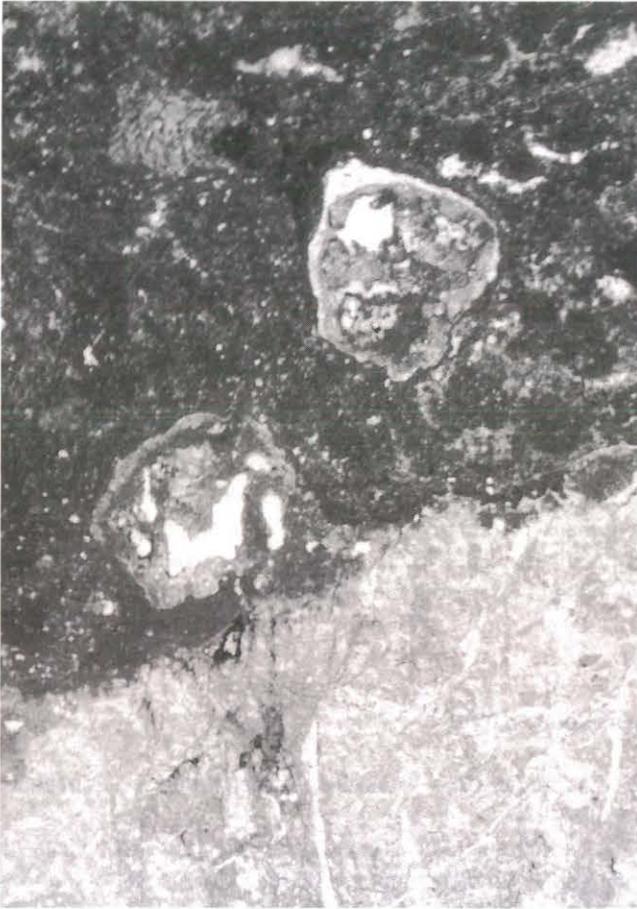


Photo 30 :
Photogramme de lame mince (échantillon GB493/3c) (grossissement 40 x). Concrétionnement "phytokarstique" sur substrat calcaire du Carbonifère (Gebihe, Guizhou). Front de biocorrosion et concrétionnement calcitique amorphe (structure peloteuse marron avec fragments de roche). *Thin section (sample GB493/3c) (magnification 40 x). Phytokarstic speleothem in Gebihe system (Ziyun, Guizhou). Biochemical dissolution and amorphous calcite precipitation (dark).*

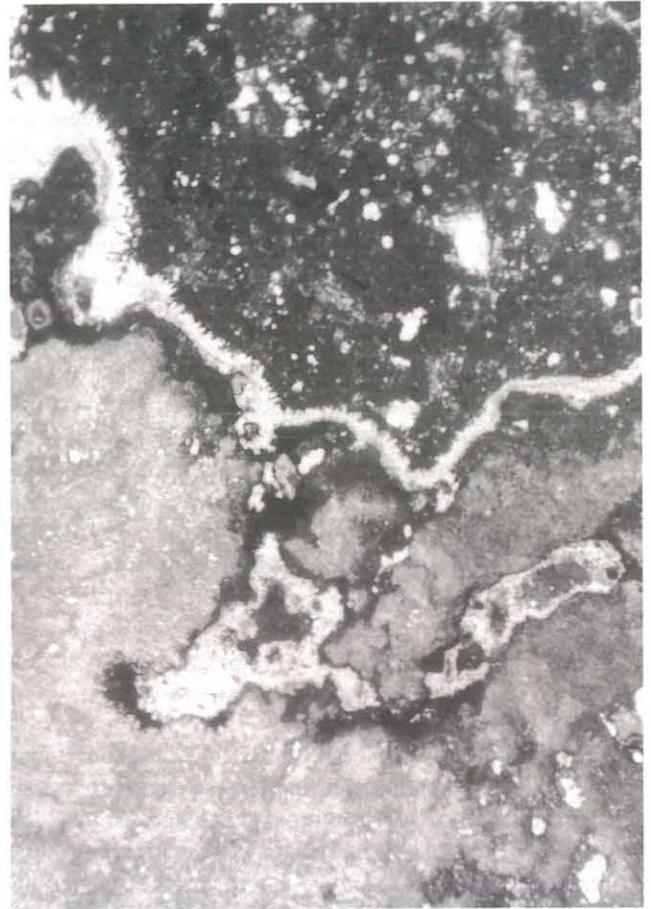


Photo 31 :
Photogramme de lame mince (échantillon GB493/3d) (40 x). Autre concrétionnement "phytokarstique" de la Gebihe sur substrat stalagmitique à faciès microstromatolitique (en bas). Front de biocorrosion inactif au centre (fissure de rétraction avec calcite aciculaire) et boue carbonatée amorphe en haut. *Thin section (sample GB493/3d) (40 x). Other example of phytokarstic speleothem in Gebihe system.*

polarisant montre au moins six grands types différents.

◇ **La calcite colonnaire (ou palissadique)** est un type fréquent désignant les cristaux allongés et parallèles, en colonnettes. Elle correspond à une cristallisation rapide. En coupe transversale, la calcite colonnaire se présente selon une mosaïque.

◇ **La calcite aciculaire en faisceaux** correspond à des aiguilles non parallèles disposées en touffes. Ce faciès caractérise certaines structures à participation biologique (microstromatolites).

◇ **La calcite saccharoïde engrenée** est constituée par l'interpénétration ou engrenage de cristaux, généralement de grande taille (de 100 µm à plus de 1 mm), donnant une structure de type granoblastique. Ce type est fréquent.

◇ **La calcite en mosaïque à petits cristaux** est caractérisée par des cristaux, souvent de petite taille (microsparite), agencés en mosaïque. Il y a juxtaposition des parois cristallines et non engrenage.

◇ **La calcite sparitique secondaire** correspond à une cristallisation secondaire, de nature sparitique (gros cristaux),

dans les pores de dissolution. Elle est donc fréquente dans les concrétions altérées.

◇ **La calcite microcristalline (ou micritique)** caractérise les structures finement rythmées. Cependant, à une autre échelle, ces petits cristaux s'agencent pour former de grands cristaux qui traversent les structures rythmées dans le sens de la croissance (phénomène visible en lumière polarisée).

2. Les structures ou séquences de cristallisation à participation biologique

Les fabriques cristallines s'organisent généralement en structures répétitives, zonaires, formant des séquences de cristallisation. Les structures à participation biologique sont différentes, de type microstromatolitique et oncolitique, mais également "peloteuses". Elles concernent aussi bien les planchers et coulées stalagmitiques que les concrétions "phytokarstiques" (calcins) situées dans les entrées de grottes.

a) Les structures "peloteuses" des concrétions phytokarstiques :

Ces spéléothèmes en bourgeons, de type calcin, se développent dans les entrées de cavités et croissent en direction de la lumière

et non en fonction de la gravité. ZHANG SHOUYUE (1988, p. 87) a montré que le phytokarst se développe dans la zone intermédiaire de lumière, entre l'entrée et la zone obscure. Une participation algale, faisant intervenir la photosynthèse, est probable. De nombreux exemples ont été observés et des échantillons ont été prélevés, notamment à la Gebihe (Ziyun/Guizhou), Santang (Zhiyin/Guizhou) et à Tenglongdong (Lichuan/Hubei). Observons des lames minces fabriquées sur deux échantillons pris dans le grand puits d'effondrement de 370 m de la Gebihe (base du ressaut de 40 m) (fig. 102, p. 159).

◇ **Echantillon GB 493/3c (photo 30)** : Sur un substrat de calcaire gris à foraminifères du Carbonifère (biomicrosparite), on observe un enrobage de plusieurs millimètres d'épaisseur (jusqu'à 10 à 20 mm) de teinte beige-marron. Cette masse plasmique présente une structure peloteuse, sans orientation nette. Pris dans la masse, on distingue de rares tests de mollusques et quelques éléments de calcaire très corrodés provenant de la biocorrosion du substrat. La surface de ce dernier est en effet très irrégulière, gris-brun et fortement corrodée (vacuoles de dissolution) ; des fragments prêts à se détacher confirment l'existence d'un front de corrosion.

◇ **Echantillon GB 493/3d (photo 31)** : Cette lame mince montre un faciès plasmique marron et peloteux en enrobage sur une concrétion microstromatolitique gris-beige. Comme dans le précédent exemple, la masse amorphe marron corrode et infiltre le substrat. Ce dernier est représenté ici par une concrétion à bourgeons — petits faisceaux de cristaux aciculaires de 1 mm de large sur 3 mm de long — de nature microstromatolitique. L'enrobage plasmique sombre ne présente pas d'orientation ; un fragment de test de mollusque est pris dans la masse. Une calcite sparitique blanche occupe des fissures intraplasmiques et des vides situés entre l'enrobage marron et la concrétion stromatolitique comme si le front de corrosion était inactif.

◇ **Genèse des concrétions phytokarstiques** : L'échantillon GB 493/3c montre qu'il y a corrosion et "digestion" de la roche, c'est-à-dire réincorporation des carbonates sous une forme plasmique à structure en pelotes. En raison du phototropisme, la corrosion est de nature biologique (algues, mousses) et s'effectue par les micropores du calcaire. La roche, en voie de digestion, devient grise, puis brune. La progression du front biochimique provoque l'incorporation dans le plasma de grains de roche non complètement digérés (fantômes). Ce concrétionnement très original est donc le résultat d'une corrosion biochimique et d'une réprécipitation in situ sous forme amorphe ou pseudo-amorphe. Lorsque le front de corrosion n'est plus actif, les fissures de rétraction se remplissent de calcite sparitique ou aciculaire (échantillon GB 493/3d).

b) Les structures bandées microstromatolitiques :

Les structures bandées et ondulées, en bourgeons, de type microstromatolitique, ont été décrites dans les cavités alpines et pyrénéennes où elles demeurent peu courantes (MAIRE, 1990, p. 458). En revanche, dans les karsts chinois étudiés, ce faciès est fréquent. Sa morphologie laisse supposer une

participation biologique, sinon algale, bactérienne et/ou mycélienne. Observons en lame mince une série d'échantillons du Guizhou, du Sichuan et du Hubei. Deux familles de structures ont été reconnues, l'une finement rythmée, l'autre en touffes et bourgeons.

◇ Les structures microstromatolitiques finement laminées :

Ces structures sont caractérisées par un aspect finement varvé et ondulé sans bourgeonnement et calcite aciculaire en touffes.

Echantillon Yi 497/14 : Celui-ci a été prélevé à l'extérieur, à 3 m de l'entrée de la grotte de Jinshidong, dans le karst situé au NNW de Yichang (Hubei). Il s'agit d'un plancher érodé subsistant en paroi, dans la galerie décapitée proche de l'orifice de la grotte. On observe une série de séquences finement rythmées et ondulées, de 1 à 3 mm d'épaisseur chacune, séparées par des niveaux beige-orange, contaminés par des limons fins et des colloïdes. Dans chacune des microséquences à faciès microstromatolitique, les lamines mesurent entre 20-30 µm et 100-150 µm de large, et sont constituées par une calcite microcristalline. En revanche, on ne voit pas de calcite aciculaire en touffes.

◇ Les structures microstromatolitiques à bourgeons laminés :

Ces structures sont caractérisées par des séquences de bourgeons finement laminés. Selon la dimension des lamines, la calcite peut être microcristalline (micrite ou microsparite) ou en touffes de cristaux aciculaires (200 µm à 1 mm).

Echantillon GB 493/5d (photo 33) : Cet élément de coulée stalagmitique provient de la Gebihe (Ziyun/Guizhou), de la base du ressaut de 40 m (près du four à nitrate), dans le puits de 370 m. La concrétion s'est développée sur des limons et sables fins indurés. Le premier horizon, épais de 4 à 7 mm, est formé par une calcite palissadique à base saccharoïde. Le second horizon, de 10 à 12 mm, est constitué par des bourgeons grossièrement laminés et fortement contaminés par de fins éléments détritiques. L'ensemble est fortement corrodé, avec de la calcite sparitique blanche en remplissage secondaire.

Echantillon DAD 518/a : Cette stalagmite massive, recouverte de bourgeons, a été prélevée dans un niveau fossile de la grotte de Dadong (Wufeng/Hubei), après la grande coupe de varves. On observe un cœur de calcite palissadique, à structure bandée, se continuant au sommet par des bourgeons mesurant 2-3 mm à 10-20 mm de large. Ces bourgeons sont constitués par une succession de fines lamines claires et sombres, véritables varves de calcite microcristalline. L'épaisseur des lamines va de 20-30 à 50-100 µm. La partie terminale des bourgeons est recouverte par une séquence de grosses lamines, de 0,5 à 1 mm d'épaisseur, formées par des touffes de calcite (ou aragonite ?) aciculaire. Localement, des lamines de calcite aciculaire sont présentes dans les séquences varvées.

La datation U/Th du cœur de l'échantillon donne un âge de 12,6 ka (+ 0,4/- 0,3). La teneur en uranium est élevée (6 ppm). Le rapport $^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$ indique une légère contamination détritique. (analyses : CERAK/Mons).

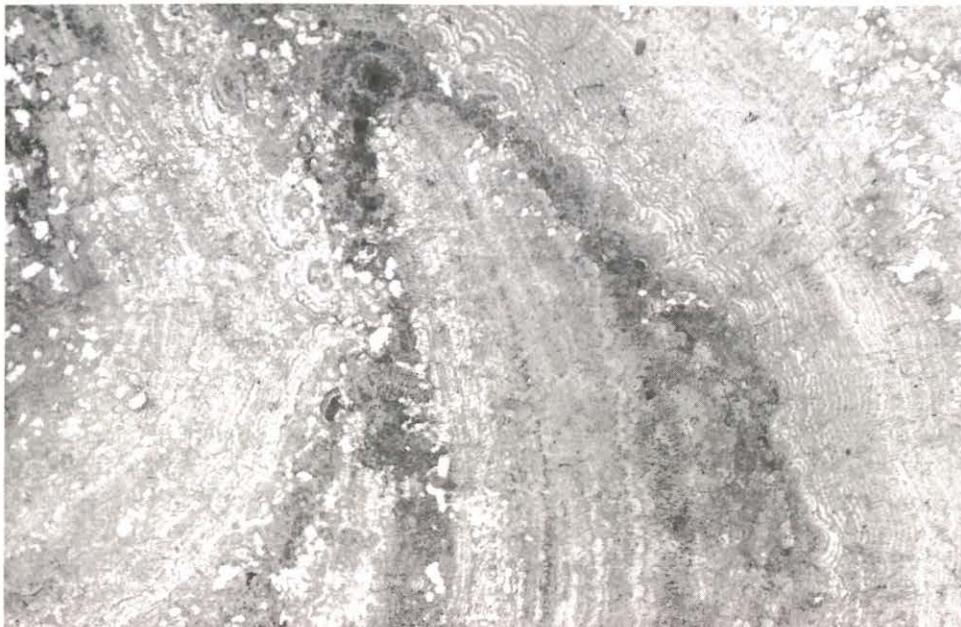


Photo 32 :

Photogramme de lame mince (échantillon DAX498/10d) (40 x). Concrétion stalagmitique de cavité recoupée, plateau de Daxiaocaokou (Zhijin, Guizhou). Ce faciès, de type microstromatolitique, présente une succession de lamines plus ou moins ondulées.

Thin section (sample DAX498/10d) (40 x). Old stalagmite of Daxiaocaokou area (Zhijin, Guizhou) with microstromatolitic calcite (biological influence).

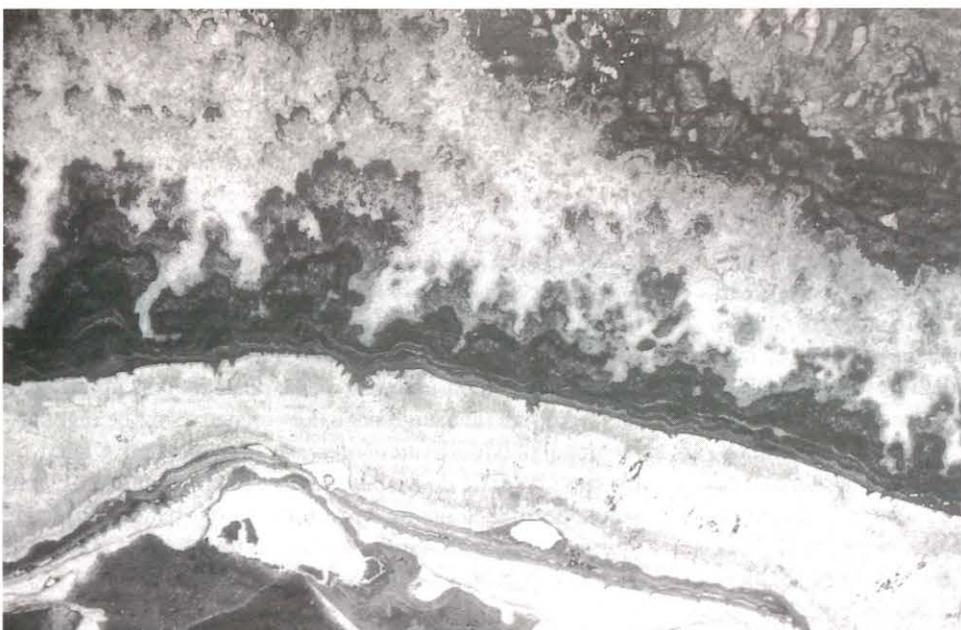


Photo 33 :

Photogramme de lame mince (échantillon GB493/5d) (20 x). Coulée stalagmitique de la Gebihe (P370 m) montrant un faciès à bourgeons microstromatolitiques au-dessus d'un horizon à calcite palissadique.

Thin section (sample GB493/5d) (20 x). Stalagmite of Gebihe system, P370 m (Ziyun, Guizhou). Columnar (below) and microstromatolitic calcite (above).

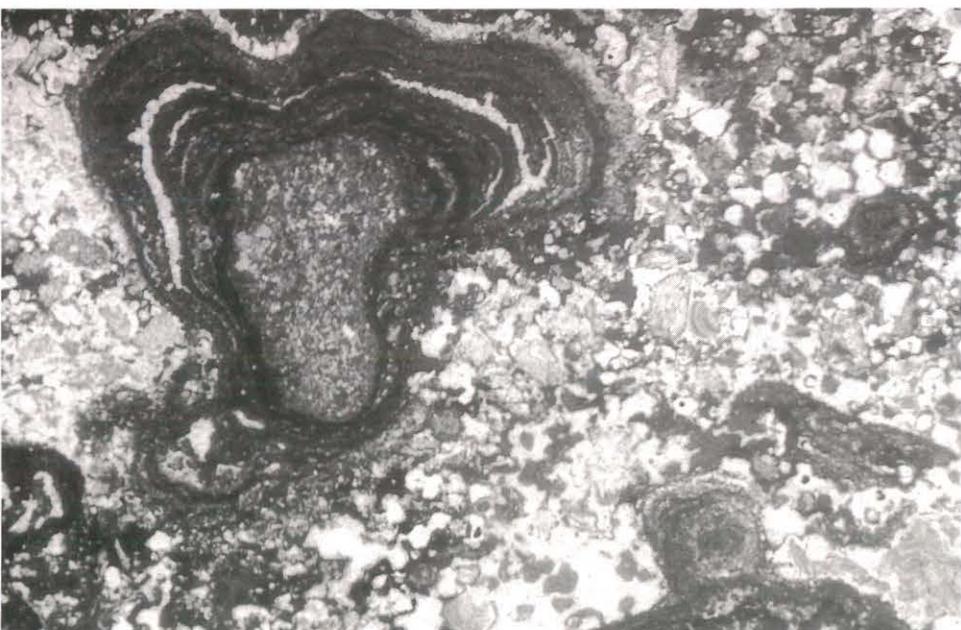


Photo 34 :

Photogramme de lame mince (échantillon GB493/4e) (30 x). Concrétion bréchique dans le P370 de la Gebihe. On observe des oncolites à noyau de roche altérée recouvert par des lamines de nature microstromatolitique.

Thin section (sample 493/4e) (30 x). Brecciated speleothem in Gebihe system, P370 m, with oncolite.

Echantillon DAX 502 : Ce plancher corrodé a été prélevé en surface (cavité recoupée), à proximité du gouffre de Daxiaocaokou (Zhijin/Guizhou). On observe une succession de bandes de calcite blanche et de calcite beige-marron contaminée. Le sommet se termine par une bande sombre de calcite microstromatolitique constituée de plusieurs couches de calcite aciculaire en petites gerbes de 1 à 2 mm de haut. L'échantillon DAX 498/10d présente une structure similaire (photo 32).

◇ **Interprétation** : Ces structures microstromatolitiques sont formées par une lamination comprenant soit des microcouches de calcite microcristalline, soit des couches plus épaisses à calcite aciculaire se présentant en touffes ou faisceaux. Ces lamines forment soit des micro-ondulations inférieures à 200 µm, soit des bourgeons et choux fleurs pouvant atteindre 0,3-0,5 mm à 5-10 mm ou plus. Les bourgeons à calcite aciculaire en touffes forment donc une lamination plus lâche, les aiguilles mesurant au minimum 200 à 300 µm de long.

3. Les structures oncolitiques et les perles

Ces structures désignent des formes concentriques comprenant les "perles" de cavernes et différents types de formes subcirculaires à noyaux divers.

a) Etude de quelques exemples :

◇ **Echantillon LD 511/c** : Cette "perle" de calcite presque circulaire, de 28 mm de diamètre, a été prélevée dans le réseau de Dadong (Wufeng/Hubei), dans un affluent actif de rive droite. En lame mince, on observe un noyau de 5 mm x 3 mm constitué par des sables et grains ferrugineux, et entouré par un ruban de calcite sparitique en mosaïque. Le corps principal de la perle est formé par des lamines concentriques à micro-ondulations. Cette structure rythmée s'efface au niveau de grandes plages de calcite saccharoïde engrenée. L'ensemble est recouvert par une fine séquence varvée, de 1 mm d'épaisseur, comprenant une trentaine de lamines sombres (20-30 µm pour les plus fines) et claires (50 µm pour les plus épaisses). On observe une légère pollution détritique dans la masse du corps principal laminé (grains de 100 à 300 µm).

◇ **Echantillon 514/1a** : Cet élément subrectangulaire à enrobage bourgeonnant a été prélevé dans la grotte fossile perchée de Feirendong, près de Dadong (Wufeng/Hubei) (fig. 66, p. 91). Le noyau est formé par un fragment de plancher stalagmitique de 23 mm x 35 mm recouvert par un concrétionnement pollué, de teinte beige-marron, d'épaisseur irrégulière (0,5 à 10 mm). La structure de l'enrobage est constituée par des niveaux bourgeonnants à faciès stromatolitique. La calcite, sans doute microcristalline, cimente une boue limoneuse. La partie externe est formée par une couche (2 mm) de calcite saccharoïde légèrement bandée.

◇ **Echantillon GB 493/4e** : Celui-ci provient du puits de 370 m, sous le ressaut de 40 m, dans le réseau de la Gebihe (Ziyun/Guizhou). Il s'agit d'une brèche constituée par des oncolites et un ciment détritique beige à marron corrodé et recimenté par de la calcite sparitique en mosaïque. Les oncolites, de forme irrégulière (10 mm x 15 mm), sont

constitués par un noyau de roche altérée recouvert par des anneaux sombres à bourgeons, de nature microstromatolitique. L'intérieur du noyau présente des vacuoles de dissolution à remplissage de calcite sparitique.

b) Genèse des perles :

Les perles de cavernes des karsts chinois (Guangxi, Guizhou) ont déjà fait l'objet de travaux scientifiques. MEI ZHENGXING (1985) souligne l'intérêt de ces spéléothèmes pour l'étude de l'environnement de la cavité au niveau de la paléohydrologie et du paléoclimat. Il distingue quatre types en fonction de leur morphologie et de leur évolution. L'analyse chimique indique un taux d'insolubles (SiO₂, argile) de 0,5 à 4 % environ. Fe₂O₃ et Al₂O₃ sont en proportions notables, soit 0,26 à 1,70 % et 0,73 à 2,88 %. Un échantillon contient jusqu'à 19 % de magnésium (MgO). Manganèse, potassium et sodium sont généralement en très faibles proportions. D'après quelques datations ¹⁴C, leur formation remonte à l'Holocène (3100 à 6600 ans BP), à une période où le climat devait être un peu plus chaud et humide.

4. Les structures en mosaïque

La calcite en mosaïque occupe rarement la masse d'une concrétion. Mais il peut exister des spéléothèmes entièrement constitués par de la calcite ou du gypse en mosaïque. Dans le cas du gypse, il s'agit de la variété saccharoïde.

◇ **Echantillon LD 505/b** : Ce plancher de gypse, très blanc, a été prélevé dans "Gypsy Room", salle située au fond du réseau de Longdong (Wufeng/Hubei) et dans laquelle on observe également des stalactites et de grandes aiguilles de gypse. En lame mince, on observe une masse de petits cristaux disposés en mosaïque, sans engrenage. Les cristaux sont hexagonaux, rectangulaires ou lenticulaires ; la juxtaposition n'étant pas parfaite, il existe de fréquents vides intercrystallins. Les plus petits, de 20 à 30 µm de large, forment des bandes grises peu marquées (contamination détritique très fine). Le reste est constitué par des cristaux de 50 à 250 µm.

B. ALTERATION ET CONTAMINATION DES SPELEOTHEMES

Les spéléothèmes de calcite observés dans les cavités sont variés : stalagmites, piliers, stalactites, coulées, draperies, perles... Certains sont massifs, actifs ou non, et non altérés. D'autres, abondants dans les niveaux fossiles, sont profondément corrodés dans leur masse et plus ou moins contaminés par des microdébris détritiques.

1. Les phénomènes d'altération

Les phénomènes d'altération, dus à une corrosion interne, sont fréquents dans les spéléothèmes anciens situés dans les galeries fossiles. Dans ces conditions, le système chimique s'ouvre et il se produit un échange avec l'extérieur, d'où l'impossibilité de dater de tels échantillons par la méthode U/Th.

Dans les exemples décrits ci-dessus, la dissolution de la calcite se manifeste de plusieurs façons. D'abord, à la surface de la concrétion, on observe des contours irréguliers avec des golfes de corrosion, parfois profonds (ex : GB 493/3d),

provoquant des infiltrations sur les zones de faiblesse (fissures, joints intercrystallins). Les spéléothèmes altérés présentent donc une porosité vacuolaire. La circulation de l'eau peut provoquer ultérieurement une recristallisation de type sparitique à l'intérieur des vacuoles de dissolution sous la forme de microgéodes (ex : DAX 502).

Ce processus d'altération est le même pour la roche calcaire. Des éléments de calcaire corrodé intérieurement se remplissent ensuite de calcite sparitique comme dans l'échantillon oncolitique GB 493/4e (photo 34). Dans le cas du "phytokarst", on constate que la corrosion biologique se produit à la fois par contact direct (surfaces déchiquetées) et imprégnation-dissolution par le système microporeux se manifestant par des plages gris-marron (GB493/3c et 3d).

2. Les contaminations détritiques

La contamination des concrétionnements se produit selon deux modalités :

- directement lors de la précipitation de la calcite ; l'eau est alors plus ou moins chargée en éléments détritiques ;
- indirectement par corrosion et infiltration postérieure des microdébris.

Tout échantillon présente un certain degré de contamination naturelle en particules détritiques : grains de roches et de sols (argiles cristallisées, limons, colloïdes, phytolites...), éléments éoliens (limons, cendres volcaniques). Ces particules sont intéressantes à étudier car, selon leur nature, leur abondance et leur distribution spatiale, elles constituent des indicateurs du milieu naturel et des changements bio-climatiques. L'étude s'effectue par micromorphologie à partir de lames minces, technique classique et efficace qui a fait ses preuves en pétrographie.

◇ La contamination pédologique, un indicateur de changements bioclimatiques :

Dans les spéléothèmes, l'alternance de séquences de calcite blanche et de calcite rubanée brun-rouge est fréquente dans les karsts des régions méditerranéennes. En Chine, nous avons observé le même phénomène. Prenons un exemple didactique dans une grotte du Hubei.

Echantillon Yi 497/15 : Cette stalagmite brisée naturellement a été prélevée dans la grotte sèche de Jinshidong qui se développe dans le karst à ouvalas et vallées sèches, au nord de Yichang (Hubei), vers 450 m d'altitude. En coupe transversale, la concrétion montre un coeur de calcite blanche et rubanée, de 10 cm de diamètre, et un anneau externe rubané, brun-rouge, de 5 à 6 cm de large (photo 35).

L'analyse séquentielle permet de distinguer deux phases bioclimatiques très marquées :

- La calcite blanche centrale, relativement pure, indique une stabilité de la couverture végétale et pédologique. L'eau de percolation est très peu chargée en particules de sols. La situation est de type biostasique.

- La calcite brun-rouge externe est riche en hydroxydes de fer et en microdébris de sols. Ce faciès très contaminé indique une instabilité des conditions édaphiques et par conséquent de la couverture végétale. Ce phénomène se traduit par une érosion des sols et par leur soutirage dans l'endokarst. Le sol ne joue plus le rôle de filtre ; il est tronqué et la roche apparaît localement à nu. L'eau d'infiltration se charge en hydroxydes de fer et de débris divers se déposant lors de la précipitation de la calcite.

Il n'existe pas de phase de corrosion entre les deux séquences et l'apparition de la contamination massive est brutale. Sur le plan bioclimatique, ces deux séquences

Site de Prélèvement	Echantillons	Insolubles(%) argiles, silices	CaCO ₃		Eléments métalliques en %							
			CO ₂	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	Fe ₂ O ₃	MnO	CuO	PbO	ZnO
WUXI Longdong	89WS07-1	0,1	43,72	54,48	0,69	0,011	0,308	0,012	0,0012	0,0003	0,0145	0,005
	89WS07-2	0,18	43,86	54,12	0,78	0,012	0,302	0,015	0,0012	0,0003	0,0165	0,001
	89WS08-2	0,14	43,97	54,6	0,65	0,017	0,31	0,012	0,0007	0,0005	0,0165	0,0062
	89WS08-1	0,09	43,99	54,66	0,65	0,012	0,306	0,013	0,0007	0,0003	0,0145	0,0015
	89WS09	0,12	43,88	54,36	0,78	0,02	0,368	0,017	0,0012	0,0005	0,01	0,005
WUXI Gr.aménagée	89WS10-2	0,38	43,92	54,96	0,09	0,014	0,286	0,022	0,0007	0,0003	0,01	---
	89WS10-1	0,1	43,92	55,14	0,09	0,01	0,282	0,019	0,0007	0,0003	0,0165	---
WUFENG Dadong	89US11-2	0,32	43,7	53,45	1,38	0,021	0,296	0,039	0,0017	0,0005	0,0145	0,0022
	89US11-1	0,22	43,81	53,45	1,3	0,022	0,339	0,024	0,0017	0,0005	0,0145	0,0022
	89US12-2	0,1	43,81	53,64	1,25	0,012	0,302	0,019	0,0012	0,0005	0,0145	0,0087
	89US12-1	0,15	43,77	53,57	1,21	0,015	0,3	0,019	0,0017	0,0005	0,0145	0,005
WUFENG Changshendong	89USK3-2	0,08	43,41	55,02	0,3	0,017	0,332	0,008	0,0012	0,0005	0,0145	0,0162
	89USK3-1	0,06	43,81	55,3	0,09	0,015	0,336	0,004	0,0012	0,0005	0,0185	0,0195
	89USM4-3	0,1	43,99	55,02	0,26	0,023	0,41	0,008	0,0007	0,0005	0,0185	---
	89USM4-2	0,12	43,81	54,96	0,11	0,017	0,362	0,009	0,0007	0,0015	0,0185	0,022
	89USM4-1	0,12	43,64	55,08	0,04	0,014	0,325	0,015	0,0005	0,0005	0,02	0,0292
MOYENNES		0,148	43,813	54,49	0,604	0,016	0,3227	0,0159	0,00106	0,0005	0,01541	0,00952
			98,303									

Tableau 15 : Composition chimique de spéléothèmes prélevés dans le Sichuan (Wuxi) et le Hubei (Wufeng). (analyses : Institut de Géologie, Pékin).

Chemical composition of speleothems from Sichuan (Wuxi) and Hubei (Wufeng) (analysis : Institute of Geology, Beijing)



Photo 35 :

Stalagmite de Jinshidong (Yichang, Hubei). Cette section montre une séquence externe de calcite contaminée par le soutirage des sols rouges (phase de rhexistase) et une séquence interne de calcite blanche correspondant à un milieu stable (sols fixés par la végétation).

Stalagmite of Jinshidong cave (Yichang, Hubei). External sequence of calcite polluted by erosion of red soils (withdrawing).

indiquent un phénomène de rupture climatique, par exemple l'apparition d'un climat plus contrasté avec éclaircissement de la couverture végétale. Inutile d'insister sur l'intérêt de cette signification environnementale, surtout si l'on couple l'étude morphologique aux datations isotopiques U/Th (calcite pure et non corrodée).

C. COMPOSITION CHIMIQUE

Dans les spéléothèmes des karsts chinois, la coloration, notamment en brun-rouge ou orange, est généralement due à une contamination pédologique ; celle-ci est due surtout à l'infiltration des hydroxydes de fer, en solution ou en microparticules, issus des sols rouges fersiallitiques ou ferralinitiques. En complément de l'observation microscopique en lame mince, l'analyse chimique des spéléothèmes permet de quantifier cette contamination. Dans le tableau 15, on donne la composition chimique de 16 échantillons de spéléothèmes prélevés dans les comtés de Wuxi (Sichuan) et de Wufeng (Hubei).

- Le taux moyen de CaCO_3 est de 98,30 %.
- Les insolubles, représentés surtout par la silice et l'argile, vont de 0,06 à 0,38 % (moyenne = 0,15 %).
- Le taux moyen de Fe_2O_3 reste faible dans cette série d'échantillons, soit 0,016 %.
- Le taux moyen en MgO est relativement important, soit 0,60 % (0,04 à 1,38 %). Dans une autre série analysée, le taux en magnésium peut monter à 2,2 %. Il proviendrait de l'encaissant dolomitique.
- Le taux moyen en Na_2O est sensible (0,32 %) et stable (0,282 à 0,410 %).
- Le taux en autres éléments métalliques (potassium, manganèse, cuivre, plomb et zinc) est très faible, soit 0,016 % (K_2O) à 0,0005 % (CuO). Ces éléments métalliques peuvent également teinter les spéléothèmes et migrer à l'intérieur de la calcite au cours du temps selon les travaux d'IKEYA.

NB : Analyses effectuées par l'Institut de Géologie de Pékin (Academia Sinica).

◇ **La contamination en Fe_2O_3** : Une série de sept échantillons relativement contaminés, prélevés dans le karst du Guizhou, donne un taux variant de 0,60 à 1,96 %. L'analyse chimique des roches de l'encaissant indique une valeur nettement plus faible en Fe_2O_3 (0,007 à 0,134 %). Lorsque les concrétions sont pures à assez pures, le taux moyen en Fe_2O_3 tombe à 0,016 %, soit 40 à 120 fois moins ; il pourrait alors provenir essentiellement de l'encaissant. L'amplitude la plus grande va de 0,004 à 1,96 %, soit de 1 à 490 !

Le rôle de la roche encaissante dans la contamination des spéléothèmes est généralement faible quantitativement, à l'exception du magnésium et parfois du Fe_2O_3 . L'analyse chimique étant destructive, il n'est pas possible de distinguer le rôle respectif de la roche et des sols. En effet, les calcaires du Trias inférieur, notamment dans le comté de Zhijin (Guizhou), peuvent renfermer jusqu'à 2 à 6,4 % de Fe_2O_3 . Dans ce cas, roches et sols peuvent intervenir dans la contamination des spéléothèmes, avec une pollution turbide d'origine pédologique (soutirage des altérites) seulement mise en évidence par l'étude micromorphologique des lames minces (infra).

D. DATATIONS U/Th DES SPELEOTHEMES ET TRAVERTINS

La datation isotopique des concrétionnements karstiques se développe en Chine. Rappelons les analyses U/Th effectuées par nos collègues de l'Institut de Géologie de Pékin (Academia Sinica), dans le cadre de l'expédition franco-chinoise de 1986 et ailleurs (ZHAO SHUSEN, LIU MINGLIN, MIA ZHIBANG, 1985). Des datations ^{14}C sur calcite ont également été faites dans différents laboratoires, en particulier à l'Institut de Géologie du Karst de Guilin par la méthode de scintillation liquide, avec une erreur relative de moins de 5 % (CHEN XIAN et al., 1984). Après l'expédition de 1989, trois datations supplémentaires ont été effectuées par le CERAK (Faculté Polytechnique de Mons, Belgique).

1. Datations des spéléothèmes

35 échantillons de spéléothèmes (surtout des stalagmites), prélevés dans des grottes du Guizhou, ont été analysés par la méthode U/Th avant et après l'expédition de 1986, plus trois après l'expédition de 1989. Pour les données précises, se reporter au tableau publié dans le premier rapport franco-chinois (Spelunca Mémoires, n°16, 1988, p. 82-84). Les 35 analyses isotopiques ont été effectuées par ZHAO SHUSEN et LIU MINGLIN de l'Institut de Géologie de Pékin et les trois de 1989 par Y. QUINIF (CERAK). (tableau 16).

◇ Teneur en uranium :

Celle-ci varie de 0,0092 ppm (valeur très faible) à 132,9 ppm (valeur très forte), soit dans un rapport de 1 à 14 445 ! Cette très grande variabilité spatiale a déjà été constatée ailleurs, notamment dans les karsts des Alpes et des Pyrénées, par les analyses du CERAK/Y. QUINIF (MAIRE, 1990).

De fortes teneurs en uranium ont été mesurées (13 échantillons ont plus de 2 ppm). A Dadong (Wufeng/Hubei), deux analyses du CERAK indiquent une teneur en uranium de 6 et 9 ppm. Dans une même cavité, la teneur en uranium des stalagmites peut varier considérablement dans le temps et dans l'espace, par exemple de 0,05 à 7 ppm (rapport de 1 à 140) dans K18 Dong (Xiuweng/Guizhou).

L'origine des fortes teneurs en uranium n'est pas encore connue avec certitude. A l'échelle mondiale, remarquons que les spéléothèmes prélevés dans les cavités développées dans les calcaires primaires présentent souvent des teneurs en uranium beaucoup plus élevées.

Les types de gisements d'uranium dans les terrains karstiques de Chine ont été étudiés par YAO ZHENKAI, LIU YUANHOU et ZHU RONGBIN (1986). Ils distinguent :

- les produits résiduels par lessivage (poches) ;
- les gisements géothermaux ;
- les placers (concentrations en zone alluvionnaire) ;
- les gisements polygéniques, les seuls qui aient un intérêt industriel.

L'uranium est plus abondant dans les formations carbonatées renfermant des intercalations argileuses riches en matières organiques. Il est donc probable que la forte teneur en uranium des spéléothèmes provienne surtout du lessivage de ces intercalations argilo-charbonneuses. Le lessivage de poches paléokarstiques, de placers et de gisements géothermaux semble plus rare et plus ponctuel.

◇ Teneur en thorium détritique (ou ^{232}Th) :

Sur les 38 échantillons analysés, 6 ont un rapport $^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$ compris entre 1,7 et 4,8, indiquant une nette contamination détritique qui vieillit "artificiellement" l'âge de la concrétion. Cette dernière peut provenir de microdébris de roches et de sols. Lorsque le rapport est grand (21 échantillons ont un rapport supérieur à 200), la date calculée est fiable et la fourchette statistique d'erreur est plus étroite.

◇ Distribution des âges U/Th :

Le diagramme de distribution des âges isotopiques montre, dans le cadre du Pléistocène supérieur, deux phases :

- l'une entre 70 et 130 ka, avec un pic entre 100 et 110 ka ; elle pourrait correspondre à l'interglaciaire Eémien ;

- l'autre entre aujourd'hui et 60 ka.

Pour le Pléistocène moyen, le nombre de dates est encore insuffisant pour montrer des phases évidentes de concrétionnement.

2. Datations U/Th des travertins

Treize échantillons de travertins ont été prélevés à la sortie de plusieurs cavités du Guizhou lors de l'expédition de 1986 et analysés à l'Institut de Géologie de Pékin.

◇ Teneur en uranium :

Celle-ci est faible et varie peu, soit de 0,0127 à 0,172 ppm (rapport de 1 à 13).

◇ Teneur en thorium détritique :

La contamination en ^{232}Th est faible, sauf dans deux échantillons qui ont un rapport $^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$ de 11,5 et 26,8.

◇ Interprétation des âges U/Th :

La distribution des dates calculées pose encore des problèmes d'interprétation du fait de la dispersion des résultats.

- Cinq âges sont compris entre 17 et 31 ka. En zone tempérée, cette période correspond à la phase la plus froide de la dernière glaciation. Au contraire, en zone subtropicale chinoise, il semble qu'il y ait concrétionnement au niveau des émergences. Il est encore difficile de dire si cette période correspond à une phase de biostasie ou de rhexistasie. Le taux en thorium détritique est plutôt faible.

- La distribution des autres âges ne permet pas de tirer de conclusion complémentaire : 3 dates entre 50 et 58 ka, 1 à 74 ka, 2 entre 103-104 ka, 1 à 165 ka et 1 à plus de 350 ka.

3. Signification paléoclimatique

Le principal problème soulevé par l'interprétation des diagrammes de distributions des âges U/Th est que le concrétionnement est continu en zone subtropicale de basse et moyenne montagne. Cela paraît évident et le creux entre 60 et 70 ka est soit un hasard statistique, soit une réelle phase de rupture climatique. De plus, la période de refroidissement correspondant au "Wurm récent", très marquée dans les karsts d'altitude européens, n'est pas du tout marquée ici.

Dans les karsts de montagne des pays tempérés, chaque période glaciaire entraîne un abaissement des limites bioclimatiques (forêts, sols) et un arrêt du concrétionnement. Toutefois, en zone karstique tropicale, la mise en évidence de ruptures climatiques par l'étude des remplissages karstiques est un objectif nouveau. En effet, les changements climatiques peuvent s'accompagner, par exemple, d'une dégradation de la couverture végétale et pédologique, provoquant l'érosion des sols et leur soutirage dans l'endokarst. Ceci peut se traduire par une contamination détritique des spéléothèmes et un ralentissement de leur croissance.

Il serait donc nécessaire de mettre en parallèle résultats isotopiques et micromorphologiques. Cela permettrait de voir si les phases de ruptures bioclimatiques sont en concordance avec la courbe climatique mondiale des paléotempératures, du moins pour le Quaternaire récent qui est le mieux connu. Les

Echantillon	U (ppm)	U 234/U 238	Th 230/U 234	Th 230/Th 232	U 234/U 238 t=0	Agés (ka)
DAD 518 A	5,966 (± 0,037)	1,033 (±0,005)	0,110 (± 0,003)	29	1,034	12,6 (+0,4/-0,3)
DAD 518 B	9,140 (± 0,057)	1,026 (± 0,004)	0,139 (± 0,009)	8,6	1,027	16,3 (± 1,1)
LIC 563 B	0,295 (±0,005)	3,312 (±0,052)	0,524 (±0,072)	4,8	3,840	73,3(+13,9-12,6)

Tableau 16 : Résultats des datations isotopiques de stalagmites de la grotte de Dadong (DAD : Wufeng, Hubei), à proximité de la grande coupe de varves, et de Changmangdong (LIC : Lichuan, Hubei) (analyses : CERAK, Y. Quinif, Faculté Polytechn. de Mons, Belgique). Results of isotopic datations of stalagmites in Dadong Cave (DAD : Wufeng, Hubei), just near the large varves section, and in Changmangdong (LIC : Lichuan, Hubei) (analysis from CERAK, Y. Quinif, Mons/Belgium)

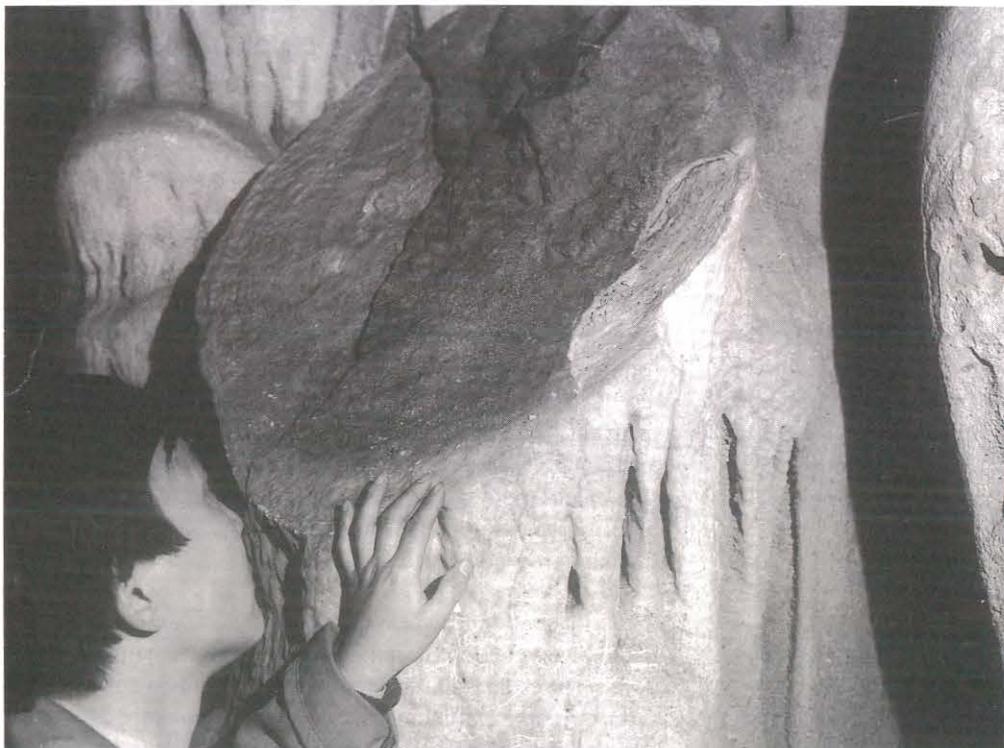
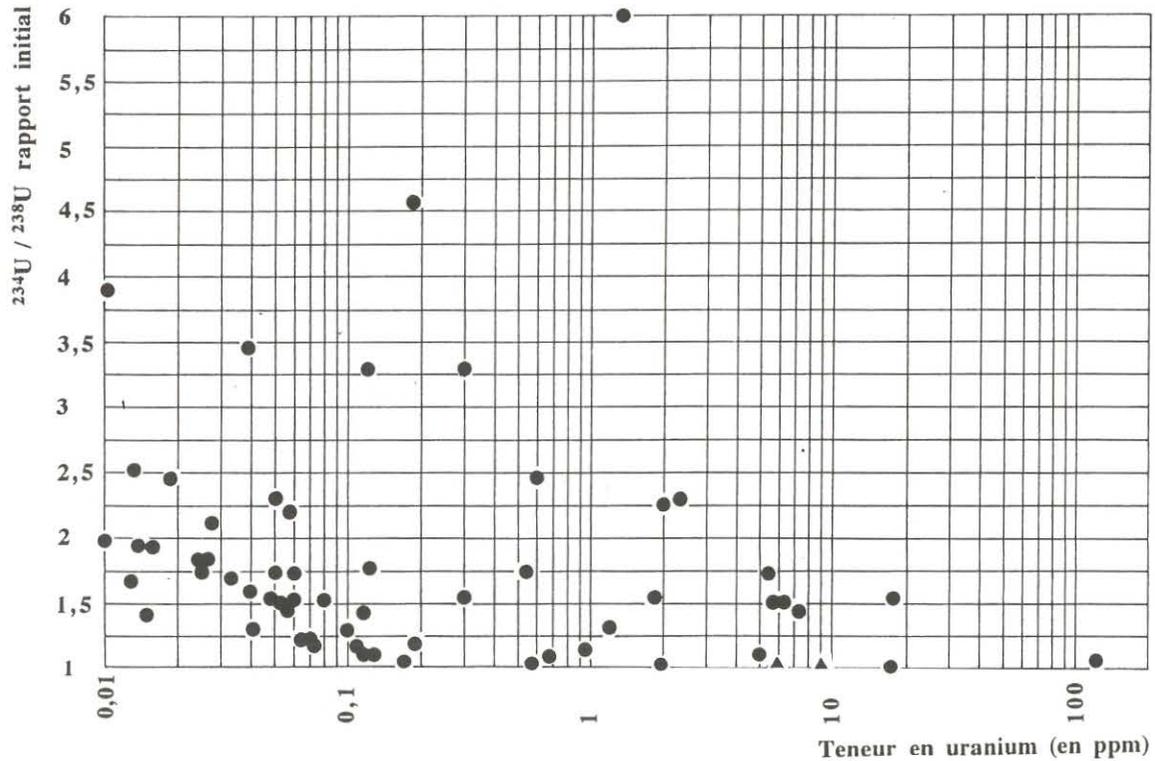


Figure 100 (ci-dessus) :
Teneur en uranium de concrétionnements prélevés dans des cavités du Guizhou et du Hubei. La forte teneur de certains échantillons pourrait provenir du lessivage de niveaux argileux riches en matières organiques. (d'après les analyses de l'Institut de Géologie de Beijing). Les deux triangles indiquent les échantillons de Dadong (Hubei) analysés par le CERAK/Mons-Belgique.

Uranium content in some speleothems of Guizhou and Hubei (analysis : Institute of geology, Beijing and CERAK, Mons/Belgium).

Photo 36 (ci-contre) :
Exemple de concrétionnement en disque dans la grotte "aménagée" de Wuxi (Sichuan oriental).
Example of disc speleothem in the "show" cave of Wuxi county (Eastern Sichuan).

phases de biostasie et de rhexistasie, en zone intertropicale, ne sont pas forcément bien en phase avec les épisodes et interstades glaciaires et interglaciaires du domaine tempéré. Les données en notre possession sont encore trop insuffisantes.

II. LES REMPLISSAGES DETRITIQUES INDURES

Les réseaux ou tronçons de cavités perchés à différents niveaux, parfois à plusieurs centaines de mètres au-dessus du niveau de base actuel, témoignent de l'évolution géomorphologique tertiaire en relation avec la surrection tectonique (chap. 11). En dehors des spéléothèmes, ces grottes présentent des remplissages détritiques anciens qui ont été généralement conservés par induration calcitique : brèches, conglomérats fluviaux, limons cimentés. La nature des ciments et de la matrice des conglomérats donne des indications complémentaires sur le paléoenvironnement. Prenons plusieurs exemples dans le Guizhou et le Hubei.

A. LES CONGLOMERATS FLUVIAUX

1. Les obstructions de galeries par des conglomérats

Deux exemples ont été pris dans les secteurs de la Gebihe (Guizhou) et de Wufeng (Hubei).

◇ **Echantillon GB 533/a (photo 39)** : Entre les deux pertes de la Gebihe se développe une vallée sèche le long de l'escarpement de faille. A 100 m au-dessus du fond s'ouvrent plusieurs porches de grottes, dont l'un est entièrement fossilisé par un conglomérat à 10 m de l'entrée (prélèvement). Des témoins stratifiés et consolidés subsistent en plafond, à l'aplomb de l'entrée.

Le squelette est formé par des graviers altérés, mal roulés, de 3-5 à 10-25 mm. Du point de vue pétrographique, on distingue des grès, des schistes, des calcaires, des cherts et des éléments sombres imprégnés de fer (altération). La distribution est porphyrique à chitonique. Le ciment, gris-ocre, est fortement biréfringent en lumière polarisée ; il est de nature travertineuse et présente des touffes de cristaux aciculaires de type stromatolitique. La couleur gris-ocre provient d'une imprégnation du ciment par des matières colloïdales et des hydroxydes. Quelques vacuoles sont remplies par de la calcite sparitique blanche.

◇ **Echantillon GEN 521/a (photo 38)** : La grotte du Général est une grotte-tunnel à écoulement temporaire, en forme de delta souterrain, qui traverse une barre calcaire de 400 m de large (Wufeng/Hubei). Dans le fond d'une galerie adjacente de rive gauche, 10 m au-dessus du conduit principal, on observe un colmatage par des poudingues très indurés (prélèvement).

Le squelette est formé par des graviers et petits galets centimétriques très arrondis. Quelques éléments sont brisés. Les bords sont lisses et non altérés. Il s'agit de grès, de schistes, et plus rarement de calcaires. Le ciment beige saccharoïde est remarquable. Il s'agit d'une sparite engrenée teintée dans sa masse par des colloïdes et des argiles. On ne distingue pas de contamination pédologique grossière.



Photo 37 : Zone de Daxiaocaokou, comté de Zhijin (Guizhou). Anciennes alluvions de la rivière Yijiehe piégées dans des fissures et cavités plus de 150 m au-dessus du cours actuel. Daxiaocaokou area (Zhijin, Guizhou). Old alluvium of Yijiehe river trapped in fissures and caves 150 m above the actual stream.

◇ **Interprétation** : Ces deux exemples différents témoignent de l'importance des conditions locales. Dans le cas de la Gebihe, l'altitude du dépôt par rapport au niveau de base actuel (+ 100 m) et l'état d'altération des graviers suggère un âge plus ancien que dans la grotte du Général. La nature variée du ciment, travertineux et saccharoïde, est également intéressante. L'absence d'une matrice de sables fins et de limons grossiers suggère un lavage important. Les suspensions argileuses et colloïdales sont prises dans la masse du ciment calcitique.

2. Les conglomérats fluviaux étagés

Deux exemples sont pris dans le secteur des grottes-tunnels et canyons d'effondrement de Daxiaocaokou (Zhijin, Guizhou).

◇ **DAX 498/11a (photo 40)** : La vaste doline d'effondrement de Daxiaocaokou forme un tronçon de canyon aveugle donnant sur le cours de la Yijiehe souterraine (fig. 12, p. 26). A + 100 m par rapport au torrent, des poudingues subsistent sous un encombrellement et témoignent de l'ancien cours d'une rivière.

Le squelette est constitué par des graviers et galets centimétriques bien roulés (grès, schistes, calcaires, grains noirs), parfois altérés. La distribution est chitonique. Les vides d'entassement sont occupés par un ciment blanc sparitique.

◇ **DAX 498/8 (photo 41)** : A l'ouest de la doline d'effondrement de Daxiaocaokou, près du col, la route recoupe des



Photo 38 :
 Photogramme de lame mince (échantillon GEN521/a). Exemple de conglomérat souterrain très induré provenant de la grotte du Général (Wufeng, Hubei). Le ciment calcitique beige est une sparite à cristaux engrenés. (40 x).
Thin-section (sample GEN521/a). Underground conglomerate from General cave (Wufeng, Hubei). Beige cement with sparitic calcite. (40x).

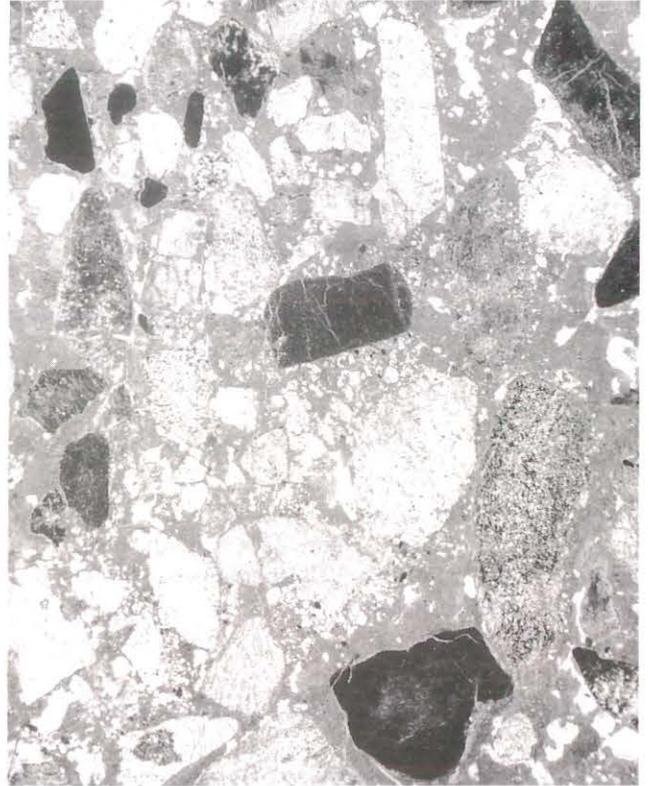


Photo 39 :
 Photogramme de lame mince (échantillon GB533/a). Conglomérat obstruant un paléocavité perchée 100 m au-dessus de la vallée sèche de Gebong (Gebihe, Guizhou). Gravier altérés et ciment travertineux à touffes de cristaux stromatolitiques. (20 x).
Thin-section (sample GB533/a). Conglomerate from Gebihe system (Ziyun, Guizhou). Travertinous cement with microstromatolitic calcite tufts. (20 x).

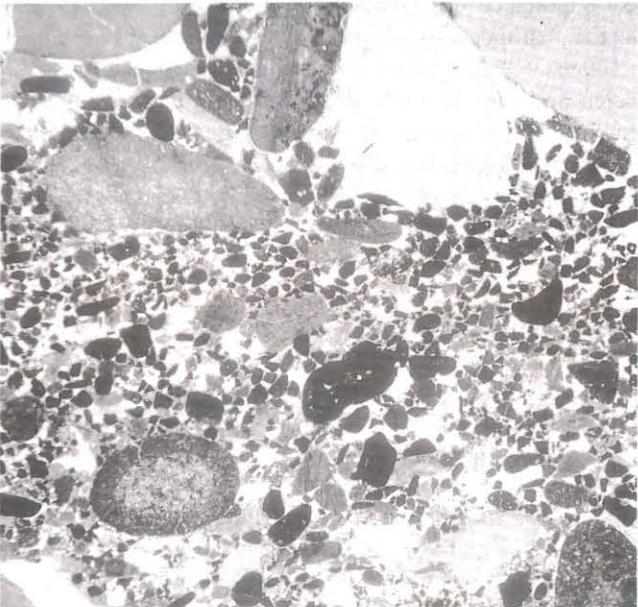


Photo 40 :
 Photogramme de lame mince (échantillon DAX 498/11a). Poudingue de Daxiaocaokou (Zhijin, Guizhou) perché plus de 100 m au-dessus de la rivière. Gravier entassés (distribution chitonique) et ciment blanc sparitique. (20 x).
Thin-section (sample DAX 498/11a). Conglomerate from Daxiaocaokou (Zhijin, Guizhou). Sparitic cement. (20 x).

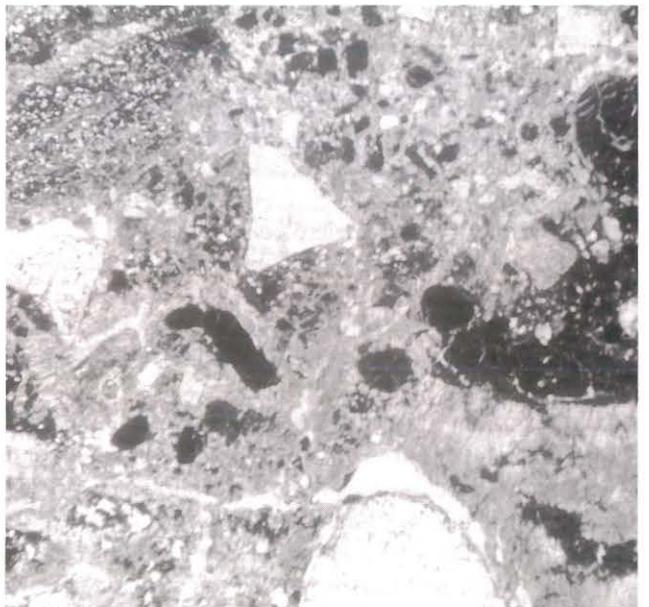


Photo 41 :
 Photogramme de lame mince (échantillon DAX498/8). Conglomérat de Daxiaocaokou situé plus de 150 m au-dessus de la Yijiehe (cf. photo 37). Gravier altérés et ciment travertineux à touffes de cristaux aciculaires (structure stromatolitique). (40 x).
Thin-section (sample DAX498/8). Old conglomerate from Daxiaocaokou (Zhijin, Guizhou). Travertinous cement (microstromatolitic structure). (40 x).

cavités et fissures karstiques piégeant des alluvions anciennes consolidées sur plusieurs mètres de haut. Ces dépôts, localisés à plus de 150 m au-dessus du cours actuel de la Yijiehe, témoigneraient de l'ancien parcours de la rivière. (photo 37).

Le squelette est formé par des graviers arrondis et des sables grossiers (calcaires, grès, charbons, cherts...). De nombreux éléments sont altérés. La distribution est porphyrique à pas simple. Le ciment, gris-beige, présente un faciès travertineux, avec des touffes de cristaux aciculaires de 2 à 4 mm de long (structure stromatolitique). On distingue quelques masses plasmiques brun-rouge et ferrugineuses prises dans le ciment.

◇ **Signification géomorphologique** : Ces deux poudingues, situés à deux niveaux différents au-dessus du cours actuel de la Yijiehe, témoignent de l'enfoncement général de la karstification en fonction du soulèvement tertiaire. Au-dessus du système actuel de grottes-tunnels existaient d'anciens systèmes de tunnels dont il existe encore quelques tronçons, le plus important étant celui de Xiaohaidong. Cette cavité importante est perchée 200 m au-dessus de la Yijiehe, en rive gauche ; longue de 2500 m, elle présente un vaste conduit de 50 m de large, prenant ensuite la morphologie d'un canyon (hauteur de plus de 50 m). D'autres cavités perchées confirment l'existence d'une succession de systèmes incluant tunnels et vallées aveugles et dont le tracé était différent.

Les conglomérats fluviaux étudiés appartiennent à ces anciens systèmes hydrogéologiques. Compte tenu du contexte géomorphologique et du degré important d'altération des graviers, le conglomérat DAX 498/8 date probablement du Néogène (chap. 11).

B. LES DEPOTS BRECHIQUES

La pétrographie des brèches karstiques a fait l'objet de rares travaux. Dans la région de Guilin, LIN YUSHI et al. (1984) ont mis en évidence trois types de brèches karstiques appartenant respectivement au Quaternaire, au Crétacé-Tertiaire et aux périodes pré-crétacées. Les brèches rouges pré-quaternaires, souvent incorporées dans des zones fracturées, sont polygéniques et sous le contrôle direct des mouvements tectoniques. Nous n'envisagerons ci-dessous que des brèches quaternaires ou néogènes situées dans des conduits karstiques et n'ayant pas subi de transformations d'origine tectonique.

1. Les brèches de la Gebihe

Dans le puits de 370 m situé à proximité de la grande perte d'entrée, des brèches ont été prélevées à différents niveaux : 100 m (sous le ressaut de 40 m), 170 m (au-dessus du R40), 226 m (porche), 350 m (porche).

◇ **Echantillon GB 493/6 b (photo 42)** : Ce fragment de brèche très consolidé a été prélevé au sommet du ressaut de 40 m, soit 170 m environ au-dessus de la rivière de la Gebihe. Le squelette est formé par des éléments anguleux de calcaires carbonifères mesurant quelques millimètres à plusieurs centimètres. On distingue également un gros grain ferrugineux, très altéré, d'origine pédologique et de petits éléments (grès, calcaires, gastéropodes ?). La distribution est porphyrique à pas simple ou double. Le ciment, ocre, est d'apparence plasmique ; la

calcite microcristalline indure une boue de limons fins et d'argile. Une phase de corrosion a créé des vacuoles (10-15 %) sans remplissage sparitique.

◇ **Echantillon GB 493/5a** : Cette brèche originale a été prélevée sous le ressaut de 40 m (100 m au-dessus de la rivière). Elle est constituée par une concrétion prise dans des limons indurés. Le spéléothème présente une surface corrodée, très irrégulière et un intérieur également altéré (vacuole avec cutane d'argile ferrugineuse). Le ciment, beige-saumon, correspond à un remplissage de limons rythmés imprégnés par une calcite micritique. Des fentes de dessiccation sont occupées par une calcite sparitique. On distingue quelques grains pédologiques (fer) dans la masse des limons ainsi que des mouchetures d'oxydes de manganèse.

◇ **Echantillon GB 493/4e (cf. supra)** : Celui-ci a été prélevé sous le ressaut de 40 m. Le squelette, constitué par des concrétions oncolitiques (nodules), est noyé dans un ciment complexe, altéré. Il comprend un plasma beige-marron limoneux très altéré et de nombreuses vacuoles de dissolution remplies par une calcite sparitique blanche.

◇ **Interprétation** : Ces trois échantillons de brèches montrent déjà la diversité des types de ciment. Les difficultés d'interprétation sont plus grandes que pour les conglomérats fluviaux. Toutefois, leur position dans le vaste puits d'effondrement de 370 m indique qu'ils sont postérieurs au foudroyage du plafond de la cavité. Les boues micritiques, associant une matrice limoneuse, sont plus ou moins contaminées par des éléments de sols (influence éolienne ?).

2. Exemple de brèche fossilifère de Daxiaocaokou

Un bel exemple a été prélevé dans le secteur de Daxiao (Zhijin/Guizhou), dans une cavité de 3 m x 2 m recoupée par la route.

◇ **Echantillon DAX 498/9a (photo 43)** : La cavité, ancienne, présente un vieux plancher collé à la voûte et un plancher corrodé constitué par des brèches beige-marron. Le reste de la grotte est remplie par une terre rouge provenant du soutirage "récent" des sols. Le squelette de la brèche est formé par des fragments de coquilles de gastéropodes (3-5 à 10-50 mm), des boulettes d'argiles et de rares grains de roches. Le ciment est en réalité une masse plasmique amorphe indurée, de nature limono-argileuse, renfermant quelques grains ferrugineux. On observe de multiples pores de dissolution remplies par de la calcite sparitique.

◇ **Interprétation** : Ce dépôt complexe présente plusieurs phases de remaniement de sédiments fins (boulettes, éléments argileux craquelés) dont l'origine semble en grande partie pédologique. Les nombreux fragments de gastéropodes montrent aussi qu'il y a eu phénomène de soutirage.

C. SIGNIFICATION DES REMPLISSAGES INDURES

Conglomérats fluviaux et brèches recouvrent souvent l'ensemble de tous les sédiments détritiques trouvés en cavité karstique. Le phénomène de consolidation est classique et

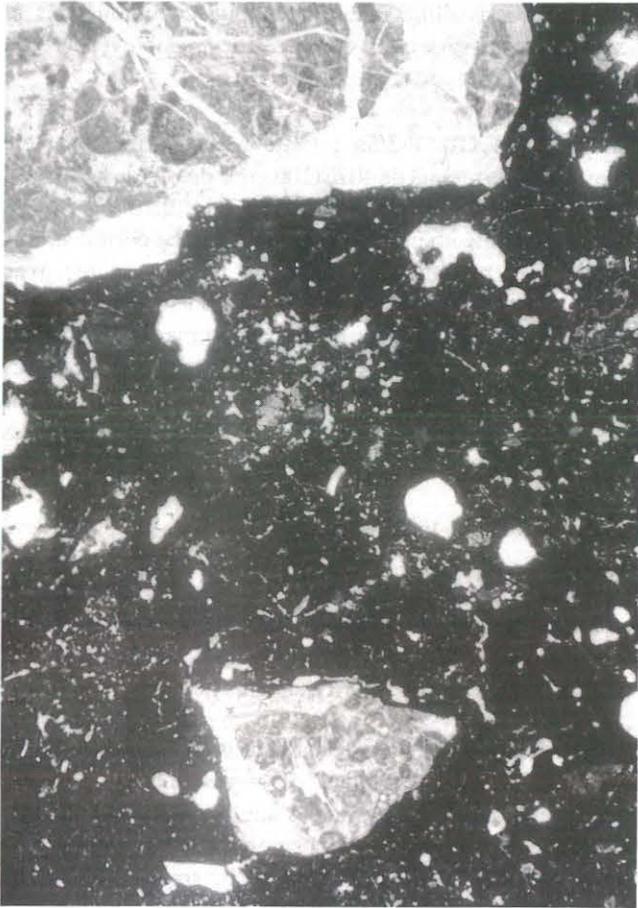


Photo 42 : Photogramme de lame mince (échantillon GB493/6b). Exemple de brèche souterraine très indurée de la Gebihe (P370 m) (Ziyun, Guizhou). Distribution porphyrique et ciment plasmique ocre (limons pédologiques et/ou éoliens cimentés par la calcite). (40 x). *Thin-section (sample GB 493/6b). Example of underground breccia of Gebihe (Ziyun, Guizhou). Argilous and calcitic cement. (40 x).*

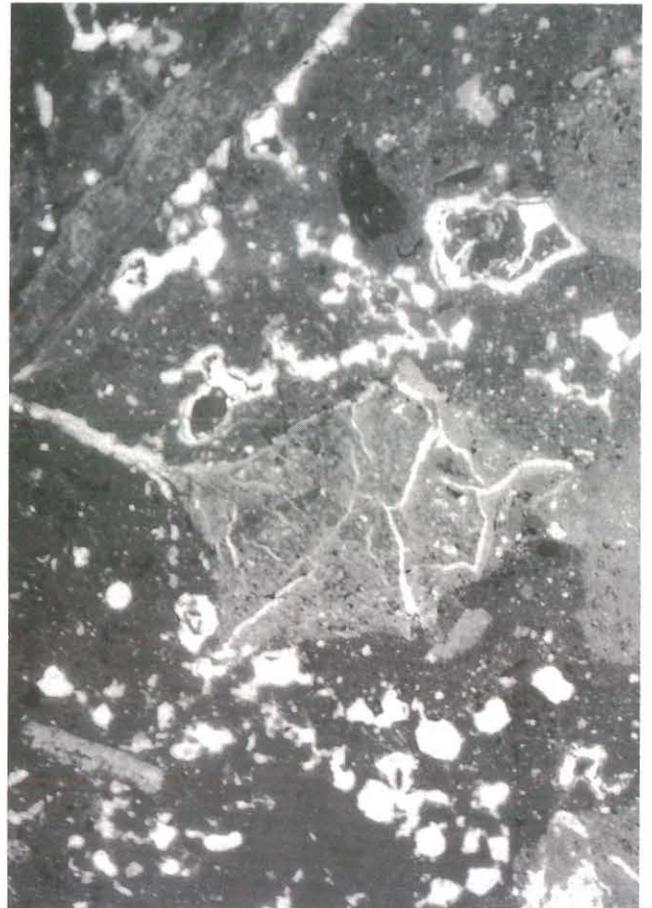


Photo 43 : Photogramme de lame mince (échantillon DAX 498/9a). Brèche fossilifère de Daxiaocaokou (Zhijin, Guizhou) dans une paléocavité recoupée par la route. Fragments de coquilles de gastéropodes, boulettes d'argiles et ciment plasmique argilo-carbonaté (soutirage des sols). (40 x). *Thin-section (sample DAX498/9a). Fossiliferous breccia from Daxiaocaokou area (Zhijin, Guizhou). Argilous and carbonated cement. (40 x).*

permet une meilleure conservation des remplissages. L'étude des ces dépôts présente un double intérêt méthodologique, d'abord micromorphologique, ensuite géomorphologique.

◇ **L'intérêt micromorphologique** est souligné par la variété des remplissages et des structures rencontrés. Ainsi, les ciments calcitiques observés en lame mince permettent de dégager plusieurs types :

- les ciments travertineux, de types stromatolitique, à petites touffes de cristaux aciculaires ;
- les ciments saccharoïde à cristaux sparitiques engrenés ;
- les ciments sparitiques blancs en mosaïque ;
- les ciments micritiques et microsparitiques.

Les ciments qui indurent la matrice fine des conglomérats donnent des boues argilo-limoneuses calcitées. Plus la charge détritique est grande, plus la cristallisation est petite (cas des limons rythmés consolidés). Plus elle est faible, plus la cristallisation s'organise en grands cristaux plus ou moins imprégnés de matières colloïdales. Dans les vacuoles de corrosion, le ciment blanc est toujours sparitique.

◇ **L'intérêt géomorphologique** est grand lorsque l'analyse des remplissages est associée étroitement à l'étude des grandes formes karstiques et de l'hydrogéologie. Dans ce chapitre, nous avons surtout développé l'aspect micromorphologique et

abordé quelques pistes géomorphologiques qui seront développées dans le chapitre 11 sur la genèse des karsts chinois. Par exemple : l'évolution des grottes-tunnels et l'étagement des cavités en fonction de la surrection.

Avant d'en arriver là, étudions sommairement une grande séquence détritique souterraine située dans un niveau "fossile" de la vaste grotte-perde de Dadong (Wufeng, Hubei).

III. UN EXEMPLE DE SEQUENCE ENDOKARSTIQUE : LA COUPE DE DADONG (WUFENG/HUBEI)

En 1988, lors de leur reconnaissance dans la grotte-perde de Dadong, les spéléos belges se sont arrêtés au sommet d'une grande galerie "fossile" dominant une galerie adjacente par un escarpement de plus de 25 m. Ce dernier est constitué par un remplissage détritique rythmé remarquable par ses dimensions : 50 m de large sur 25 m de haut. Par son épaisseur et son caractère varvé, cette coupe est équivalente, en domaine subtropical, à celle de la galerie Aranzadi, dans le réseau de la Pierre Saint-Martin (Pyrénées), localisée en domaine tempéré de montagne.

A. LEVE ET DESCRIPTION DE LA COUPE

1. Technique du levé de la coupe

Cette coupe a fait l'objet d'une topographie détaillée sur le terrain avec l'aide de SHI MENGXIONG de l'Institut de Géologie de Pékin. En 6 h 30 mn, il a été possible de lever la coupe au topofil grâce à un sentier étroit entaillé dans les alluvions. Pour disposer d'un levé en continu, la technique consiste à mesurer une série de six segments verticaux décalés horizontalement en fonction du sentier d'accès, technique déjà employée avec succès dans la coupe d'Aranzadi. La base de chaque segment est reliée au sommet du suivant par un fil horizontal mesuré au topofil.

2. Description de la coupe (fig. 101)

L'ensemble de la coupe montre de bas en haut deux parties très différentes : un ensemble inférieur clastique constitué par des blocs et un ensemble principal rythmé à limons varvés et lits de graviers. Une couche terminale de sables, de 1 à 2 m d'épaisseur, subsiste sur le bord nord de la coupe. Cette coupe naturelle a été creusée perpendiculairement par un ancien torrent souterrain qui devait venir de l'E depuis une galerie orientée E-W, actuellement obstruée à ses deux extrémités par des blocs et des alluvions.

Le sommet de la coupe se situe à + 100 m environ au-dessus du niveau de la perte temporaire de Dadong.

a) L'ensemble inférieur (photo 45)

Il est formé par un entassement de blocs métriques provenant de l'évolution des voûtes. D'après l'exploration faite dans la galerie adjacente, l'épaisseur de la couche de blocs est importante, sans doute plus de 10 à 20 m. Il s'agit de calcaires bioclastiques de l'Ordovicien inférieur. Les blocs sont directement recouverts par des limons et argiles varvés dont les couches épousent la surface chaotique.

b) L'ensemble principal rythmé (photos 44 et 45)

Par commodité, nous le décrivons de haut en bas, dans le sens de la topographie effectuée sur le terrain. Cet ensemble principal est rythmé en fonction des cycles de sédimentation avec une alternance de couches de graviers et de couches de limons varvés décarbonatés gris et rouges. Sur 22 à 24 m d'épaisseur, on observe quatre sous-ensembles (fig. 101) :

(1) Une séquence sableuse terminale, de 1 à 2 m, ne subsistant qu'au centre et sur le bord nord de la coupe (non visible sur la figure).

(2) Une séquence de 0 à 6 m formée par l'alternance de 26 couches de graviers et 26 couches de limons fins varvés. Les lits de graviers, de 5 à 10 cm d'épaisseur moyenne, sont constitués par des éléments roulés de 0,5 à 2 cm de diamètre et une matrice sableuse grise. Les couches varvées ont une puissance moyenne de 15 à 30 cm. Les lits de graviers et les limons varvés sont teintés en rouge à partir de 4 m.

(3) Une séquence homogène, de 6 à 12 m, formée presque

exclusivement par des limons varvés gris et rouges. Les lamines rouges mesurent de 1-2 mm à 5-10 mm d'épaisseur chacune.

(4) Une séquence de 12 à 20 m à alternance de lits de graviers et de limons varvés. Tous les lits de graviers (15 à 30 cm) ont une matrice teintée en rouge. En revanche, les couches de varves (15 à 40 cm) sont presque uniquement grises entre 13 et 20 m.

B. SIGNIFICATION GEOMORPHOLOGIQUE ET PALEOCLIMATIQUE

Les grandes séquences détritiques souterraines, visibles par le moyen d'une belle coupe naturelle, ne sont pas fréquentes. Elles se forment dans les réseaux souterrains en fonction des contraintes géométriques des parois (processus de barrage lacustre) et du régime hydroclimatique.

1. Signification stratigraphique et hydroclimatique

La séquence de Dadong présente une alternance de décharges détritiques fines et grossières. Le secteur concerné de la grotte joue donc le rôle de barrage lacustre souterrain, et par conséquent d'enregistreur du régime hydroclimatique régional.

◇ **Les varves** : Une première indication est apportée par la morphologie des varves de la base de la coupe. On observe une succession de grosses lamines gris-beige et ocre ou rouge. A 19,50 m, par exemple, le couple lame grise / lame rouge mesure 5 cm + 4 cm d'épaisseur.

Au milieu de la coupe, la séquence intermédiaire de varves grises et rouges, notamment entre 10 et 6 m, montre qu'il s'agit d'une sédimentation relativement longue sans aucune décharge de graviers. Si les varves sont annuelles (2 cm en moyenne), la séquence intermédiaire correspondrait à une période de deux siècles environ. Si l'on admet plusieurs varves par an, cette séquence est pluriannuelle. Cette première conclusion est importante pour la signification des décharges grossières.

◇ **Les couches de graviers** : Les 58 décharges de graviers correspondent à chaque fois à une seule grande crue ; mais s'agit-il de crues annuelles, décennales, cinquantennales ou séculaires ? L'interprétation détaillée de la coupe indique que ces décharges varient dans l'espace et dans le temps.

- La première séquence, de 20 m à 12 m, montre 22 lits de graviers séparés par des couches de varves centimétriques (1-5 cm) à décimétriques (15-40 cm). Entre 18,50 m et 16,50 m, les couches de graviers sont rapprochées et pourraient être annuelles, tous les deux ou trois ans ou au mieux décennales. Le régime hydroclimatique est contrasté.

- La deuxième séquence, de 12 m à 6 m, présente seulement quatre à cinq petits lits de graviers situés entre 11 m et 10 m. Le régime hydroclimatique, moins contrasté, se stabilise.

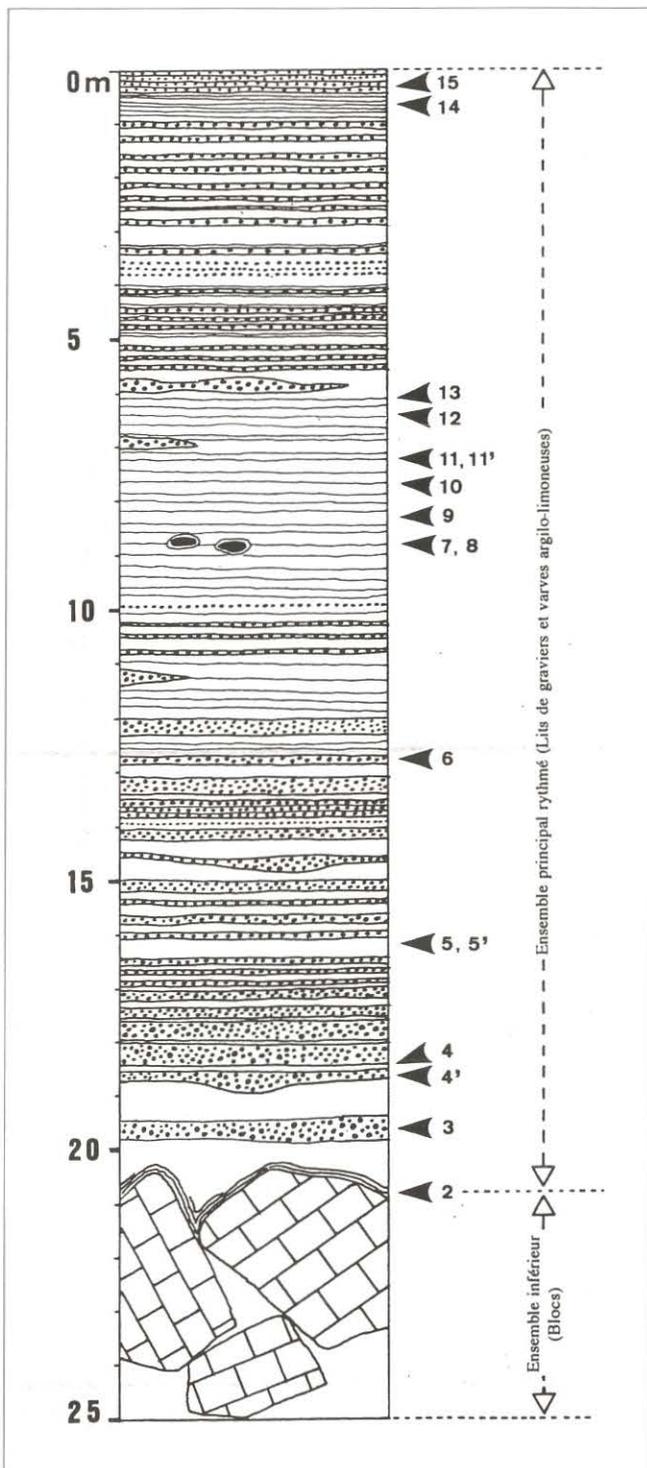


Figure 101 (ci-dessus) :
 Coupe de la séquence détritique souterraine de Dadong (Wufeng, Hubei). Les flèches indiquent les prélèvements. On observe une succession de lits de graviers (à matrice rouge) séparés par des niveaux argilo-limoneux varvés beiges et rouges (soutirage des sols rouges).
Underground sequence of Dadong (Wufeng, Hubei). Gravels and laminated silts coloured in red by withdrawing of red soils.

Photo 45 (ci-contre) :
 Base de la coupe détritique de Dadong. Ensemble inférieur constitué par des blocs recouverts par les limons varvés. En haut, premier lit de graviers de la séquence.
Bottom of Dadong sequence. Lower blocks covered by rhythmic silts.

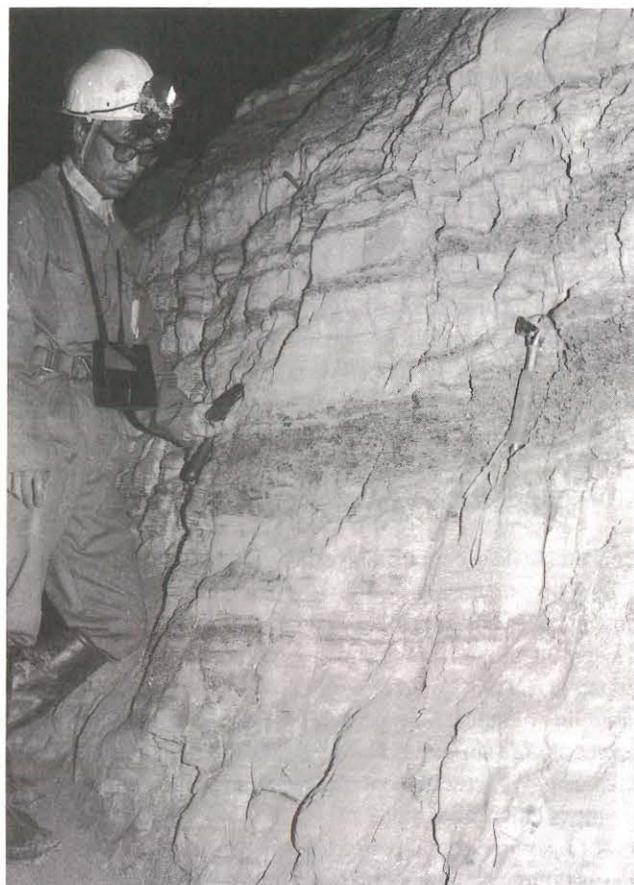


Photo 44 (ci-dessus) :
 Coupe détritique souterraine de Dadong (Wufeng, Hubei). Ensemble principal à lits de graviers et niveaux argilo-limoneux varvés contaminés par le soutirage des sols rouges.
Underground Dadong sequence (Wufeng, Hubei). Gravel layers and laminated silts polluted by red soils (erosion and withdrawing).



- La troisième séquence, de 6 m à 0 m, montre à nouveau un régime hydroclimatique contrasté, très régulier entre 3,50 m et 0,60 m. Entre 0,40 m et 0 m, la couche de graviers est séparée par 3 niveaux de limons jaunes de 15 mm chacun.

2. Interprétation paléoclimatique

◇ **Le soutirage des sols rouges** : Il joue un rôle majeur dans la contamination des lits de graviers (matrice sableuse rouge) et des limons varvés. Cette érosion de la couverture pédologique est liée à un changement climatique (rupture) qui est enregistré par l'ensemble de la séquence qui représente une période de plusieurs siècles à plusieurs millénaires.

L'étude d'un profil d'altérites, au-dessus de la grotte de Dadong, montre que les sols rouges proviennent de l'altération de l'Ordovicien schisteux. Sur 4 m d'épaisseur, on observe un puissant horizon d'altération argilo-limoneux, orange-rouge à jaunâtre. Des blocs altérés d'Ordovicien schisteux flottent dans le profil de même que de nombreux petits fragments rouges (oxydation du fer). (cf. chap. 11 : photo 62, fig. 108).

Les grandes crues, responsables des couches de graviers à matrice rouge, indiquent un décapage des sols. Cette érosion est liée à une déstabilisation de la couverture végétale et pédologique provoquée par une rupture climatique brutale. L'alternance saison sèche-saison humide est très contrastée.

◇ **Âges U/Th** : Deux stalagmites ont été prélevées à l'extrémité de la grande galerie sèche qui recoupe le remplissage. Par leur position, ces concrétionnements sont postérieurs à la coupe varvée. Les analyses U/Th sur DAD 518/A et DAD 518/B ont été effectuées au laboratoire du CERAK (Y. Quinif, Faculté Polytechnique de Mons, Belgique). (tableau 16, p. 142).

Les deux échantillons ont été pris dans le cœur des stalagmites. Il s'agit d'une calcite blanche, microstratifiée et très compacte. La teneur en uranium 232 est élevée (6 à 9 ppm). Les deux âges calculés sont de 12,6 (+0,4, -0,3) et 16,3 ka ($\pm 1,1$) et sont considérés comme fiables. Ces dates récentes ne permettent pas de caler avec précision vers le haut l'âge de la coupe détritique de Dadong qui est nettement plus ancienne, peut-être pliocène supérieur à Pléistocène inférieur (travaux en cours).

CONCLUSION

Dans la zone tropicale, les remplissages endokarstiques constituent un champ d'étude important qui débute à peine. En Chine du Sud, les premiers travaux montrent l'intérêt de ces dépôts dans l'étude des paléoenvironnements du Tertiaire et du Quaternaire, sans parler des remplissages plus anciens témoins des paléokarsts du Secondaire, du Primaire, voire du Précambrien. Bien que ces régions humides soient caractérisées généralement par une grande continuité de la pédogenèse et de la dissolution sous couverture de sols tout au long du Cénozoïque, on observe des indices de ruptures bioclimatiques au Plio-Quaternaire. C'est le cas, par exemple, de la grande coupe de Dadong (Hubei) ou des concrétionnements à séquences alternées brun-rouge et blanches témoins de l'apparition de phases de déséquilibre de

la couverture végétale et pédologique (rhexistasie). Dans les réseaux actifs, les remplissages "récents" peuvent renseigner sur les effets de l'occupation des sols depuis des millénaires, en particulier le rôle prédominant de la déforestation et du soutirage des sols.



Photo 46 :

Partie centrale de la coupe détritique de Dadong vue depuis le sentier creusé dans les sédiments. Belle succession de lits de graviers et de niveaux limoneux varvés.

Central part of Dadong sequence (total thickness : 20 m). Gravel layers (grey) and laminated silts (clear).

LES SYSTEMES KARSTIQUES ET LES CAVITES

— ZHANG Shouyue, Philippe AUDRA. et Richard MAIRE

RESUME :

Les systèmes karstiques de Chine du Sud sont de deux types : les grottes-tunnels à alimentation surtout allochtone (ex : Gebihe, Ziyun/Guizhou) et les systèmes en structure plissée à alimentation autochtone (ex : systèmes synclinaux de Wuxi/Sichuan et système de Santang, Zhijin/Guizhou). Le type mixte associant grotte-tunnel et sous-systèmes autochtones est illustré par le système de Longdong qui se développe dans un grand anticlinal coffré (Wufeng/Hubei).

Les grottes-tunnels de Chine du Sud détiennent des vides souterrains parmi les plus volumineux et les plus nombreux de la Planète. De nombreux canyons souterrains atteignent 100 m de haut (120 à 150 à la Gebihe). Le plus profond aven connu est le P370 de la Gebihe. La verticale la plus importante est le P320 d'entrée de Feng dong (Bama/Guangxi). La salle des Miaos, dans la Gebihe (Ziyun/Guizhou), est de part sa taille la deuxième plus grande salle du monde et mesure 700 x 200 x 70 m. D'autres salles présentent des voûtes hautes de plus de 100 m avec des talus d'éboulis atteignant 110 m de dénivellation (ex : Longdong, Wufeng/Hubei). Dans le système de Pan Yang (Bama/Guangxi) exploré par les expéditions sino-anglaises se développe la fameuse "Cloud Chamber" et son nuage blanc d'air chaud piégé dans la voûte.

La genèse des grands vides souterrains est en relation directe avec l'important débit des rivières allochtones traversant les grottes-tunnels. La formation des avens géants s'effectue par effondrement de la voûte d'une salle ou d'une grande galerie. L'étagement des tronçons de grottes-tunnels sur plusieurs centaines de mètres de dénivellation dépend de la forte surrection au Néogène et au Quaternaire en relation avec l'orogénèse himalayenne (chap. 11).

Mots-clés : système karstique, grotte-tunnel, système synclinal, rivière allochtone, aven, puits, salle, galerie, effondrement, affouillement-détente, dissolution, érosion mécanique, niveau de base, niveau étagé, surrection, tectonique, lithologie, Santang, Gebihe, Longdong, Wuxi, Guizhou, Hubei, Guangxi, Sichuan.

摘要：影响喀斯特发育的因素、发育历史

及洞穴系统的类型

划分出四种喀斯特层组类型并讨论其在研究区的分布。纯灰岩类型中喀斯特作用特点是各向异性极为明显；纯碳酸盐岩类型则由于灰岩与白云岩比例不同而呈各向异性或各向同性的喀斯特化；具有非碳酸盐岩间互层的纯碳酸盐岩类型，由于多含水层特征使喀斯特发育较弱；不纯碳酸盐岩类型的喀斯特不发育。

地壳构造变动是喀斯特作用的内营力，地壳变形与破裂特征控制着碳酸盐岩地块水动力单元的形式，也形成岩体中水的运动通道。地质构造常常控制了洞穴系统的类型。

白垩纪后期的燕山构造运动奠定了中国大陆地质构造格架，之后长期处于相对稳定阶段并准平原化。中国大陆在早第三纪地势起伏不大。渐新世—中新世的喜马拉雅造山运动主幕产生隆起与拗陷，中国大陆的地形、气候均发生变化，更有利于喀斯特作用，形成了晚第三纪以来不同时期的地表和地下喀斯特现象。

调查区内洞穴系统的类型可分为：向斜构造树枝状、狭窄向斜构造单管道状、平缓褶皱构造网格状及过境河流形成的洞穴系统。

ABSTRACT: TYPES OF KARST SYSTEMS.

There are two kinds of karst systems in South China: tunnel-caves with an exclusively allochthonous catchment area (e.g. Gebihe, Ziyun/Guizhou) and cave systems in folded geological structures with an autochthonous catchment area (e.g. the synclinal system of Wuxi in Sichuan or the system of Santang in Zhijin, Guizhou). An example of the mixed type combining tunnel-cave and autochthonous underground system is the cave system of Longdong, which developed along a large anticlinal block at Wufeng in Hubei.

The tunnel-caves of South China are the most numerous and voluminous of this planet. Many subterranean canyons surpass 100 m in height (120 to 150 m at Gebihe). The deepest known pit is the P370 of Gebihe and the most important shaft is the 320 m deep entrance shaft of Fengdong (Bama / Guangxi). The big room at Gebihe (Ziyun / Guizhou), called Chamber of the Miaos, measures 700 x 200 x 70 m and is the second largest known in the world. The height of vaults in other chambers surpasses 100 m and the height of a talus hill in Longdong (Wufeng / Hubei) reaches 110 m. In the cave system of Pan Yang (Bama / Guangxi), which has been explored by an Anglo-Chinese expedition, the famous "Cloud Chamber" can be found with its cloud of fog resulting from warm air trapped under the vault.

The genesis of the large underground features is directly related to the impressive discharge of the allochthonous rivers passing through the tunnel-caves. The giant pits are due to the collapse of large underground chambers or galleries. In the remnant stumps of tunnel-caves passage levels are spread across a vertical distance of several hundred metres and have developed in the course of the strong uplifts during Neogene and Quaternary (see chapter 11).

Keywords: *Karst system, tunnel-cave, synclinal system, allochthonous river, autochthonous catchment area, pit, shaft, chamber, gallery, breakdown, dissolution, mechanical erosion, base level, passage level, uplift, tectonic, lithology, Santang, Gebihe, Longdong, Wuxi, Guizhou, Hubei, Guangxi, Sichuan.*

ZUSAMMENFASSUNG: KARSTTYPEN.

Es gibt zweierlei Karstsysteme in Südchina: Einerseits Durchfluhöhlen ("Tunnelhöhlen", eine Kombination von Durchgangs- und Flußhöhle) mit vorwiegend allochtonem Einzugsgebiet, die einzelne Inselberge oder Gruppen von Inselbergen durchqueren (z.B. Gebihe in Ziyun, Guizhou) und andererseits Höhlensysteme in gefalteten Strukturen (z.B. in den Synklinalstrukturen von Wuxi in Sichuan oder von Santang bei Zhijin in Guizhou). Im Mischtyp vereinigen sich Tunnelhöhle und autochtones Untergrundsystem, wie am Beispiel des Höhlensystems Longdong in Wufeng, Hubei, gesehen werden kann, das entlang eines großen antiklinalen Blocks entwickelt ist.

Die Durchfluhöhlen Südchinas sind vielleicht die zahlreichsten und voluminösesten des Planeten. Viele unterirdische Canyons sind mehr als 100 m hoch (120 bis 150 m beim Gebihe). Der tiefste bekannte Einbruchsschacht ("aven") ist der P370 des Gebihe und der tiefste Einstiegsschacht ("puit") der P320 in der Fengdong (Bama, Guangxi). Die "Halle der Miao" im Gebihe ist mit 700 x 200 x 70 Metern der zweitgrößte vermessene unterirdische Hohlraum der Erde. Andere Hallen bestehen aus Gewölben mit mehr als 100 m Höhe; allein die Schutthalde der Longdong ist über 110 m hoch. Im Höhlensystem Pan Yang (Bama, Guangxi) das von einer chinesisch-britischen Forschungsgemeinschaft erforscht wurde, befindet sich die berühmte Cloud Chamber ("Wolkenhalle") in der eine Warmluftwolke unter der Kuppel gefangen ist.

Die Entstehung der großräumigen unterirdischen Erscheinungen steht in direktem Zusammenhang mit der starken Schüttung der allochtonen Flüsse, welche die Tunnelhöhlen durchfließen. Die Entstehung der riesigen Einbruchsdolinen geht auf den Einsturz von unterirdischen Hallen oder Gangstrecken zurück. Die über eine Vertikalstrecke von mehreren hundert Metern sich erstreckende Niveaubildung beruht auf der beträchtlichen Hebung während dem Neogen oder Quartär (siehe Kapitel 11).

Stichworte: *Karstsystem, Durchfluhöhle, Synklinalsystem, allochtone Flüsse, Einbruchsschacht, Einstiegsschacht, Halle, Gang, Einsturz, Lösung, mechanische Erosion, Vorfluterniveau, Höhlenniveau, Hebung, Tektonik, Lithologie, Santang, Gebihe, Longdong, Wuxi, Guizhou, Hubei, Guangxi, Sichuan.*



INTRODUCTION

Les systèmes karstiques de Chine du Sud sont symbolisés par de multiples grottes-tunnels qui traversent les pitons et les petits massifs calcaires résiduels. Les percées peuvent mesurer quelques hectomètres à 5-20 km. En raison de l'important débit des rivières allochtones qui se perdent dans ces reliefs, les conduits creusés sont de très grandes dimensions. Le développement des explorations dans les prochaines années devrait permettre de décupler les connaissances spéléologiques.

I. LES SYSTEMES KARSTIQUES

A. LES FACTEURS GEOLOGIQUES DANS L'ORGANISATION DES SYSTEMES KARSTIQUES

1. Le contrôle lithologique

Les systèmes karstiques se différencient en fonction de quatre types de formations carbonatées :

- les calcaires purs (W1) ;
- les roches carbonatées pures, dont les dolomies (Wc) ;
- les roches carbonatées pures comportant des couches étanches interstratifiées (Gc) ;
- les roches carbonatées impures (Gm).

La distribution des affleurements de ces différentes formations est indiquée dans le tableau 17. Dans les formations carbonatées pures à calcaires et/ou dolomies (W1 et Wc), les réseaux karstiques à grands conduits sont fréquents. Dans les formations Gc, les couches imperméables déterminent l'existence d'aquifères superposés. Dans le dernier type (Gc), la karstification est peu développée. Ce contrôle lithologique est classique.

2. Le contrôle morphotectonique

L'organisation des réseaux karstiques dépend étroitement des

facteurs tectoniques (fracturation, dispositifs structuraux), de l'histoire des déformations (phases de plissement et de surrection) et de l'évolution géomorphologique au cours des phases tectoniques. Les grands types de systèmes karstiques dépendent donc de l'évolution morphotectonique : grottes-tunnels à alimentation allochtone et réseaux autochtones développés au sein des structures plissées (ex : systèmes karstiques synclinaux).

B. LES GRANDS TYPES DE SYSTEMES KARSTIQUES

En hydrogéologie du karst, rappelons que le système karstique désigne l'ensemble d'une unité souterraine de drainage alors que le réseau karstique correspond à la partie pénétrable et explorée par l'homme. Dans les karsts tropicaux de Chine du Sud, on distingue deux grands types de systèmes karstiques : les systèmes de grottes-tunnels à alimentation allochtone ou mixte et les systèmes en structure plissée à alimentation autochtone. Des systèmes de transition peuvent exister de même que des confluences de grottes-tunnels (Gebihe).

1. Les systèmes de grottes-tunnels

Les plateaux de Chine du Sud mêlent des aires karstiques et des espaces en terrains imperméables (reliefs schisto-gréseux, poljés et plaines à fond imperméabilisés). De ce fait, les nombreux cours d'eau qui aboutissent aux zones calcaires se perdent et créent des systèmes pertes-résurgences connus sous le nom de grottes-tunnels. Ce type de système karstique, à alimentation surtout allochtone, est plus facile à explorer que les systèmes karstiques autochtones (infra : systèmes synclinaux, p. 154).

Les rivières allochtones constituent donc des atouts favorables à la karstification :

- ces écoulements atteignent le karst déjà concentrés, sous forme de puissants torrents ou rivières (ex : Gebihe, Yijiehe) ;
- ayant traversé des régions schisteuses et/ou gréseuses, les eaux transportent des éléments abrasifs et des galets qui accroissent l'érosion mécanique ;

Zones étudiées	Calcaires purs W1	Calcaires et /ou dolomies Wc	Couches imperméables interstratifiées Gc	Roches carbonatées impures Gm	Terrains imperméables
Zhijin (Guizhou)	T1d, T1yn		T1y		P2
Ziyun (Guizhou)	C2+3, P1, P2	C1b	P2, T1		T2
Pingtang (Guizhou)	C1d-C3, P1	D3y	C1y, P2	T1	C1d1, P11,
Wuxi (Sichuan)	P1	T1j	T1d		T2
Wufeng (Hubei)	O1, P1, T1	€ 2+3	P2		S
Hefeng (Hubei)					S+D

Tableau 17 :

Distribution des terrains carbonatés dans les régions étudiées (d'après Zhang Shouyue). Les grands réseaux karstiques se développent dans les types W1, Wc ; et les aquifères étagés dans le type Gc.

Distribution of carbonate formations in the studied area (according to Zhang Shouyue). The large karst systems are developed in W1 & Wc. Overlying aquifers are found in Gc.

- enfin, la plupart des rivières issues des régions imperméables charrient des eaux agressives durant la saison des pluies qui leurs confèrent un potentiel de dissolution important.

a. Distribution des grottes-tunnels :

Bien que nombreuses en Chine du Sud et dans les karsts tropicaux, les grottes-tunnels ne sont pas des cavités liées au départ à des facteurs zonaux (climat), mais à des facteurs azonaux comme la structure géologique et la géomorphologie. En Europe, les grottes-tunnels sont bien connues : rappelons les exemples fameux de la grotte du Mas d'Azil en Ariège (Fr.), de Han sur Lesse en Belgique, de Skocjan Jama en Slovénie (Yougoslavie) avec son grand canyon souterrain.

Toutefois, l'abondance des grottes-tunnels dans les karsts tropicaux à pitons, à cônes et ouvalas, provient de l'état d'évolution du karst, c'est-à-dire de l'altération (pédoclimat) et des événements tectoniques (surrection). La juxtaposition des reliefs karstiques résiduels et des poljés et plaines d'altération à fond étanche ou imperméabilisé par les altérites explique l'abondance des grottes-tunnels. Chaque piton ou groupe de pitons est susceptible de renfermer une grotte-tunnel active ou des tronçons perchés d'anciennes grottes-tunnels.

b. Les plus grandes grottes-tunnels de Chine :

La plus grande grotte-tunnel explorée de Chine est celle de Tenglongdong, dans le Hubei, avec plus de 40 km de galeries, la distance perte-émergence étant de 9 km pour une dénivellation de 140 m (MASSCHELEIN et ZHANG SHOUYUE, 1990). Le cours actif n'a pu être suivi que sur quelques tronçons à cause de siphons. La pente moyenne théorique est de 1,5 %.

Dans le karst à pitons du Guangxi, 30 km au SE de Guilin, le système de grottes-tunnels de Guanyan mesure 7 km de la perte à la résurgence pour une dénivellation totale de 110 m (alt. 240-130 m). La pente moyenne théorique est de 1,6 % (WALTHAM, 1986). A 150 km au NW de Guilin, le comté de Bama renferme de nombreuses grottes-tunnels dont le système de Solue qui mesure 20 km de la perte à la résurgence avec une rivière souterraine explorée sur plus de 7 km (GILL et al., 1990).

Dans le Guizhou (comté de Ziyun), le système de la Gebihe mesure 3,3 km de la perte principale (Gebihe) à la résurgence et 4,4 km depuis la perte secondaire de Gebong (total exploré de 12 km). La pente moyenne théorique est de 4,2 % pour une dénivellation de 140 m (chap. 2). Au sud du Guizhou, dans le comté de Luodian, le système de Dajing présente une percée de 15 km pour un gradient de 2,6 % dans la partie inférieure (de Daxiaodong à la résurgence de Dajing) (ZHANG SHOUYUE et BARBARY, 1988, p. 71).

Au nord du Guizhou, SONG SHIXIONG signale une percée de 34 km pour une dénivellation de 1000 m environ. Remarquons que les grands systèmes pertes-émergences présentent une double alimentation allochtone et autochtone.

c. Caractères généraux des grottes-tunnels :

Les grottes-tunnels se décomposent en trois éléments :

- les pertes se situent au contact terrain imperméable/roche carbonatée et peuvent être pénétrables ou non, exondées ou noyées, selon la configuration locale ;
- la résurgence offre les mêmes caractéristiques : pénétrable ou non, vaclusienne ou débouchant par une galerie ; elle s'ouvre

généralement à proximité du niveau de base régional, en bordure de massif ou au fond de gorges ;

- le regard sur le système peut être absent ou exister en grand nombre ; la plupart du temps, il s'agit de gros avens d'effondrement dont la profondeur peut atteindre plusieurs centaines de mètres pour un diamètre hectométrique (1 à 2 km pour les plus vastes quand il y a coalescence d'avens).

Selon l'état des explorations spéléologiques, les réseaux présentent toutes les combinaisons de ces trois éléments. Quand la traversée est possible de la perte à la résurgence, il s'agit du modèle spéléologique de la grotte-tunnel. Des regards sur le cours souterrain viennent ou non recouper le trajet de la rivière (Daxiaocaokou et Gebihe dans le Guizhou).

La forme des galeries est étroitement dépendante de la pente du cours d'eau souterrain. Si celle-ci est faible, le réseau est noyé. Au fur et à mesure de l'augmentation de la pente, les galeries deviennent alternativement noyées et exondées, puis entièrement exondées.

Les galeries temporairement noyées présentent des sections en conduite forcée, avec des remplissages d'argile de décantation tapissant parois et plafonds (Xiangbidong/Anshun-Guizhou). Les galeries à écoulement libre ressemblent à de vastes canyons, à l'image des gorges empruntées par la rivière avant sa perte. Ces canyons souterrains peuvent être encombrés de blocs provenant de l'éboulements des voûtes.

Par rapport aux cours souterrains autochtones qui grossissent régulièrement vers l'aval grâce à l'apport des affluents, ces cours allochtones traversent les reliefs calcaires avec des apports d'eau variables en fonction des pertes proches et de la dimension des massifs traversés. Dans le cas de Daxiaocaokou (chap. 1), ces apports semblent négligeables. En revanche, pour la Gebihe, on observe la confluence souterraine de deux grottes-tunnels plus un important affluent en aval de la salle des Miaos dont on ne connaît pas l'origine. Ainsi, le débit à l'émergence est double de celui de la perte principale de la Gebihe.

d. Le gabarit des conduits :

Les grottes-tunnels de Chine méridionale présentent des conduits de très grandes dimensions aussi bien dans les tronçons secs que dans les tunnels actifs. Dans le Guangxi, la perte principale du système de Solue présente une galerie active haute de 145 m (GILL et al., 1990, p. 55). Dans le Guizhou, le canyon souterrain de la Gebihe mesure 120 à 150 m de haut (photo 47). De telles dimensions sont en rapport avec l'importance du débit des rivières allochtones qui traversent les massifs (cf. p. 157).

2. Les systèmes karstiques en structure plissée

En dehors des grottes-tunnels qui caractérisent les karsts à reliefs résiduels, les reliefs plissés des karsts montagnards du Hubei occidental et du Sichuan oriental renferment de multiples systèmes karstiques à alimentation essentiellement autochtone se développant dans des structures synclinales. Ces systèmes karstiques sont de type alpin, mais ils peuvent intégrer localement de petites grottes-tunnels en raison de l'évolution géomorphologique régionale.

a. Les systèmes synclinaux dendritiques (type Santang en synclinal large) :

Dans la région plissée du comté de Zhijin (Guizhou), le synclinal dissymétrique de Santang, à grand rayon de courbure, mesure 16 km de large pour une aire d'alimentation estimée à 150 km² (chap. 1, fig. 10 et 16). Le système karstique, de type dendritique, présente un grand potentiel de galeries dont une quinzaine de km seulement ont été explorées.

La similitude avec le système karstique synclinal du Dévoluy (impluvium de 200 km²), dans les Alpes françaises, est à noter. Dans les deux cas, le grand collecteur central n'a jamais été atteint. Celui-ci se développe en régime noyé ; en hautes eaux, le gradient de mise en charge est important et ennoie temporairement certaines cavités qui jouent le rôle de cheminées d'équilibre (cas du puits des Bans dans le Dévoluy, de Mawotou à Santang, fig. 21, p. 36).

A l'aval du système de Santang, l'évolution géomorphologique a créé une courte vallée aveugle longue de 800 m à l'amont de laquelle émerge par une source vauclusienne le cours souterrain de Santang. La rivière emprunte le fond de la vallée, puis traverse en grotte-tunnel une barre calcaire large de 300 m (Luochu : fig. 24, p. 38) .

b. Les systèmes synclinaux étroits (type Wuxi) :

Dans les karsts de montagne à structure géologique alpine des Daba Shan (Wuxi/Sichuan oriental), les systèmes karstiques se développent dans des gouttières synclinales très allongées, orientées E-W, avec des potentiels hydrauliques de plus de 1000 m (chap. 4). La reconnaissance effectuée en 1989 a

permis d'accéder à un drain collecteur amont du système synclinal oriental de Wuxi par l'intermédiaire d'un gouffre de morphologie alpine (Sifangdong, avec P110 m d'entrée) (fig. 46, p. 69). L'exutoire se situe près de Wuxi à la hauteur du niveau de base régional (alt. 195 m).

Des systèmes karstiques se développent également en structure synclinale perchée comme ceux, encore inconnus, des Daguang Shan, avec leurs émergences suspendues plus de 1000 m au-dessus du fond de la vallée de la Daninghe.

3. Les systèmes karstiques mixtes

Ces systèmes associent grottes-tunnels (alimentation allochtone) et systèmes karstiques en structure plissée (alimentation autochtone). Le plus bel exemple est représenté par le système karstique de Longdong dans le comté de Wufeng (Hubei) (chap. 5).

Ce système présente une perte temporaire principale de très grande dimension : la grotte de Dadong (fig. 63, p. 87). L'émergence est la grotte de Longdong (fig. 64, p. 89). Le système en grotte-tunnel, exploré partiellement, traverse un puissant anticlinal coffré large de plus de 10 km et armé par les calcaires ordoviciens (fig. 62, p. 84). Il est alimenté latéralement par des sous-systèmes karstiques à drainage autochtone qui assurent l'exclusivité du débit d'étéage. La plupart des cavités explorées sur ce massif font sans doute partie de ces sous-systèmes affluents : Yunjiakeng (- 157 m), Dongxitiankeng ou Puits Est-Puits Ouest - 382 m).

Située quelques centaines de mètres en amont des deux



perles de Dongxitiankeng, la grotte du Général (ou Jiangjundong) est une grotte-tunnel traversant une barre calcaire large de 400 m (fig. 71, p. 95).

II. LES GRANDS VIDES KARSTIQUES

Les réseaux karstiques de Chine du Sud, en particulier les grottes-tunnels, sont caractérisés par la grande dimension des vides souterrains : salles, galeries, puits, avens. D'emblée, on constate que les nombreux effondrements et cavités décapitées proviennent du fort degré d'évolution de ces karsts tropicaux. L'énormité des nombreux conduits (perles de rivières, canyons souterrains, salles) est liée à l'importance du débit des rivières allochtones qui traversent les massifs, d'où une forte érosion mécanique en période de crues (photos 47 et 48).

A. LES GRANDES SALLES

De multiples grandes salles ont été découvertes dans les grottes-tunnels de Chine du Sud par les différentes expéditions spéléologiques.

- **Guizhou** : La salle des Miaos (700 m x 200 m) est localisée dans la partie aval de la grotte-tunnel de la Gebihe, dans le comté de Ziyun (chap. 2). Lors de l'expédition française de 1986 a été découvert la grande salle de Hei Dong (200 m x 150 m) dont le talus d'éboulis, incliné à 40°, mesure 100 à 120 m de haut (ZHANG SHOUYUE et BARBARY, 1988, p. 76).



Photo 47 :
Montage photo montrant la zone d'entrée de la perte géante de la Gebihe (Ziyun, Guizhou). A droite, le porche en ogive de 116 m de haut (les deux points noirs/canots dans l'eau donnent l'échelle). Au premier plan, balcon dans le grand puits d'effondrement de 370 m. A gauche, galerie de la Gebihe haute de 150 m !

The Gebihe system (Ziyun, Guizhou). Photomontage showing the entrance of this giant sinkhole. On the right, entrance porch (116 m high), on the left, the high Gebihe gallery (150 m high !).

Dans la grotte aménagée de Dajidong (Zhijin), près de Daxiaocaokou, l'énorme galerie fossile à l'est du réseau peut être considérée comme une salle (310 x 120 m) (ZHANG SHOUYUE et BARBARY, 1988, p. 34).

- **Hubei** : Dans le vaste réseau "fossile" de Tenglongdong (galerie du Dragon Blanc), topographié par l'équipe belgo-chinoise, une salle importante se développe à la bifurcation de plusieurs conduits importants. Celle-ci mesure 230 m x 170 m et présente un cône d'éboulis de 100 m de haut comme nous avons pu l'observer lors de notre visite en 1989.

Dans le comté de Wufeng, dans la partie amont du réseau de Longdong, nous avons exploré une salle de 220 m x 100 m remontant de 110 m dans un raide talus d'éboulis (fig. 64, p. 89). Une salle de dimensions analogues (230 m x 120 m), haute de 100 m environ, existe dans la grotte-perte de Dadong (fig. 63, p. 87).

- **Guangxi** : Lors des expéditions sino-anglaises, des salles importantes ont été découvertes dans les grottes-tunnels du Guangxi et du Guizhou. Signalons la salle Jin Lun (200 m x 170 m, S = 1,4 ha) située dans Jinludong (Mashan, Guangxi). Le sommet du grand cône d'éboulis est couronné par un puissant massif stalagmitique. Dans les tronçons de grottes-tunnels du système de Pan Yang (Bama, Guangxi), plusieurs grandes salles ont été découvertes, dont la fameuse "Cloud chamber" (330 m x 140 m) ; celle-ci présente une voûte en dome qui a la particularité de piéger de l'air humide à 22-23°C formant un nuage à base horizontale (cf. photo p. 23, in FOGG, 1989 ; GILL et al., 1990, p. 58).

- **Yunnan** : Dans cette province, les résultats spéléologiques sont encore insuffisants. La plus grande salle connue se situe dans Yan Fen Dong (comté de Mengzi) et ne mesure que 100 m x 50 m (expédition sino-bulgare de 90, Spelunca n° 39, p. 9).

B. LES PUIITS PROFONDS

Sous cette appellation, nous excluons les avens géants provenant de l'effondrement d'une grande galerie ou d'une salle (infra). (fig. 102).

- **Les grands puits souterrains** : Ce type de puits est encore peu fréquent à cause de l'état des explorations, mais on devrait en découvrir de plus en plus au cours des années futures. Le plus profond est le P275 de Longtandong dans le comté de Qingzhen (Guizhou) qui a été exploré par l'expédition anglo-chinoise de 1985 (WALTHAM, 1986, p. 42). Celui-ci se situe à proximité de la surface, vers - 10 m, et draine un petit ruisseau. C'est actuellement le plus profond connu en Chine.

Dans les karsts de montagne du comté de Wufeng (Hubei), le gouffre-perte du puits E (Dongxitiankeng) présente une morphologie alpine avec un puits arrosé de 100 m fig. 73, p. 98).

- **Les grands puits de surface** : Ces vastes abîmes à la gueule béante, larges parfois de plusieurs dizaines de mètres, présentent des verticales atteignant jusqu'à 200 m de profondeur. Généralement, ces abîmes s'ouvrent au point bas des ouvalas nichés entre les pitons. De plus, ils se localisent préférentiellement sur les plateaux assez élevés en altitude et à



Photo 48 :

Grotte de Dadong (Wufeng, Hubei). Cette grande galerie sèche remonte en direction de la séquence détritique rythmée de 25 m (chap. 9, fig. 101). La dimension de ce conduit de plus de 80 m de haut, avec voûte en plein cintre, illustre encore l'importance des vides souterrains dans les grottes-tunnels de Chine du Sud.

Large dry passage in Dadong cave, 80 m high, just before the Dadong detrital sequence (Wufeng, Hubei).

proximité des grandes gorges où le potentiel est suffisant pour pouvoir engendrer de telles verticales.

La cavité peut se limiter à un simple monopuits d'entrée comme Baitong Shujing (P190) dans le comté de Ziyun (Guizhou) qui s'ouvre au fond d'une doline de 80 m de large. Le plus profond actuellement connu est le puits de 320 m de Fengdong situé dans le comté de Bama (Guangxi) (GILL, 90).

Plus remarquable est l'exemple de Danghai Shujing (Luodian, Guizhou) ; ce gouffre s'ouvre à 30 m du sommet d'un cône escarpé haut de plus de 300 m. Il débute par un puits de 200 m orienté sur une fracture. La cavité se poursuit par une succession de puits jusqu'à la cote - 301 m (fig. 102).

Ces grands puits correspondent à d'anciennes pertes qui ont drainé les ouvalas montagnards. En saison des pluies, ils peuvent connaître une activité hydrologique importante s'il s'agit de perte temporaire. La situation en sommet de cône, à plus de 200 ou 300 m du fond des dépressions actuelles, indique l'ancienneté de ces cavités et l'importante évolution du karst en fonction de la surrection.

C. LES AVENS GEANTS

Les grands effondrements jouant le rôle de regard sur les rivières souterraines n'appartiennent pas à la catégorie précédente. Ils sont une des caractéristiques morphologique des grottes-tunnels. Ces vastes effondrements, aux parois abruptes, présentent des éboulis de base couverts par une végétation ombrophile constituée de fougères et de bananiers sauvages. Ce cas est bien illustré par le puits central de la Gebihe dont la profondeur dépasse 200 m pour un diamètre équivalent (chap. 2). (photo 49).

Dans le comté de Luodian, au sud du Guizhou, le système de Xiaojing est formé par une rivière allochtone longue de 30 km qui achève sa course par un tronçon souterrain d'une dizaine de kilomètres. Une vallée sèche parallèle au cours souterrain marque l'ancien tracé aérien de la rivière avant son enfouissement. Un regard (Xiangshuidong) a été exploré sur 4 km de développement. La rivière est accessible par plusieurs orifices : un ancien trop-plein sous forme d'une galerie inclinée et deux avens. Le plus vaste effondrement mesure 300 m x 150 m, pour 150 m de profondeur. 5 km en amont, à mi-chemin entre la perte et la résurgence, un autre regard a été repéré sur la carte topographique. Cet effondrement, estimé à 380 millions de m³, mesure 1,5 km de long pour 400 m de profondeur.

Comme à Daxiaocaokou, dans le comté de Zhijin (chap. 1), on serait en présence de la coalescence de dolines d'effondrement qui jalonnent le tracé du canyon souterrain. L'origine de ces avens géants ne pose pas de problème d'interprétation. Il s'agit de l'effondrement de la voûte de salles ou de canyons souterrains de grandes dimensions. La rupture par cisaillement intervient en fonction de la proximité de la surface, donc du degré d'évolution du karst.

III. GENÈSE DES SYSTÈMES KARSTIQUES

A. FORMATION DES GRANDS VIDES SOUTERRAINS

1. Erosion mécanique et dissolution

En dehors du facteur lithologique (infra), c'est l'importance du débit qui détermine la grande dimension des conduits souterrains en permettant une forte érosion mécanique et chimique et une bonne évacuation des sédiments. Durant la mousson d'été, de nombreuses rivières allochtones pénètrent sous terre avec des débits pouvant dépasser plusieurs dizaines de m³/s, voire plus. En zone tropicale, ce phénomène est vérifié pour les grands conduits actifs de Nouvelle-Guinée et notamment de Nouvelle Bretagne (ex : Minyé, Naré, Kavakuna) (MAIRE et al., 1981). En zone tempérée, comme en Europe, ce phénomène est également vérifié, en particulier en Yougoslavie avec l'exemple de la Rieka souterraine et sa galerie haute de 80 à 100 m.

Les analyses hydrochimiques effectuées pendant la saison sèche montrent que les eaux des grandes rivières souterraines, dont celles des grottes-tunnels, sont saturées ou sursaturées en calcite et n'ont donc aucun pouvoir corrosif (chap. 8). Bien que l'on ne dispose pas d'analyses pour la saison des pluies, il est très probable que les eaux des rivières allochtones soient agressives. Les traces de corrosion sont très nombreuses dans les grandes galeries actives des grottes-tunnels à l'image de l'Ordovicien calcaire déchiqueté (silex mis en reliefs) de la grotte-résurgence de Longdong (système de Dadong, Hubei/chap. 5).

A cela s'ajoute la forte érosion mécanique (marmitage) comme nous avons pu l'observer dans la Gebihe, juste en aval du puits central, où des marmites, fonctionnelles en hautes eaux, sont creusées 5 à 30 m au-dessus du niveau d'étiage (chap. 1). Dans les gouffres-pertes des réseaux de montagne, comme dans le comté de Wufeng (Hubei), le plancher des galeries est constitué par la coalescence de marmites (cas du réseau du Puits E, chap. 5).

2. L'affouillement-détente

La présence de couches marneuses, interstratifiées dans les masses calcaires, peut avoir une influence sur la genèse de certains grands volumes karstiques. Ces passées marneuses concentrent les écoulements souterrains, en offrant un écran local à une infiltration plus profonde. Le creusement s'exerce dans le lit du torrent, mais aussi le long des rives en affouillant les marnes. Les bancs calcaires des parois sus-jacentes se trouvent alors en porte-à-faux et s'effondrent sous l'effet de la gravité. Les voûtes les plus fragilisées par la fracturation peuvent alors propager l'effondrement vers la surface, et révéler le vide sous-jacent. Des drains importants peuvent alors se constituer si le débit de la rivière souterraine est suffisant pour évacuer le matériel par tassement-dissolution et transport de la charge détritique.

Ce processus est bien connu dans le massif pyrénéen de la Pierre Saint-Martin. Toutefois, si le processus d'affouillement-détente est à l'origine des grands vides souterrains (GILLI, 1984), de grandes galeries peuvent aussi se former en roche massive ou homogène sans l'intervention de niveaux imperméables (ex : salles et grands conduits des réseaux de Nouvelle-Bretagne).

L'affouillement latéral tend à créer des vides larges, comme la salle des Miaos dans le réseau aval de la Gebihe, alors



Photo 49 (ci-dessus) :

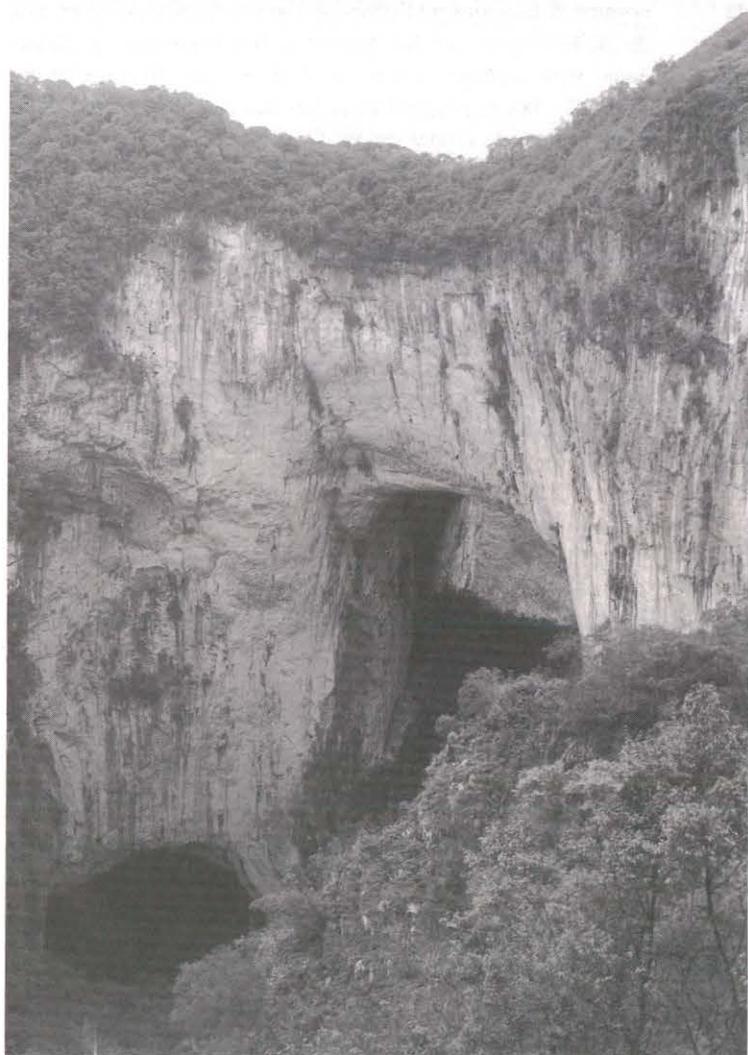
Le système de la Gebihe (Ziyun, Guizhou) traverse un karst à fenglin-ouvala (karst à pitons, cônes et dépressions). Au centre, au fond d'un ouvala, un vaste puits d'effondrement de 210 m de profondeur constitue un regard sur la rivière souterraine.

The collapse pitch (210 m deep) on the fenglin-ouvala karst of Gebihe system (Ziyun, Guizhou).

Photo 50 (ci-contre) :

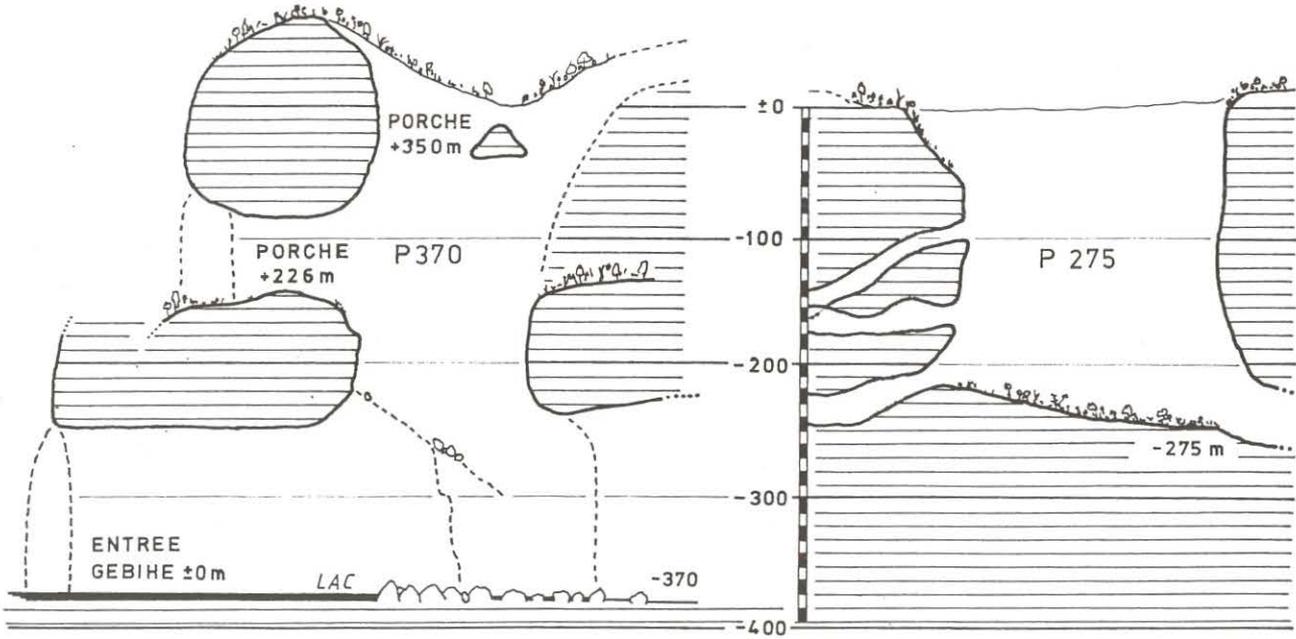
A proximité de la perte actuelle de la Gebihe (porche de 116 m) s'ouvre le grand puits d'effondrement de 370 m. Au centre, le porche correspond au niveau de + 220 m (ancienne Gebihe) ; en bas, à gauche, liaison avec la rivière souterraine de la Gebihe. Ces cavités géantes perchées et recoupées montrent l'importance de l'évolution du karst au cours du Cénozoïque en relation avec la surrection himalayenne.

The 370 m collapse pitch of Gebihe system with the perched porch (+ 226 m).



P 370 de la Gebihe
(Ziyun-Guizhou)

Bandong-Xiniudong
(Anlong-Guizhou)



Danghai Shujing
(Luodian-Guizhou)

Longtandong (Qingzhen-Guizhou) Baitong Shujing (Ziyun-Guizhou)

Xiaocaokou
(Zhijin-Guizhou)

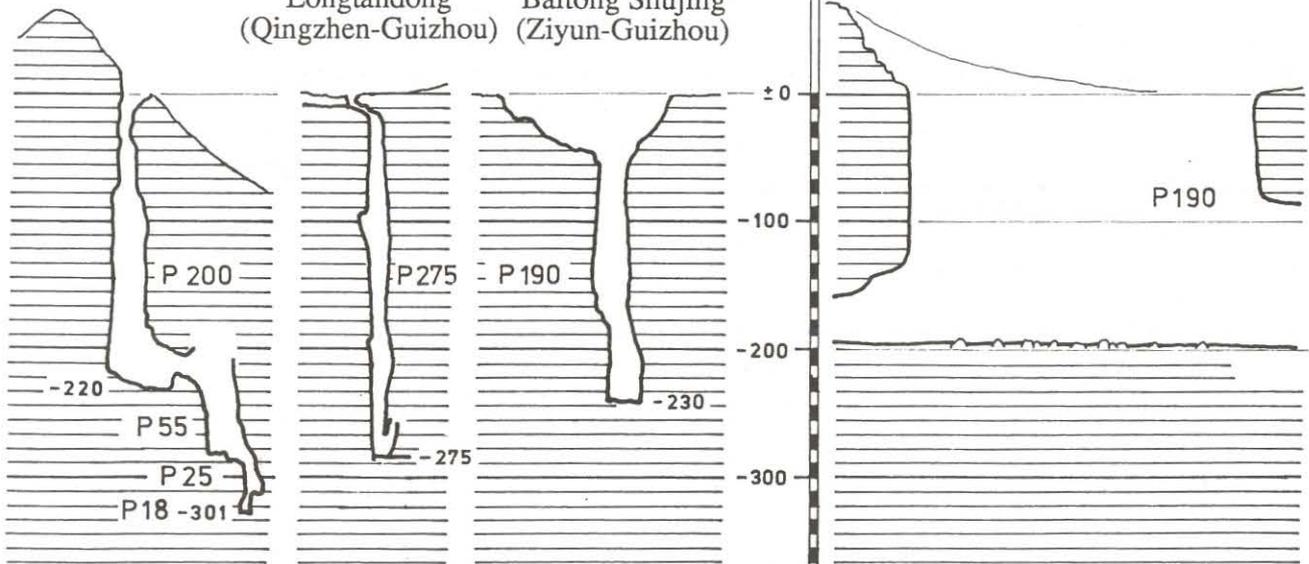
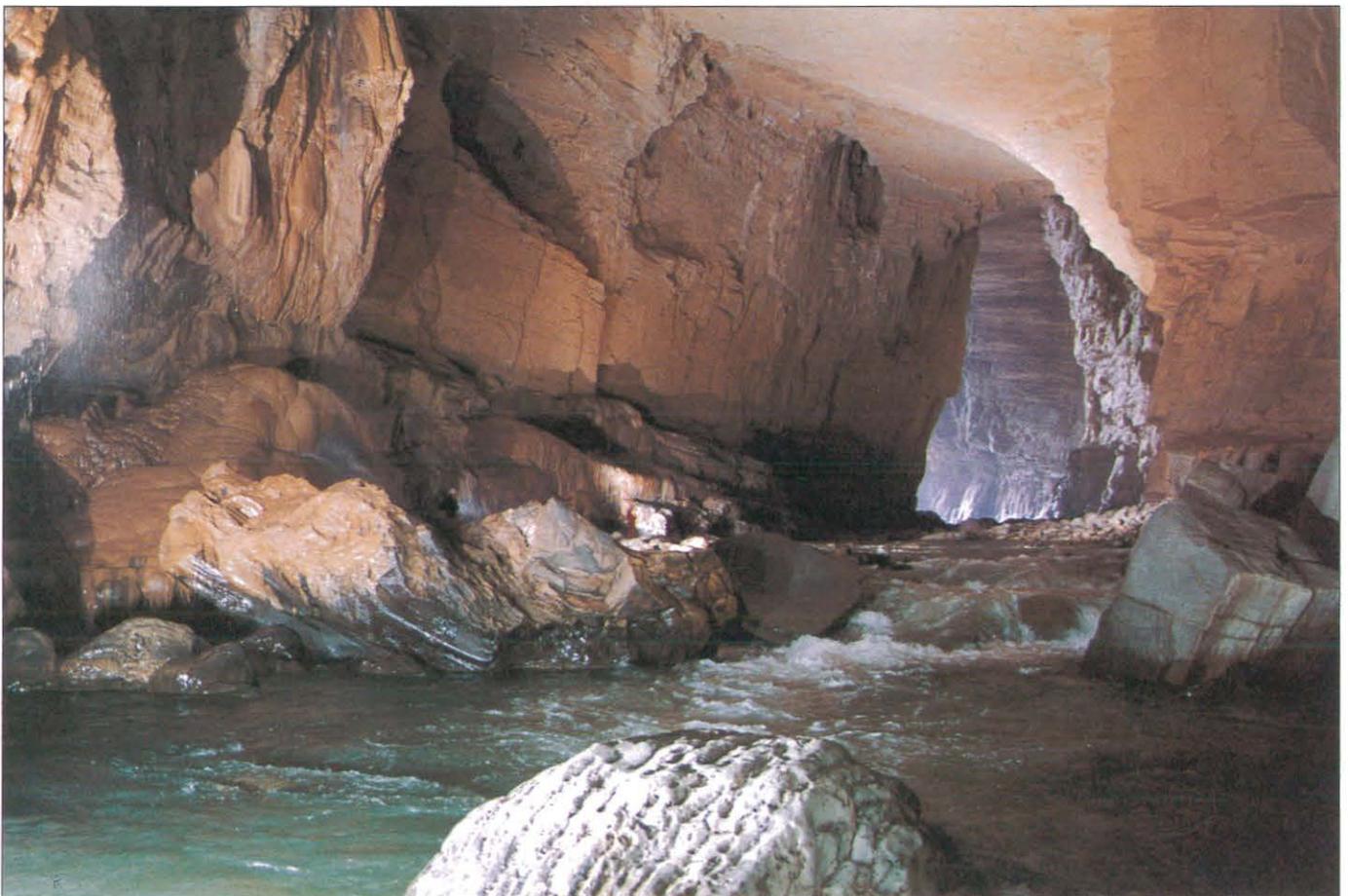


Figure 102 :
Exemples de grands puits et gouffres d'effondrement dans les karsts
de Chine du Sud (Guizhou, Guangxi).

Examples of deep shafts and large collapse sinkhole in south China
karst (Guizhou, Guangxi).



Ferme typique dans la région de Wuxi (Sichuan). (FB) — *Typical farmhouse of Wuxi area (Sichuan).*



Daxiaocaokou la rivière enchantresse... (Zhijin - Guizhou) (CR) — *Daxiaocaokou enchanting river...*

puits). Compte tenu du potentiel hydraulique important de ces régions à vallées profondes, des gouffres dépassant 500 m de profondeur seront sans doute explorés dans les dix prochaines années.

Le point des explorations

(J.P. Barbary, R. Maire)

Nous publions ici les listes des plus longues et des plus profondes cavités de Chine ainsi que celles des grands puits et des grandes salles. Elles sont le résultat d'un travail fastidieux de bibliographie, cette dernière étant malheureusement éparpillée au quatre coins du monde ; de plus, la bibliographie chinoise, pourtant fort intéressante, est difficilement accessible à cause de la langue et d'un incroyable cloisonnement des informations. Certaines données sont à confirmer et à affiner.

Les plus longues cavités de Chine :

A notre connaissance, au début de 1991, 68 cavités dépassent les 2 km de développement, ce qui est peu au regard de l'immense potentiel chinois. La liste ci-dessous présente les 21 cavités qui excèdent les 5 km.

TENG LONG DONG (Lichuan-HUBEI)	39000*
BAISHUI DONG (Jiangkou-GUIZHOU)	22450
DUOBING DONG (Xiuwen-Xifeng-GUIZHOU)	17210
XINIUDONG (Anlong-GUIZHOU)	17000
DADONG (Wufeng-HUBEI)	9683
MAWANG (GUANGXI)	9300
JIUDONGTIEN (GUIZHOU)	8000
GEBIHE (amont) (Ziyun-GUIZHOU)	7746
SOLIAODONG (Bama-GUANGXI)	7600
SANTANG DONGQUN (Zhijin-GUIZHOU)	7205
JINLUN DONG (Mashan-GUANGXI)	7200
LONG DONG (Zhangping-FUJIAN)	7000
YUHUA DONG (Jiangle-FUJIAN)	7000
WANHUA DONG (Chenzhou-HUNAN)	6745
NANXU CHUAN YAN (Lingchuan-GUANGXI)	6700
BIYUN DONG (Panxian-GUIZHOU)	6500
JIUTIAN DONG (Sangzhi-HUNAN)	5726
YANZIDONG-LONGDONG (Wufeng-HUBEI)	5692
DAJI DONG (Zhijin-GUIZHOU)	5400**
DONGXITIAN KENG (Wufeng-HUBEI)	5003
WANHUA DONG (Luota-HUNAN)	5000

* Tenglongdong ne répond pas à notre critère de développement puisqu'il s'agit de plusieurs éléments de réseau qui n'ont pas encore été jonctionnés. Nous ne possédons aucun chiffre exact de développement des différents maillons du système.

** Ce chiffre reste à confirmer puisque nous avons topographié cette cavité en 1986 sur 2600 m.

Les plus profondes cavités de Chine :

WUJIADONG (GUIZHOU)	- 436
GEBIHE (Ziyun-GUIZHOU)	- 418*
DONGXITIAN KENG (Wufeng-HUBEI)	- 382
FENGDONG-CHUIFENGDONG (GUANGXI)	- 360
XINIUDONG (Anlong-GUIZHOU)	- 355
TIANSHENG QIAO (Xuanwei-YUNNAN)	- 335
BAISHUI DONG (Jiangkou-GUIZHOU)	- 310
DANGHAI SHUJING (Luodian-GUIZHOU)	- 301

* Cote prise depuis le sommet du puits de 370 m.

Liste des grands puits et avens connus de Chine : (jusqu'à fin 1990)

Gebihe (Ziyun/Guizhou)	P370	Aven géant*
Fengdong (Bama/Guangxi)	P320	Puits d'entrée
Longtandong (Qingzhan/Guizhou)	P275	Puits souterrain
Xiniudong (Anlong, Guizhou)	P275	Aven géant
Gebihe-Puits central (Ziyun/Guizhou)	P210	Aven géant
Xiniudong (Anlong, Guizhou)	P200	Puits d'entrée
Danghai Shujing (Luodian/Guizhou)	P200	Puits d'entrée
Baitong Shujing (Ziyun/Guizhou)	P190	Puits d'entrée
Daxiaocaokou (Zhijin/Guizhou)	P190	Aven géant
Shuidong (Sangzhi/Hunan)	P124	Puits d'entrée
Xiniudong (Anlong, Guizhou)	P120	Puits souterrain
Dayanchong (Nanxu/Guangxi)	P110	Puits souterrain
Sifangdong (Wuxi/Sichuan)	P110	Puits d'entrée
Dongxitiankeng (Wufeng/Hubei)	P100	Puits souterrain alpin

* Corde nécessaire que dans les 2/3 inférieurs. Un canyon suspendu éventre latéralement la partie supérieure de l'aven.

Liste des grandes salles connues de Chine : (jusqu'à fin 1990)

Salle des Miaos (Gebihe, Ziyun/Guizhou)	700 x 200 x 70 m
(déniv. de 100 m)	
Cloud Chamber (Pan Yang, Bama/Guangxi)	330 x 140 x 70 m
Salle dans Dajidong (Zhijin/Guizhou)	310 x 120 x 40 m
Tit chamber (Xinuidong, Anlong/Guizhou)	300 x 150 x ?
Salle dans Tenlongdong (Lichuan/Hubei)	230 x 170 x 100 m
(talus de 100 m)	
Salle dans Dadong (Wufeng/Hubei)	230 x 120 x 100 m
Salle Beimo 2 (Pan Yang, Bama/Guangxi)	230 x 170 x 100 m
Salle Houdong (Pan Yang, Bama/Guangxi)	230 x 140 x ?
Salle dans Longdong (Wufeng/Hubei)	220 x 120 x 100 m
(talus de 110 m)	
Salle dans Heidong (Luodian/Guizhou)	200 x 150 x 100 m
(talus de 100 m)	
Salle Jin Lun (Jinlun Dong, Mashan/Guangxi)	200 x 170 x 50 m

GENESE DES KARSTS SUBTROPICAUX DE CHINE DU SUD (GUIZHOU, SICHUAN, HUBEI)

— Richard MAIRE, ZHANG Shouyue et SONG Shixiong

RESUME :

La karstification actuelle est sous le contrôle d'un climat subtropical humide de mousson à saisons contrastées. La couverture forestière très dégradée ne joue plus le rôle de filtre ; les sols, souvent tronqués, sont soumis au soutirage karstique. La dissolution spécifique, avec $40 \text{ m}^3/\text{km}^2/\text{an}$, est trois à quatre fois inférieure à celle des karsts équatoriaux hyperhumides (Bornéo, Nouvelle-Guinée). Selon la terminologie chinoise, on distingue deux grands types de reliefs karstiques à pitons et cônes en fonction de la nature des dépressions :

- le karst à fenglin-poljé est caractérisé par une karstification latérale dominante ; il se situe principalement au sud (Guangdong, Guangxi) et correspond à la plateforme carbonatée peu plissée de la "Zone géosynclinale de Chine méridionale" (alt. max. 700-800 m) ;

- Le karst à fenglin-ouvala est caractérisé par une karstification verticale dominante en raison d'une surrection plus importante ; il se situe plus au nord (Yunnan, Guizhou, Hubei...) et appartient à la "Paraplateforme du Yangtse". Celle-ci a été plissée au Jurassique-Crétacé (tectogenèse de Yanshan) et fortement soulevée lors de l'orogénèse himalayenne au Tertiaire. Les plateaux et sommets culminent entre 1200-1500 et 2000-2300 m.

Moins répandu, le karst à qiufeng (basses arrondies) correspond au "Kuppenkarst". Les karsts à pitons et cônes (fenglin) dépendent de la dissolution en continu sous compresse pédologique acide, de la morphotectonique et des relations avec le niveau de base (rôle de la surrection). Ces reliefs se développent tous dans des calcaires et des calcaires dolomitiques du Paléozoïque supérieur et du Trias où la calcite prédomine sur la dolomite. Les dolomies donnent peu de fenglin.

Les formations rouges du Crétacé-Eocène sont des dépôts détritiques (conglomérats, grès et silts) provenant de l'érosion des sols rouges et des reliefs pendant l'orogénèse de Yanshan. On distingue des formations rouges de bassins intramontagnards et de piémont. La série peut dépasser plusieurs hectomètres à plusieurs milliers de mètres d'épaisseur. Ces anciennes altérites, décapées et sédimentées en aval des géosystèmes, se sont formées notamment à la fin Crétacé ou au début de l'Eocène sur des reliefs peu accusés. L'érosion quaternaire de cette couverture a permis le décapage d'un crypto-karst dont la mise à jour est responsable des "forêts de pierre" (shilin). La morphologie en lapiés de parois acérés est due uniquement à une dissolution météorique postérieure. Le décapage récent des sols, à cause de la déforestation, découvre des lapiés enterrés de plusieurs mètres de profondeur représentant le stade de mise à jour de la "forêt de pierre". Formations rouges et crypto-karsts décapés suggèrent que toute la période crétacée a été caractérisée par une puissante altération des reliefs accompagnée d'une crypto-karstification variable selon la disposition des couches calcaires.

Les reliefs à fenglin sont percés à différents niveaux par des grottes fossiles tronçonnées par l'érosion. Ces cavités étagées correspondent à d'anciennes grottes-tunnels abandonnées par les cours d'eau lors de la surrection tertiaire et quaternaire (tectonique himalayenne). Cette épirogenèse se poursuit aujourd'hui. Dans la zone de la Gebihe (Ziyun/Guizhou), on distingue quatre à cinq niveaux étagés sur 400 m de dénivellation au-dessus de la rivière souterraine actuelle. Des niveaux supérieurs ont disparu par érosion karstique. La superposition de ces tronçons de grottes-tunnels est également attestée par les anciens dépôts fluviatiles perchés (ex : Daxiaocaokou, Zhijin/Guizhou) (chap. 9).

Mots-clés : géomorphologie, karstogenèse, spéléogenèse, dissolution, tectonique, karst à pitons, karst conique, altérite, bassin rouge, crypto-karst, grotte-tunnel, réseau étagé, Chine du Sud.

摘要：华南喀斯特形态成因

真正的喀斯特作用受控于明显季节差别的亚热带潮湿季风气候。森林凋落物起不到任何更多的过滤作用，贫瘠的土壤遭致流失。当与高度湿润的加里曼丹和新几内亚

赤道喀斯特比较，华南的单位溶解量 $40 \text{ m}^3/\text{a} \cdot \text{km}^2$ 是中等。可以观察到两种喀斯特地形：

—峰林（塔状喀斯特）分布较南（广西、广东），

相应于华南褶皱系大地构造单元（最高海拔700—800m）。

—丘峰在其北侧（云南、贵州及湖北等），与扬子准地台有关。高原面海拔在1200—1500m，山顶高度2000—2300m。

白垩纪燕山构造运动形成褶皱并在第三纪的喜马拉雅上升运动时强烈的隆起。这两种地形类型取决于地貌构造条件及相对于基准面的位置。这些地形发育在三叠纪以前的所有灰岩和白云质灰岩中。

白垩纪到始新世的红色碎屑建造（砾岩、砂岩及粉砂岩）厚度逾500m。山间或山前红色建造是可区别的。风化、搬运与沉积发生在具较高地势的白垩纪末和始新世

初。该覆盖层受到第四纪的侵蚀作用揭露出隐伏喀斯特并暴露于日光下。现见于石林区的墙状石芽形态仅是由于以后的溶解。由于森林破坏，现代土壤层被侵蚀，揭露出数米深的地下溶蚀沟槽及石芽，代表着石林被揭露的时期。红色建造和揭露的隐伏喀斯特表明：白垩纪时具强烈的风化作用并伴随有隐伏喀斯特化为特征。

峰林和丘峰地形具有被以后的侵蚀作用所切出来的若干洞穴层，他们相应于新生代以来抬升时期河流遗弃的古管道洞穴，迄今抬升仍在继续。由于喀斯特侵蚀作用，高层洞穴已消失。发现于老的高位河流沉积证实了管道洞穴切割的叠加，如贵州织金的大小槽口所见（见第九章）。

ABSTRACT : MORPHOGENESIS OF SUBTROPICAL KARST IN SOUTH CHINA.

The actual karstification is controlled by a subtropical humid monsoon climate of contrasting seasons. The deteriorated forest cover is no longer able to serve as a filter and the denuded soils are washed into and from the karst. The specific dissolution-40 m³/km²/year-is moderate, e.g. when compared with the superhumid equatorial karsts of Borneo or New Guinea. Two main types of karst relief can be observed after the Chinese terminology :

- fenglin-polje (tower and cone-karst with poljes), which is the prevalent type in the south (Guangdong, Guangxi provinces), which corresponds to the moderately folded limestone platform of the "geosynclinal zone of south China" (max. altitude 700 to 800 m).
- fenglin-ouvala (tower and cone-karst with ouvalas) examples of which can be found further to the north (Yunnan, Guizhou, Hubei, etc.) and which is associated with the "Yangtze paraplatform", which was folded and karstified in the Jurassic-Cretaceous during the Yanshan tectogenesis and uplifted considerably along with the Himalayan uplift during the Tertiary (plateaus : 1200 /1500 m ; summits : 2000 to 2300 m).

These two types of relief depend on perennial dissolution under soils, morphotectonic conditions and their relative location to the base level (role of uplift). These reliefs have developed in all kinds of limestones and dolomitic limestones of Upper Paleozoic to Triassic. Calcite predominates dolomite and the latter contributes few to fenglin.

The Cretaceous to Eocene red formations are detritic deposits (conglomerates, sands, silts) derived by the erosion of red soils and reliefs in the course of the Yanshan orogenesis. Intermontane and piedmont red formations can be distinguished. The series can exceed a thickness of 500 m. The old alterations, transportations and sedimentations downvalley in the geosystem took place at the end of the Cretaceous and at the beginning of the Eocene with lofty reliefs. Quarternary erosion of this cover laid open and thus revealed a crypto-karst. Now, in the "stone forest", the morphology of wallkarren is only the result of subsequent external dissolution. The recent decapitation of soilcover is a result of deforestation and reveals subsoil karren of several metres of depth which represent a stage of "stone forest". Red formations and revealed crypto-karst suggest that the Cretaceous period was characterized by strong alterations of relief accompanied by a crypto-karstification varied only by the disposition of limestone strata.

The reliefs of fenglin and qiufeng are pierced at several levels by fossil caves subsequently cut by erosion. These cave levels relate to ancient tunnel-caves abandoned by their rivers in the course of the Tertiary to Quarternary uplift which still continues today. The upper levels have disappeared as a result of karstic erosion. The superposition of the cutting of the tunnel-caves is also affirmed by old perched fluvial deposits found, for example, in Daxiaocaokou in Zhijin, Guizhou (see chapter 9).

Keywords: *Geomorphology, karstogenesis, speleogenesis, dissolution, tectonics, fenglin-polje, fenglin-ouvala, tower-karst, cone-karst, red soil, red basin, crypto-karst, tunnel-cave, cave level, South China.*

ZUSAMMENFASSUNG: MORPHOGENESE DES SUBTROPISCHEN KARSTES VON SÜDCHINA.

Die gegenwärtige Verkarstung steht unter dem Einfluß eines kontrastreichen, feuchten und subtropischen Monsunklimas. Die ausgedünnte Waldbedeckung spielt nicht mehr die Rolle eines Filters und die verletzten Böden werden abgetragen und in (oder durch) den Karst geschwemmt. Mit 40 m³/km²/Jahr ist die spezifische Abtragung des Karstes mittelmäßig und beispielsweise drei- bis sechsmal geringer als bei den hyperhumiden Äquatorialkarsten von Borneo oder Neuguinea. Zwei Haupttypen von Karstlandoberflächen lassen sich unterscheiden :

- Fenglin-polje oder Turmkarst/Kegelkarst + polje findet sich hauptsächlich im Süden (Guangdong, Guangxi) und geht mit der gering gefalteten Kalksteinplattform der "Geosynklinalzone Südchinas" einher, die eine maximale Seehöhe von 700-800 m erreicht.

- Fenglin-ouvala oder Turmkarst/Kegelkarst + ouvala liegt weiter im Norden (Yunnan, Guizhou, Hubei, etc.) und findet sich im

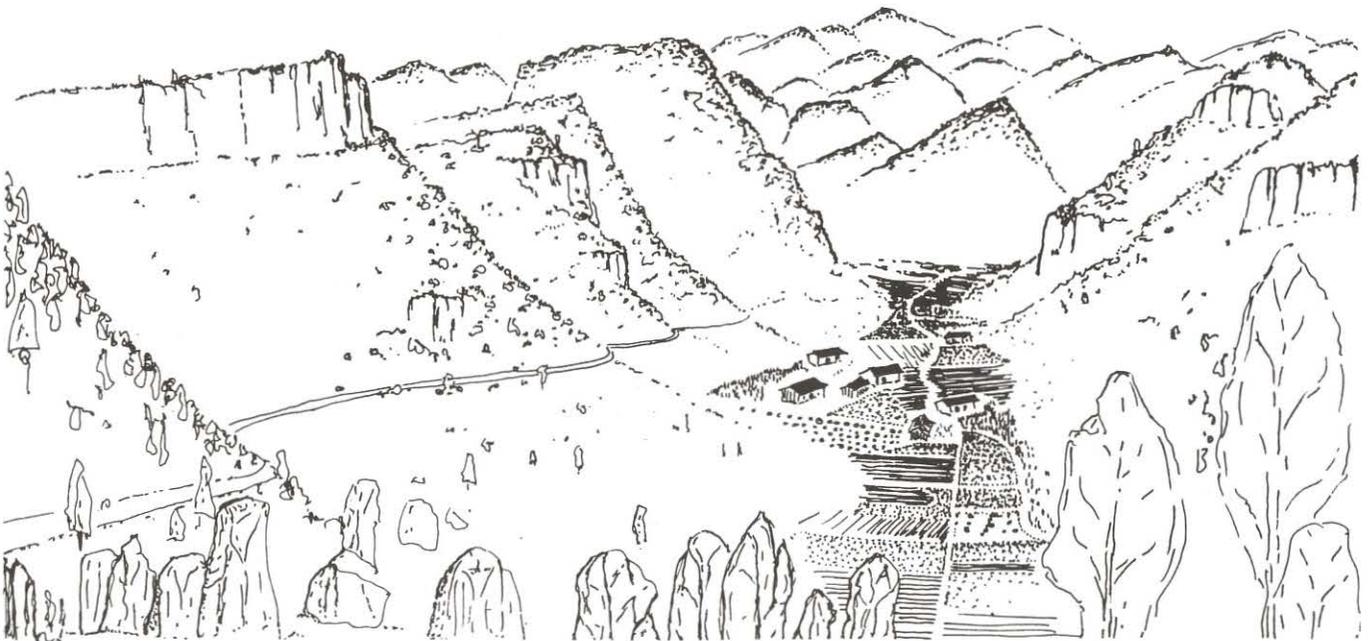
Zusammenhang mit der "Yangste-Paraplatform". Letztere wurde während der Kreidezeit gefaltet und im Verlauf der Himalayaorogenese beträchtlich gehoben. Das Plateau liegt zwischen 1200 und 1500 m Seehöhe und seine Gipfel erreichen 2000 bis 2300 m.

Diese zwei Landoberflächen sind durch Hebung, Morphotektonik und ihre Relation zum Vorfluter bedingt. Die Lithologie spielt keine bedeutende Rolle bei der Bildung der Landoberflächen, die in Kalken und dolomitischen Kalken des oberen Paläozoikums und der Trias entwickelt sind, wobei Kalzit den Dolomit überwiegt. Die Dolomite sind wenig am Fenglin beteiligt.

Die rotliegenden kreidezeitlichen bis eozänen detritischen Ablagerungen (Konglomerate, Sande, Schluffe) rühren von der Erosion der Roten Böden her und die Landoberfläche ist durch Auffaltung des Yanshan Gebirges geprägt. Wir unterscheiden intramontane rote Ablagerungen und solche der Vorberge. Die Stärke der Sequenz übersteigt 500 m nur wenig. Die Umformungen, Verfrachtungen und talwärtigen Ablagerungen des Geosystems fanden in einem schwach ausgebildeten Relief gegen Ende der Kreidezeit und zu Beginn des Eozäns statt. Die quartäre Erosion dieser Bedeckung hat eine Entblößung bewirkt und einen Kryptokarst ans Tageslicht gebracht, der den "Steinwald" ausmacht. Das Aufscheinen von Rinnenkarren ist ausschließlich durch nachfolgende meteorische Lösung verursacht. Die rezente Bodenabtragung in Folge von Rodung hat metertiefe Karrenbildungen zutagegebracht, die ein Vorstadium eines "Steinwaldes" darstellen. Die roten Bodenbildungen und der entblößte Kryptokarst vermitteln, wie seinerzeit die Kreidezeit von einer beschleunigten Umformung des Reliefs charakterisiert war, die in Abhängigkeit von der Lage der betreffenden Kalkschichten von unterschiedlichen Kryptoverkarstungen begleitet war.

Die Fenglin und Qiufenglandoberflächen sind auf verschiedenen Niveaus von fossilen Höhlen durchlöchert, die durch Erosion angeschnitten sind. Die stockwerksgebundenen Höhlen entsprechen aufgelassenen Flußhöhlen, die im Verlauf der tertiären bis quartären Hebung (Himalayatektonik) trockengefallen sind. Diese Hebung dauert bis heute an. Im Gebiet des Gebirges lassen sich vier bis fünf Höhlenniveaus auf 400 m Vertikalerstreckung über dem gegenwärtigen unterirdischen Flußlauf ausmachen. Die höhergelegenen Niveaus sind durch Karsterosion abgetragen worden. Daß das Anschneiden die Bildung der Flußhöhlen überlagert zeigt sich auch an alten, hochliegenden, fluviatilen Ablagerungen, wie am Beispiel Daxiaocaokou in Zhijin, Guizhou zu sehen ist.

Stichworte: *Geomorphologie, Karstentwicklung, Speleogenese, Lösung, Tektonik, Turmkarst, Kegelkarst, rote Bodenbildner, Rotes Becken, Kryptokarst, Flußhöhle, Höhlenniveau, Südchina.*



INTRODUCTION

Les paysages karstiques spectaculaires à pitons et cônes du Sud de la Chine représentent le résultat d'une évolution polygénique qui a commencé lors de l'émergence de la paraplatforme du Yangtse au Jurassique, c'est-à-dire il y a 190 millions d'années environ. Cette karstogenèse complexe ne peut être appréhendée qu'à la lumière de l'étude des processus fonctionnels (ex : dissolution sous couverture d'altérites), de la morphologie régionale (types de modelé, dépôts de piémont) et de la spéléologie (niveaux de galeries, remplissages).

Les données en notre possession permettent d'avoir une idée de l'évolution tertiaire du karst depuis la surrection himalayenne. En revanche, la période jurassico-crétacée, malgré son importance morphogénique considérable, reste très floue.

I. LES CONDITIONS ACTUELLES DE LA KARSTIFICATION

Hormis les facteurs géologiques, la karstification actuelle est sous le contrôle étroit d'un climat subtropical humide de mousson à saisons contrastées. A cela s'ajoute une couverture forestière très dégradée ne jouant plus le rôle de filtre ; la couverture pédologique, souvent tronquée, est soumise au soutirage karstique. Mais il n'en a pas toujours été ainsi, car une bonne partie de la karstification tertiaire s'est effectuée sous couverture pédologique.

A. LA DISSOLUTION DIFFERENTIELLE

La dissolution différentielle entre calcaire et dolomie est bien connue dans les régions froides et tempérées, la cinétique de la dissolution de la dolomite $\text{Ca Mg}(\text{CO}_3)_2$ étant plus lente que celle de la calcite CaCO_3 . Elle s'exerce de la même façon dans les karsts subtropicaux et tropicaux de Chine du Sud comme l'a montré WENG JINTAO (1984) dans la région de Guilin (Guangxi). Lorsque calcite et dolomite sont mélangées, la dissolution est plus rapide que celle de la dolomite seule. De même, une dolmicrite est beaucoup plus résistante qu'une dolsparite qui est sensible à la désagrégation granulaire (sables dolomitiques).

Dans le Sud du Guizhou, NIE YAOPING (1984) a fait une étude préliminaire sur la solubilité différentielle des différentes roches carbonatées. Il confirme l'importance de la dolomite dans la variation de la vitesse de dissolution. En revanche, la porosité interstitielle ou vacuolaire joue un rôle négligeable dans la circulation des eaux.

B. LES CONDITIONS DE L'ALTERATION

On distingue deux types d'altération de la roche : la dissolution directe par l'eau, la dissolution pédogénétique. Cette dernière correspond à l'altération sous couverture de sédiments et d'altérites qui, lorsqu'elle est siliceuse, contribue à une forte crypto-karstification.

1. Altération des calcaires et dolomies sous altérites

Plusieurs échantillons de dolomie cambrienne altérée ont été

étudiés sur lame-mince. Les roches ont été prélevées sur la bordure nord-ouest du bassin de Yichang (Hubei) vers 400 m d'altitude au niveau de la paléosurface karstifiée fini-crétacée ; elles montrent au microscope optique des phénomènes d'imprégnation et de recristallisation qui fragilisent la dolomie.

◇ **Yi 489/a** : cet échantillon de Cambrien provient de la paroi altérée d'une dépression fossilisée par un remplissage de conglomérat rouge du Crétacé-Eocène. Cette dolsparite/microsparite présente deux types d'altération :

- une infiltration d'hydroxydes de fer dans la masse (grains et solution) ;

- une recristallisation de la dolomie en grands cristaux engrenés de 0,5 à 2 mm de diamètre (photo 52).

◇ **Yi 489/b** : cet élément altéré de conglomérat (dolomie), prélevé dans le remplissage de la même dépression, présente une forte imprégnation en hydroxydes de fer. Des silts rouges avec micrograins de quartz sont également en placage.

◇ **Yi 488/a** : ce fragment de dolmicrite, prélevé dans la même dépression, est caractérisé par une forte infiltration en hydroxydes (ferranes, grains, jus d'hydroxydes) par les silts rouges siliceux. Le front d'altération a provoqué une recristallisation partielle de la dolmicrite en dolsparite visible en lumière polarisée (photo 51).

2. Altération des schistes

Le processus d'allitisation des roches schisteuses, riches en alumine et silicates, est largement développé dans le domaine tropical et subtropical humide de Chine du Sud où les précipitations sont supérieures à 1200-1500 mm/an (FELIX-HENNINGSSEN et al., 1989). Il est caractérisé par le rapport molaire entre SiO_2 et Al_2O_3 dans la fraction argileuse. Cette allitisation est à l'origine de la plupart des grands profils d'altération avec production d'hydroxydes qui teintent en rouge sols et altérites. C'est le cas de l'altération des schistes ordoviciens de Wufeng (Hubei) (fig. 108, p. 176) ou des schistes siluriens du comté de Wuxi (Sichuan oriental), l'agriculture en terrasses s'effectuant essentiellement sur ces sols rouges et jaunes.

3. Altération de la pyrite dans les calcaires primaires

L'oxydation du sulfure de fer (pyrite, FeS_2) est un phénomène bien connu puisqu'il produit du gypse ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Cette altération a été observée dans les calcaires ordoviciens de la grotte de Longdong dans le Hubei occidental (Wufeng) où elle est l'origine de la désagrégation de la roche et de la genèse de concrétions de gypse : aiguilles, croûtes et stalactites (p. 99). Deux échantillons de roches présentant deux stades d'altération ont été étudiés sur lame-mince :

◇ **LD 510/b** (photo 53) : le calcaire ordovicien, à structure microcristalline, est de teinte sombre (inclusions sombres). L'altération du sulfure de fer et la production de gypse produit un gonflement et un éclatement de la roche qui se traduit par des fissures et des filonnets.

◇ **LD 510/c** (photo 54) : cet échantillon présente un stade d'altération plus avancé ; la roche est complètement éclatée avec de nombreuses fissures remplies de gypse.



Photo 51 :
 Photogramme de lame mince (échantillon Yi488/a). Conglomérat à ciment rouge du Crétacé/Eocène du bassin de Yichang (Hubei). Elément altéré de dolomie du Cambrien montrant une infiltration en hydroxydes par les silt rouges siliceux. (40 x)
Thin section (sample Yi488/a). Altered cambrian dolomite on the border of Yichang red basin (Hubei). Partial sparitic recrystallization. (40 x).



Photo 52 :
 Photogramme de lame mince (échantillon Yi 489/a). Conglomérat du Crétacé/Eocène du bassin rouge de Yichang (Hubei). Cet élément altéré de dolomie cambrienne montre une recrystallisation en grands cristaux engrenés de 0,5 à 1-2 mm de large. (40 x).
Thin section (sample Yi489/a). Altered cambrian dolomite on the border of Yichang red basin ; sparitic recrystallization. (40 x).

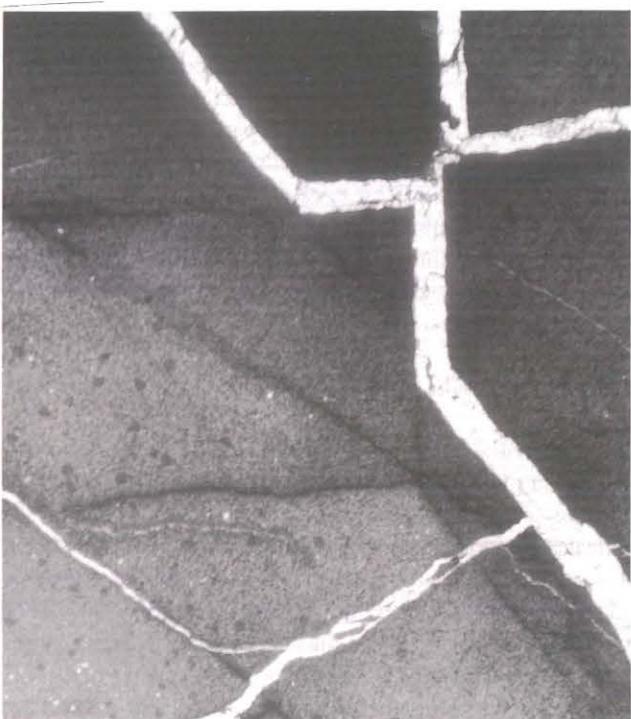


Photo 53 :
 Photogramme de lame mince (échantillon LD510/b). Calcaire ordovicien de Longdong (Wufeng, Hubei). Première phase d'altération (sulfure de fer) provoquant l'éclatement de la roche par formation de gypse. (40 x).
Thin section (sample LD510b). Ordovician limestone of Longdong (Wufeng, Hubei). First phase of alteration (pyrite FeS_2 ----- gypsum) with rock shattering. (40 x).

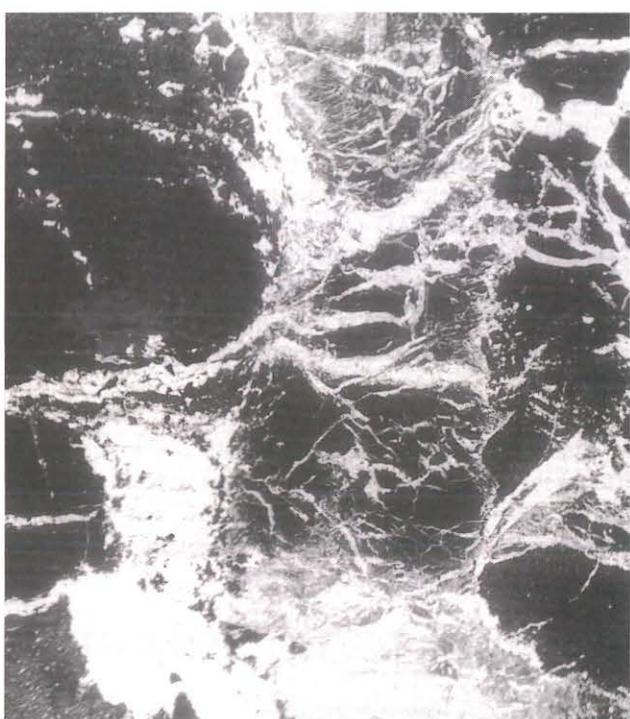


Photo 54 :
 Photogramme de lame mince (échantillon LD 510/c). Idem photo précédente avec stade d'altération plus avancé. Roche totalement éclatée avec remplissage de gypse.(30 x).
Thin section (sample LD510/c). Idem photo 53, with strong shattering of rock by formation of gypsum from pyrite FeS_2 alteration. (30 x).

C. LA DISSOLUTION SPECIFIQUE

La dissolution spécifique moyenne dans le Guizhou, avec 40 m³/km²/an, est trois à quatre fois inférieure à celle des karsts équatoriaux hyperhumides (Bornéo, Nouvelle-Guinée). JINBIAO et al. (1985) indique une valeur de 48 mm/1000 ans pour le karst du comté de Puding (Guizhou). Ces taux de dissolution semblent typiques pour l'ensemble des karsts subtropicaux de Chine méridionale. (cf. chap. 8).

Dans la dépression du karst à pitons de Guilin (Guangxi), ZHOU SHIYING et al. (1988) ont calculé la dissolution spécifique à partir des paramètres physico-chimiques et climatiques de deux bassins-versants (33 et 7,5 km² environ). Celle-ci est de 89,68 mm/1000 ans, soit le double des valeurs connues dans le Guizhou.

II. MORPHOLOGIE ET GENESE DU RELIEF KARSTIQUE TROPICAL

L'étude géomorphologique traditionnelle, par l'étude des formes du modelé, permet de distinguer les grands types de morphologies (karsts à pitons, à cônes) et les variations régionales induites par différents facteurs. Cette analyse spatiale est à la base de la compréhension de la genèse des karsts subtropicaux et tropicaux de Chine du Sud.

A. TYPES MORPHOLOGIQUES DES KARSTS DE CHINE DU SUD

1. Définition de la terminologie chinoise

Les karstologues chinois n'ont pas les mêmes critères que les géomorphologues occidentaux car ils associent formes positives et négatives dans leur classification qui est, rappelons-le, descriptive et non génétique ; il n'est donc pas possible de donner des correspondances exactes.

◇ Quelques définitions succinctes :

- *Feng* : mont (terme général).
- *Gufeng* : mont karstique isolé en zone tropicale.
- *Fengcong* : groupe de monts karstiques en zone tropicale.
- *Fenglin* : paysage de *gufeng* et *fengcong* correspondant aux karsts tropicaux à tours, pitons et cônes.
- *Qiufeng* : karst à buttes arrondies dont le diamètre est plusieurs fois supérieur à la hauteur.

◇ les types morphologiques :

On peut distinguer d'après SONG LINHUA (1986) et ZHANG DACHANG (in ZHANG SHOUYUE et BARBARY, 1988, p. 16) plusieurs grands types morphologiques de karsts tropicaux ; les mots composés reprennent les termes chinois définis ci-dessus associés à d'autres termes de la terminologie karstique internationale.

2. Les paysages de fenglin

Le karst à pitons (Turmkarst ou tower-karst) et cônes (Kegelkarst ou cone-karst) sont donc regroupés sous le vocable général de fenglin.

◇ **Les fenglin-plaine et fenglin-poljé** : ils se situent principalement au sud, dans les provinces de Guangdong et du Guangxi, et au sud du Guizhou ; ils correspondent à la plateforme carbonatée peu plissée de la "Zone géosynclinale de Chine méridionale". Cette région ne dépasse guère 700 à 800 m d'altitude. Ce type de karst, le plus représentatif de Chine du Sud, est symbolisé par celui de la région de Guilin qui est l'objet des travaux assidus de l'Institut du Karst de Guilin. La morphologie est caractérisée par des pitons isolés (*gufeng*) ou des groupes de pitons (*fengcong*) séparés par des poljés et/ou des plaines fluvio-karstiques. Les pitons peuvent atteindre plusieurs centaines de mètres de dénivellation. Les versants sont très inclinés (70-80°) ou verticaux et recourent fréquemment d'anciens tronçons de grottes-tunnels. Ce type de paysage est également connu au Vietnam du Nord avec la célèbre baie d'Along (zone en subsidence du delta du Fleuve Rouge).

◇ **Les fenglin-ouvala** : Ces paysages sont caractérisés par des groupes de pitons (*fengcong*), à versants généralement raides, séparés par des dépressions profondes et des vallées sèches. Cette morphologie constitue un stade moins évolué que les fenglin-poljé et fenglin-plaine ; on les rencontre surtout dans le Guizhou comme dans le comté de Ziyun (chap. 1).

3. Les paysages de qiufeng

Le karst à buttes arrondies (*qiufeng*), sorte de "Kuppenkarst", est moins répandu ; il se situe plus au nord (Yunnan, Guizhou, Hubei...) et appartient à la "Paraplateforme du Yangtse". Celle-ci a été fortement plissée au Jurassique-Crétacé (tectogenèse de Yanshan) et fortement soulevée lors de l'orogénèse himalayenne. Les plateaux et sommets culminent entre 1200-1500 et 2000-2300 m, d'où l'importance du facteur altitudinal.

4. Les fenglin et qiufeng-chevrons sur anticlinaux

Dans les secteurs qui ont été vigoureusement plissés et soulevés au cours du Tertiaire (ex : Hubei occidental, Sichuan oriental), la karstification se traduit par des karsts coniques étagés sur le flanc des anticlinaux. L'observation de terrain comme celle des images satellites (fig. 112) montrent clairement une morphologie de départ en chevron — creusement fluvio-karstique induit par la pente — qui s'est transformée en buttes et cônes dissymétriques par l'action de la karstification verticale. Cette évolution récente, essentiellement néogène à quaternaire, a respecté la structure d'ensemble comme nous avons pu le constater dans les comtés de Wuxi (Sichuan, chap. 4) et de Wufeng (Hubei, chap. 5). Ce type de morphologie n'a pu se réaliser que dans un contexte pédologique favorable avec dissolution sous couverture de sols forestiers.

B. GENESE DES MORPHOLOGIES A FENGLIN ET QIUFENG

Il existe des reliefs résiduels karstiques (= mogotes) aussi bien en zone tempérée qu'en zone tropicale. Toutefois, la spécificité morphologique des karsts tropicaux humides est une réalité compte tenu de la fréquence et de l'ampleur des morphologies



Photo 55 (ci-dessus) :

Relief de fenglin-ouvala (à fengcong = groupe de pitons) dans le Guizhou. Ce type morphologique comporte des karsts à pitons et/ou à cônes séparés par des dolines et des ouvalas.

Fenglin-ouvala karst (with fengcong = group of peaks) in the Guizhou.



Photo 56 (ci-contre) :

Relief de fenglin-poljé près d'Anshun (Guizhou) avec des pitons pouvant dépasser 200-300 m. Ce type de karst comporte des pitons et/ou des cônes se dressant au-dessus de poljé et de bassin d'aplanissement chimique. La nappe d'inondation (niveau de base) contribue au recul des reliefs résiduels par corrosion latérale.

Fenglin-polje karst near Anshun (Guizhou). Chemical planation at the base level and retreat of residual peaks by lateral corrosion.

polygonales à cônes, pitons, tours. La lithologie ne joue pas un rôle discriminant important dans la mesure où ces différents reliefs se développent tous dans des calcaires purs ou dans des calcaires dolomitiques du Paléozoïque supérieur et du Trias où la calcite prédomine sur la dolomite.

◇ **Le rôle du temps** : Compte tenu de la longue période de temps — presque 200 millions d'années — l'étude géomorphologique permet d'envisager la succession de cycles complets allant du stade de jeunesse au stade de sénilité du karst. Aussi, la genèse du karst chinois est-elle éminemment polygénique, chaque cycle durant plusieurs dizaines de millions d'années. Or ce type d'évolution n'est pas connu dans la plupart des karsts, notamment en Europe et dans le "Karst" dinarique, en raison de la tectonique alpine vigoureuse, de l'âge plus récent des calcaires et des ruptures climatiques. Voilà pourquoi le karst tropical chinois peut être considéré comme un des grands modèles d'évolution karstique comme le soulignait déjà SWEETING (1978, p. 204).

Dans un secteur donné, le passage d'un karst à dolines à un karst à pitons résiduels et plaine d'érosion karstique (fenglin-plaine) nécessite beaucoup de temps (des dizaines de Ma au minimum) et un calme tectonique relatif (lente épirogenèse). A partir d'un potentiel hydraulique donné (dénivellation de l'écoulement en fonction du niveau de base régional), la karstification va s'effectuer d'abord verticalement, puis latéralement.

En l'absence de terrains imperméables, c'est la karstification pure qui domine. Mais il est fréquent que ces régions karstiques soient traversées par de grands cours d'eau allochtones. La plupart du temps, les tronçons de grottes-tunnels perchés au flanc des pitons ont été creusés par des rivières secondaires issues soit des poljés et des reliefs calcaires eux-mêmes, soit de zones imperméables situées au sein des régions karstiques.

◇ **Le rôle majeur de la végétation et des sols** : La trame polygonale, déjà soulignée par WILLIAMS (1972) pour les karsts de Nouvelle-Guinée, ne vient pas seulement de la fracturation, mais de la dissolution in situ à cause des précipitations abondantes et d'une couverture pédologique et végétale qui produit des acides humiques et fulviques, et de l'acide carbonique en abondance. Cette action sous "compresse humide acide" joue un rôle majeur en zone tropicale humide comme l'ont souligné NICOD et SALOMON (1990). Elle est à la base du processus de crypto-karstification sous couverture d'altérites, aspect qui sera repris ultérieurement (infra). Cette action importante des composés organiques sur la dissolution des carbonates, complémentaire à celle du CO₂, a été démontrée expérimentalement par les pédologues (ROBERT, VENEAU et BERRIER, 1980).

La dissolution sur place favorise donc le creusement des dolines et l'individualisation de reliefs résiduels entre les dépressions. Le creusement fluvio-karstique est donc limité et ne se développe que sur le flanc des plis ou à la faveur d'affleurements de roches imperméables. Tant que le niveau phréatique n'est pas atteint par les dépressions, le stade karstique pur prédomine sur le stade fluvio-karstique comme nous allons le voir.

◇ **Le rôle fondamental de la surrection tertiaire et du niveau de base** : Le problème morphologique le plus important posé par les karsts de Chine du Sud est en relation avec l'altitude, c'est-à-dire avec le niveau de base général et régional, et par conséquent avec l'ampleur de la surrection tertiaire. Voilà pourquoi des stades d'évolution aussi différents que les karsts à fenglin-poljé de Guilin et à fenglin-ouvala du Guizhou central peuvent être contemporains.

En effet, plus une région a été portée en altitude, plus la karstification verticale (enfouissement des dépressions) met du temps avant que ne l'emporte la karstification horizontale. Cette dernière se traduit par une forte dissolution latérale au niveau des poljés et des plaines d'érosion, phénomène confirmé par NICOD et SALOMON (1990). Les karsts du Guizhou étant plus hauts en altitude que ceux du Guangxi, il est logique qu'ils présentent un stade morphologique moins évolué. Le creusement vertical est toujours présent comme le prouvent les canyons, les grottes-tunnels à rivières turbulentes (rapides, cascades), les ouvalas étagés...

Le "case hardening" (encroûtement travertineux) sur le flanc des pitons et des cônes, quand il existe, pourrait expliquer, selon certains auteurs, la raideur des versants des mogotes. Cette hypothèse fragile ne peut être généralisée, car le recul des pitons et leur verticalité sont dus principalement à la corrosion latérale au niveau de la nappe phréatique dans des calcaires massifs, puis à l'effondrement de pans de parois. Cet aspect est souligné par PHAM KHANG (1991) pour les karsts à pitons qui bordent le delta du Fleuve Rouge au Vietnam du Nord.

Le niveau de base contrôle donc en permanence l'évolution de la karstification. Tant que le fond des dépressions n'atteint pas le niveau de base (nappe phréatique), la karstification verticale domine. Lorsque la karstification latérale l'emporte, il suffit qu'une nouvelle phase de surrection intervienne pour que le relief soit rajeuni. C'est ce qu'a bien montré SONG LINHUA (1986, p. 53) pour le karst de Dushan situé dans le sud du Guizhou où la nouvelle phase de surrection quaternaire ou plio-quaternaire a provoqué un rajeunissement du relief. Dans la genèse du karst à pitons, on peut reconnaître les phases suivantes (fig. 103) :

- Phase 1 : karst à dolines. (A)
- Phase 2 : karst à pitons ou cônes (fenglin-ouvala) ; les formes positives l'emporte sur les formes négatives. (B)
- Phase 3 : karst à pitons ou groupes de pitons isolés (fenglin-poljé et fenglin-plaine d'érosion) ; la karstification latérale l'emporte. (C)
- Phase 3 bis : karst à pitons rajeuni par une phase de surrection (surcreusement des dépressions et des vallées). (C')
- Phase 4 : karst à plaine d'érosion correspondant à un aplanissement chimique total. (C'')
- Phase 5 : surrection entraînant un nouveau karst à dolines (cf. phase 1). (D)

Ce modèle d'évolution a dû fonctionner plusieurs fois depuis le Jurassique, parfois incomplètement à cause des phases tectoniques de Yanshan (du Jurassique à l'Eocène) et himalayenne (de l'Oligocène au Quaternaire).

◇ **Etat de la surface karstique à la fin du Crétacé** : l'explication simple fondée sur l'ampleur de la surrection, valable pour le cycle karstique cénozoïque, n'éluide cependant pas la question de départ : quel était l'état de la surface d'aplanissement karstique à la fin du Crétacé et au début du

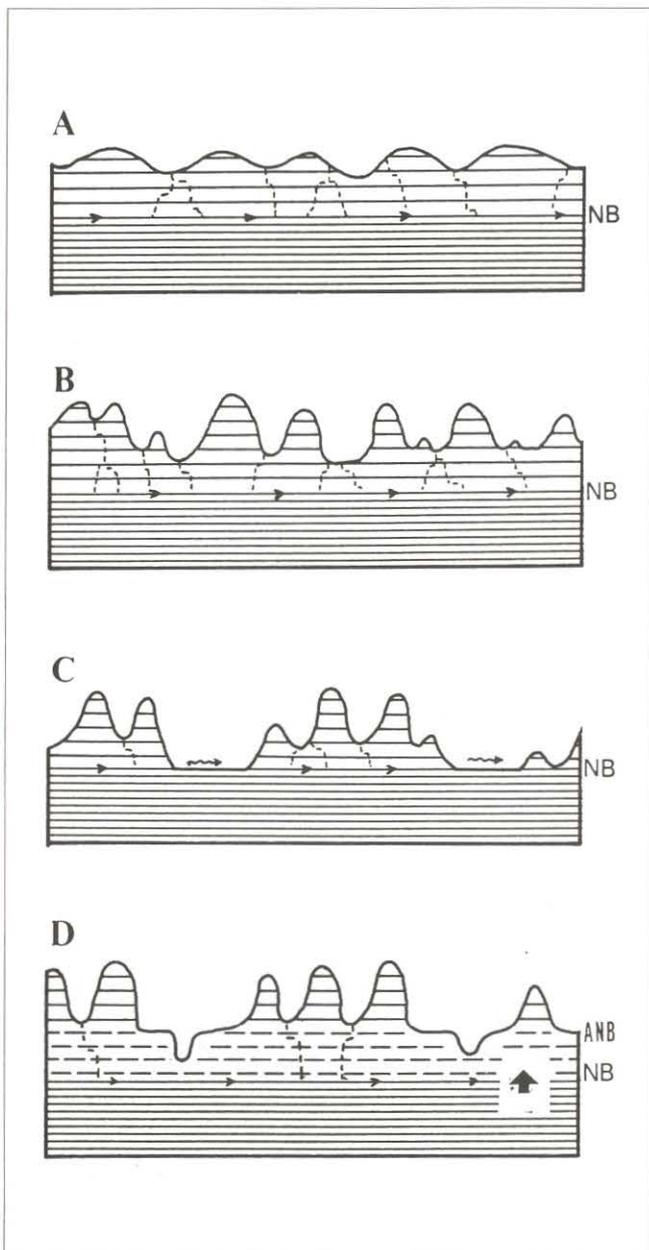


Figure 103 :
Evolution-type du karst de Chine du Sud en fonction du niveau de base et de la surrection tertiaire.

- (A) Karst à dolines (karstification verticale dominante).
 (B) Karst à fenglin-ouvala (le fond des dépressions n'atteint pas encore le niveau de base).
 (C) Karst à fenglin-poljé (corrosion latérale dans les poljés).
 (D) Rajeunissement d'un karst à fenglin-poljé par surrection (creusement de canyons, vallées).
 (inspiré de SONG LINHUA, 1986, p. 53).
 NB = Niveau de base ; ANB = Ancien niveau de base (surrection)

Geomorphological evolution of South China karsts after the position of base level.

- (A) Doline karst.
 (B) Fenglin-ouvala karst (with fengcong).
 (C) Fenglin-polje karst.
 (D) Rejuvenated fenglin-polje karst (uplift).
 (after SONG LINHUA, 1986, p. 53).
 NB = Base level.
 ANB = Old base level.

Tertiaire dans les différentes régions de Chine du Sud ? Comme nous le verrons ultérieurement (infra : § III, IV et V), le cycle karstique crétacé s'est terminé par une intense phase d'érosion liée à une crise tectonique (phase Yanshan 3 ?) responsable du dépôt des grandes formations rouges de bassins.

III. LES FORMATIONS ROUGES DU CRETACE/EOCENE

Les formations rouges des karsts chinois, déposées dans les bassins et sur les piémonts, sont indispensables à envisager car elles constituent un indice important de l'altération au cours du Crétacé, longue période de karstification encore méconnue. Ces séries détritiques et lacustres, bien que très importantes en Chine du Sud, n'ont pas fait l'objet d'études en dehors des sondages effectués pour des travaux appliqués.

A. CARACTERES DES FORMATIONS ROUGES

Prenons une série de quatre exemples de "bassins rouges" situés dans le Guizhou, le Hubei et le Hunan. Les deux premiers (Huishui/Guizhou et Laifeng/Hubei) sont de petits bassins rouges intramontagnards typiques de quelques dizaines de km² chacun. Les deux derniers (Yichang/Hubei et Hengyang/Hunan) constituent de grands bassins rouges, de plusieurs centaines à plusieurs milliers de km², localisés en aval de grandes régions karstiques.

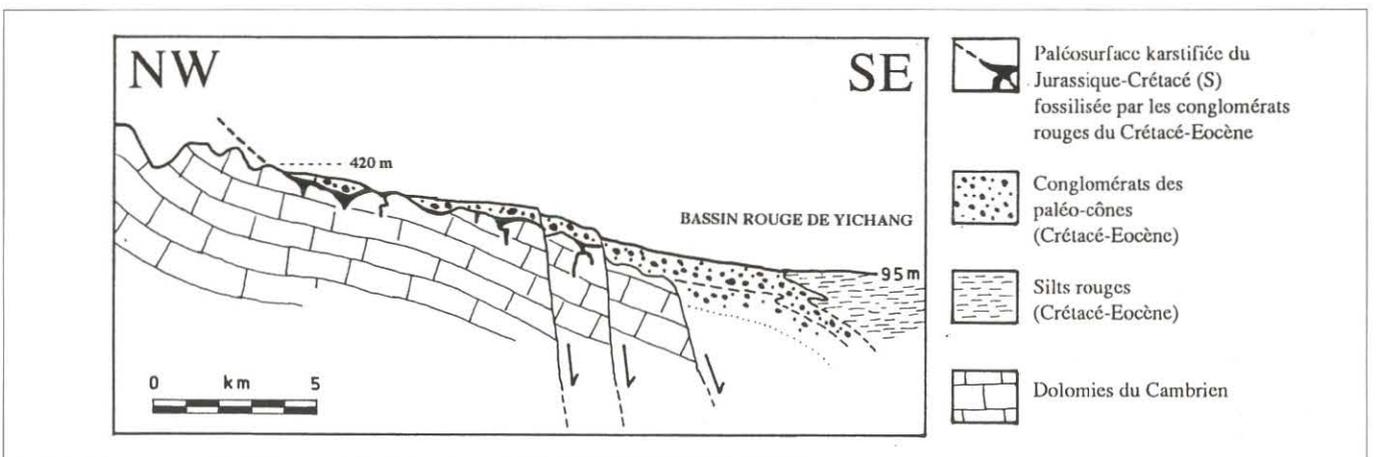
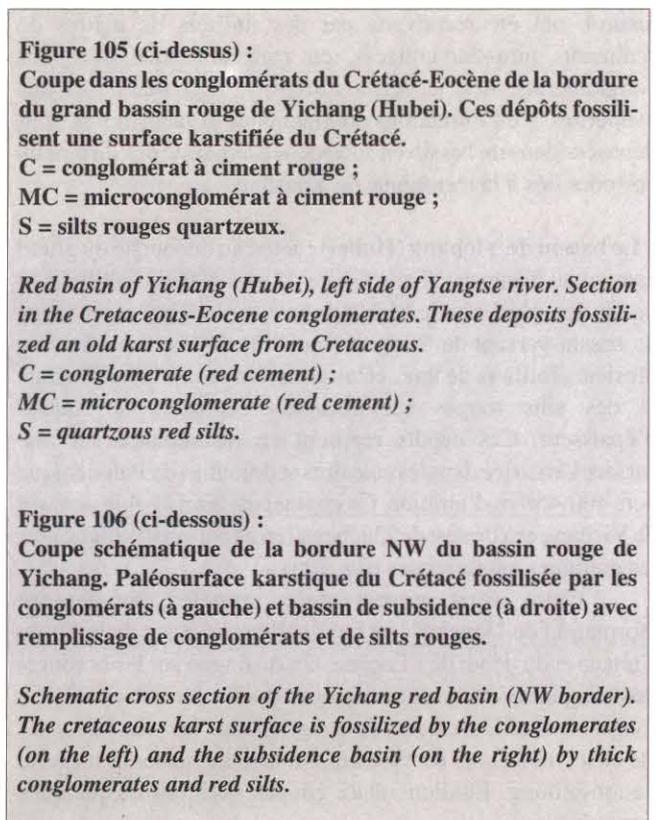
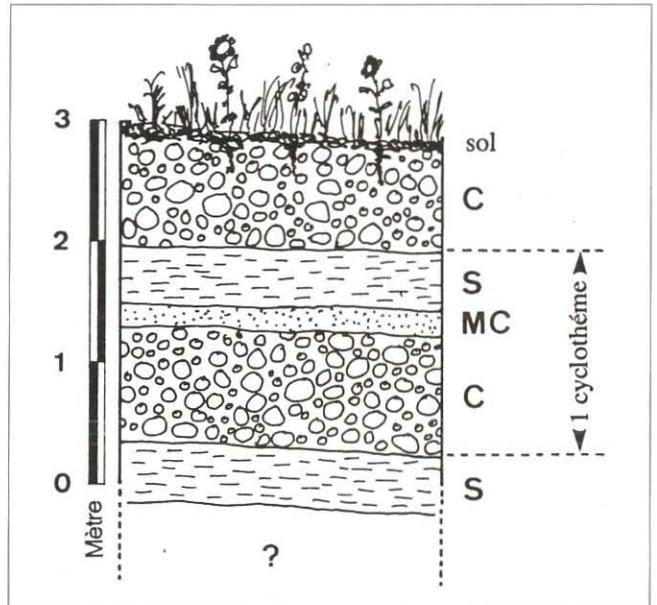
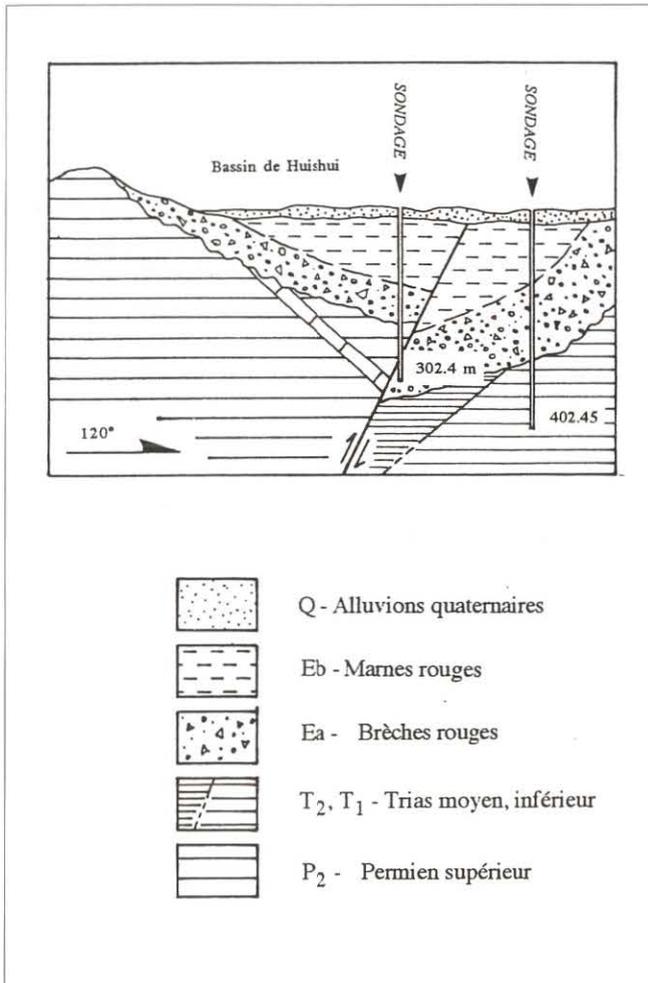
1. Les petits bassins rouges intramontagnards

◊ **Le bassin de Huishui (Guizhou)** : D'une superficie de 22 km², le bassin de Huishui se situe à 60 km au sud de Guiyang (comté de Huishui, Guizhou). Il constitue un bon exemple de petit bassin rouge intramontagnard localisé au sein d'un karst à fenglin-ouvala. Plusieurs sondages indiquent une épaisseur supérieure à 100 m (fig. 104).

On distingue au sommet une couche de marnes rouge-pourpre dont l'épaisseur peut atteindre 115 m. Elle renferme un peu de craie et une dizaine de passées gypseuses de 10 à 20 mm d'épaisseur chacune. La granulométrie diminue de la base au sommet. Ces dépôts renferment également des graviers et galets de quartz vers le sommet. La couche inférieure, de nature conglomératique, affleure sur les bordures. Sa puissance peut atteindre 140 m. Les éléments calcaires et dolomitiques (+ quelques silex) mesurent 2 à 20 cm de diamètre. Le ciment est carbonaté. Le classement est variable et la granulométrie diminue de la base au sommet.

D'après la faune, les marnes rouge-pourpre appartient au début du Crétacé supérieur (*Talicypridea SP.*, *T. Latiovata*, *Cypria SP.*, *Tangxiell SP.*) (d'après SONG SHIXIONG).

◊ **Le bassin de Laifeng (Hubei)** : Situé dans le Hubei occidental, le bassin rouge synclinal de Laifeng s'étend sur plusieurs dizaines de km² vers 400 m d'altitude. Les affleurements montrent, de la base au sommet, des conglomérats, des silts indurés et stratifiés, et des argiles rouges peu consolidées. L'ensemble détritique dépasse 100 m



d'épaisseur. La masse des silts rouges lie de vin présente une succession de bancs de 10-15 à 50 cm d'épaisseur et un pendage de l'ordre de 20° sur les bordures.

Au microscope (échantillon LAIF 495) (photo 58), on constate que ces silts sont composés par un entassement de micrograins de quartz, anguleux et blancs, dont la taille varie de 10-30 à 100-200 µm (limons fins et moyens). La matrice argilo-ferrugineuse rouge, inégalement répartie, représente moins de 40 % de la surface de la lame mince d'où une organisation des grains passant d'une distribution monique (entassement) à une distribution porphyrique (fragments noyés dans la matrice). On observe également des grains ferrugineux noirs (50-150 µm) et des éléments de quartz engrenés (microquartzite).

2. Les grands bassins rouges

Le premier exemple est le fameux "Bassin Rouge" du Sichuan, d'une superficie de 200 000 km². Les paléokarsts du Paléozoïque, qui ont joué le rôle de réservoirs à pétrole et gaz naturel, ont été recouverts par des milliers de mètres de sédiments jurassico-crétacés, en particulier des grès, des conglomérats, des "couches rouges" ("Red Beds") et des évaporites. Ces formations continentales et lacustres se sont déposées dans un bassin en subsidence à la suite des différents épisodes liés à la tectonique de Yanshan.

◊ **Le bassin de Yichang (Hubei)** : Situé au débouché du grand canyon du Yangtse ("Trois Gorges") vers 100 m d'altitude, le bassin de subsidence de Yichang constitue le piémont proximal du bassin-versant du Yangtse (fig. 113). D'une superficie de plusieurs milliers de km², celui-ci renferme des conglomérats et des silts rouges sur plusieurs centaines de mètres d'épaisseur. Ces dépôts reposent en discordance sur une surface karstifiée dans les calcaires et dolomies du Paléozoïque vers 400-450 m d'altitude. Ce contact est bien visible au nord de Yichang et à l'ouest de Zhicheng (en allant vers Wufeng) sur les dolomies cambriennes (fig. 106).

Cette série continentale, appelée localement "formation de Donghu", est habituellement datée de la fin du Crétacé et du début de l'Eocène. On distingue sur les bordures des conglomérats et au centre une épaisse formation de silts rouges. Les affleurements de conglomérats les plus hauts ont été observés au nord de Yichang, sur la route menant à la grotte de Jinshidong. Etudions deux coupes typiques et quelques lames minces.

- **La coupe 1 (alt. 420 m) (fig. 105)** : Elle représente une

dépression de 10 m de large et de 3 m de profondeur fossilisée par des poudingues en partie altérés. On observe des galets (0,5 à 20 cm) de pétrographie variée (dolmicrite, calcaires oolithiques, calcaires biodétritiques...) et des sables anguleux. Le ciment pourpre est formé par un plasma d'argiles rouges noyant des micrograins de quartz (30-60 µm) généralement anguleux (photo 59). Quelques pores de dissolution sont remplis par de la calcite sparitique (échantillon Yi 488/a et b). Certains éléments de dolomie sont altérés et infiltrés par les argiles rouges induisant une recristallisation de type sparitique visible en lumière polarisée (échantillon Yi 488/a).

- **La coupe 2 (alt. 300 m)** : Elle montre une alternance de couches conglomératiques et de silts rouges correspondant à une succession de cyclothèmes épais de 2 m montrant une granulométrie décroissante de la base au sommet : poudingue grossier (galets pugilaires), micropoudingue (graviers, sables), limons rouges. Le passage aux limons rouges est brutal.

Sur l'échantillon Yi 483, le micropoudingue est formé par des graviers (0,5-1 cm) et des sables grossiers (1-2 mm) de pétrographie variée (dolomie, calcaire oolithique, grès, grains de quartz...). Le ciment, peu abondant, est constitué par des argiles rouges et des micrograins de quartz non corrodés, l'ensemble étant consolidé par un plasma ferrugineux carbonaté.

La couche de limons rouges montre une texture microgréseuse : grains de quartz de 50 à 100 µm et grains de limons grossiers/sables fins (calcaire ou dolomie) noyés dans un plasma d'argile rouge (argilanes et hydroxydes noyés dans une boue de calcite microcristalline). On distingue aussi des baguettes fibreuses jaune-vert assez abondantes (amphiboles probables), quelques micas noirs plus ou moins chloritisés et des grains rouge-noir d'origine pédologique.

◊ **Le bassin de Hengyang (Hunan)** : Drainé par le Xiang Jiang et le Lei Shui, le bassin de Hengyang, large de 80 km, est formé par un relief de collines façonnées dans des couches de brèches, de marnes et d'argiles pourpres de 2 à 4 km de puissance totale attribuées au Crétacé et au début de l'Eocène. Ces dépôts stratifiés, discordants sur le Paléozoïque, ont été légèrement tectonisés (failles, flexures, plis). Près de Chiutupu, YOUNG, BIEN et LEE (1938) ont observé de la base au sommet (fig. 107) :

- des brèches discordantes sur le Paléozoïque ;
- des argilites pourpres et verdâtres en bancs décimétriques à Ostracodes et Gastéropodes ;
- des brèches intermédiaires ;
- des argilites pourpres à niveaux sableux.

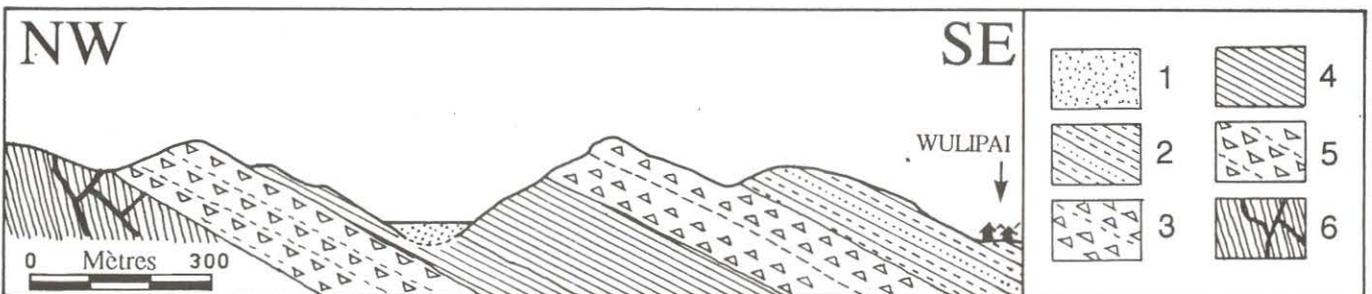


Figure 107 : Coupe de la bordure NW du bassin rouge de Hengyang (Hunan) près de Chiutupu. 1, alluvions quaternaires. 2, argilites pourpres à niveaux sableux. 3, brèches intermédiaires. 4, argilites pourpres et verdâtres. 5, brèches discordantes sur le Paléozoïque. 6, Substratum paléozoïque. (d'après YOUNG, BIEN & LEE, 1938). Cross section of Hengyang red basin (Hunan), near Chiutupu. 1, quaternary alluvium. 2, purple silts. 3, intermedial breccias. 4, purple and greenish silts. 5, Unconformable breccias on Paleozoic. 6, Paleozoic substratum. (after YOUNG, BIEN & LEE, 1938).



Photo 57 :

Dépression fossilisée par des conglomérats du Crétacé-Eocène sur la bordure NW du grand bassin rouge de Yichang (Hubei). Contexte : dolomie du Cambrien, alt. 400 m.

Depression fossilized by cretaceous-eocene conglomerates on the NW border of Yichang red basin (Hubei).



Photo 58 :

Photogramme de lame-mince (échantillon LAIF495). Silts rouges du bassin de Laifeng (Hubei). Nombreux micrograins de quartz et matrice ferrugineuse rouge. (40 x).

Thin section (sample LAIF495) (40 x). Red silts of Laifeng red basin (Hubei). Numerous quartz grains and ferruginous red matrix.

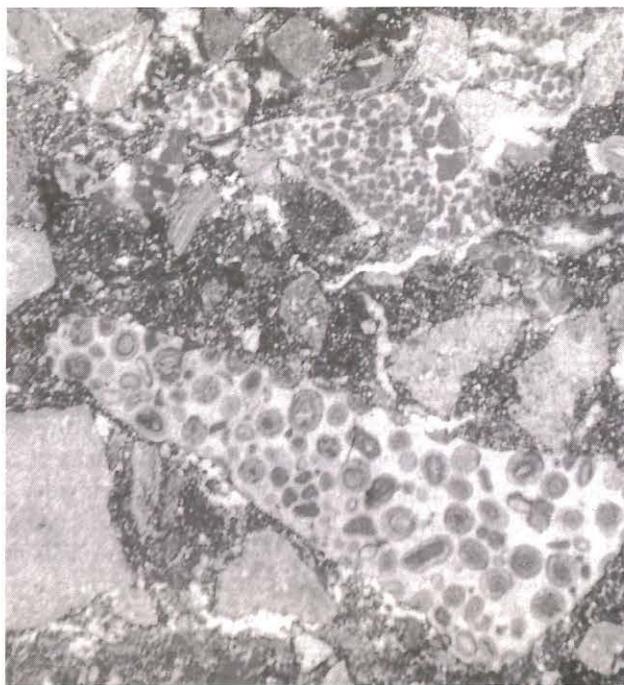


Photo 59 :

Photogramme de lame mince (échantillon Yi488/c). Conglomérat du bassin rouge de Yichang (photo 57). Pétrographie variée des éléments et ciment rouge ferrugineux (argile et grains de quartz). (40 x).

Thin section (sample Yi488/c) (40 x). Conglomerates of Yichang red basin (photo 57). Varied petrography and ferruginous red cement (clay and quartz grains).

YOUNG et al. (1938, p. 267) ont observé localement des lits carbonatés renfermant des fossiles de vertébrés (crocodiles). Au sud de Chungchiangpu, les mêmes auteurs ont découvert des roches andésitiques gris-vert, à structure en amygdales (cavités remplies de calcite), à l'intérieur des argilites pourpres. La présence de fragments d'argilites dans l'andésite indique qu'il s'agit d'une lave intraformationnelle sans doute en relation avec la dernière (Y3) ou avant-dernière (Y2) phase tectonique de Yanshan.

B. SIGNIFICATION DES FORMATIONS ROUGES

Les conditions de sédimentation sont typiques de cônes-deltas et de zones lacustres. S'il ne fait pas de doute que la surface karstifiée crétacée à fini-crétacée a été fossilisée sur ses bordures par les formations rouges, on ne peut pas exclure l'action de la crypto-karstification qui a pu modifier cette paléosurface par dissolution et soutirage. C'est le cas de la coupe 1 de Yichang (fig. 105) qui montre une dépression remplie par un poudingue très altéré.

La pétrographie des éléments des poudingues indique à la fois une origine locale et lointaine des matériaux. La présence de graviers de quartz porphyrique — les seuls affleurements se situent à l'ouest du Sichuan — prouverait que la vallée du Changjiang (Yangtse) et la zone des gorges ont commencé à se former au Jurassique-Crétacé lors de l'orogénèse polyphasée de Yanshan (WANG NAILANG, 1984, p. 18). Les gorges du Changjiang sont donc des gorges antécédentes typiques qui ont été fortement approfondies au cours de la surrection tertiaire (tectonique himalayenne) entraînant l'épirogenèse de la paraplateforme du Yangtse (fig. 113).

Ces formations rouges, attribuées soit au Crétacé/Crétacé supérieur, soit au début de l'Eocène (ou au deux), sont des dépôts détritiques (conglomérats, grès et silts) provenant de l'érosion des reliefs et du décapage des altérites rouges (sols riches en fer) pendant la dernière grande phase tectonique de Yanshan. Ces anciennes altérites, décapées et sédimentées en aval des géosystèmes, se seraient formées sur des reliefs peu accusés.

Dans le cas du bassin rouge de Yichang, le schéma de l'évolution générale est le suivant :

- au *Jurassique-Crétacé* : lente et puissante altération-karstification des reliefs karstiques et non karstiques (paraplateforme du Yangtse) sous climat chaud et humide pendant les périodes de quiescence tectonique ;
- au *Crétacé* : troisième phase tectonique de Yanshan indiquant un décapage des altérites rouges (sols ferrallitiques ou ferrugineux), érosion générale des reliefs et sédimentation détritique dans les bassins et sur les piémonts ;
- au *Tertiaire (depuis l'Oligo-Miocène)* : surrection de la paraplateforme du Yangtse (orogénèse himalayenne), subsidence du bassin de Yichang et alluvionnement ;
- au *Quaternaire* : poursuite du soulèvement et de l'alluvionnement. Cinq terrasses étagées ont été dénombrées à la sortie des gorges du Yangtse (plusieurs sont également visibles dans les gorges) (WANG NAILANG, 1984 et observations de terrain).

C. ALTERITES ET CRYPTO-KARSTS

Les sols et dépôts rouges provenant de l'altération des roches non carbonatées (grès, schistes, basaltes) ont une teneur plus ou moins importante en silice qui contribue fortement à la crypto-karstification. Dans l'Eocène rouge du bassin de Lunan (Yunnan), la teneur en silice varie de 14 à 32 %, pour une concentration de 27 à 51 % de $Fe_2O_3 + Al_2O_3$ (ZHANG SHOUYUE, 1984, p. 84). Dans les marnes rouges du bassin de Yichang et de Laifeng (Hubei), les micrograins de quartz visibles sur lame mince représentent un pourcentage de 20 à 35 %, le reste étant constitué de calcite (ciment), d'argile et d'hydroxyde de fer et d'aluminium.

1. La "forêt de pierre" de Lunan (Yunnan)

(d'après ZHANG Shouyue, 1984 et J.-P. BARBARY, inédit)

La "forêt de pierre" du comté de Lunan se situe à 2000 m d'altitude et se développe sur 270 km² dans les calcaires massifs du Permien inférieur (étage Maokou).

La genèse des shilin ou "forêts de pierres" de Lunan est un modèle de genèse crypto-karstique. L'altération des basaltes du Permien supérieur du Yunnan oriental et leur érosion sont à l'origine des dépôts éocènes du large bassin du comté de Lunan. L'érosion quaternaire de cette couverture a permis le décapage d'un karst enterré puisque la dissolution s'est exercée au contact calcaire-altérite. La morphologie en lapiés de parois aux crêtes aigües est due uniquement à une dissolution météorique postérieure.

Si la partie supérieure (jusqu'à 30 m de haut) présente des formes très acérées, il n'en va pas de même pour la base des pinacles qui est généralement affectée de formes douces. Sur les bordures, la "forêt de pierre" s'amenuise et disparaît sous les dépôts rouges éocènes (photo 60).

Le modelé basal arrondi des pinacles, à proximité des altérites, correspond à des poches de dissolution témoignant de la crypto-corrosion ; leur coalescence donne lieu à de pseudo-grottes. Certaines poches sont séparées par quelques centimètres de calcaire altéré ; d'autres sont percées d'une petite lucarne à l'endroit le plus mince. Ces formes sont dégagées par le ravinement qui demeure virulent pendant la saison humide malgré quelques aménagements. La couverture pédologique finit par disparaître sous terre par de petits ponors situés dans les cuvettes. Rongées à leur base, certaines de ces "dents de pierre" ou shiya (= lapiaz) sont mises en porte à faux et finissent par se coucher.

Dans les quatre sites de "forêts de pierres" visités dans l'est du Yunnan et le sud du Guizhou, le pendage est toujours inférieur à 7°. La nature des formations carbonatées ne joue que dans le détail de la morphologie : les formes sont plus arrondies et irrégulières dans les calcaires dolomitiques (photo 61), plus découpées dans les calcaires purs.

La théorie qui suppose la préservation d'une morphologie du type "forêt de pierre" (shilin) par fossilisation par les basaltes permien ou par les altérites éocènes n'est possible que si le processus de crypto-karstification est absent. Or, le caractère fonctionnel de la "forêt de pierre" de Lunan, avec ses poches de corrosion typiques, prouve qu'il s'agit d'un crypto-karst et non d'une ancienne "forêt de pierre" fossilisée, puis décapée.



Photo 60 (ci-dessus) :

Tête de crypto-lapiés émergeant des sols rouges du bassin de Lunan (Yunnan). Cette érosion des altérites (à partir des basaltes du Permien) constitue le premier stade de décapsulation de la "forêt de pierre" qui est au départ un modelé crypto-karstique.

Lunan basin (Yunnan). First stage of "stone forest" genesis. Corrosion under red formations (alteration of permian basalts) and erosion of soils.

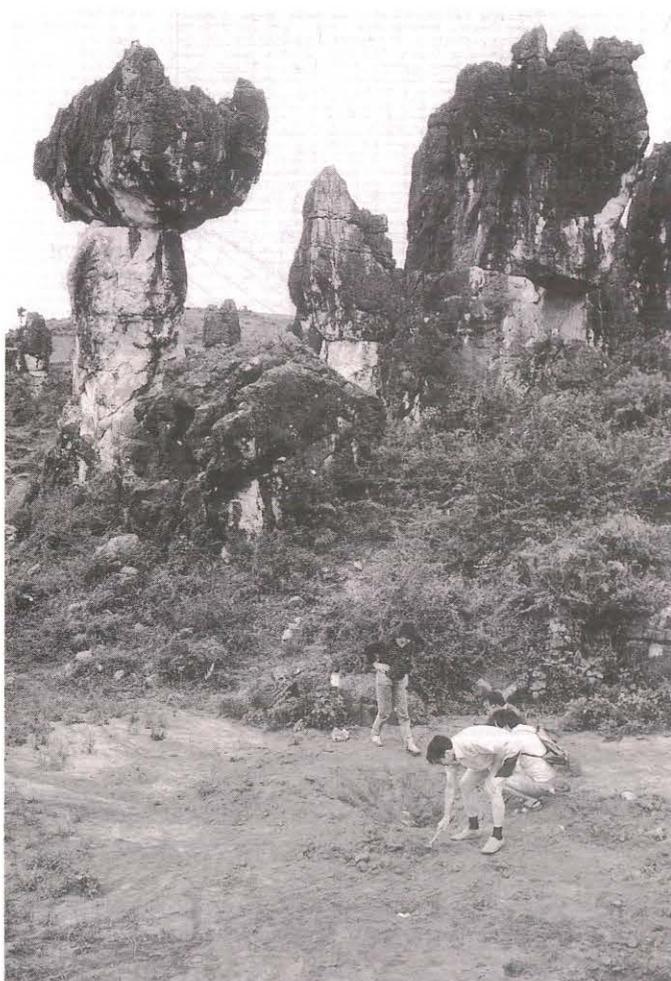


Photo 61 (ci-contre) :

Stade évolué d'une "forêt de pierre" de Lunan (Yunnan). Les reliefs en champignons et pinacles, dans les calcaires dolomitiques, continuent à évoluer à l'air libre. Au premier plan, sols rouges non décapsés.

Advanced stage of Lunan "stone forest" (Yunnan). Pinnacles and mushroom reliefs in the permian dolomitic limestones. Important external evolution after the crypto-karstic genesis below the red sediments. In the foreground, red soils.

Selon CHEN ZHIPING, SONG LINHUA et SWEETING (1986), cette karstification sous couverture aurait débuté à la fin du Tertiaire et se serait surtout développée au cours du Pléistocène.

2. Profils d'altération et crypto-karsts

Le processus de crypto-karstification est également visible à une échelle plus petite sur la bordure de nombreux reliefs (cônes, pitons), notamment en bordure des poljés et plaines d'érosion (ex : bassin de Zhijin/Guizhou) (photo 63). Il en est de même sur les flancs des plis du Sichuan oriental (Wuxi) où les résidus de l'altération des grès jurassiques empâtent les reliefs karstiques. Le décapage récent des sols, à cause de la déforestation, découvre de remarquables crypto-lapiés de plusieurs mètres de profondeur représentant le stade de mise à jour de la "forêt de pierre".

a. Sols rouges et sols jaunes de Chine du Sud :

◊ **Distribution** : Les sols rouges quaternaires de Chine du Sud recouvrent une superficie de deux millions de km² entre le cours du Yangtse et la mer de Chine. Sur les reliefs karstiques et non karstiques (substrats silicatés) et dans les secteurs non irrigués, ces sols sont soumis à une forte érosion qui concerne 20 % du territoire de Chine méridionale. Selon la zonalité climatique latitudinale, FELIX-HENNINGSSEN et al. (1989) distinguent du sud au nord :

- des sols rouges subtropicaux de type fersiallitiques (P = 1000-1600 mm, T = 18-19°C) ;
- des sols ferrugineux à ferralitiques (P = 1500-2000 m, T = 19-21°C) ;
- des sols tropicaux ferralitiques typiques (P = 1200-2000 mm, T = 22-27°C).

Avec l'altitude intervient une autre zonalité des sols ; on observe :

- des sols rouges dominants entre 0 et 600 m ;
 - des sols jaune-rouge entre 600 et 800 m ;
 - des sols jaunes à horizon B goéthitique au-dessus de 800 m.
- Les sols jaunes et jaune-rougeâtre sont prédominants sur les karsts à fenglin et qiufeng (alt. 600-800 m à 1500 m) du Guizhou et du Hubei.

◊ **Profil-type de sol jaune-rougeâtre du Hubei** : Sur le karst de montagne de Wufeng, au-dessus du système souterrain de Dadong (chap. 5), on remarque d'épais profils d'altération sur l'Ordovicien calcaire et schisteux. Dans la coupe de la route, vers 820 m d'altitude, on distingue le profil-type suivant (fig. 108) :

- la roche-mère calcaire à plus de 5 ou 6 m de profondeur (crypto-karst non visible sur cette coupe) ;
- un horizon B inférieur, argileux, brun-rouge foncé (code de couleur Munsell : HUE 3/3 5YR) ;
- un horizon B principal, argileux, jaune-rougeâtre (HUE 5/6 5YR) entre - 4 et - 1 m, avec des éléments rouges de schistes ordoviciens altérés ;
- un horizon A/B de transition, brun-rougeâtre (HUE 5/4 5YR), à structure grumeleuse entre - 1 et - 0,6 m ;
- un horizon racinaire A1 grumeleux, brun, entre - 0,6 et - 0,1

mètre ;

- un horizon A0 organique de 10 cm (plantation de théiers). La puissance de ce type de profil résulte de l'altération des schistes ordoviciens qui surmontent les calcaires ordoviciens. L'hydrolyse de la roche aluminosilicatée individualise le fer et l'aluminium (altération rouge), ces composés se retrouvant dans l'endokarst à la suite du soutirage de ces altérites (cf. chap. 9, fig. 101, matrice rouge dans la coupe souterraine de Dadong).

b. Sols rouges et paléaltérites remaniés :

Dans les petits bassins intramontagnards, les sols rouges renferment des éléments remaniés de paléaltérites. C'est le cas du bassin de Zhijin dans le Guizhou. En bordure des pitons, entre les têtes de crypto-lapiés en cours de décapage par

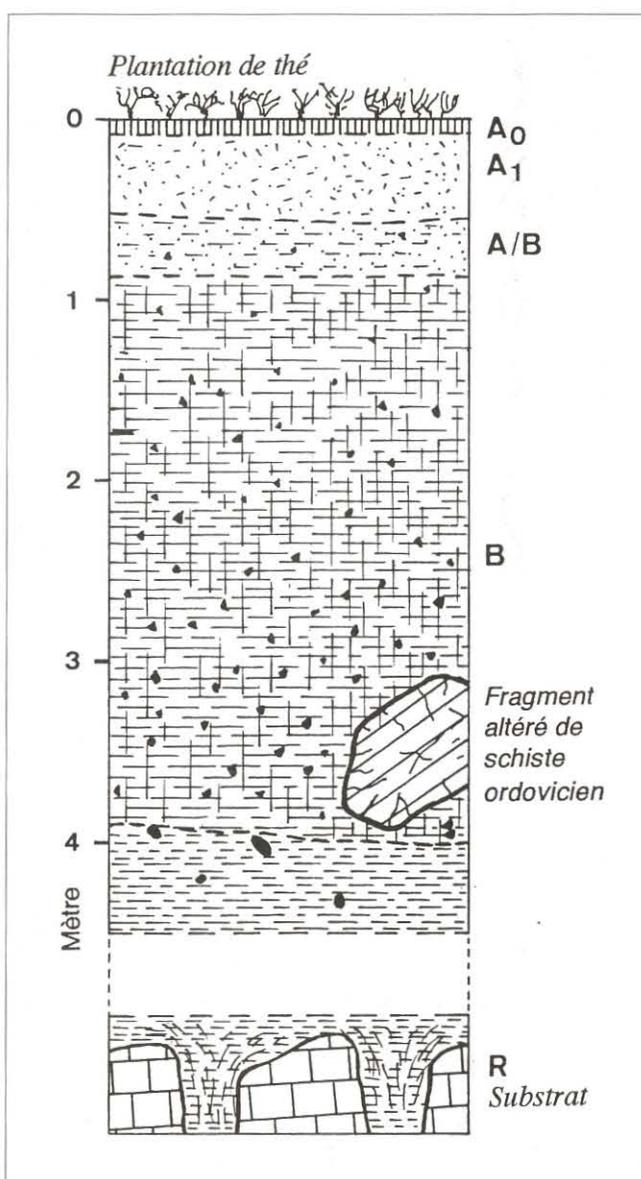
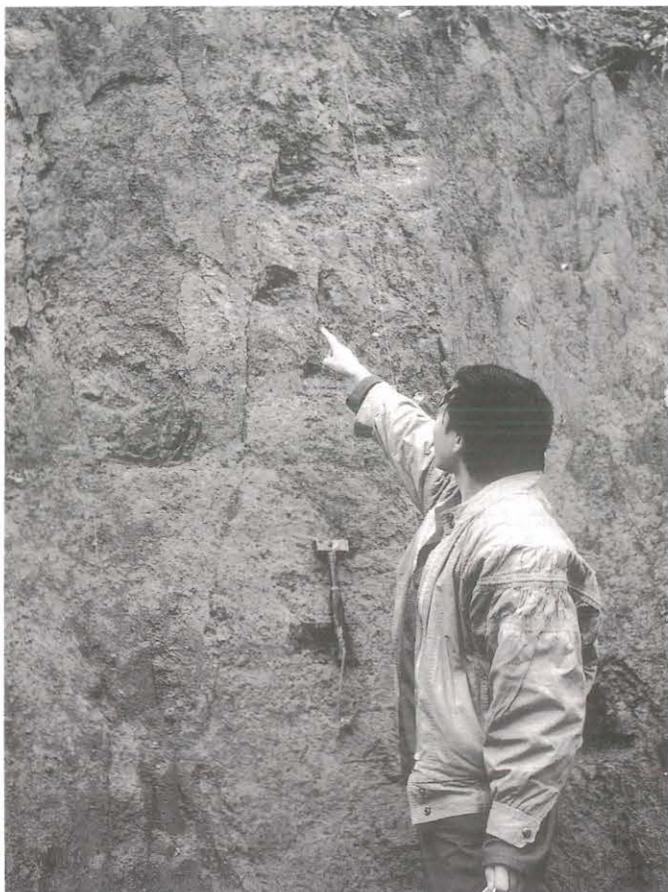


Figure 108 :
Profil d'altération profond et jaune-rougeâtre sur le karst de montagne de Wufeng, au-dessus de Dadong (Hubei). Altération des schistes ordoviciens, alt. 820 m.
Thick soil profile (yellow-reddish) on the mountain karst of Wufeng above Dadong (Hubei). Alteration of ordovician schists, alt. 820 m (a.s.l.).



l'érosion, on observe des éléments de cuirasse, des quartz bipyramidés, des grains noirs ferrugineux divers issus de l'altération d'anciennes roches grésoschisteuses aujourd'hui disparues.

L'échantillon ZR 540/5 montre au microscope un exemple typique de cuirasse. On observe des cristaux altérés de sidérite (probable) avec des cloisons résiduelles ; de la silice néoformée apparaît sous deux formes : en plage amorphe ou en mosaïque dans des pores de dissolution.

c. Conséquences pour la karstification sous altérites :

Les crypto-karsts décapés ou en voie de décapage du Guizhou, du Hubei, du Yunnan, du Guangxi, etc, constituent d'intéressants modèles actuels du fonctionnement morphologique du karst sous couverture d'altérites. D'autres exemples ont été observés au nord du Yangtse comme dans le comté de Wuxi (Sichuan oriental) où les épais profils sont liés également à l'altération de niveaux schisteux. L'érosion des sols, suite à la déforestation et aux pluies violentes de mousson, met à nu des têtes arrondies de crypto-lapiés. Dans des coupes artificielles, tranchées de route notamment, on constate les effets de la corrosion sous altérites et l'infiltration progressive de celles-ci dans les fentes du karst qui s'agrandissent (phénomène classique de rétroaction positive).

Ces multiples observations suggèrent que les périodes jurassique et crétacée, qui ont duré pendant plus de 120 millions d'années, ont été caractérisées par une puissante altération des terrains calcaires et détritiques (grès, schistes) qui a dû s'accompagner d'une karstification importante sous couverture. Cette phase morpho-pédologique du Jurassique-Crétacé est sans doute responsable de la disparition par altération, dissolution et érosion d'une partie importante de la colonne sédimentaire. (infra, VI et chap. 12).

Photo 62 :
Coupe du profil d'altération jaune-rougeâtre de Dadong (Wufeng, Hubei) (fig. 108).
Soil profile of Dadong (Wufeng, Hubei). Colour : yellow-reddish. (cf. fig. 108).

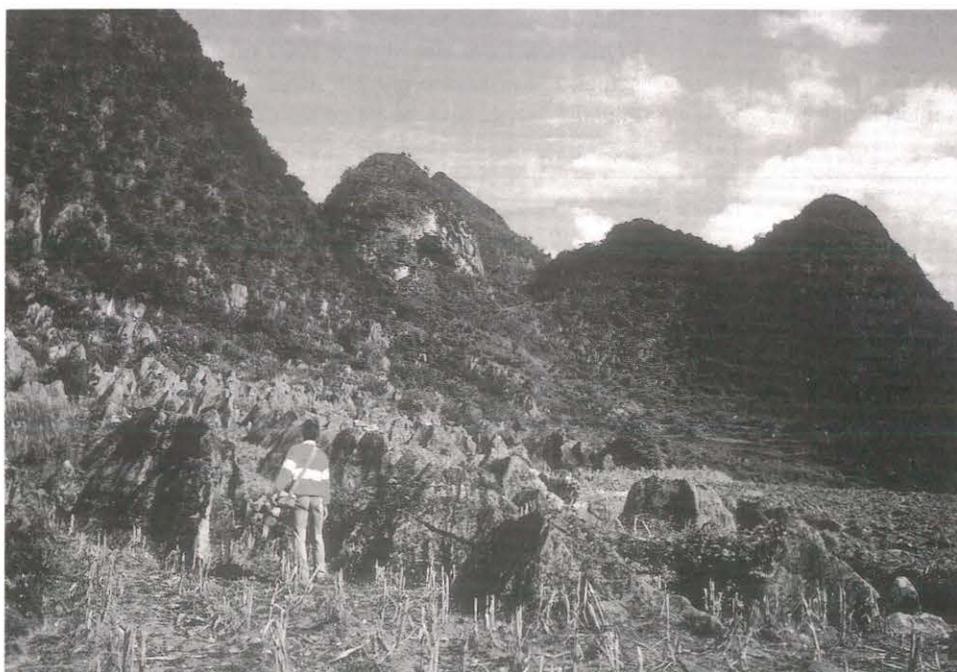


Photo 63 :
Têtes de crypto-lapiés mises à jour par érosion des altérites rouges en bordure du bassin de Zhijin (Guizhou). Au-dessus, relief à fenglin-ouvala typique.

Border of the Zhijin polje (Guizhou). Crypto-karren bared by erosion of red soils. Above, typical fenglin-ouvala karst.

IV. SCHEMA DE L'EVOLUTION DU KARST DEPUIS LE PRECAMBRIEN

Les forages, les tunnels et les puits de mine ont apporté des indications précieuses sur les paléokarsts, en particulier ceux du Paléozoïque. Inversement, l'étude de ces paléokarsts a beaucoup apporté à la compréhension des gisements minéraux et métallifères du pays.

A. LA KARSTIFICATION AU PRECAMBRIEN

(d'après ZHANG Shouyue, 1987 et 1989)

En Chine, on distingue plusieurs lacunes sédimentaires à l'intérieur du Sinien (850-570 Ma), et entre le Sinien et le Cambrien, phases d'émersion et d'orogénèse qui ont permis la karstification. Ainsi, dans le comté de Kaiyang (Guizhou), un sondage dans les pélites du Cambrien a atteint une surface d'érosion située sur le substratum carbonaté du Sinien. Ce dernier renferme une cavité qui a réclamé plusieurs tonnes de ciment pour la colmater.

En Chine du Nord, l'épaisseur du Sinien est réduit à cause d'une forte érosion au Précambrien. Dans le comté de Xushui (Hebei), les dolomies du Sinien moyen sont recouvertes en discordance par des dépôts ferrugineux du Sinien supérieur. Les formes karstiques fossilisées sont des dépressions de 10 à 20 m de profondeur et de 20 m de large (fig. 109).

Le Protérozoïque supérieur a été suffisamment long et les surfaces concernées suffisamment vastes pour permettre des types de karstification très différents, aussi bien dans des conditions tropicales (ex : ferralites de Xushui/Hebei) que glaciaires ou périglaciaires (ex : varves fluvio-glaciaires du Sinien, Yangtse). Les tillites du Sinien sont largement répandues dans les régions du Yangtse et du Tarim.

La glaciation du Sinien peut se subdiviser en trois périodes dans laquelle la tillite Nantuo est la plus importante. Cette formation se subdivise en trois parties (FANDELIAN et al., 1989) :

- la tillite inférieure ;
- la formation Datangpo (schistes noirs interglaciaires) ;

- la tillite supérieure (surmontée par des schistes noirs et des niveaux de phosphorite de la formation Doushantuo).

Les schistes noirs représentent une phase anoxique provoquée par la fusion des glaciers et la remontée du niveau marin (environnement océanique mondial anoxique ou OAE/Oceanic Anoxic Event). Anomalie en iridium et OAE sont en alternance et seraient en relation avec des retombées météoritiques et/ou volcaniques.

B. LA KARSTIFICATION AU PALEOZOIQUE

(d'après ZHANG Shouyue, 1987 et 1989)

Le Paléozoïque a connu de très importantes phases de karstification à la suite des orogénèses calédonienne (Paléozoïque inférieur) et varisque (Paléozoïque supérieur).

◇ **La karstification au Paléozoïque inférieur** : Les formes paléokarstiques affectant les roches carbonatées de l'Ordovicien sont typiques de l'orogénèse calédonienne sur la paraplateforme de Chine-Corée. Ainsi, dans le Shanxi (gorge du Huanghe), la surface karstifiée de l'Ordovicien moyen est fossilisée par les roches clastiques du Carbonifère moyen (fig. 110). Ce paléokarst est caractérisé par des dépressions (ponors, dolines), des cavités, des altérites et dépôts métallifères (bauxite, argile réfractaire, poches de fer). L'une des plus grandes paléodépressions mesure 60 x 120 m de large et 20 m de profondeur ; elles sont remplies par de la bauxite et des sédiments clastiques. Les cavités proches de la surface ordovicienne sont fossilisées par des sédiments détritiques du Carbonifère.

Dans le Guizhou central, bauxite et fer se sont accumulés sur le sommet des terrains carbonatés du Cambrien et sont recouverts en discordance par les dolomies du Carbonifère moyen. En Chine occidentale, sur la marge nord de la plateforme Talimu, l'Ordovicien moyen carbonaté, épais de 200 m, présente une paléoplain karstique de dénudation (paléotopographie ondulée) qui a été dégagée en divers points.

Dans le comté de Huanghua (Hebei), à 90 km au sud de Tianjin, un forage profond a recoupé une cavité dans l'Ordovicien calcaire situé à 1000 m sous le niveau marin actuel. L'eau rejetée par artésianisme contenait une grande quantité de fragments de stalactites (YUANDAOXIAN, 1981,

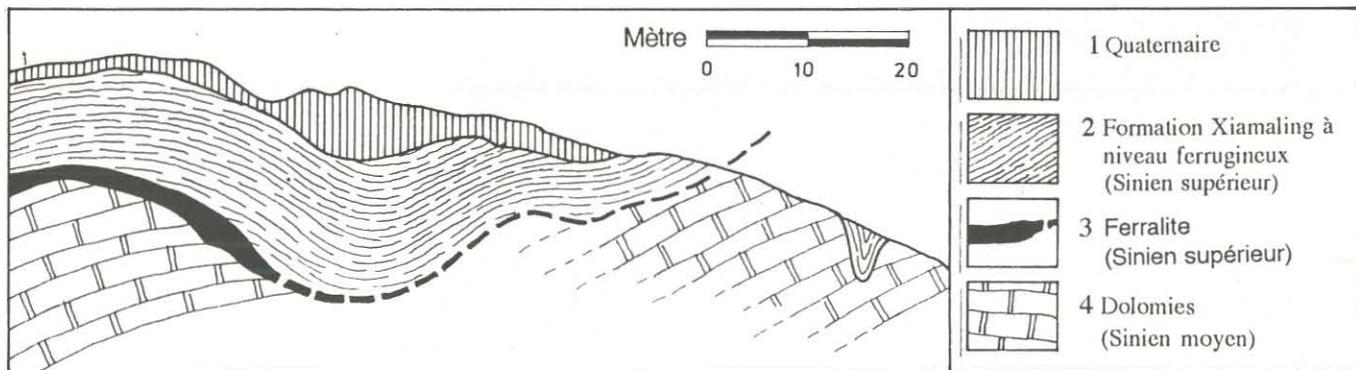


Figure 109 :

Paléokarst précambrien (Sinien) de Xushui (Hebei). Paléodépressions fossilisées par des dépôts ferrugineux du Sinien supérieur. (d'après ZHANG SHOUYUE, 1989).

Sinian paleokarst of Xushui (Hebei). Old depression fossilized by ferruginous deposits from Upper Sinian. (after ZHANG SHOUYUE, 1989).

p. 16). Ce type de paléocavité karstique, situé très bas sous le niveau marin actuel, s'explique par les mouvements tectoniques de subsidence.

◇ **La karstification au Paléozoïque supérieur :** Les phases karstiques sont nombreuses pendant l'ensemble du cycle hercynien (= varisque). Des paléokarsts ont été découverts entre le Dévonien et le Carbonifère, à la fin du Carbonifère et du Permien. Mais la phase karstique la plus importante se situe entre le Permien inférieur et supérieur au cours de l'épisode tectonique Dongwu. Les indices paléokarstiques du Permien sont largement répandus dans les roches carbonatées de la fin du Permien inférieur du Sud de la Chine : dépôts de bauxite et d'argile réfractaire dans les paléodépressions, cavités jouant le rôle de réservoirs pour le gaz naturel.

D'après les statistiques minières, pour la partie sud du bassin du Sichuan, 25 % environ des forages dans le Permien inférieur (gaz naturel) ont recoupé des cavités (une quarantaine). Dans l'un des puits, à 2900 m de profondeur (soit 2400 m sous le niveau marin), une cavité non colmatée a été recoupée sur 4,5 m de haut. Le forage a ensuite fonctionné en puits artésien (YUANDAOXIAN, 1981, p. 16). Ces réservoirs de gaz naturel du Sichuan méridional concernent la série Yangxin du Permien inférieur et sont du type cavité-fracture karstique. Ce paléokarst s'est formé à la fin du mouvement épirogénétique Dongwu. Mais ces réservoirs karstiques contiennent également des cavités formées au cours du Tertiaire lors de l'orogénèse himalayenne (HUANG HUALIANG, WU BAOQIN, 1985).

Au Yunnan, dans le secteur de la "forêt de pierre" de Lunan, la paléosurface karstique, dans les calcaires du Permien inférieur, est fossilisée par des basaltes du Permien supérieur. Les calcaires ont été érodés sur 230 m d'épaisseur sur une

distance horizontale de 5 km, ce qui reflète la dénivellation du paléorelief. Dans le comté de Luoping (Yunnan), la dénivellation atteint 110 m sur une distance de 400 m.

C. LA KARSTIFICATION AU MESOZOÏQUE

Les phases de karstification au Mésozoïque se situent au Trias moyen, au Jurassique et au Crétacé. La phase de karstification jurassico-crétacée, de loin la plus longue (-190 à -67 Ma), a joué un rôle considérable dans l'érosion de la série sédimentaire.

1. La phase triasique

Au Trias moyen, les mouvements liés à la tectonique du cycle indochinois sont à l'origine d'une surface karstifiée qui a été préservée par les sédiments clastiques du Jurassique. Dans le bassin du Sichuan, des cavités fossilisées ont été recoupées par forage à 40 m sous la paléosurface triasique. Quand les terrains détritiques du Trias supérieur ne sont pas complètement érodés, les couches de gypse sont relativement bien conservées. Des brèches de dissolution se sont formées près de la paléosurface karstique quand le gypse a été dissout (ZHANG SHOUYUE, 1989).

Dans le Sud du Hunan, des paléokarsts sont liés à la phase tectonique indosinienne et au début de l'orogénèse de Yanshan. Les dépôts sont piégés dans des fractures, des conduits et des dépressions (uranium, cuivre, plomb, zinc...). Les concentrations d'uranium et de cuivre dans ces dépôts karstiques sont liées à un environnement hydrologique confiné et noyé (LIU LIJUN et al., 1985).

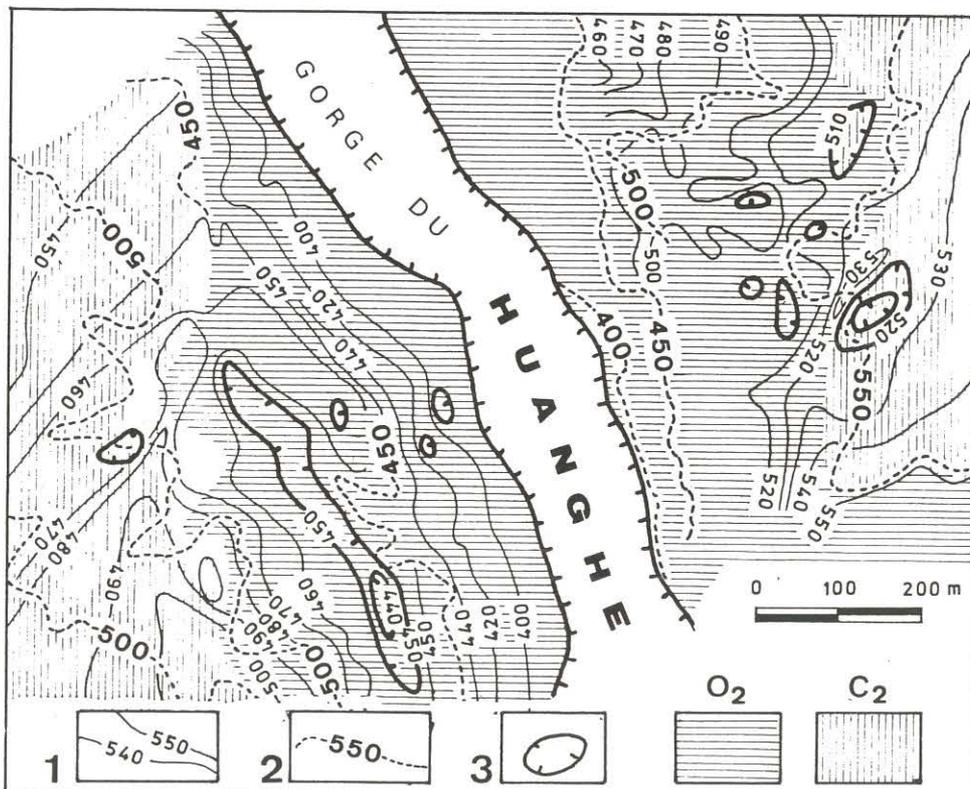


Figure 110 : Paléokarst du Paléozoïque inférieur dans les gorges du Huanghe (Shanxi). 1, toit de l'Ordovicien carbonaté. 2, topographie actuelle. 3, dépressions fossilisées au toit de l'Ordovicien. O2, calcaires de l'Ordovicien moyen. C2, roches clastiques du Carbonifère moyen. (d'après ZHANG SHOUYUE, 1989).

Lower Paleozoic paleokarst in the Huanghe gorge (Shanxi). 1, top of carbonated Ordovician. 2, actual topography. 3, depressions fossilized on the top of Ordovician. O2, Middle Ordovician limestones. C2, clastic rocks of Middle Carboniferous. (after ZHANG SHOUYUE, 1989).

2. Les phases de karstification et d'érosion au Jurassique-Crétacé

◇ **Rôle de la tectonique de Yanshan** : La karstification au Jurassique et au Crétacé est très mal connue. En revanche, on sait que cette partie de la Chine était alors émergée et faisait partie d'un ancien continent sino-australien. Cette très longue période a été caractérisée par le cycle orogénique de Yanshan qui se subdivise en trois phases tectoniques : deux au Jurassique (Y1 et Y2, entre 190 et 137 Ma) et une au Crétacé (Y3, entre 137 et 67 Ma) (LEE, 1989). La dernière a dû se poursuivre à l'Eocène. Ces puissants mouvements, liés à la fermeture de l'ancien océan thétysien, sont responsables en grande partie de la structure plissée que l'on peut observer aujourd'hui ; ils ont été accompagnés par des mouvements de subsidence dans les bassins dès le Jurassique. C'est le cas du bassin du Sichuan qui a servi de réceptacle aux épaisses séries détritiques et lacustres du Jurassique et du Crétacé (grès, couches rouges, évaporites), sur une épaisseur de plusieurs milliers de mètres.

Actuellement, le bassin du Sichuan représente la plus grande région karstique enterrée de Chine du Sud, avec des paléokarsts se développant dans les terrains carbonatés allant du Sinien au Trias. Ceux-ci servent de roches-réservoirs (pétrole, gaz, saumure). Dans le Sud du Hunan, on a vu que des paléokarsts importants du Trias-Jurassique sont liés notamment au début de la tectonique de Yanshan (LIU LIJUN et al., 1985).

Pendant les phases de quiescence tectonique, sans doute fort longues, les terrains carbonatés et non carbonatés de la paraplateforme du Yangtse ont été profondément altérés. Chaque phase tectonique a permis le nettoyage de la couverture d'altérites et l'accumulation des sédiments sur les piémonts. Le processus de crypto-karstification a dû se développer largement pendant des dizaines de millions d'années entre chaque crise tectonique.

Actuellement, les arguments géomorphologiques et géochimiques permettent de penser que cette longue période de 120 millions d'années est responsable de la disparition d'une colonne sédimentaire de 1000 à 2000 m d'épaisseur. Ce qui est logique si l'on considère les phénomènes diagénétiques qui ont conduit, par exemple, à la formation du charbon du Permien par enfouissement (cf. chap. 12). Les relations morphogénétiques entre tectonique et niveau de base sont difficiles à apprécier ; toutefois, compte tenu de la succession des phases tectoniques de Yanshan, on peut supposer que des paysages karstiques à fenglin, qiufeng et shilin du même type qu'aujourd'hui, se sont développés, puis ont totalement disparu par dissolution et érosion. Seule la morphologie karstique fini-crétacée/éocène, fossilisée en bordure des bassins par les conglomérats et formations rouges, constitue un témoignage de la fin de cette période (ex : bordure du bassin de Yichang, fig.106).

◇ **Complexité des cycles d'évolution** : Cette succession de cycles morphogénétiques présente, dans le détail, de multiples possibilités d'évolution. Signalons que la problématique du schéma davisien (phases de jeunesse, maturité, sénilité), longtemps rejetée en bloc, reprend une partie de sa pertinence dans la compréhension de l'évolution des karsts chinois depuis 190 millions d'années. Bien entendu, les cas d'espèces doivent être nombreux en fonction des disparités régionales litho-

stratigraphiques et structurales, et des conditions de l'altération en fonction du niveau de base, donc de la tectonique.

Par exemple, la présence de terrains imperméables au sein de la série sédimentaire a permis le développement d'un creusement linéaire, puis fluvio-karstique et karstique. A l'inverse, dans une série carbonatée très épaisse, le passage d'un stade de jeunesse et de maturité (karst à dolines et karst polygonal) à un stade de sénilité morphologique (karsts à inselbergs et plaines fluvio-karstiques) s'est sans doute produit plusieurs fois en fonction des phases tectoniques et de l'abaissement corrélatif du niveau de base. Certains de ces aspects sont envisagés notamment par WILLIAMS (1987), TRUDGILL (1985, p. 95) et SONG LINHUA (1986).

Il faut garder à l'esprit que cette évolution morphologique de la paraplateforme du Yangtse au cours du Mésozoïque s'est effectuée dans le cadre complexe de la résorption de l'océan thétysien, avec le rapprochement des domaines eurasiens et gondwanien qui va donner naissance, au Tertiaire, au domaine himalayen.

V. KARSTIFICATION ET SURRECTION AU CENOZOÏQUE

A partir de l'Oligo-Miocène, l'orogénèse himalayenne s'est traduite par un soulèvement d'ensemble. Cette épigénèse s'est accompagnée d'un abaissement relatif important du niveau de base responsable du creusement des vallées et des canyons, de la formation des cônes, pitons, ouvalas et poljés. La morphologie actuelle à fenglin-ouvala et fenglin-poljé est donc directement héritée de cette phase tertiaire.

A. PROBLEMATIQUE GENERALE

Cette évolution cénozoïque du karst s'est effectuée à partir d'une surface karstique d'érosion et d'aplanissement chimique crétacé/éocène consécutive à la dernière phase tectonique de Yanshan. Cette surface s'est développée durant une période de temps inconnue (30 à 40 Ma ?). Elle est visible lorsque celle-ci est exhumée des sédiments détritiques éocènes en bordure des bassins rouges. Ailleurs, elle correspond à la surface passant "en pointillés" au-dessus des pitons. Compte tenu de la vitesse de dissolution actuelle, on peut admettre la disparition de plusieurs centaines de mètres de calcaires depuis l'Oligocène, c'est-à-dire depuis 35 Ma environ. Cette dissolution du calcaire s'est faite de manière très différente spatialement, d'où un paysage à fenglin qui présente des dénivellations de plusieurs centaines de mètres entre le fond des poljés et le sommet des pitons.

Cette dénivellation entre les formes positives et négatives confirme d'une part l'importance de la surrection himalayenne (sans doute plus de 1000 m dans le Guizhou comme le suppose SONG LINHUA, 1986) et d'autre part la valeur de la tranche de calcaire dissoute. Comme cela a été démontré expérimentalement dans d'autres karsts, l'abaissement des interfluves peut être plusieurs fois moins rapide que l'approfondissement des dépressions. La présence de grotte-tunnels perchées, voire démantelées, au sommet des pitons indique toutefois un abaissement important du sommet actuel de la surface résiduelle.



Photo 64 :

Porches étagés de la Gebihe (Ziyun, Guizhou). A droite, derrière le piton, le porche actuel de 116 m. Au-dessus, le porche de + 226 m, témoignant de l'ancienne perte de la Gebihe probablement au cours du Néogène (surrection himalayenne).

The large "fossil" porch (+226 m) of, Gebihe system (Ziyun, Guizhou). On the right, the "active" porch of Gebihe, 116 m high. The different cave levels are in relation with the tertiary-quaternary himalayan uplifts (1000 m and more).

B. GENESE DES GROTTES-TUNNELS ETAGEES

Les grottes-tunnels perchées de quelques dizaines de mètres à plusieurs centaines de mètres au-dessus des fonds de vallées et des poljés marquent les étapes du creusement du karst en fonction du soulèvement. Les grottes les plus hautes pourraient remonter, en première hypothèse, au Miocène. Prenons quelques exemples d'évolution dans le Guizhou avec les modelés et dépôts associés.

1. Evolution du système de la Yijiehe (Daxiaocaokou)

Dans le comté de Zhijin (Guizhou), le cours de la Yijiehe donne lieu, lors de la traversée des calcaires triasiques, à une succession de grottes-tunnels actives séparées par des tronçons de vallées aveugles en canyon qui proviennent de l'effondrement du plafond de la galerie (chap. 1, fig. 12). A terme, cette évolution devrait conduire à la formation d'un canyon, long de plusieurs km, dont la genèse sera exclusivement endokarstique.

Tout au long du tracé, des grottes perchées 100 à 200 m au-dessus de la rivière correspondent à l'ancien tracé du système qui devait comporter, lui-aussi, une succession de tronçons souterrains et externes. Dans la coupe de la route qui surplombe le système, des dépôts fluviatiles anciens ont été observés et prélevés. Il s'agit d'alluvions altérées et plus ou moins indurées piégées dans des fissures karstiques de plusieurs mètres de profondeur. Les galets centimétriques sont formés par des éléments permien et triasiques (échantillon DAX 498/8). D'autres alluvions consolidées ont été observées sur le flanc de l'effondrement de Daxaokou plus de 100 m au-dessus de la rivière (échantillon 498/11a). Pour l'étude micromorphologique, se reporter au chapitre 9 (photo 40).

2. Evolution du système de la Gebihe

Dans le comté de Ziyun (Guizhou), le système karstique de la Gebihe traverse un petit massif à fenglin-ouvala. Au niveau de la perte de la rivière, quatre niveaux d'écoulement ont été reconnus :

- le porche actif actuel haut de 120 m ;
- le grand porche, en rive gauche, à + 226 m ;
- le porche de + 350 m ;
- le porche détruit de + 370 m (plancher de galets).

Ces différents conduits, étagés sur près de 400 m de dénivellation, retracent l'histoire de la perte de la Gebihe au cours du Néogène et du Pléistocène en fonction de l'épirogenèse himalayenne (fig. 111) :

◇ Le porche supérieur plus petit de + 350 m et le plancher alluvial de + 370 m correspondent à des paléoécoulements moins importants (affluents). Au-dessus, une tranche de calcaire de plusieurs centaines de mètres a disparu par dissolution et érosion depuis de début du Tertiaire.

◇ Le vaste porche de + 226 m correspond à l'ancienne perte de la Gebihe, sans doute au cours du Néogène. L'ancien conduit devait se diriger dans ce qui est aujourd'hui une sorte de canyon dont le plafond s'est effondré.

◇ Au cours de la surrection plio-quaternaire, l'immense porche d'entrée s'est formé simultanément vers le bas (incision) et vers le haut (effondrement) avant d'atteindre sa voûte d'équilibre

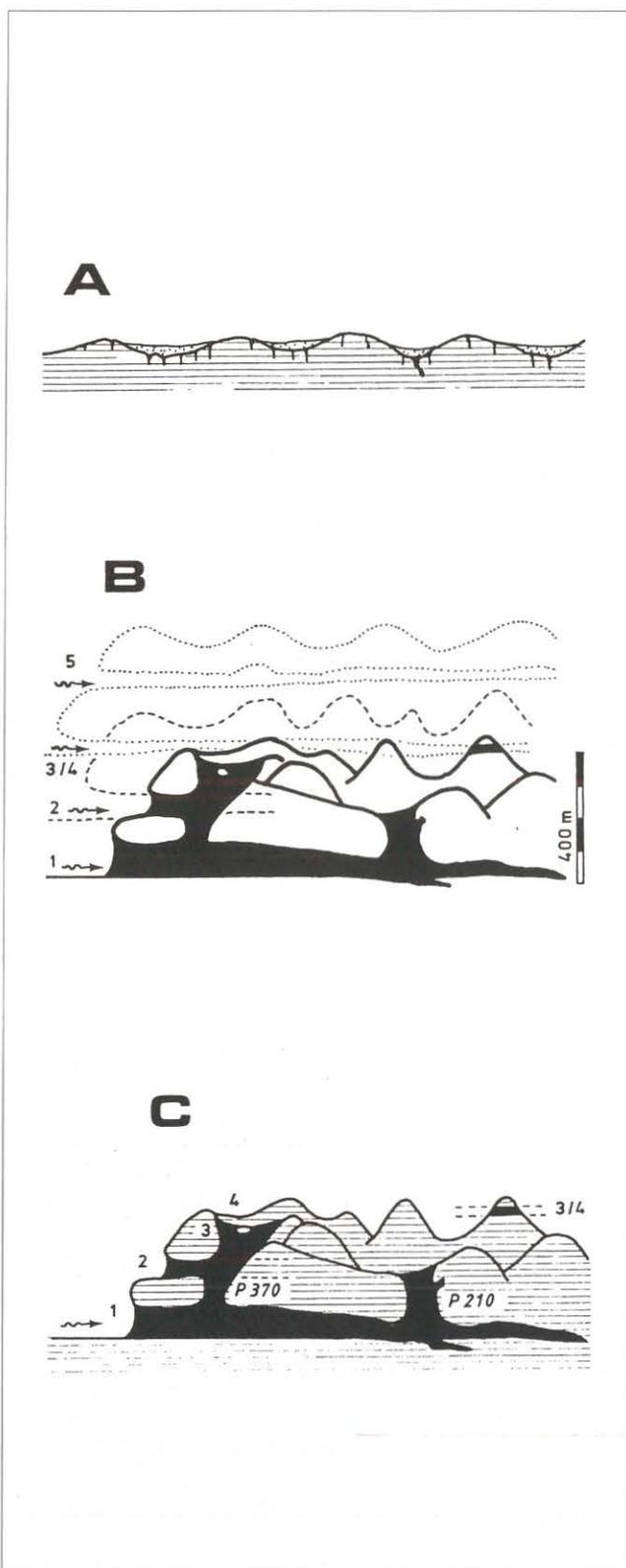


Figure 111 :
Evolution schématique du karst et des grottes-tunnels étagées de la Gebihe au cours du Cénozoïque en fonction de la surrection himalayenne.

A. Situation à la fin de l'Eocène.

B. De l'Oligocène-Miocène au Pléistocène (niv. étagés 1-2-3-4-5...).

C. La Gebihe aujourd'hui.

Schematic geomorphological evolution of Gebihe area during Cenozoic in relation with the Himalayan uplift.

A. Eocene morphology.

B. Oligocene-Miocene to Pleistocene (cave levels 1-2-3-4-5...)

C. The Gebihe today.

actuel. Les voûtes les plus hautes atteignent 150 à 160 m (chap.10, photo 47).

◊ Un niveau vers + 100 m a été découvert dans la vallée sèche qui mène de la petite perte de Gebong à la grande perte de la Gebihe. Les remplissages fluviaux consolidés prélevés dans l'une de ces cavités pourraient dater du début de la formation de la grande perte de la Gebihe. La nature pétrographique variée des sables et graviers (calcaire, grès, schiste, grains de cuirasse, éléments siliceux...) indique une alimentation par une rivière allochtone.

Ces différents conduits perchés renferment des dépôts détritiques consolidés (conglomérats fluviaux, brèches) et des concrétionnements stalagmitiques anciens qui sont en cours d'étude du point de vue micromorphologique. Quelques indications sur la nature des remplissages bréchiens sont donnés dans le chapitre 9 (photo 39).

Les niveaux supérieurs de la Gebihe ont disparu à cause de l'abaissement de plusieurs centaines de mètres de la surface karstique par dissolution. Cette érosion karstique du massif a provoqué des liaisons verticales entre le fond de certaines dépressions et des galeries et salles souterraines, d'où des avens de grandes dimensions comme le puits en escalier de 370 m et l'aven central de 210 m (chap. 10 : fig. 102, photo 49).

Dans le karst à pitons de Chuan Shan (Guilin, Guangxi),

des sédiments karstiques ont été étudiés dans quatre niveaux étagés de conduits (BULL, YUAN DAOXIAN, HU MENG YU, 1989). La nature des dépôts — d'origine éolienne, fluviale et colluviale pour les deux niveaux supérieurs — suggère un spéléogénèse en grande partie antérieure à la formation du piton selon les auteurs. Toutefois, on peut difficilement comparer l'évolution d'une tour qui ne fait ici que 60 m de haut avec les niveaux de la Gebihe qui s'étagent sur 400 m de dénivellation. Tout dépend de la vitesse de surrection.

C. LE KARST QUATERNAIRE ET L'INFLUENCE PERIGLACIAIRE

Avec le refroidissement du climat et l'apparition de saisons plus contrastées, la végétation et les sols ont subi une alternance de ruptures climatiques. Ces phénomènes sont responsables d'un important soutirage des sols dans l'endokarst (coupe de Dadong, Wufeng/Hubei) (chap. 9, fig. 101). En montagne, au-dessus de 1000-1500 m, des phénomènes périglaciaires sont présents : éboulis, coulée de blocs, glace souterraine de regel (Baiyiping/Wufeng). Signalons que le point sur la géologie du Quaternaire chinois a été fait dans l'ouvrage édité par LIU TUNG-SHENG (1985).



Photo 65 :

Moraines de névé (arcs successifs imitant un glacier rocheux) au pied du massif synclinal de Baiyiping vers 1500 m (Hubei occidental). Ces phénomènes nivaux sont parmi les plus au sud (lat. 30°N) repérés dans les karsts de Chine.

Spectacular periglacial deposits in the Western Hubei, alt. 1500 m (a.s.l.), lat. 30°N (Baiyiping syncline, alt. 2300 m (a.s.l.)). "Moraines de névé" with different lobes looking like a rock glacier.

◇ **Éboulis périglaciaires** : Dans le Guizhou (comté de Ziyun), nous avons observé une nappe caillouteuse piégée dans le fond d'une vallée menant à la Gebihe vers 900 m d'altitude. Sur la tranchée de la route, on observe sur plusieurs mètres d'épaisseur un ensemble de clastes calcaires anguleux centimétriques (gélifracsts) mélangés à une matrice terreuse. Il pourrait s'agir d'un ancien éboulis périglaciaire colonisé par la végétation, puis remanié par le colluvionnement (coulée, solifluxion). D'autres éboulis en place sont connus à la base de l'escarpement de faille de la Gebihe. Compte tenu de l'altitude, de la latitude (26° lat. N) et de l'effet de la continentalité, cette hypothèse est vraisemblable.

◇ **Coulées de blocs** : En 1933, LEE (1934) découvre une grande coulée de blocs à matrice argileuse près de Lushan, dans la basse vallée du Yangtse, qu'il confond avec une moraine. Rapidement, l'hypothèse glaciaire est abandonnée en raison de l'absence de morphologie glaciaire et de la basse altitude (BARBOUR, 1934). Il s'agit d'un phénomène de solifluxion dans une région humide (plus de 2000 mm/an).

◇ **Moraines de névé du Hubei occidental** : Dans les montagnes du Hubei occidental (comté de Wufeng), vers 30° de latitude nord, nous avons pu observer des phénomènes périglaciaires incontestables. Ainsi, dans la partie orientale du synclinal de Baiyiping (culmen : 2300 m), de la glace de regel était présente dans un amoncellement de blocs le 5/12/89, vers 1750 m, à la base de la grande paroi de calcaires triasiques. Le même jour des "pipkrakes" ont été observés dans les sols noirs humiques vers la même altitude. Remarquons qu'il avait neigé le 26/11/89. Entre les blocs, la température était de 4,6°C. (chap. 5).

Cette nuance climatique périglaciaire, aujourd'hui fonctionnelle en hiver, est à même d'expliquer les remarquables dépôts de blocs hérités et disposés en trois ou quatre arcs successifs entre 1300 et 1500 m d'altitude à la base de la paroi orientale du synclinal perché de Baiyiping. Le bourrelet le plus externe, haut de 100 m, présente une pente de 40° environ avec des brèches climatiques érodées. L'ensemble est en grande partie fixé par la végétation. A la base, une émergence sort à travers les blocs (100 l/s environ) ; l'exutoire vrai pourrait se situer au contact du Permien et du Trias. Si toute morphologie glaciaire véritable est exclue, en revanche l'hypothèse d'une succession de moraines de névé formées pendant les dernières périodes froides du Pléistocène est plausible. Malgré la ressemblance avec un petit glacier rocheux, il n'est pas possible de le prouver. (photo 65).

On serait donc en présence d'un modelé périglaciaire de transition avec le modelé glaciaire, sans doute l'un des plus méridionaux de Chine. L'altitude assez élevée des montagnes et le fort abaissement de la température en hiver expliquent ce phénomène.

VI. APPROCHE DES MILIEUX KARSTIQUES DE CHINE DU SUD PAR TELEDETECTION

Les karsts du Sud et du Centre de la Chine commencent à faire l'objet d'études par télédétection. Dans le NE du Sichuan, par exemple, le traitement des images Landsat-2 a été utilisé pour la prospection du gaz et du pétrole en complément des données

géophysiques régionales (RU JINWEN et al., 1985). Ces images permettent de mettre en évidence des structures pièges favorables (fractures majeures, structures annulaires...), comme sur les bords de la grande faille Hechuan-Lichuan où sont localisés de nombreux gisements de gaz naturel.

Dans le Sichuan oriental et l'extrémité SW du Hubei (Lichuan), la simple observation d'une image satellite GEOPIC, en fausses couleurs, permet d'identifier de manière remarquable la morphologie générale du karst et la structure géologique (fig. 112). Les grands anticlinaux à armature calcaire et gréseuse apparaissent clairement par la distribution des chevrons, de forme triangulaire, sur le flanc des plis. Le karst à cônes et pitons de la zone de Lichuan, sur la bordure orientale, est caractérisé par un ensemble plus tabulaire (plis à grand rayon de courbure) dont la structure morphologique est polygonale, avec des variations latérales :

- structure polygonale à mailles lâches sur les zones les plus tabulaires (ex : à l'ouest du poljé de Lichuan) ;
- structure polygonale à mailles serrées sur les zones les plus élevées (culmination axiale) (ex : au nord de Lichuan).

L'analyse diachronique des images Spot (saison sèche/saison humide) devrait permettre d'étudier efficacement les relations entre le karst, la structure géologique, les sols et la végétation.

A Guilin et au laboratoire souterrain de Moulis, des modélisations et des analyses fractales ont été effectuées à partir de l'analyse numérique de la morphologie du karst à piton. Des hypothèses sont émises sur les relations entre la morphologie karstique, ses variations spatiales et la tectonique. (com. orale Alain Mangin).

La télédétection par infra-rouge a été utilisée pour étudier le karst à pitons de la région de Guilin (Guangxi). Cela a permis de mettre clairement en évidence les différences de litho-faciès du Dévonien supérieur. Les fractures et les failles apparaissent, comme d'habitude, par un figuré linéaire "froid" sur l'image infra-rouge nettement plus visible que sur les photos aériennes classiques (RU JINWEN et al., 1984).

Cependant, la photo-interprétation classique conserve toute son utilité. Ainsi, dans le bassin de Qingtang (Ningdu, Jiangxi), un karst couvert par les sédiments quaternaires a pu être "prospecté", dans un premier temps, de cette façon ; des zones de drainage étagées ont été détectées, puis confirmées par l'étude de terrain (FANG QIDONG, 1988).

Cette voie intéressante de la télédétection et des divers traitements associés constitue aujourd'hui un volet complémentaire indispensable à l'étude du karst tropical. On commence à la mettre en oeuvre à l'Institut de Géographie de Bordeaux III (LGPA) et au Centres d'Etudes de Géographie Tropicale du CNRS (traitement d'images Multiscope).

CONCLUSION

Par leur ampleur, la spécificité des morphologies polygonales à pitons (fenglin) et l'ancienneté de l'évolution, les karsts subtropicaux et tropicaux de Chine méridionale constituent un modèle de karstification tropicale. Rappelons le rôle conjugué des principaux groupe de facteurs :

- litho-dépendance ;
- surrection tectonique et niveau de base ;
- précipitations importantes, végétation et sols ;
- altération et dissolution sous couverture.

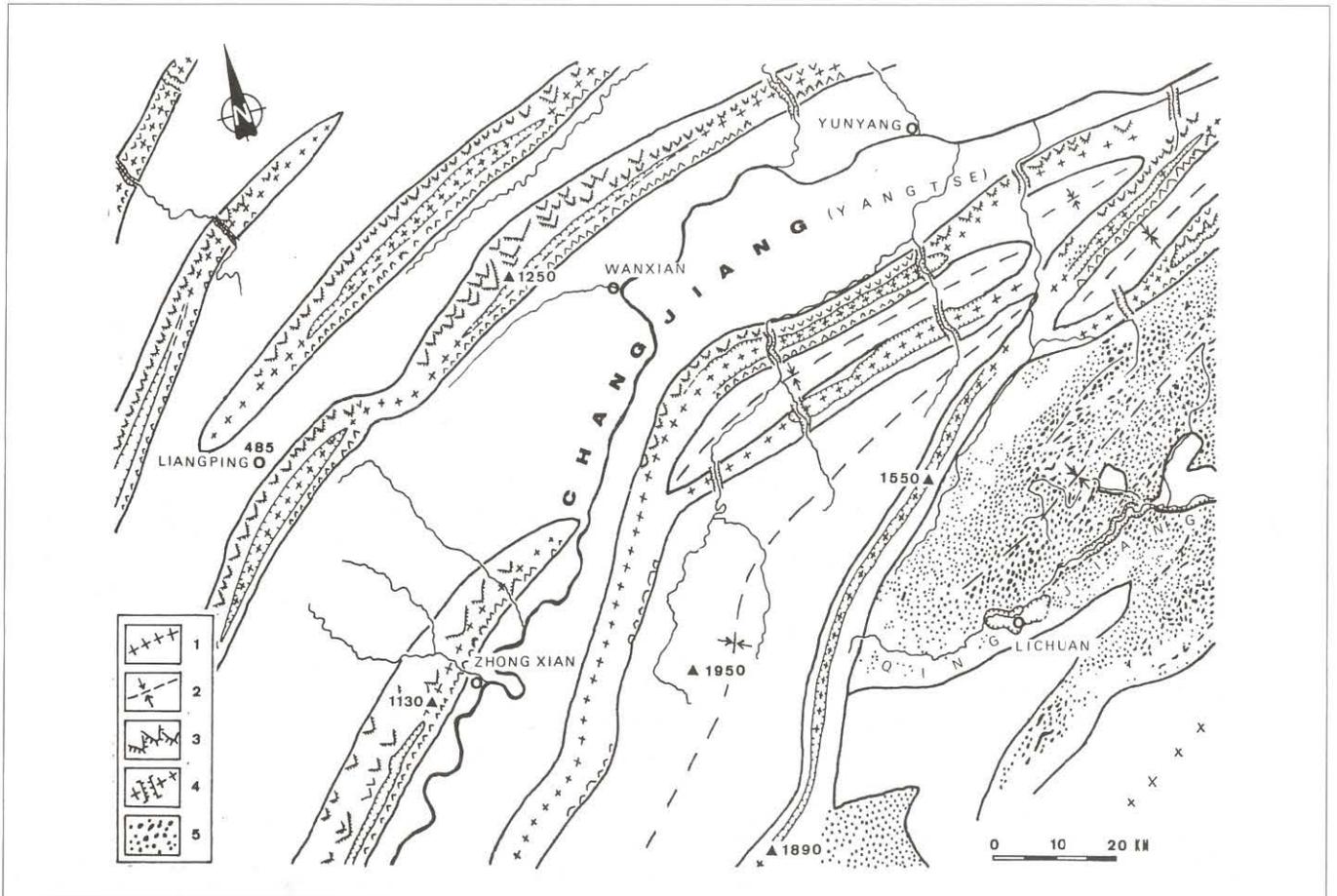


Figure 112 :

Interprétation d'une image satellite GEOPIC recouvrant à l'est le karst de Lichuan et à l'ouest les plis anticlinaux du Sichuan oriental. Noter les chevrons qui soulignent les anticlinaux et la morphologie polygonale (en damier) des karsts à fenglin-ouvala de la zone de Lichuan. 1, anticlinal. 2, synclinal. 3, chevrons. 4, canyon. 5, karst polygonal à fenglin-ouvala. (image tirée de l'ouvrage de BONAVIA, 1985).

Interpretation of a GEOPIC satellite picture (eastern Sichuan and western Hubei). We can see clearly the folds and polygonal karsts of Lichuan area (fenglin-ouvala karst). 1, anticline. 2, syncline. 3, "chevrons". 4, canyon. 5, polygonal karst (fenglin-ouvala karst).

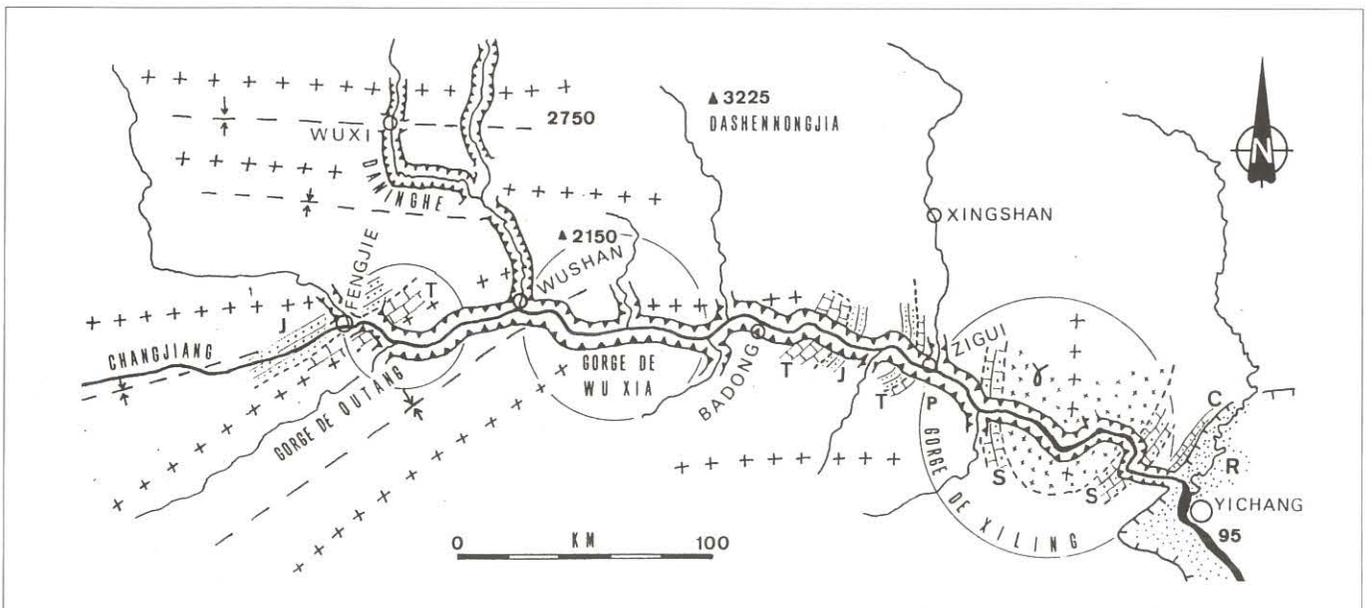


Figure 113 :

Carte morphostructurale schématique des gorges du Yangtse entre Fengjie et le bassin rouge de Yichang. R, Crétacé-Eocène détritique. J, Jurassique. T, Trias. P, Permien. C, Cambrien. S, Sinien (dolomites). γ, socle granitique précambrien.

Structural and morphological map of the Yangtze gorges between Fengjie and the red basin of Yichang. R, Cretaceous-Eocene (red detrital sediments). J, Jurassic. T, Triassic. P, Permian. S, Sinian (dolomites). γ precambrian granitic substratum.



Photo 66 :

Karst à cônes et pitons séparés par de profondes dépressions dans les chaînes plissées de Papouasie (Highlands du Sud). Ce karst remonte à la fin du Tertiaire et illustre ce qu'a dû être le début de la phase karstique cénozoïque en Chine du Sud avec la surrection himalayenne.
Cone-karst with deep depressions and ouvalas in the folded ranges of Papua New Guinea (Southern Highlands). Neogene and quaternary evolution ; it illustrates the presumed beginning of tertiary karstification in South China in relation with Himalayan uplift.

Enfin, le facteur temps, le plus important de tous, est le seul à même d'expliquer la succession des cycles de karstification et d'érosion en fonction de la tectonique depuis le Jurassique. Le paysage karstique de Chine du Sud est donc uniquement tertiaire et quaternaire, les modelés datant du Secondaire ayant disparu.

La spécificité de la morphologie karstique tropicale est une réalité que certains continuent pourtant à nier (MANGIN et BAKALOWICZ, 1990). Cette spécificité intervient au niveau de la fréquence des types morphologiques à pitons et cônes (fenglin). Bien visible sur photo aérienne et image satellite, la structure morphologique polygonale est le résultat d'une action continue de la dissolution sous couverture végétale et pédologique. Le débat consistant à quantifier le rôle respectif des processus karstiques purs (dissolution) et fluvio-karstiques (creusement linéaire) ne paraît pas prioritaire car ils sont intimement mêlés à un certain stade de l'évolution.

Si la morphologie polygonale est beaucoup moins répandue dans les zones tempérées, c'est à cause des ruptures climatiques quaternaires et de la succession des phases tectoniques au Cénozoïque. Les karsts à buttes arrondies (Kuppenkarst) des régions tempérées sont hérités du Tertiaire (ex : Basse Provence, Coulmes/Vercors, Périgord) et ont subi

des actions périglaciaires au cours du Pléistocène (NICOD et SALOMON, 1990).

Si l'on veut étudier la phase incipiente de formation d'un karst tropical humide, il faut aller là où il se forme actuellement, par exemple dans les montagnes de Nouvelle-Guinée (photo 66). Or, on constate que la karstification est ici sous le contrôle direct, d'une part des facteurs géologiques (calcaires miocènes, surrection plio-quaternaire), d'autre part d'un climat hyperhumide et d'un couvert bio-pédologique remarquable. C'est cette **dissolution in situ et en continu, sous compresse humide et acide**, qui explique la mise en place du karst polygonal en fonction des diaclases et fractures inhérentes à tout massif calcaire.

La stade fluvio-karstique intervient surtout lorsque la karstification verticale a atteint le niveau phréatique qui peut varier en fonction des stades de surrection. A partir de ce moment, la dissolution latérale se développe ainsi que les cours d'eau générateurs de grottes-tunnels. A ce titre, le karst tropical chinois permet d'avoir une vue d'ensemble de son évolution à condition d'intégrer les karsts à cônes et qiu-feng, plus récents, des montagnes du Hubei occidental ou du Sichuan oriental.

LE DEGRE D'EVOLUTION DIAGENETIQUE DE LA MATIERE ORGANIQUE SEDIMENTAIRE

Indicateur de la couverture érodée en région karstique
(Application au comté de Zhijin, Guizhou)

— Claude MOURET

RESUME :

L'état d'évolution diagénétique de la matière organique constituant les charbons impurs en bancs minces, situés à la base des karsts des carbonates du Trias, a été mesuré en laboratoire, notamment par mesure de la réflectance optique de la vitrinite. Une modélisation parallèle de cette évolution (méthode de WAPLES), calibrée sur les mesures de laboratoire, montre qu'il faut pour expliquer les valeurs rencontrées une sédimentation au Trias cumulant les plus fortes valeurs régionales ou tout au moins des épaisseurs supérieures à la moyenne. Une sédimentation post-triasique, probablement ante-Malm, est relativement probable. Les modèles géomorphologiques admis pour la région restent compatibles avec ces conclusions.

Mots-clés : histoire géologique, enfouissement, matière organique, diagenèse, charbon, vitrinite, géomorphologie, karst, Chine, Guizhou, Permien

摘要：侵蚀作用指标有机质的演化

采集了下伏于喀斯特化的三叠纪碳酸盐岩下面厚度小于1m的煤样，经室内镜质体反射率测量得出有机质成岩演化程度。应用WAPLES方法校核测定结果表明，其值

只能用三叠系具较高的区域沉积速率或者至少是比区域平均值要高来解释。三叠纪后或许晚侏罗世前也可能如此。区域地质模型与上述结论相符。

ABSTRACT: EVOLUTION OF ORGANIC MATTER AS AN INDICATOR OF EROSION.

Coal beds of less than 1 m thickness underlying karstified Triassic carbonates were sampled. Laboratory vitrinite reflectivity measurements provide information about the degree of diagenetic evolution of organic matter. Modelling using the WAPLES technique calibrated on the laboratory measurements indicates that the measured values can be explained only by the higher regional rates of sedimentation of the Triassic series, or at least by rates higher than the regional average. A post-Triassic sedimentation is probable. The geomorphological models normally used for the area are compatible with these conclusions.

Keywords : Geohistory, burial depth, organic matter, coal, vitrinite diagenesis, geomorphology, karst, Permian, China, Guizhou.

ZUSAMMENFASSUNG: DER DIAGENESEGRAD ORGANISCHER SEDIMENTE ALS MASS FÜR DIE MÄCHTIGKEIT ERODIERTER SEDIMENTSERIEN IN EINEM KARSTGEBIET.

Eine Fallstudie im Bezirk von Zhijin, Guizhou, angewandt.

Der Diageneseegrad organischer Substanzen, die in geringmächtigen Kohleflözen enthalten sind, welche verkarstete triassische Kalke unterlagern, wurde mit der Vitrinit-Reflektionsmethode bestimmt. Das Modell, das nach der Waples-Methode an den Labormessungen kalibriert wurde, sagt, daß die gemessenen Werte nur durch höhere regionale Sedimentationsraten oder zumindest durch überdurchschnittlich hohe regionale Sedimentationsraten erklärt werden können. Eine posttriassische Sedimentation, wahrscheinlich Prä-Malm, muß angenommen werden. Die regionalen geomorphologischen Modelle befinden sich in guter Übereinstimmung mit diesen Folgerungen.

Stichworte: Geologische Geschichte, Ablagerungsmächtigkeit, organische Ablagerung, Diagenese, Kohle, Vitrinit, Geomorphologie, Perm, Karst, China, Guizhou.

INTRODUCTION

Le degré d'évolution géomorphologique des régions karstiques a souvent été discuté sur la base principale de l'âge des séries géologiques visibles à l'affleurement, sans que les horizons presque ou complètement érodés aient été réellement pris en compte. Les dépôts terrigènes piégés dans les dépressions karstiques, lorsqu'ils existent, prouvent l'existence d'une sédimentation postérieure au dépôt des carbonates. L'état d'altération souvent avancé de ces dépôts est lié à la fois à l'érosion des particules et à une évolution minérale pédogénétique ou de subsurface : évolution des types d'argile, dissolutions minérales, cimentation siliceuse et/ou carbonatée, dissolution des ciments...

Ces transformations diagénétiques produisent le plus souvent la disparition des fossiles (microorganismes, pollens), empêchant ainsi toute datation. Aussi ces dépôts ont-ils été jusqu'à une date récente assez peu interprétés comme indicateurs de séries autrefois beaucoup plus épaisses. Sauf exception, l'épaisseur des séries érodées n'est pas reconstituable géométriquement, parce que ces dernières ne subsistent nulle part dans leur entière épaisseur (surtout en région karstique) et aussi à cause des changements latéraux de faciès et des variations d'épaisseur qui peuvent exister. Pourtant l'âge de mise à l'air libre des séries carbonatées est un facteur clé pour une meilleure interprétation de la formation et de l'évolution des formes karstiques.

Une approche nouvelle en géomorphologie (mais pas dans l'industrie pétrolière), consiste à quantifier l'érosion des séries grâce à des indicateurs sédimentaires de paléoenfouissement. L'un d'eux est le degré d'évolution de la structure moléculaire de la matière organique sédimentaire. Cette note se propose d'en montrer une application à la Chine du Sud après quelques rappels sur la matière organique. On testera ainsi si l'épaisseur du Jurassique admise dans les modèles géomorphologiques est compatible avec les données de la diagenèse.

I. LA MATIERE ORGANIQUE SEDIMENTAIRE ET SON EVOLUTION DIAGENETIQUE

La matière organique est un constituant commun des roches sédimentaires, mais elle est le plus souvent diluée parmi la matière minérale. Elle est produite par la vie, à des taux qui dépendent à la fois du type de vie (animale ou végétale) et des conditions locales de productivités : conditions climatiques, abondance de l'eau et de la nourriture, acidité, potentiel rédox, etc... Le dépôt des matières organiques représente la somme des déchets de la vie (mues animales, écorces d'arbres, feuilles) et surtout des corps morts (arbres, planctons, etc...).

La teneur en matière organique d'une roche donnée reflète la compétition pendant la sédimentation entre la production due à la vie et les taux d'apports sédimentaires : sables silicatés, silts, argiles, carbonates, évaporites. Cependant la vie est elle-même liée à la nature des apports et à l'énergie du milieu de dépôt. La matière organique est en général plus abondante dans les argiles que dans les grès qui

sédimentent plus rapidement. Dans les calcaires dont l'origine est presque toujours liée à la vie, la matière organique provient à la fois du benthos et du plancton. Elle s'exprime en grande quantité dans les tapis algaires côtiers.

Certaines périodes géologiques sont très favorables au dépôt de niveaux riches en matière organique. Par exemple, dans les deltas, le charbon se forme lorsque les lobes deltaïques qui progradent dans l'eau (mer ou lac) arrivent à l'émersion, si le climat est favorable.

Dans la mer, la matière organique se dépose avec moins de dilution lors des périodes d'apports terrigènes faibles ou nuls ; celles-ci correspondent aux périodes de transgression marquées. Un enfouissement rapide et un environnement réducteur sont des conditions nécessaires à la préservation de la matière organique après son dépôt ; sinon, elle est vite dégradée chimiquement et biologiquement. Une fois enfouie, cette matière organique subit une évolution diagénétique de plus en plus poussée, proportionnelle au temps géologique passé à une profondeur donnée, et exponentielle par rapport au carré de la température qui y règne. La profondeur atteinte dépend de façon antagoniste du taux de déposition des couches plus jeunes (subsidence) et des soulèvements tectoniques (épirogenèse simple, compression, blocs basculés en distension...). Ainsi, un niveau donné suit une courbe profondeur-temps qui reflète l'histoire géologique locale. La température est liée à la profondeur atteinte et au gradient géothermique (normal ou plus élevé).

L'évolution diagénétique de la matière organique dépend étroitement de la variation dans le temps des couples de valeurs profondeur-température. Elle est mesurée par un indice physique : R_o , le pouvoir réflecteur optique de la vitrinite (un composant de la matière organique) ou par un indice thermique obtenu expérimentalement par simulation en laboratoire de l'évolution de matière organique étudiée (méthode "rock-*eval*", indice appelé "T max"). L'évolution diagénétique mesurée peut être comparée par calculs à un indice théorique qui prend en compte les trois facteurs : temps, profondeur, température (TTI : *time thermal index*). Ceci nécessite de construire le graphe de la variation de profondeur de l'horizon géologique étudié en fonction du temps et d'ajuster sur ce graphe une évolution temporelle des isothermes, ce qui est fait pour cette application (WAPLES, 1980, AAPG Bull, 64, 6, 916-926 ; SWEENEY et BURNHAM, 1980, AAPG Bull, 74, 10, 1559-1570).

Auparavant, il faut rappeler que l'évolution diagénétique de la matière organique se traduit par un crackage des molécules longues en molécules plus courtes d'hydrocarbures liquides, puis encore plus courtes d'hydrocarbures gazeux, pour aboutir à la génération de CO_2 . Ces crackages répondent à des lois physico-chimiques que l'on sait quantifier et dépendent du type de matière organique (végétale, marine,...). Les produits fluides engendrés sont mobiles. La simulation au "rock *eval*" permet de quantifier la teneur en carbone organique de l'échantillon (TOC), celle en hydrocarbures libres (S1), et celle en hydrocarbures potentiels (S2). La température expérimentale de crackage de ces derniers est le "T max". La matière rémanente évolue peu à peu vers la structure du graphite, avec réarrangement progressif des molécules carbonées et augmentation du pouvoir optique de la vitrinite.

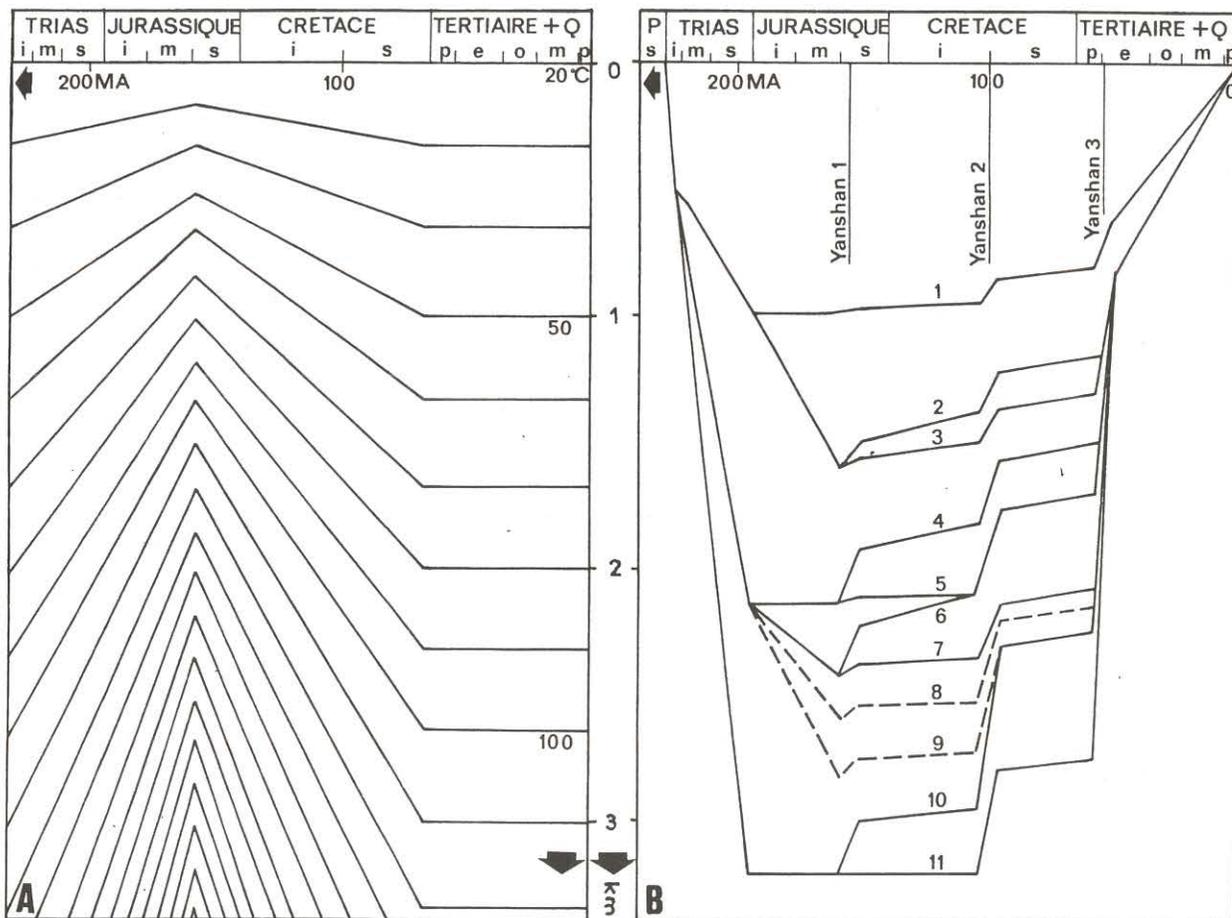


Figure 114 a : Exemple de variation dans le temps du gradient géothermique : une à deux fois la normale, avec maximum lors de la phase tectonique 1 de Yanshan.
Example of variation of the geothermal gradient with time : normal to twice than usual, the maximum being contemporaneous of the Yanshan 1 tectonic phase.

Figure 114 b : Courbes temps-profondeur du toit du Permien : 11 hypothèses testées par calcul (voir texte).
Time versus burial depth curves on top of the Permian: 11 hypotheses tested in this paper (see text).

II. APPLICATION AU COMTE DE ZHIJIN (GUIZHOU)

A. ACQUISITION DES DONNEES

Dans le Permien supérieur, intervalle terrigène séparant des carbonates karstifiés, 4 échantillons de charbon ont été prélevés le long de la nouvelle route de Zhijin à Guanzhai et 5 autres sur la route de Zhijin à Santang dans des mines en activité pour éviter au maximum une altération de surface (chap. 1).

Tous ces charbons sont très impurs. La teneur en matières organiques (TOC) est en général de 22 à 28 % (valeur maxi 41%). Leur état de diagenèse est particulièrement avancé avec des "T max" très groupés entre 590 et 594°C. Il n'y a plus aucun hydrocarbure mobile (S1 = 0) et très peu d'hydrocarbure potentiel (0,9 à 5,8 kg par tonne de carbone TOC).

Les mesures de réflectance de vitrinite montrent des valeurs comparables pour les deux coupes de Guanzhai et de Santang et une même évolution verticale. Les variations suivent celles du "T max". Des mesures de réflectance de l'inertinite (un autre composant des charbons) ont été

indiquées dans le tableau, pour mémoire ; elles montrent une évolution verticale semblable à celle de la vitrinite, mais sont ici en général beaucoup moins fiables. Les deux types de réflectance ne sont pas directement liées quantitativement par une relation simple.

B. MISE EN OEUVRE DE LA METHODE

Reconstruire la courbe profondeur-temps du Permien supérieur de Zhijin n'est pas chose aisée puisque les données disponibles sont très imprécises : épaisseur du Trias connue de façon approximative, Trias supérieur érodé dans le secteur, pas de dépôts connus pour les périodes entre le Trias et les placages terrigènes du Tertiaire, imprécision sur l'âge et l'intensité des phases tectoniques, imprécision sur les périodes d'augmentation du gradient géothermique.

Cependant, nous pouvons fixer des conditions minimales d'enfouissement et de gradient géothermique et voir ce qu'elles impliquent, comme il va être exposé ci-après. Au préalable, il est utile de préciser les hypothèses choisies en fonction des données géologiques disponibles. Ces hypothèses restent discutables, mais pourront être affinées dans le futur et

Numéro et provenance		Distance sous la base du Trias (en m)	T o C (%)	kg d'hydrocarbures par tonne de roche		T max (°C)	ReflectanceRo (%)		Lithologie
Guanzhai	Santang			S1	S2		vitrite	inertinite	
ZC3		35	25,2	0	5,8	592	2,7/0,12	(3,2/0,08)	charbons pas ou très peu altérés
	ZC8	40	26,6	0	1,5	595		3,4/0,15	
	ZC4	60	28	0	1,2	593	2,9/0,14	(3,4/0,12)	
ZC1		75	22,4	0	0,9	590		2,4/0,14	
	ZC9	80	25,6	0	3,5	594	3/0,10	(3,6/0,17)	
	ZC7	160	41	0	1,7	593		3,0/0,24	
	ZC5	200	23,8	0	3,2	594	3,4/0,09	(4,2/0,17)	
ZC2		230	27	0	4,3	590	2,6/0,17		
	ZC6	250	25,2	0	2,6	594	3,5/0,12		
Zone Gebihe (Ziyun)									argiles organiques altérées en partie
	Ge7		2,53	0	0,02	526		(2/0,51)	
	Ge8		4,55	0	0,02	347		2,5/0,94	

Tableau 18 :

Caractéristiques géochimiques des charbons du Permien supérieur du comté de Zhijin (Guizhou), avec valeur du comté de Ziyun (Guizhou) pour mémoire.

Geochemical data of coal from Upper Permian layers in Zhijin county, Guizhou (with values from Ziyun county Guizhou, as a matter of interest).

nous paraissent être le meilleur choix actuellement possible.

- phase tectonique 1 de Yanshan (Jurassique supérieur, - 146 millions d'années) ;
- phase tectonique 2 de Yanshan (limite Crétacé inférieur et supérieur : - 100 Ma) ;
- phase tectonique 3 de Yanshan (Eocène inférieur, - 64 Ma) ;
- surrection liée aux contrecoups himalayens : supposée continue en l'absence de données, provoquant 600 à 800 m d'érosion estimée sur place par la géomorphologie (chap. 11) ;
- maximum du gradient géothermique lors de la phase 1 de Yanshan et décroissance jusque 100 Ma ;
- température de surface : 20 °C.

Différentes courbes temps-profondeur (une par hypothèse) ont été tracées. Décrivons d'abord leur partie descendante (enfouissement) (fig. 114 b) :

1. Epaisseurs minimales du Trias, prenant en compte le Trias supérieur qui existe ailleurs dans le Guizhou et supposant un taux de sédimentation identique jusqu'à la fin du Trias.
- 2 et 3. Idem, avec taux de sédimentation identique jusqu'à la fin du Dogger.
- 4 et 5. Sédimentation jusqu'à la fin du Trias à un taux moyen (ordonnée à la fin du Trias = courbe 11 - courbe 1/2).
- 6 et 7. Idem, plus sédimentation jusqu'à la fin du Dogger à un taux moyen qui est la moitié de celui pris pour les courbes 2 et 3.
- 8 et 9. Idem, jusqu'à la fin du Trias, plus sédimentation jusqu'à la fin du Dogger, avec taux arbitraire.
- 10 et 11. Sédimentation maximale jusqu'à la fin du Trias, puis arrêt de sédimentation. Il reste bien entendu possible d'ajouter l'hypothèse d'une sédimentation jusqu'à la fin du Dogger.

Les parties plates ou remontantes des courbes (respectivement, constance de l'enfouissement ou érosion) ont été construites en variant les hypothèses, donc en envisageant le cas de différentes successions d'intensité des phases tectoniques. Il a été considéré que ces phases sont devenues de plus en plus importantes avec le temps. C'est certainement là l'un des points les plus faibles des hypothèses faites, mais il ne nous a pas été possible de le préciser. Si l'on était amené à

démontrer, plus tard, que la phase 1 de Yanshan a provoqué une plus grande érosion, alors le modèle serait à réinterpréter avec de plus faibles épaisseurs de sédiments avant cette phase du Jurassique supérieur.

La partie des courbes avec le plus d'importance pour le calcul reste de loin leur partie basse (enfouissement maximal) correspondant aux fortes températures. Les variations dans les faibles tranches de profondeur ont peu d'effet sur le résultat final.

Pour chacune des courbes, nous avons calculé le TTI en utilisant les coefficients thermiques de WAPLES (1982, Organic geochemistry for Exploration Geologists, Boston, International Human Resource Development Corporation, 151 p.).

Le TTI qui doit être atteint pour expliquer la réflectance de vitrite observée (2,7 %) au sommet des charbons est de 4 000 selon la méthode de WAPLES (1980) et de 20 000 selon celle de SWEENEY et BURNHAM (1980), 40 000 dans le pire des cas selon cette seconde méthode. Augmenter le gradient géothermique augmente le TTI ; augmenter le temps passé à une profondeur donnée le fait aussi.

C. RESULTATS

Avec un gradient normal (30°C/km), aucune des courbes 1 à 11 n'explique le TTI. Il faut donc soit une sédimentation au Jurassique à ajouter à la courbe 11, soit augmenter le gradient, afin que le TTI soit atteint. Il est préférable d'augmenter le gradient, dans la mesure où la courbe 11 traduit déjà des taux élevés de sédimentation.

Avec un gradient double de la normale en permanence, le TTI de 4000 est atteint entre les courbes 6 et 7, qui ne diffèrent qu'au niveau de l'érosion et admettent une sédimentation moyenne au Trias et au Jurassique jusqu'à la fin du Dogger. Un TTI de 20 000 est atteint un peu au-dessous de la courbe 9 et 40 000 au niveau de la courbe 10.

Toutefois, il est probable qu'il n'y a pas eu constamment un gradient double de la normale. Une croissance jusqu'à la phase 1 de Yanshan (période à laquelle le gradient est double par hypothèse) suivie d'une décroissance jusqu'à 100 Ma est plus probable. Dans ce cas, la courbe 9 explique un TTI

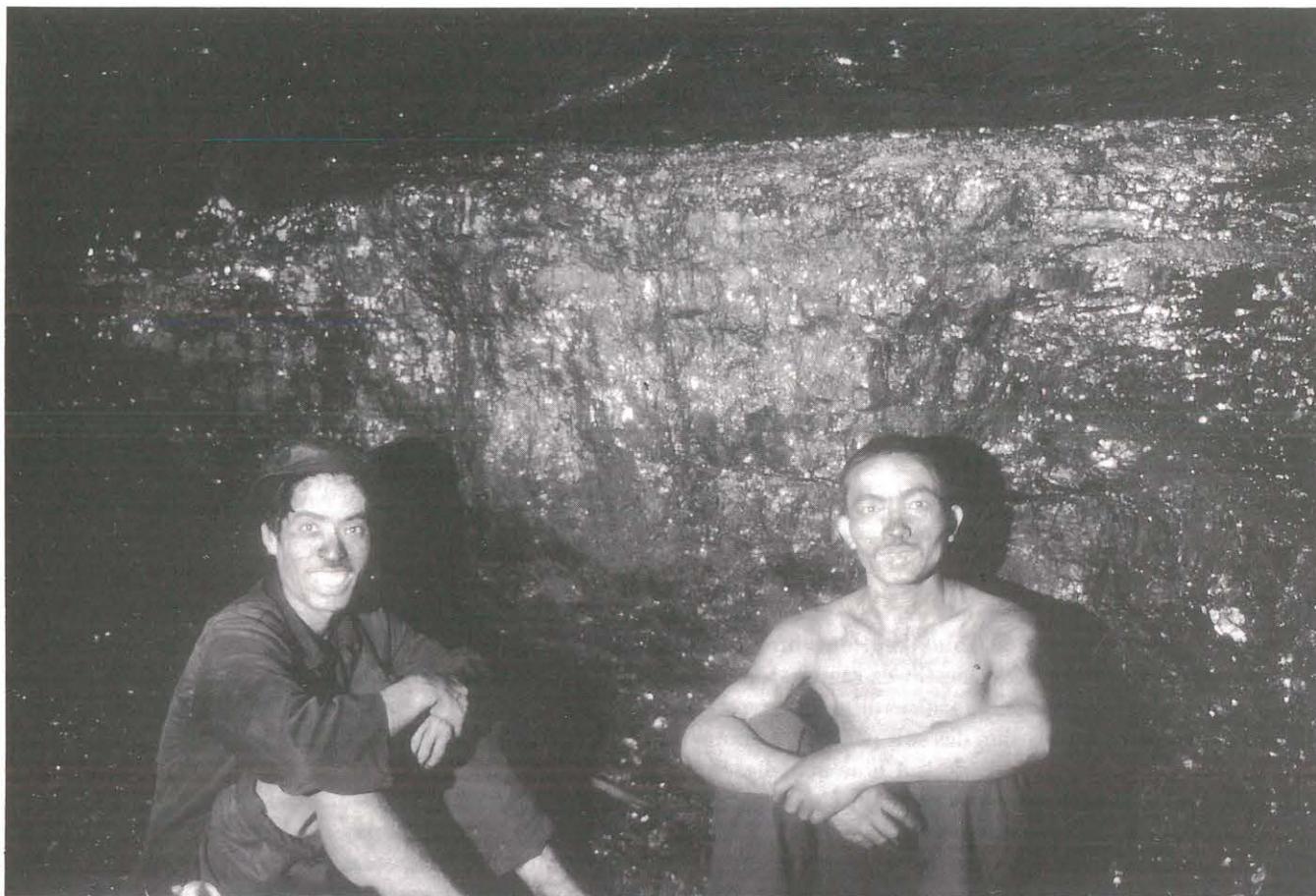


Photo 67 : Exploitation artisanale actuelle d'un banc métrique de charbon à quelques kilomètres au nord de Santang. Ce charbon (échantillon ZC 9) est d'assez mauvaise qualité et ne titre que 25,6 % de carbone organique, le reste étant de la matière minérale. *Present mining by local people of a metre-thick coal bed located a few kilometers north of Santang. This coal (sample ZC 9) is of poor quality : containing 25,6 % of organic carbon while the remaining part is mineral matter.*

de 4000 et 20 000 est atteint très près au-dessous de la courbe 11. Si le gradient temporaire a été triple de la normale, un TTI de 4000 est atteint un peu au-dessous de la courbe 4, 20 000 un peu au-dessous de la courbe 5 et 40 000 très près de la courbe 6.

Ainsi, on constate qu'une sédimentation d'épaisseur (de taux) moyenne au Trias suffit à expliquer la diagenèse observée de la matière organique dans l'hypothèse d'un gradient atteignant une pointe de trois fois la normale lors de la phase Yanshan 1 du Jurassique supérieur. Cependant, comme la zone étudiée était à l'époque une plate-forme continentale et qu'il n'y a guère d'activité ignée dans la région, une pointe de gradient égale à deux fois la normale est plus probable. Dans ce cas, une sédimentation supérieure à la moyenne régionale au Trias suffit à expliquer la diagenèse observée, avec un enfouissement minimal de 2300 m environ (TTI = 4 000). Une sédimentation maximale de 3250 m expliquerait le TTI de 20 000. Une sédimentation au Jurassique n'est donc pas absolument nécessaire pour expliquer les résultats, si l'on admet l'hypothèse 11 de sédimentation maximale au Trias. Toutefois, on ne peut l'exclure et elle pourrait s'être perpétuée jusqu'à la première phase de Yanshan.

Un gradient normal constant nous paraît peu probable et ce cas ne sera pas retenu. Il impliquerait une assez importante sédimentation post-Trias, presque autant de sédiments que ceux déposés selon la courbe 11 qui montre un TTI de 246 seulement.

III. CONCLUSION

Dans l'interprétation actuelle qui est le reflet de l'état des connaissances, on peut conclure à l'applicabilité globale des modèles géomorphologiques qui font démarrer la karstogenèse à la fin du Jurassique. Toutefois, cette applicabilité peut souffrir de petites sédimentations (100 à 300 m) au Tertiaire qui n'affecteraient pas le modèle de maturation de manière notable, mais qui ont pu provoquer des phases de fossilisation de l'endokarst avec réouverture postérieure.

Un affinage du modèle avec des données plus précises reste néanmoins souhaitable. Vieillir les phases de l'érosion reviendrait ainsi à augmenter sensiblement les taux de sédimentation dans les époques antérieures.

Remerciements : Les analyses "rock-eval" et les mesures de réflectance ont été réalisées au laboratoire de géochimie de TOTAL Compagnie Française des Pétroles, grâce à l'aimable coopération de Mr Jean-Louis DUDIN, chef de service, et de Mrs François JAFFUEL et Jean COUSINAT. Nous leur exprimons ici nos plus sincères remerciements.

KARST ET ENVIRONNEMENT EN CHINE DU SUD

— Jean-Pierre BARBARY, Bernard COLLIGNON, Richard MAIRE, CHEN Shicai et SHI Mengxiong

RESUME :

63 % de la population rurale de Chine sont concentrés dans les régions tropicales et subtropicales, plus ou moins karstiques, de Chine du Centre et du Sud-Ouest. Ces régions fournissent 61 % de la production alimentaire du pays et 93 % du riz. L'ancienneté des aménagements agraires de montagne et l'intense occupation des sols sont à l'origine d'une quasi disparition de la forêt et d'une forte érosion des sols pendant la mousson d'été. La conservation de l'environnement naturel constitue donc l'un des plus grands défis de la Chine actuelle. Reboisement, irrigation, aménagement systématique en terrasses, stockage de l'eau dans des barrages sont développés pour lutter contre les crues et l'érosion des sols.

L'utilisation des cavités est très ancienne et fait partie de la vie quotidienne du paysan. Les grottes servent parfois d'habitat permanent, d'enclos pour le bétail et surtout de refuge pendant les guerres et les incursions de brigands (grottes forteresses). L'exploitation des nitrates pour la production de poudre noire a été largement développée au cours des siècles derniers. Depuis 1980, les veines de charbon sont exploitées dans l'ensemble du pays pour les besoins domestiques et posent des problèmes de pollution de l'air et des eaux. Le tourisme karstique est représenté par une cinquantaine de grottes aménagées, certaines ayant plusieurs millions de visiteurs par an.

Mots-clés : karst, environnement, agriculture, déforestation, érosion des sols, reboisement, irrigation, culture en terrasses, barrage, fuite karstique, grotte refuge, nitrate, grotte aménagée, tourisme, pollution, Guizhou.

摘要：喀斯特与环境

或多或少喀斯特化的华南热带和亚热带生活着占人口63%的乡村居民。61%的粮食和93%的稻谷生长在那里。山区耕地面积增加和强化耕作已经引起几乎全部森林消失并造成夏天雨季强烈的土壤侵蚀。造林、灌溉、水土保持必定使得洪灾和土壤侵蚀受到限制。

洞穴在乡村居民的日常生活中起到重要作用 并多年

来受到重视和保护。在几个地方，宽广的洞穴被用作居住和饲养牲口，并在战争和社会不稳定时期用作分散隐蔽场所。上个世纪强烈地采硝用于火药和肥料。为日常生活所需，连薄煤层也被开采，导致1980年以来大规模的空气和水的污染。约五十个旅游洞穴，每年游客达数百万。

ABSTRACT: KARST AND ENVIRONMENT IN SOUTHERN CHINA.

63 % of China's rural population live in the more or less karstified tropics and subtropics of South China. 61 % of food supplies and 93 % of the rice are produced there. The size of mountainous arable acreage and intensive cultivation have caused the almost complete disappearing of forests and give way to severe soil erosion during the summer monsoon. Protection of natural environment remains one of the more important challenges of today's China. Reforestation, irrigation, soil conservation and water storage need to be increased to limit flood damage and soil erosion. Caves play an important role in the everyday life of the rural population. In several places wide caves are used for dwelling areas or stables and have given ramified shelter during times of war or social unrest. In the course of the past centuries nitrate was intensively exploited to be used in gunpowder and fertilizer. To cover everyday needs even minor coal seams have been quarried all over the country since 1980, which results in substantial air and water pollution. There is karst tourism in about fifty show-caves, which probably attract several millions of visitors each year.

Keywords: Karst, environment, cultivation, clearing, soil erosion, deforestation, irrigation, conservation, water tanks, cave-shelter, nitrate, show-cave, tourism, pollution, Guizhou.

ZUSAMMENFASSUNG: KARST UND UMWELT.

In den mehr oder weniger verkarsteten Tropen und Subtropen Zentral- und Südwestchinas leben 63 % der Landbevölkerung Chinas. In diesen Gebieten werden 61 % der Lebensmittel des Landes 93 % des Reises angebaut. Das Ausmaß der gebirgigen Anbauflächen und die intensive Bebauung der Böden haben ein quasi vollständiges Verschwinden des Waldes verursacht und geben den Boden einer heftigen Erosion durch den Sommermonsun preis. Umwelterhaltung ist im modernen China sträflich vernachlässigt worden. Aufforstung, Bewässerung, Bodenpflege und Wasserrückhaltung in Staubecken sind voranzutreiben um Flutschäden und Bodenerosion einzudämmen.

Die Höhlen bilden einen festen Bestandteil im täglichen Leben der Landbevölkerung und werden von Alters her genutzt. Mancherorts werden Höhlen als Wohnlagen verwendet oder als Viehställe genutzt und boten als befestigte Höhlen Schutz in Kriegen und vor Räuberbanden. Die Gewinnung von Nitraten zur Herstellung von Schießpulver und als Dünger wurde in den vergangenen Jahrhunderten heftig vorangetrieben. Seit 1980 werden im ganzen Lande auch geringmächtige Kohleflöze zur Deckung des täglichen Bedarfes abgebaut, was starke Gewässer- und Luftverschmutzung verursacht. Karsttourismus findet in rund Fünfzig Schauhöhlen statt, die wahrscheinlich mehrere Millionen Besucher im Jahr haben.

Stichworte : Karst, Umwelt, Landbau, Rodung, Bodenerosion, Aufforstung, Bewässerung, Landpflege, Rückhaltebecken, Schutzhöhle, Nitrat, Schauhöhle, Tourismus, Umweltverschmutzung, Guizhou.



Photo 68 :

*Exploitation de nitrate dans la grotte de Daxiaodong ("La grotte du nitrate") dans le comté de Luodian (Guizhou).
Nitrate works in Daxiaodong cave ("The nitrate cave"), Luodian county (Guizhou).*

INTRODUCTION

Encore aujourd'hui l'économie chinoise repose en grande partie sur son agriculture (31 % du PNB). A ce titre, les régions karstiques subtropicales de Chine, à forte population rurale et utilisation intensive des sols, font partie de la zone du riz localisée au sud de la ligne Qin Ling / Huai He. 63 % de toute la population rurale de Chine se trouvent concentrés dans les régions tropicales et subtropicales.

Face à l'occupation intensive de la montagne, à la déforestation et à l'érosion des sols, la Chine actuelle se trouve placée devant l'un de ses plus grands défis : celui de la conservation de son environnement. Les régions karstiques étudiées permettent de mieux comprendre l'ancienneté de l'aménagement agricole, des techniques d'irrigation, de l'utilisation des potentialités naturelles (grottes habitats et grottes forteresses).

I. KARST ET ENVIRONNEMENT RURAL

Les régions karstiques montagneuses, à fenglin et qiufeng, constituent généralement un environnement plus difficile que celui des zones non karstiques. Aussi ces régions marquent-elles profondément les populations dans leurs coutumes et les formes d'aménagement. Après quelques éléments sur l'évolution de l'agriculture, on illustre la multiplicité des problèmes rencontrés actuellement en zone rurale : utilisation intensive des sols et déforestation, ressources en eau (surtout en saison sèche), barrages et irrigation, inondation et drainage des poljés, etc... Ces problèmes agro-écologiques et environnementaux dans les karsts du Sud de la Chine ont été rappelés par CAI GUIHONG (1988) et YUAN DAOXIAN (1988).

A. ELEMENTS SUR L'EVOLUTION DE L'AGRICULTURE (ELISSEEFF, 1979)

Le début de l'agriculture chinoise remonte au Néolithique et pourrait être une invention locale, sans importation du Moyen-Orient. (BLUNDEN and ELVIN, 1983). Les premières sociétés agraires de Chine ont été découvertes en bordure des Tsin Ling, lors des fouilles de 1953-57 à Pan-p'o (Xi'an/Chensi). Cette première grande société agricole, dite de Yangshao, remonte entre 5000 et 3000 ans av. J.-C. alors que le site éponyme avait été étudié dès 1923 sur le cours du Fleuve Jaune. Les instruments de pierre polie et les fosses servant de greniers souterrains à céréales suggèrent un travail de la terre qui primait déjà sur la chasse et la pêche. A cette époque, on connaissait déjà des céréales comme le millet, le blé et le riz. Les animaux domestiqués étaient les chiens, les porcs, les chèvres, les moutons, les vaches et peut-être les chevaux. Le système tribal était dominé, semble-t-il, par le matriarcat.

♦ **L'agriculture chinoise entre 1000 et 0 av. J.-C.** : Plus tard, à l'époque des "Printemps et des Automnes" (772-481 av. J.-C.) et des "Royaumes Combattants" (453-221 av. J.-C.), on distingue deux grandes zones agraires : l'une au nord correspondant à la vieille Chine des Bronzes et des Rois, l'autre au sud qui accuse un léger retard.

Ce monde agricole du sud, entre le Yangtse et le Vietnam, détient l'essentiel des régions karstiques. Ce secteur «*apparaît comme un creuset, un gigantesque fourneau civilisateur*» avec l'évolution de l'artisanat chinois (ELISSEEFF, 1979, p. 105). Sur le cours moyen du Yangtse s'étendait le riche pays Tchou (l'actuelle Tchong-Cha) dont les rois tentaient sans cesse d'annexer les principautés de l'entre deux fleuves, c'est-à-dire entre le Fleuve Bleu et le Fleuve Jaune. Ces régions agricoles riches ne «*cessèrent d'être l'objet de convoitises et le théâtre d'interminables combats*» (p. 108, op. cité), d'où le nom de période des "Royaumes Combattants".

Sous le premier empereur (dynastie des Han), l'agriculture est largement développée. La production consistait en "cinq grains" ("woukou") : blé, millet, légumes à gousses... et riz pour la Chine du Sud, qui constituaient la base économique du pays. Malgré les troubles, le système des silos se développa pour lutter contre les famines. En 200 av. J.-C., on construisit un grand grenier à Tchong-an ("tai tsang") qui servit plus tard à assurer la stabilité des prix en fonction des récoltes. (p. 175, op. cité).

♦ **Le développement de l'agriculture chinoise au VII-XIII^{ème} Siècle** : Au début de la dynastie des Tang (618-906 apr. J.-C.), la Chine avait 100 à 150 millions d'habitants (presque tous des agriculteurs) et l'agriculture avait une bonne rentabilité. En Chine du Nord, on obtenait trois récoltes sur deux ans avec alternance de blé et de millet. En Chine du Sud, au cours du IX-XIII^{ème} Siècle, le retard est rattrapé sur le Nord grâce à une grande maîtrise acquise dans la culture du riz, en particulier avec la pratique du repiquage des plants de riz qui permet deux à trois récoltes par an selon les régions.

L'invention de l'imprimerie chinoise au XI^{ème} Siècle, bien avant celle de Gutenberg en Europe au XV^{ème} Siècle, a profité à l'agriculture. Le papier de bambou, qui remonte probablement à la dynastie Jin (265-420 apr. J.-C.), s'est largement développé pendant les dynasties Tang et Song. L'édition et la diffusion de traités d'agronomie permirent de répandre dans l'ensemble de l'empire les principes et les plans des systèmes d'irrigation, des machines agricoles et la technique des engrais.

Le riz devient la base de l'économie agricole et fiscale du pays. Sous les Song (X-XIII^{ème} Siècle), la culture de nombreuses variétés de riz permet de sélectionner des espèces à croissance plus rapide. Le riz tardif, celui de *Sou-Tcheou*, est le plus apprécié car non glutineux. A l'extrémité de la gamme, le riz du *Champâ*, précoce et résistant à la sécheresse, poussait en abondance dans les montagnes et les karsts de Chine du Centre et du Sud. Ce riz de qualité inférieure se vendait à bas prix et constituait notamment la base de la nourriture des paysans et du petit peuple des karsts de Chine méridionale (Guangxi, Guizhou, Hunan, Hubei...).

Au XII^{ème} Siècle, le développement économique de la Chine du Sud s'explique en partie grâce à l'exil des Chinois du Nord, avec leur savoir-faire. Cette évolution constitue les prémices de l'âge industriel.

B. DISTRIBUTION DES REGIONS KARSTIQUES AGRICOLES

On distingue trois grandes régions agricoles en Chine :
- la zone orientale à climat de mousson représentant 95 % de la

production agricole du pays ;

- la zone aride du NW, très pauvre ;

- la zone froide et haute du SW (Tibet), également pauvre.

La zone tropicale et subtropicale, sous contrôle de la mousson, est en partie ou en grande partie karstique (Guangdong, Guangxi, Yunnan, Guizhou, Hunan, Hubei, Sichuan...). Les terres agricoles y représentent 44 % du total cultivé du pays, soit 61 % de la production alimentaire chinoise. Les rizières sont largement dominantes puisqu'elles couvrent 93 % de toutes les rizières du pays (CHEN CHENG-SIANG, 1984).

◇ **La riziculture** : Depuis 1983, la production céréalière chinoise est la plus importante du monde, avant celle des USA car ce pays a décidé de geler des terres pour éviter la surproduction mondiale. En Chine, la riziculture représente 34 à 38 millions d'ha, soit 44 % de la production nationale en céréales et 1/3 de la production mondiale en riz (1^{er} rang mondial avec 117 millions de tonnes en 1989) (Encyclopedia of New China, 1987, p. 360 et CAMBESSEDES, 1990, p. 176). Les deux grandes variétés de riz sont le *xian* et le *geng*.

Dans la zone tropicale (Sud Yunnan, Guangxi, Guangdong), l'amplitude des températures est moins marquée que celle des précipitations. La culture du riz peut donner trois récoltes par an, soit deux l'été et une l'hiver. Dans les basses terres, à l'abri du gel, se développent largement la canne à sucre, la patate douce, les légumes et de nombreux arbres fruitiers (cocotiers, bananiers, papayers, manguiers, ananas, litchee...). La zone karstique de la région de Canton (Guangdong) appartient à ce domaine.

Dans la zone subtropicale (Yunnan, Guizhou, Hunan, Hubei...), l'amplitude thermique et l'amplitude pluviométrique sont aussi marquées l'une que l'autre. Dans le Sichuan, en particulier dans le Bassin Rouge, et dans la vallée du Yangtse, la culture du riz est très développée. Dans les karsts du Yunnan et du Guizhou, entre 400-700 et 1600 m, la culture du riz est également dominante. Elle produit au mieux deux récoltes par an à condition que le riz soit replanté avant la première récolte. Sur les basses terres, on peut avoir cinq récoltes de riz en deux ans.

Cependant, de nombreuses régions — bassins, poljés, piémonts — présentent une quasi monoculture du riz l'été (1 récolte) et en alternance une culture du blé et du colza l'hiver. Ces régions subtropicales karstiques et de piémont représentent 70 % de la production nationale de riz.

◇ **L'élevage** : A l'extension de la culture du riz correspond l'aire du buffle, ce dernier jouant le rôle de "tracteur" animal. En pourcentage national, l'élevage dominant est constitué par les porcs (68 %) et le bétail (bovins, chevaux, poneys). Les chèvres et les moutons ne représentent que 24 et 8 %. Avec ses 349 millions de têtes en 1989, le cheptel porcin chinois occupe le 1^{er} rang mondial (41 % du cheptel mondial).

C. UTILISATION INTENSIVE DES SOLS ET DEFORESTATION

Pour qui est habitué aux paysages presque déserts des Causses ou des lapiés méditerranéens, le choc est rude. Des villages partout, pas une dépression et une fente du karst qui ne soient

cultivées. Dans la plupart des comtés visités, la densité de population atteint 200 à 300 hb/km², soit l'équivalent de ce que l'on rencontre dans les plaines fertiles du Nord de l'Europe (Belgique, Pays-Bas, Allemagne).

1. Une mise en cultures intensive

Une population aussi dense exerce une pression très forte sur le milieu. La moindre parcelle de terrain est mise en valeur de manière intensive et il ne reste plus guère de place pour les forêts et les taillis. Question paysage calcaire, cela ne tient pas de la Champagne ou du Poitou ! Partout, c'est une "forêt" de cônes, de pitons, de crêtes escarpées. Trouver de quoi nourrir 300 habitants par km² relève de l'exploit ! Chaque pouce de terrain est mis en valeur. Les coteaux sont couverts de terrasses cultivées. Certaines n'atteignent pas 10 m². C'est là que les charrues traditionnelles font merveilles. Ce sont des araires en bois, avec un soc forgé. Légères, elles se portent sur l'épaule. Maniables, elles prennent tous les virages.

La mise en culture est très poussée. Reste-t-il une bande de 30 cm terre entre deux lames de lapiés ? Ce sera assez pour planter 10 pieds de maïs. Un gouffre de 20 m troue-t-il un champ ? Cela n'empêchera pas de cultiver jusqu'aux lèvres du vide. Même le fond des dolines les plus encaissées, comme celle de Dacaoou (Zhijin/Guizhou), est cultivé (chap. 1).

Une telle mise en valeur a son revers. Dans un comté comme celui de Santang (Guizhou), il n'y a plus d'espace pour la nature non domestiquée. Plus d'arbres, presque plus d'oiseaux, même les lézards et les souris semblent avoir déserté la région ! A cela s'ajoutent les problèmes liés à la déforestation, en particulier l'érosion des sols.

2. Déforestation et érosion des sols

La déforestation est un des problèmes majeurs de la Chine. La forêt ne couvre actuellement que 12 % du territoire et au taux de déforestation de 1987, les 3/4 de la forêt restante risquent de disparaître en l'an 2000. Cette diminution de la forêt favorise l'érosion des sols et menace l'existence d'espèces animales rares comme le fameux panda géant de Chine, seul survivant d'une espèce qui couvrait autrefois la Birmanie du Nord et pratiquement toute la Chine du Centre et du Sud.

◇ **Les ressources forestières** : Les forêts actuelles sont concentrées dans le NE et le SE du pays où elles représentent 43 % de la superficie forestière et 65 % de la réserve en bois. Sur une superficie totale de 1,15 millions de km² de forêts, 44 % sont exploités par plus de 4100 fermes forestières d'état et 15 % par des fermes collectives locales. La Chine est au troisième rang mondial pour la production du bois (276 millions de m³ en 1988).

La richesse potentielle de la végétation forestière chinoise est remarquable : plus de 2000 espèces d'arbres, dont certaines rares, remontent au Tertiaire et au Secondaire comme le ginkgo et le metasequoia. On compte aussi plus de 300 espèces de bambous ! La pharmacopée chinoise recense près de 3000 espèces de plantes médicinales se développant surtout dans les forêts du pays.

Les contreforts himalayens et les régions karstiques escarpées à l'E du Yunnan, du Guizhou et du Sichuan sont encore couverts par des forêts subtropicales pluviales riches en



Photo 69 a (ci-dessus) :

Village au centre d'un poljé cultivé et irrigué (rizières). Karst à fenglin-poljé typique du Guizhou méridional et du Guangxi. *Cultivated polje in a typical fenglin-polje karst landscape of southern Guizhou.*

Photo 69 b (ci-dessous) :

Karst à fenglin-ouvala de la Gebihe vers 1100-1200 m d'altitude (Zhijin, Guizhou). Après défrichage, cet ouvala a été aménagé en terrasses de cultures (maïs), mais l'absence d'eau courante interdit les cultures irriguées. *The fenglin-ouvala karst of Gebihe area, alt. 1100-1200 m (a.s.l.) (Zhijin, Guizhou). Cultivated ouvala (maize) without irrigation.*



conifères, feuillus et bambous. C'est dans les forêts de bambous du Sichuan occidental, ou du moins ce qu'il en demeure, que survivent les derniers pandas géants. Il en resterait actuellement 800 à 1000 individus répartis dans une douzaine de réserves naturelles créées spécialement à cet effet. Le panda géant (*Ailuropoda melanoleuca*) est friand du "bambou flèche" et du "bambou ombrelle" ; on peut même affirmer qu'il est "bambou-dépendant" selon l'expression de SCHALLER (1989).

Malheureusement le Panda a du mal à se reproduire ; aussi la fragmentation des forêts de bambous contribue-t-elle à sa disparition. Dans la réserve de Wolong ("*terres des nuages et de la pluie*"), créée en 1975, SCHALLER (1989) signale que le nombre des individus est passé de 145 en 1975 à 72 en 1986 principalement à cause du braconnage. De plus, lorsque le bambou fleurit — phénomène qui peut avoir lieu sporadiquement tous les 20, 45 ou 100 ans — il meurt. Ainsi, en 1983, la floraison des bambous de Wolong a provoqué la disparition de forêts entières et menacé l'existence des pandas qui cherchaient alors leur nourriture jusqu'à 3500 m d'altitude.

◇ **La déforestation et l'érosion des sols** : L'exploitation de la forêt s'est développée largement à partir du XIII^{ème} Siècle avec l'augmentation de la population et les progrès de l'agriculture liés au défrichement, à l'aménagement des versants en terrasses de cultures, à l'irrigation. Si l'on excepte les quelques provinces très montagneuses et boisées du SW, la forêt couvre moins de 1 % de la superficie de la plupart des régions. Cette situation est fort inquiétante pour la stabilité des sols, la faune animale sauvage en voie de disparition et les ressources en bois.

Dans les régions karstiques que nous avons visitées, les besoins domestiques en bois obligent les paysans à aller chercher celui-ci de plus en plus haut, sur les flancs escarpés des montagnes. Ainsi, dans les hautes murailles calcaires étagées du Duguan Shan (Wuxi/Sichuan), les indigènes coupent les arbres et les précipitent directement du haut des falaises ou par le moyen de couloirs très inclinés (chap. 4). La technique est au point, mais réclame beaucoup d'agileté et d'assurance en raison de la pente. Le même système a été observé dans le comté de Wufeng (Hubei), dans les parois sommitales du synclinal perché de Baiyiping, entre 1600 et 2000 m d'altitude (chap. 5). Ce bois sert de combustible (charbon de bois) et pour la construction.

Dans la province du Guizhou, où le karst occupe plus de 75 % de la superficie totale, la conservation de la couverture pédologique pose un sérieux problème. L'utilisation intensive des sols — déforestation quasi totale — a détruit les conditions de formation et de renouvellement des sols. Soumise à un lessivage important et une érosion accélérée pendant la saison des pluies, la couverture pédologique est fréquemment tronquée, voire absente. Ce phénomène est illustré par les multiples surfaces de crypto-lapiés découpés ou en cours de décapage, comme dans la zone de Santang (Guizhou) ou dans le comté de Wuxi (Sichuan oriental). La profondeur des lapiés (souvent de plusieurs mètres) et la rondeur des formes montrent que le décapage n'est pas ancien : quelques décennies à quelques siècles. Lorsque l'érosion est plus ancienne, les formes découpées par les eaux de pluies deviennent dominantes comme dans la "forêt de pierres" de Lunan (Yunnan). (chap. 11).

◇ **Le reboisement et la lutte contre l'érosion des sols** : Devant la gravité de la situation, une des premières actions mise en place actuellement est le reboisement des zones les plus touchées pour pouvoir arrêter le lessivage des sols et essayer d'enrayer le processus de désertification. D'importants crédits ont été débloqués par le gouvernement central, mesure qui a été doublée par une campagne de sensibilisation et d'information ayant pour but de généraliser l'utilisation exclusive des cultures en terrasses.

En chinois, *titian* signifie terrasses cultivées, *tiaotian* champs en bandes rectangulaires et *fangtian* champs carrés. Les *tiaotian* et *fangtian*, délimités ou non par des murets, sont situés dans les fonds alluviaux plats, les ouvalas ou les poljés. (CHEN CHENG-SIANG, 1984, p. 100).

Sur les versants, la culture sans terrasse existe encore. Dans le secteur de la Gebihe (Ziyun/Guizhou), les paysans continuent à cultiver sur les pentes. Des incendies de garrigues sont effectués pour gagner un peu de terres et fertiliser provisoirement ; ce type d'écobuage permet d'implanter du maïs à peu près partout sur les versants inclinés des buttes et des reliefs karstiques.

Pour changer ces mentalités, un programme à grande échelle a été développé pour généraliser la culture en terrasses. Ceci s'est fait conjointement dans le plateau loessique du NW et dans les régions karstiques du SW, notamment dans les secteurs peuplés par les minorités Miao (Guizhou) et Tujia (Hubei, Hunan). Par exemple, sur la bordure ouest du Hunan habitée par les Tujia, les zones dénudées ont été aménagées en nombreuses terrasses de cultures tandis que du reboisement a été effectué. (CHEN CHENG-SIANG, 1984, p. 102).

A l'ouest du comté de Zhijin (Guizhou), près de Santang, la couverture forestière est inexistante ; l'érosion des sols en saison des pluies se manifeste par une très forte turbidité des cours d'eau qui peut atteindre 47 kg/m³. Face à cette grave situation, le gouvernement central de Pékin a débloqué d'importants fonds pour le reboisement du comté. Si la partie montagneuse occidentale du Guizhou est relativement boisée, rappelons que l'ensemble de la province est recouverte par moins de 5 à 10 % de forêts. D'autres tentatives de reboisement ont été effectuées sur le plateau karstique d'Anshun où la forêt originelle a totalement disparu. Un des secteurs porte le nom de *Yike Shu*, ce qui signifie "Il n'y a qu'un arbre". Des cônes karstiques sont actuellement en voie de reconquête par une forêt de pins.

Dans les zones reboisées en résineux, des panneaux indiquent "feux interdits". Malgré la forte utilisation des bambous, des bosquets de grands bambous sont conservés autour des maisons et dans les villages de montagne.

En 1950, le reboisement s'étendait à peine à 1200 km² pour le pays. En 1957, il atteint 113 000 km². En 1958, une très grosse campagne de reboisement est effectuée qui permet de gagner 280 000 km², superficie supérieure à celle qui a été reboisée entre 1911 et 1946 ! Cette politique est un défi face à l'immensité du pays, l'énormité de la population et la poursuite de la déforestation.

3. Les réserves naturelles

Pour protéger le territoire d'une destruction quasi totale du milieu naturel, le gouvernement central a créé de nombreuses réserves naturelles. A la fin de 1984, il en existait 274 couvrant

une superficie globale de 160 000 km². Depuis 1981, une coopération internationale existe sur la protection de la vie animale et des espèces menacées comme le panda géant, en particulier dans la réserve de Wolong. Citons deux grandes réserves situées en zones karstiques :

- *La réserve de Shennongjia* est localisée à l'extrémité ouest du Hubei (comtés de Fangxian, Xingshan, Badong), dans le massif montagneux calcaire du Dashennongjia (3053 m). Ce massif fortement plissé constitue l'extrémité SE des Daba Shan. La superficie est de 773 km² et sa création remonte à 1982. Ce secteur sauvage renferme un écosystème forestier de montagne remarquable, avec notamment des singes.

- *La réserve de Wolong* est située dans le comté de Wenchuan, dans la partie occidentale du Sichuan. D'une superficie de 2000 km², elle est formée par des massifs calcaires très élevés, dans les Qionglai Shan (3500 m), renfermant des forêts de bambous où vivent les pandas géants. Sa création date de 1975. (cf. Encyclopedia of New China, 1987, p. 370-371).

D. LES RESSOURCES EN EAUX

Le Sud-Ouest de la Chine, avec entre autres le bassin du Yangtse et ses grandes régions karstiques, regroupe 83 % du potentiel des ressources en eau du pays. Les eaux souterraines représentent 16,9 à 18,8 % du débit global des rivières. (LU YAORU, 1985).

1. Une mauvaise répartition des ressources en eau

En Chine, le karst pose le même problème rencontré dans toutes les régions calcaires du monde : l'eau existe, mais elle est cachée sous terre. Des trésors d'ingéniosité sont nécessaires pour la faire jaillir et la mettre à disposition de l'homme et de l'agriculture. Ici, la quête de l'eau est une vieille affaire. Bien avant l'ère des forages et des moto-pompes, les paysans chinois ont cherché à tirer le meilleur parti de toutes les ressources en eau accessibles, y compris les rivières souterraines.

Les ressources en eau sont souvent mal réparties. Dans les montagnes, le niveau des eaux souterraines est profond. Par exemple, dans le Nord du comté de Ziyun, on trouve l'eau à - 50 m ; dans le Sud, elle est souvent supérieure à - 100 m. Dans ce comté, 1/5 des champs n'est pas irrigué et dépend uniquement de la météo. A Zhijin (Guizhou), 85 % des champs manquent d'eau. A Wuxi (Sichuan), les rivières souterraines sont nombreuses, mais il n'y a pas d'eau en surface. Dans certains poljés, l'eau n'est pas suffisante ; ailleurs il y en a trop.

2. Travaux d'endiguement et d'irrigation

Les travaux d'endiguement et d'irrigation sont connus en Chine depuis les débuts de l'agriculture en raison de la mauvaise distribution spatiale et temporelle des ressources en eau. Aussi, les aménagements (canaux, digues) ont-ils commencé très tôt, il y a plus de 2000-2500 ans, dès la période des "Printemps et des Automnes". C'est depuis cette lointaine période qu'est née l'hydrologie appliquée chinoise.

◇ **La lutte contre les inondations** : Pour limiter les inondations, véritable fléau de la Chine orientale (notamment le Fleuve Jaune et le bas Yangtse), plusieurs techniques ont été

utilisées. Les premiers travaux d'endiguement sur le Fleuve Jaune remontent à la période 770-476 av. J.-C. ; puis, ils se sont largement développés à la fin de la dynastie Zhou grâce à l'emploi des outils en fer en même temps que les travaux d'irrigation.

Plus tard, sous la dynastie Ming, Pang Jixun exprime par écrit les concepts et les applications de l'hydrologie appliquée chinoise en des termes clairs :

« Quand la rivière est large, la vitesse du courant est lente, le sable se dépose et le niveau du lit monte... Quand la rivière est étroite, la vitesse du courant est rapide, le sable est transporté et le cours d'eau creuse son lit... Il faut construire des digues pour rétrécir le cours de la rivière et enlever les alluvions. Ne pouvant plus couler le long des berges, l'eau déborde son lit. Cela est évident, voilà pourquoi il est préférable de rétrécir le cours plutôt que l'élargir. » (SONG ZHENGHAI, 1983, p. 242).

Au XX^{ème} Siècle, le drainage direct vers la mer, par la construction de digues et le recalibrage des cours d'eau, a été utilisé largement entre 1963 et 1973. Pendant cette période, la capacité d'évacuation des eaux jusqu'au littoral a été multipliée par six. Au même moment ont été construits en amont une série de 9 grands barrages, 80 réservoirs principaux et plus de 1500 lacs collinaires (CASTANY et RICOUR, 1975).

Mais la méthode de l'endiguement a ses limites : aussi les pouvoirs publics développent-ils de plus en plus les méthodes associant le stockage et l'utilisation de l'eau pour l'électricité, l'irrigation, les besoins domestiques, l'élevage du poisson... Depuis 1950, de nombreux barrages, souvent de petites et moyennes dimensions, ont été construits dans les montagnes. En Chine, il y aurait plus de 2800 à 3000 lacs artificiels de plus de 1 km², une partie étant en région karstique.

◇ **Aménagement des poljés** : En zone karstique, les inondations concernent surtout les poljés où le niveau noyé des eaux souterraines est peu profond. Durant la mousson d'été, les ponors refoulent car ils ne peuvent plus absorber les énormes quantités d'eaux de pluie. Objet de soins attentifs, les poljés sont découpés par un dense réseau de digues et de canaux qui dirigent une partie de l'eau vers les champs et l'excès d'eau vers des ponors.

Ainsi, dans le comté de Wuxi (Sichuan oriental), le poljé synclinal de Shanghuang (alt. 700 m) s'ennoe pendant la saison humide. Pour lutter contre, les ponors ont été aménagés ; en complément un tunnel de drainage a dû être construit en 1980. Celui-ci est long de 2 km (diamètre de 3 m) et traverse perpendiculairement un pli anticlinal E-W. A 200 m de l'entrée, le tunnel recoupe une cavité naturelle dans laquelle un écoulement pérenne a été canalisé (chap. 4, p. 77). Seul problème actuel, mais de taille : le tunnel a été construit à une cote d'altitude trop haute de sorte qu'il n'évacue que la partie occidentale tandis que la partie orientale, plus basse, reste ennoyée.

Dans deux comtés méridionaux du Guizhou, Pingtang et Luodian, 36 grands poljés s'ennoe tous les ans. Dans le comté de Zhijin (Guizhou), le lac karstique de Babou, profond de 30 m, est un poljé qui demeure ennoyé plusieurs années de suite car le ponor se bouche et se débouche tous les trois ou quatre ans. Ce lac est utilisé pour l'irrigation des terres avoisinantes. Dans le même comté, dans la zone du synclinal

de Santang, le poljé de vallée de Huangnipojiao situé en amont du bassin-versant s'enneige chaque année d'une trentaine de mètres compromettant ainsi les récoltes dans une région de montagne très pauvre située à plus de 1500-1600 m d'altitude (chap. 1).

Dans le comté très montagneux de Wufeng (Hubei), le grand poljé de vallée de Wantan mesure 8 km de long sur 0,5 à 1,5 km de large (chap. 5, fig. 60, p. 82). La grotte-ponor de Tanguangdong fonctionne actuellement comme trop-plein ; elle suscite un vif intérêt car ses dimensions semblent suffisantes pour évacuer le débit de hautes eaux (fig. 75, p. 100). En 1973, une première expédition est effectuée dans cette vaste cavité par des scientifiques, les autorités provinciales et du comté, et des paysans. Le but est de faire la topographie de la grotte, de reconnaître sa direction et sa taille afin de creuser à l'extérieur un chenal menant les eaux de la rivière à l'entrée de Tanguangdong, donc de la transformer en ponor permanent. Mais la grotte est longue et son investigation n'est pas terminée.

◇ **Historique des premiers grands travaux d'irrigation** (SONG ZHENGHAI, 1983) : La notion d'irrigation fertilisante pour amender les terres a été expérimentée en 246 av. J.-C., avec la construction du grand canal de Zheng Guo dans la province de Shanxi. Long de 150 km, celui-ci irriguait la plaine de Guangzhong à partir des eaux limoneuses de la rivière Jingshui. 2 millions de mu sont ainsi devenus fertiles, soit une superficie de 1320 km² (1 mu = 0,066 ha). Ces travaux d'envergure ont été effectués avec efficacité grâce à l'emploi d'outils en fer forgé durant la période des "Royaumes Combattants" (475-221 av. J.-C.) à la fin de la dynastie Zhou.

Les premiers canaux souterrains pour le drainage et l'irrigation, utilisant la technique des "puits sur pente", ont été construits dans les districts arides du Xinjiang. Cette technique d'irrigation permet à l'eau souterraine d'être récupérée dans un canal de base. La technique s'est répandue ; par exemple, dans le comté de Puchang (Shanxi), sous l'empereur Wu Di de la dynastie Han, le canal de la "Tête de Dragon" a été creusé dans une montagne de loess large de 3,5 km.

Dans ses notes sur le creusement des canaux d'irrigation, Han Shu écrit cette sentence fameuse :

«*Quand les hommes soulèvent les bêches, c'est comme si les nuages arrivaient ; quand l'eau coule dans le canal, c'est comme si la pluie tombait*». (HUA JUEMING, 1983, p. 414-415). C'est dire l'importance que revêtait l'eau d'irrigation pendant la saison sèche et qu'elle revêt toujours en cette fin du XX^{ème} Siècle.

◇ **Irrigation et rizières** : En Chine, l'irrigation en zone de plaine comme en montagne est une entreprise de grande ampleur représentant une superficie totale de 38 millions d'hectares, essentiellement les rizières (CHEN CHENG-SIANG, 1984, p. 18). Comme il faut 6000 m³ d'eau par hectare de rizière, le volume total annuel nécessaire est de plus de 200 milliards de m³, soit cinq fois le débit annuel du Fleuve Jaune. L'Encyclopedia of New China (1987, p. 350) donne une valeur de 44,7 millions d'ha pour l'ensemble des terres irriguées en 1984. Cela place la Chine au premier rang mondial pour l'irrigation, avec une augmentation de 120 % depuis 1950.

En raison du fort prélèvement en eau, l'irrigation chinoise joue un rôle considérable sur le régime des cours d'eau

et sur la tranche écoulée. L'irrigation contribue aussi à limiter l'impact des crues. Dans les rizières étagées du Guizhou, pendant la mousson d'été, on peut observer le travail incessant des femmes qui remontent l'eau d'une banquette à l'autre. La technique souvent utilisée est celle du lancer de l'eau à partir d'un récipient dont le contenu, d'une dizaine de litres, est propulsé à deux mètres à partir d'une corde tenue par deux personnes. Durant l'été, l'eau des rizières du Guizhou est régulièrement renouvelée. La vidange est effectuée le soir par des vannes rudimentaires. Le débit des petites pertes karstiques peut ainsi augmenter brutalement.

En zone très montagneuse, les rizières étagées constituent un spectacle impressionnant. Dans le comté de Wuxi (Sichuan), les rizières s'étagent ainsi sur 1000 m de dénivellation, dans les terrains imperméables du Silurien schisteux, au pied des grandes parois calcaires du Dagan Shan (chap. 4). L'eau des émergences, sortant au pied des falaises, est dérivée à différentes altitudes vers les rizières. Puis un dense réseau de canaux d'irrigation croisés parcourt les rizières.

3. Le stockage de l'eau

a) Les barrages en zones karstiques :

Dans toutes ces régions karstiques, le stockage de l'eau est vital pour les besoins en eau domestique, pour l'irrigation et la production d'électricité. Le bassin d'alimentation du Yangtse regroupe les plus grandes zones karstiques de Chine où les ressources en eau ont un rôle important pour l'économie du pays, notamment pour l'énergie hydroélectrique (WU YINGKE & al., 1989). Cependant, de multiples réservoirs et barrages rencontrent des problèmes dus au contexte karstique et aux crues : fuites karstiques, sapement des berges et des constructions.

◇ **Le barrage hydroélectrique de Wujiangdu** : localisé dans le Guizhou, ce barrage est le plus grand de Chine en secteur karstique. Il est situé sur le cours du Wujiang (alt. 625 m), affluent de première grandeur du Yangtse. C'est le septième du pays par sa puissance installée (0,63 millions de kw), le premier étant celui de Liujaxia, sur le Fleuve Jaune, avec 1,225 millions de kw. Notons qu'il existe en Chine 146 stations hydroélectriques dépassant 12 000 kw, dont 22 de plus de 250 000 kw.

Wujiangdu est un barrage-voûte de 165 m de haut sur 250 m de large construit à l'extrémité aval d'un canyon. Le volume de la retenue est de 2,14 km³. En rive gauche, nous avons visité une galerie de reconnaissance de 3,5 m de diamètre qui a recoupé des galeries et puits karstiques. L'ensemble du massif est très karstifié en profondeur puisque les divers travaux de forage ont permis de reconnaître l'existence de nombreux conduits noyés et plus ou moins colmatés sous le niveau de la rivière. Ainsi, une cavité de 10 m de haut a été atteinte jusqu'à - 220 m sous le niveau de la vallée. La plus importante, à la cote - 35 m, mesure 34,6 m de haut. Ces vides sont localisés sur des secteurs faillés.

Un voile d'étanchement a été injecté à l'aplomb du site du barrage afin d'éviter tout risque de soutirage et de soulèvement. Toutefois, ces travaux ont tenu compte de deux observations essentielles. Dans les premières dizaines de mètres, les cavités rencontrées par les forages sont remplies de

graviers et de sables, d'où une circulation turbulente et un lien direct avec la rivière et le "karst rapide." Cette partie nécessite un voile d'étanchement et le bétonnage des cavités. En revanche, à plus grande profondeur, les vides karstiques sont remplis par une argile jaune témoignant de la lenteur de l'écoulement ; on est dans le domaine du "karst lent", aussi ces cavités n'ont-elles pas fait l'objet de travaux. Après un an de mise en eau, aucune fuite notable n'a été signalée. (cf. LI MAOQIU, 1981).

◇ **Problème des fuites karstiques** : les ouvrages de Maotiaohe, situés à 25 km à l'ouest de Guiyang (Guizhou), sont

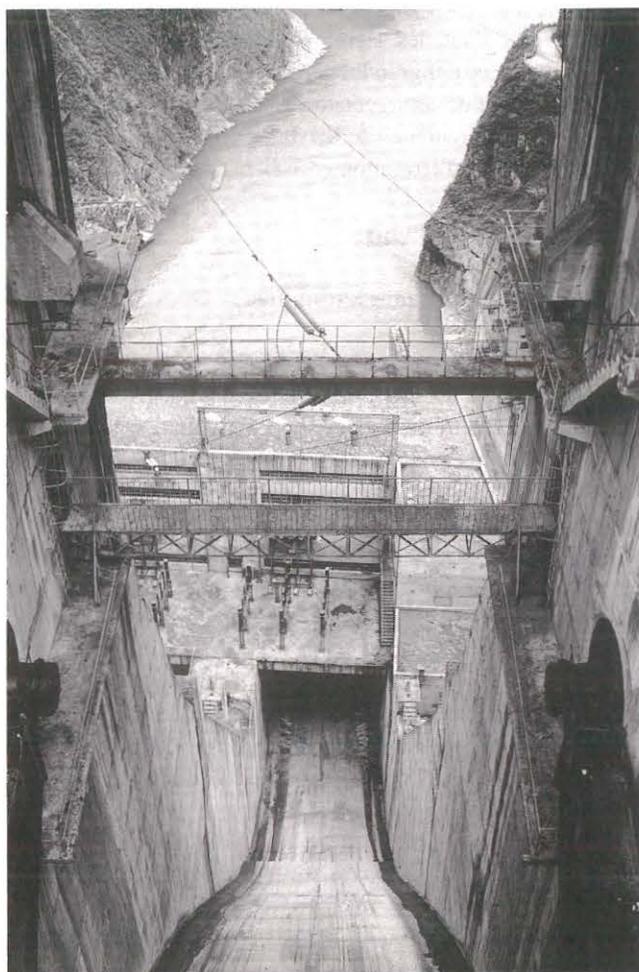


Photo 70 :

Situé sur le Wujiang, affluent du Yangtse, le barrage-voûte de Wujiangdu est le plus grand barrage de Chine située en zone karstique. Hauteur : 165 m ; volume de la retenue : 2,14 km³ ; puissance installée : 0,63 millions de kw. Le contexte, très karstifié, a nécessité un important voile d'étanchement.

The Wujiangdu dam, on the Wujiang river (Guizhou), is the biggest of China in a karstic area. 165 m high, 2.14 km³, 0.63 millions kw.

représentés par six retenues étagées (puissance installée de 200 000 kW) ; elles connaissent des fuites relativement importantes, mais qui n'interdisent pas son fonctionnement.

Il existe aussi des cas nombreux à propos de projets locaux utiles, mais moins ambitieux (barrage collinaires) et forcément moins financés. Prenons quelques exemples typiques. Dans le comté de Zhijin (Guizhou), le réservoir de Hongliang perd 1 m³/s par des fissures et des conduits karstiques qui n'ont pas été détectés lors de la construction. Même problème au réservoir de Geba, dans le comté de Ziyun (Guizhou), où la capacité prévue de 6,6 millions de m³ ne dépasse pas en réalité 250 000 m³ à cause d'une fuite sur faille de 2 m³/s ! Dans le comté montagneux de Wuxi, à l'E du Sichuan, quatre réservoirs présentent les mêmes défauts.

◇ **Les barrages et canaux souterrains** : ils sont fréquents dans les grottes chinoises et sont utilisés pour l'irrigation. Leur nombre total est inconnu, mais il doit dépasser plusieurs milliers, voire beaucoup plus. Ainsi, dans le comté de Dushan (Guizhou), on a dénombré jusqu'à seize barrages souterrains pour l'irrigation de 22 000 mu de terres agricoles, soit 1452 ha. (YUAN DAOXIAN, 1981).

Souvent, il s'agit de petites constructions destinées à irriguer quelques pièces de terres. Par exemple, dans la grotte de Longwangdong (Wuxi/Sichuan), un petit barrage alimente un canal d'irrigation qui court dans la grotte pendant 200 m, à flanc de galerie, avant de ressortir au jour. Par endroits, il est entièrement creusé dans la paroi. Tout cela pour faire ressortir l'eau 20 m plus haut que la résurgence naturelle et irriguer des rizières.

Même technique à Santang (Zhijin/Guizhou), dans la grotte-tunnel de Luocho (photo 74), où un canal dérive l'eau de la rivière souterraine afin d'irriguer des champs voisins. Celui-ci emprunte la bordure d'une salle d'effondrement, puis d'un aven et traverse la barre calcaire par un tunnel artificiel.

Mais il existe aussi quelques exemples de gros barrages souterrains, mais dans ce cas se pose le problème de l'étanchéité du réservoir naturel. Dans le Sichuan oriental (comté de Jiangbei), YUAN DAOXIAN (1981, p. 30) cite l'exemple d'un réservoir souterrain de 20 millions de m³ qui se développe dans un aquifère karstique anticlinal. Un petit barrage a été construit dans le tunnel d'accès à la rivière souterraine. Mais il y a mieux : le réservoir de "Dalongdong", dans le comté de Shanglin (Guangxi), a une capacité de 120 millions de m³ et permet d'irriguer 11 220 ha ! Celui-ci a pu être rempli simplement en bouchant une perte.

Récemment, SILAR (1990) a fait le point sur la question des barrages souterrains en milieu karstique, notamment à partir d'exemples de Chine du Sud.

c) Ressources en eau pendant la saison sèche :

Pendant la saison sèche hivernale qui dure quatre à cinq mois (novembre-décembre à mars inclus), l'alimentation pose des problèmes dans certains secteurs karstiques éloignés des cours d'eau de surface ou à cause du débit d'étiage insuffisant des sources. En Chine, tous les types de captage sont possibles pour récupérer l'eau, depuis l'utilisation directe des émergences et des eaux d'infiltration, jusqu'aux pompages dans les ponors ou dans la nappe, en passant par le stockage de l'eau (barrages) pour obtenir des réservoirs souterrains ou de surface. Les

exemples sont nombreux.

- Le village troglodyte qui domine la résurgence de la Gebihe (Ziyun/Guizhou) est aménagé dans une grotte totalement sèche. Ni rivière, ni gours. Seul un suintement tombe d'une haute voûte (30 m) pour former une stalagmite. Un énorme entonnoir et un savant système de gouttières en bambou permettent de recueillir jusqu'à la dernière goutte l'eau précieuse (photo 76, p. 206).

- Les villages et hameaux situés en haut des collines ou au milieu du karst à pitons, dolines et ouvalas recueillent les eaux de pluie dans de grosses citernes maçonnées, comme à Daxiaocaokou ou à la Gebihe. Mais ces citernes sont insuffisantes pendant la saison sèche, et les femmes sont obligées de marcher plusieurs km pour aller chercher de l'eau à la rivière ou la résurgence. C'est le cas à Luodian ou sur le karst à pitons (fenglin-ouvala) dominant la Gebihe. Pour éviter ce va et vient harassant pendant plusieurs mois, de nouvelles citernes cimentées sont en construction.

- Des villes sont également soumises à des restrictions en eau en saison sèche. Par exemple, Ziyun (10 000 hb), ne possédait qu'un seul captage pour l'eau domestique en 1986 et 1989 ! L'eau est prélevée sur une résurgence vaclusienne par un micro-barrage et un canal maçonné se subdivisant en plusieurs branches. Le débit est de 57 m³/h à peine ; aussi l'alimentation est-elle coupée dans la journée.

- Dans d'autres villes, c'est le cas contraire. Zhijin, au fond de son bassin, est entouré par 72 sources karstiques dont les eaux constituent la rivière qui se perd à Daxiaocaokou (chap. 1).

II. L'EXPLOITATION DU KARST ET DES GROTTES

En Chine, plus que partout ailleurs sans doute, le karst fait partie de la vie des hommes. Aussi l'ont-ils exploité dans toutes ses dimensions : pour ses richesses minérales associées (pyrite, charbon, nitrates...), pour les refuges qu'il procure en temps de paix (grottes habitats, enclos) comme en temps de guerre (grottes forteresses), enfin pour ses potentialités touristiques (grottes aménagées). Le calcaire est lui-même exploité directement pour la fabrication du ciment ; à proximité d'une grande ville "karstique" comme Guiyang, les cônes et buttes calcaires sont rongés par les carrières. On devine déjà les problèmes que pose cette pression urbaine sur l'environnement, en particulier la pollution des eaux et la dégradation des paysages.

A. L'EXPLOITATION MINIÈRE EN DOMAINE KARSTIQUE

Les régions karstiques de Chine renferment des couches non carbonatées qui sont exploitées largement comme les nombreuses veines de charbon. Mais il existe aussi de multiples gisements de type paléokarstique : limonite, bauxite, phosphorite, pyrite. Dans le Yunnan (Gejiu) et le Guangxi (Hexian), signalons des dépôts de cassitérite (oxyde d'étain), localisés dans des cavités et des dépressions, et qui ont été exploités pendant longtemps. Bauxite, charbon, pyrite jalonnent les surfaces paléokarstiques façonnées au cours du

Paléozoïque : avant le Carbonifère moyen en Chine du Nord, avant le Permien supérieur en Chine du Sud. (YUAN DAOXIAN, 1983).

1. L'exploitation du charbon

En Chine, l'exploitation de mines de charbon, associée à la production de fer, remonte à la dynastie occidentale Han (206 av. J.-C. à 24 apr. J.-C.). La technique d'extraction s'est largement développée sous la dynastie Song (960-1279). Par exemple, dans l'ancienne mine de Hebi (Henan), on observe un puits d'accès vertical, haut de 46 m, donnant accès à des galeries rayonnantes situées à différents niveaux. La section trapézoïdale des galeries mesure un peu plus de 1 m de haut sur 1,40 m à la base. Le charbon est remonté à la surface par un treuil. Le méthane, toxique, est évacué par un long tube de bambou. L'eau souterraine est drainée par un canal et l'étayage des conduits est utilisé contre les effondrements (YANG WENHENG, 1983).

a) Importance économique du charbon :

La Chine est un grand pays producteur et consommateur de charbon. La production est passée de 32 millions de tonnes en 1949 à 872 millions de tonnes en 1985, soit un taux d'expansion de 9,6 %/an. Encore aujourd'hui, le charbon représente la plus grande source d'énergie du pays. En 1980, le charbon représentait 69 % de la production énergétique du pays, mais le taux était de 98 % en 1950, 94 % en 1960 et 79 % en 1970 (CHEN CHANG-SIANG, 1984, p. 188).

Les mines d'Etat extraient 46,6 % du total national contre 53,4 % pour les mines locales. Parmi les exploitations locales, on distingue des mines sous administration provinciale, des mines sous administration collective (municipalité, comté), enfin des mines artisanales privées.

Rappelons qu'en 1980, Deng Xiao Ping autorise l'exploitation directe du charbon par les paysans, ceci dans le but de développer les régions montagneuses pauvres comme les karsts du Guizhou ou du Sichuan oriental. Dix ans après, des milliers de petites mines sont en fonctionnement à flanc de montagne dans les terrains du Permo-Carbonifère. La forêt ayant pratiquement disparu, le charbon constitue une source d'énergie précieuse. Il est utilisé par les briqueteries locales et pour les besoins domestiques (cuisine, chauffage).

Les variations des conditions techniques d'extraction et de la production sont grandes entre les grosses mines d'Etat et les petites mines artisanales. Les onze plus grandes mines produisent plus de 10 millions de tonnes par an chacune. Les mines locales et artisanales sont plus de 60 000 dans toute la Chine (photo 71). Toutes les provinces et régions autonomes produisent du charbon.

En 1985, les régions essentiellement karstiques du Centre-Sud de la Chine totalisent 15 % de la production nationale contre 36,3 % pour le Nord, 15,1 % pour le Nord-Est, 14,6 % pour la l'Est, 10,9 % pour le Sud-Ouest et 8,1 % pour le Nord-Ouest. (Encyclopedia of New China, 1987, p. 312).

b) Exemple de mine artisanale dans le Guizhou :

L'une de ces petites mines a été visitée près de Santang dans le comté de Zhijin (Guizhou) (photo 67, p. 191). Elle s'ouvre vers



Photo 71 :
 Mine de charbon artisanale dans le Permien, route entre Zhijin et Ziyun (Guizhou). L'autorisation de l'exploitation directe du charbon par les paysans remonte à 1980. Aujourd'hui, il existe plus de 60 000 mines locales et artisanales dans toute la Chine.

Typical local coal mine in the Permian, along the road between Zhijin and Ziyun (Guizhou). They are now more 60 000 small local mines in all China.

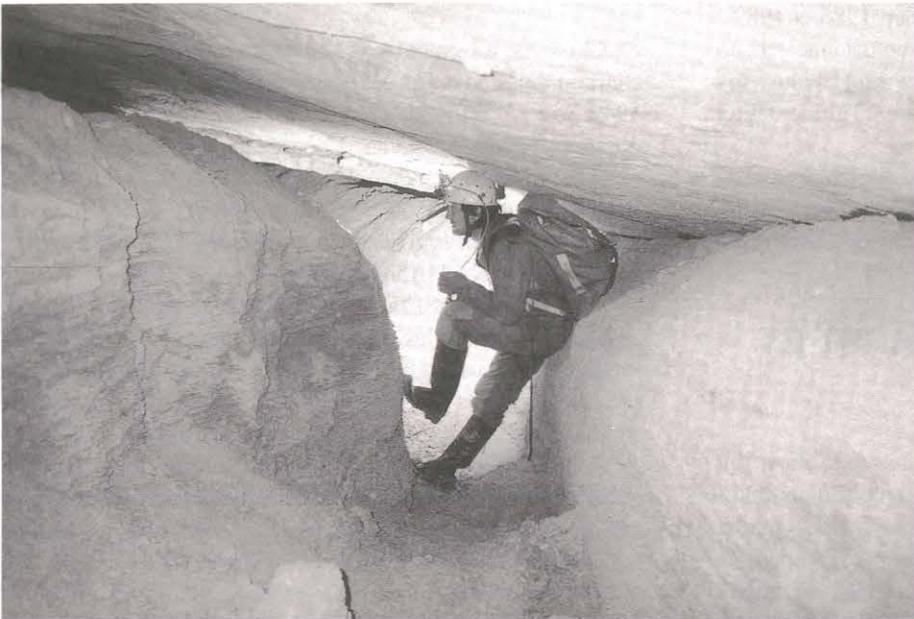


Photo 72 :
 Fours à chaux artisanaux dans un village du Guizhou.

Local lime-kilns in a village of Guizhou province.



Photo 73 :
 L'exploitation des nitrates dans les grottes de Chine du Sud a été largement répandue pour la production de poudre à canon. Ici, passage creusé dans les sédiments nitrates d'une galerie de la grotte de Dadong (Wufeng, Hubei).

Dadong cave (Wufeng, Hubei) ; the nitrate sediments have been exploited for gunpowder.

1500 m d'altitude, au fond de la vallée, quelques mètres sous le niveau de la rivière (protection par une digue !). On entre par une bouche en escalier de 5 m de profondeur. La galerie principale, large de 1,5 m et haute de 1,30 m, conduit au bout d'une centaine de mètres à la zone d'extraction qui est constituée par une série de galeries rayonnantes. Le front de taille, exploité au pic, crépite à cause du dégazage de la houille. Il fait une chaleur lourde et oppressante (20°C). Le charbon est évacué péniblement à dos d'homme dans des sacs dont le poids est de l'ordre de 60 à 80 kg ! Il n'y a que des hommes, mais d'âges très variés, depuis des adolescents jusqu'à des vieillards.

Des tas de charbon sont fait à la sortie de la mine, non loin de la route. La distribution dans les écarts, hameaux et villages se fait par des camions. (photo 71).

◇ **Exemple de mine dans le Sichuan oriental** : En rive gauche du Yangtse à l'entrée des "Trois Gorges", une route part de Fengjie en direction de Wuxi. Celle-ci remonte une vallée escarpée entaillée dans des grès jurassiques à veines de charbon. Des mines s'ouvrent ici en pleine falaise ; les échafaudages sont suspendus dans le vide à plusieurs centaines de mètres de hauteur. Les morts-terrains sont directement jetés dans le canyon, ce qui constitue une importante source de pollution des eaux.

Bien que non artisanales, ces mines présentent des conditions de travail très difficiles. Le charbon est exporté dans les agglomérations et les comtés avoisinants. La distribution est effectuée par la route ou par voie fluviale (chalands sur le Yangtse).

2. L'exploitation du sel et du gaz naturel

L'extraction d'eau salée (halite), par creusement de puits, puis sa récupération par évaporation dans des mares, remonte à plus de 2000 ans. C'est dans le Sichuan que cette technique est utilisée par Li Bing à Guangdu, puis développée entre 475 et 221 av. J.-C. La dynastie Han Orientale (25-220) est la période de l'extraction du sel par le moyen de puits larges et peu profonds.

a) Développement de la technique du forage :

Plus tard, des puits plus profonds sont creusés. Durant la dynastie Jin (300), les puits atteignent 100 m, puis 250 m durant la dynastie Tang. La découverte du gaz naturel par le moyen des puits s'effectue parallèlement à l'extraction de l'eau salée durant les dynasties Han et Jin, soit 1300 ans plus tôt qu'en Angleterre ! Le gaz naturel sert alors à faire évaporer la saumure. Le premier trépan en fer, d'un diamètre de 20 cm, est utilisé entre 1041 et 1053 sous la dynastie Song ; il peut forer des puits de plusieurs centaines de mètres.

L'accroissement de la profondeur des puits salés permet d'atteindre la nappe de pétrole dans le "Bassin Rouge" du Sichuan. Ainsi, en 1512, durant la dynastie Ming, le premier puits de pétrole, de plusieurs centaines de mètres de profondeur, est foré à Jiazhou au pied du Mt. Emei. Cette technique intervient plus de 300 ans plus tôt qu'aux USA et en Europe. Pendant les siècles suivants, la technique évolue peu et on continue à habiller les puits par des anneaux de bambou et de bois. Toutefois, entre 1821 et 1850, sous la dynastie Qing,

elle permet de forer le premier puits de gaz naturel de 1000 m de profondeur à Ziliujing (Sichuan), ce qui est considérable pour l'époque. (cf. YANG WENHENG, 1983).

b) L'aqueduc de la Daninghe :

En zone karstique de montagne, signalons l'exploitation d'une source salée dans les Daba Shan, au nord de Wuxi (Sichuan oriental). Cette émergence karstique draine un aquifère profond situé dans le Trias plissé à cause du plongement des structures sous le niveau de la vallée. Grâce aux Annales du comté de Wushan, on sait que l'eau salée était exploitée à partir de 245 av. J.-C. sous la dynastie Han.

L'eau était acheminée sur 100 km, le long du profond canyon de la Daninghe, par un "pipeline" en bambou. Au bord du Yangtse, le sel était récupéré après évaporation. Sur le flanc des parois calcaires du canyon, nous avons observé la présence de deux rangées de trous carrés de 15 cm de large qui témoignent de l'ancienne installation de l'aqueduc. Cette conduite a permis de fabriquer une véritable route suspendue à travers les gorges, seul accès direct possible pour atteindre le cours amont de la Daninghe, d'où son rôle stratégique.

Au XVII^{ème} Siècle, sous la dynastie Ming, une rébellion contre le pouvoir central est menée par un chef indigène paysan dénommé Li Zicheng. A la suite des combats et par répression, la route suspendue et le "pipeline" sont détruits par l'armée impériale. (BONAVIA, 1985, p. 61-62).

3. Les grottes à nitrates

Beaucoup de grottes ont été exploitées pour leurs nitrates. Les paysans lessivaient la terre dans de grandes cuvettes maçonnées et recueillaient l'eau de percolation pour la faire évaporer. Les précieux sels recueillis servaient à fabriquer la poudre à canon.

L'invention de la poudre noire, premier explosif connu, a son origine en Chine il y a plus d'un millénaire. Les nombreuses grottes situées dans les provinces subtropicales ont participé depuis cette période à la production du salpêtre ou nitre. Actuellement, les exploitations fonctionnelles sont rares à cause de la concurrence des explosifs chimiques modernes. Citons celle de Daxiaodong ("Grande grotte du nitrate"), dans le comté de Luodian, au sud du Guizhou. L'exploitation de nitrate, pour la poudre et les engrais (?), se situe dans la galerie d'entrée large de 50 m (photo 68).

◇ **La technique d'extraction** : Celle-ci n'a pas changé depuis l'origine ; elle nécessite de l'eau pour le lavage et du bois de chauffe pour la précipitation des sels par évaporation. Les remplissages riches en salpêtre ou autres nitrates sont mélangés à l'eau dans une cuve circulaire de trois à quatre mètres de diamètre. A la base, un drain permet à l'eau laiteuse de s'écouler dans une série de petits bassins étagés et chauffés dans lesquels la solution chargée de nitrate est progressivement concentrée par évaporation (photo 68). A la fin, la solution devenue épaisse est écrémée, puis par évaporation totale, on récupère les sels de nitrate. La livre est vendue 1,5 yuan.

◇ **L'invention de la poudre noire** : En chinois, le terme *huoyao* signifie "drogue de feu" ou une "médecine" qui s'enflamme facilement. Rappelons que salpêtre et sulfure, qui

entrent dans la composition de la poudre à canon, étaient utilisés dans la pharmacopée chinoise il y a plus de 2000 ans sous la dynastie Han.

Le mélange explosif salpêtre + sulfure + charbon de bois a été découvert avant la fin de la dynastie Tang (618-907) par des pharmaciens-alchimistes chinois. Les proportions du mélange sont indiquées par divers auteurs dès le XI^{ème} Siècle, par exemple : 30 liang de salpêtre, 15 liang de sulfure et 5 liang de charbon de bois et divers ingrédients comme l'arsenic et des agents inflammables (1 liang = 50 grammes). Ce mélange, conditionné en ballots, est dénommé *yao yan qiu* ; il donne une poudre émettant beaucoup de fumée toxique. D'autres savants mélanges existent pour fabriquer le *ji li huo qiu* (ballot explosif à grenailles) ou le *huopao* (ballot de poudre incendiaire). Un mélange encore plus dangereux est celui associant salpêtre, sulfure, réalgar (As_2S_3) et miel.

Le transfert vers l'Occident de l'invention de la poudre s'est d'abord faite par les Perses et les Arabes vers 1225-1248, via l'Inde, puis en Europe par les Espagnols. Parallèlement, les expéditions vers la Mongolie permirent de découvrir l'usage de la poudre. (cf. ZHOU JIAHUA, 1983)



Figure 115 (ci-dessus) :
Représentation imagée de la grotte et du dragon dans le "Pipeau d'or", conte populaire de nationalité Yao. (d'après une illustration de Zhou Lingzhao et Chen Ruoju).

Picturesque representation of cave and dragon in the "gold pipe", popular tale of Yao nationality. (from a picture of Zhou Lingzhao and Chen Ruoju).



B. MONTAGNES ET GROTTES REFUGES

Au Guizhou comme ailleurs, les montagnes ont servi de refuges. Elles sont principalement peuplées par des populations appartenant aux "minorités ethniques", c'est-à-dire aux peuples Miao et Tujia. Rappelons que 90 % de la population chinoise est d'origine han. Jusqu'à la révolution de 1949, ces populations ont dû résister aux tentatives d'asservissement et d'assimilation des Hans et les pays calcaires, d'accès difficile, leur ont permis de résister et de préserver leur originalité.

En Europe et en Afrique, les grottes n'attirent pas les paysans. Elles servent plutôt de repoussoirs. Antres de démons, de djins (à la rigueur de brigands), elles effraient et l'homme ne s'y aventure guère. Quand il les occupe, cela se limite à la zone d'entrée bien éclairée. En Chine, il en est tout autrement : la grotte fait partie de la vie quotidienne.

1. L'image de la grotte dans les contes populaires chinois

Cette familiarité du paysan chinois avec la grotte explique que cette dernière serve souvent d'élément obligé du décor dans de nombreux contes populaires. Dans le "Pipeau d'or", conte de nationalité Yao, il est question d'une jeune fille enlevée par un dragon et d'une grotte, la "grotte du Dragon", celle qui est dans l'imaginaire de tous les Chinois (fig. 115).

Comme nous l'avons maintes fois constatée, chaque région calcaire possède sa "Longdong" ("grotte du Dragon",

Photo 74 :

Grotte forteresse dans une partie de la grotte-tunnel de Luochu, résurgence de Santang (Zhijin, Guizhou). (cf. Chap. 1, fig. 24). Depuis le sommet du puits d'effondrement, on aperçoit la muraille intérieure, un escalier menant à la rivière souterraine et à droite un canal souterrain pour l'irrigation. (cf. fig. 24, chap. 1).

Fortress cave in a part of the Luochu tunnel-cave (Santang, Zhijin/Guizhou). (cf. fig. 24, chapter 1).

ex : Wufeng/Hubei), ou alors sa "Shuanglongdong" ("grotte du Double Dragon", ex : Ziyun/Guizhou) ou mieux sa "Longwangdong" ("grotte du Roi des Dragons", ex : Wuxi/Sichuan), voire sa "Longgongdong" (grotte du "Palais du Dragon", ex : Anshun/Guizhou) et encore sa "Xinlongdong" ("grotte du Nouveau Dragon", ex : Wuxi/Sichuan). Enfin, il y a la fameuse "Tenglongdong" ("grotte du Dragon Volant"), dans le comté de Lichuan (Hubei), actuellement la plus grande grotte connue de Chine avec plus de 39 km de galeries.

Ici, dans le "Pipeau d'Or", la grotte est décrite très sommairement, mais il est question de montagne, de chemin escarpé menant à la grotte, d'eau souterraine profonde, enfin de refuge du dragon : «*En arrivant près d'une montagne dénudée, il aperçut un dragon à l'allure féroce qui gardait l'entrée d'une grotte. A côté de lui s'amoncelaient des ossements humains. Il vit aussi une jeune fille vêtue de rouge qui creusait la grotte avec un ciseau.... Yangmeizi continua de jouer tout en se dirigeant vers une pièce d'eau profonde. Le dragon, toujours sous l'emprise de la musique, le suivit et tomba à l'eau...*» (adaptation de Xiao Ganniu, 1985)(fig. 115).

Dans le "Bossu et l'Enfant du Bananier", conte de la nationalité miao, il est cette fois question de perle de caverne magique, sorte de spéléothérapie avant l'heure : «*Dans la grotte profonde de la montagne orientale, brille une perle. Celui qui avale cette perle retrouve l'usage de ses reins et son dos se redresse. Sur les indications de la jeune femme, l'enfant... entra dans la grotte profonde. Il y vit la perle sertie dans le rocher. Il la décrocha et prit le chemin du retour avec son trésor*». (adaptation de Xiao Ganniu, 1985).

2. Une spéléologie utilitaire ancienne

Les paysans miao sont à l'aise avec leurs cavernes. Ils vont y chercher tout ce qui peut leur être utile (nitrates, plantes, nids) et n'hésitent pas à pénétrer loin sous terre.

◇ **Des spéléologues paysans :** A la Gebihe, les paysans miao ont réalisé dans les années 1980 une dure traversée spéléologique de 4 km, parcourant une série de grands lacs et de petites cascades où il a été difficile de faire passer les lourdes barques. Quant à nos collègues d'expédition chinois, doctes scientifiques s'il en est, ils nous ont toujours épatés par leur tranquille assurance pour escalader les blocs ou traverser les rivières. Et certaines reconnaissances, nous les avons faites accompagnés d'une ribambelle de gamins enthousiastes qui profitaient simplement des avantages de notre éclairage à l'acétylène. Dans de nombreux porches, ce sont les nids d'hirondelles et de pigeons qui ont attiré l'homme. De précaires échafaudages de bambou grimpent à l'assaut de parois vertigineuses et il faut bien du courage pour y grimper ! Cette technique développée dans les karsts tropicaux de l'Asie du SE est remarquablement illustrée dans l'ouvrage "Chasseurs des Ténèbres" de VALLI et SUMMERS (1991) à partir de l'exemple thaïlandais.

◇ **A la recherche de plantes médicinales :** Au fond du réseau de la Gebihe, la rivière souterraine aboutit à la base d'un grand puits d'effondrement de 210 à 280 m de profondeur et de 200 m de diamètre (photo 49, p. 158). Ce vaste aven s'ouvre au milieu du petit plateau à buttes vers 1250 m d'altitude. Au fond, nous avons observé d'anciens abris ainsi que des pictogrammes

gravés sur la paroi de rive gauche (amont). Les Miao venaient ici pour chercher des plantes médicinales rares à cause de l'environnement protégé et du microclimat. Le problème posé est de savoir par où ils venaient. L'accès par la rivière souterraine n'est pas impossible, mais aucune tradition orale au village ne permet de le dire. En revanche, un paysan nous a affirmé qu'autrefois on descendait directement par le puits vertigineux de 210 m. En descendant dans l'angle du puits qui paraît le moins difficile (100 m sont verticaux !), nous n'avons observé aucune trace de passage, mais celles-ci ont sans doute disparu. La technique d'échafaudage de bambous et de mats superposés a dû être utilisée comme pour la chasse aux nids d'hirondelles.

3. Les grottes refuges

Les concepts de grotte habitat et de grotte refuge se rejoignent dans l'occupation humaine des milliers de grottes que comptent les karsts subtropicaux de Chine. Les grottes-tunnels, associant plusieurs entrées et accès à la rivière souterraine, sont devenues des lieux propices pour construire de véritables forteresses souterraines.

a) Les grottes forteresses :

Ces bastions naturels étaient pratiquement imprenables à condition de disposer de vivres. La technique de l'enfumage, bien connue dans les karsts méditerranéens, n'était guère possible pour les grandes grottes à plusieurs entrées à cause de la thermoventilation. La plupart ont servi d'habitat temporaire au gré des invasions et des incursions de brigands. Durant la guerre civile, elles furent encore utilisées pour se réfugier, défendre l'accès d'une vallée et cacher des armes. Prenons plusieurs exemples d'aménagement.

◇ **La forteresse de la grotte-tunnel de Luochu :** Située en aval du bassin synclinal de Santang (Zhijin/Guizhou), cette courte grotte-tunnel, à plusieurs niveaux, traverse une butte calcaire de 300 m de large. Deux murs, de 1,5 m de large sur 5 m de haut, isolent complètement un tronçon de tunnel sec large de 20 m et long de 50 m jouant le rôle de forteresse (photo 74). Ces remparts sont percés de quelques meurtrières et d'une porte massive. La partie intérieure du tunnel mène à un vaste puits d'effondrement donnant accès à la rivière souterraine. En face, la cavité se poursuit et débouche à l'extérieur par un vaste porche de 30 m de diamètre. Un autre rempart a été construit entre ce porche et l'aven afin de conserver un accès à la rivière souterraine en cas de siège. Si ce mur était franchi, la première forteresse servait de réduit. (chap. 1)

◇ **Les grottes à abris perchés :** L'entrée amont de la première grotte-tunnel de la Yijiehe (Secteur de Daxiaocaokou, Zhijin/Guizhou) est située à l'extrémité d'un canyon où se perd la rivière. Le porche mesure 50 m de haut sur 15 m de large. A quelques dizaines de mètres à l'intérieur, encore à la lumière du jour, un abri a été aménagé à plus de 25 m de hauteur sur des banquettes perchées en rive droite et défendues par des murs. Un système de mats de perroquet en bambou permettait d'accéder à cet abri. En cas de guerre ou d'incursions de brigands, l'abri haut perché servait de refuge pratiquement imprenable si le siège ne se poursuivait pas. (chap. 1).



b) Les grottes à habitats permanents :

Les grottes servant d'habitat permanent existent parfois. Au-dessus de la résurgence de la Gebihe, sur le plateau à buttes et pitons, un petit village d'une quinzaine de maisons a été installé sous terre, à l'abri d'une immense voûte, en plein cintre, de 70 m de large sur 35 m de haut (photo 75). La salle est plane, sèche et bien éclairée : un endroit idéal pour installer sa maison à l'abri de la pluie. Cela permet de faire l'économie d'un toit, tout en ayant une maison plus durable qu'à l'extérieur. Tout serait parfait s'il y avait une petite source à proximité. Voulez-vous une preuve du confort de ce site ? Le gouvernement provincial a fait construire un village tout neuf, "moderne", en contrebas de la grotte. Peine perdue, personne ne s'y est installé.

C. LES RESSOURCES TOURISTIQUES ET LA CONSERVATION DU KARST

Comme les régions karstiques sont pauvres, le tourisme karstique est une ressource potentielle non négligeable. En Chine, un tiers des sites touristiques naturels se trouve en région calcaire et dolomitique. La beauté des paysages karstiques de Chine du Sud est légendaire et apparaît sur de nombreuses représentations (tapisseries, dessins, peintures). Mais les karsts chinois ne se limitent pas à ces "forêts de pitons" (Guilin/Guangxi) et ces "forêts de pierre" (Lunan/Yunnan). Il y a la qualité de l'aménagement agraire, vieux de plusieurs millénaires, qui donne une âme aux paysages. Cette richesse naturelle implique une politique de gestion et de protection du milieu qui commence à se développer lentement.

1. Evaluation des ressources

Afin de mettre en valeur les ressources touristiques du karst et d'éviter un développement incontrôlé et préjudiciable, nous devons procéder à une évaluation qualitative et quantitative.

Photo 75 (ci-dessus):

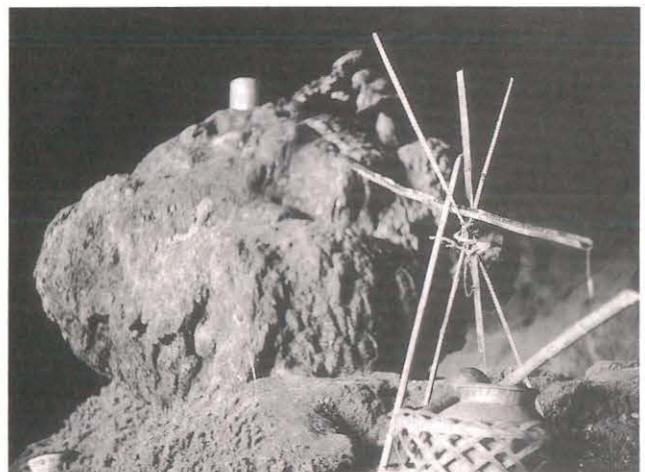
Village troglodytique actuel dans une grotte sèche située au-dessus de la résurgence de la Gebihe (Ziyun, Guizhou). Ce mode d'habitat tend à disparaître.

Troglodytic village in a dry cave situated several hundred meters above the Gebihe resurgence (Ziyun, Guizhou).

Photo 76 (ci-dessous):

Mode artisanal ingénieux de récupération de l'eau de percolation dans la grotte sèche du village troglodytique de la Gebihe (cf. photo 75).

Ingenious method for water recuperation in the Gebihe troglodytic village (cf. photo 75).



Pour cela, il faut tenir compte de deux types de facteurs importants qui permettent de définir s'il y a possibilité ou non d'exploiter ces ressources :

- les facteurs naturels : échelle des cavités, environnement, intérêt scientifique, position des sites etc... ;
- les facteurs sociaux : environnement social, infrastructure routière et hôtelière, etc...

Pour les régions, nous utilisons une méthode classique de regroupement d'informations et d'évaluations. Par contre, pour le classement de l'intérêt des cavités, nous essayons actuellement une méthode mathématique "floue" qui utilise un système de points par facteurs. Ces points sont attribués par des spécialistes de diverses disciplines, par exemple pour définir le concrétionnement, ce qui permet d'avoir une notation la plus sérieuse possible.

Dans le comté montagneux de Wuxi (Sichuan), les potentialités touristiques sont en cours d'étude. Les massifs karstiques, très escarpés, sont coupés par des vallées profondes et des gorges spectaculaires. En rive gauche du Yangtse, la Daninghe emprunte un canyon profond de plus de 1000 m qui est l'un des plus remarquables de Chine (photo 15a, p. 71). La descente touristique des rapides, avec des barques à moteurs, commence à se développer. Mais l'activité est encore suffisamment rustique pour donner aux excursions un caractère d'aventure accentué. L'environnement sauvage de ces vallées, associant la limpidité des eaux, les résurgences en cascades, les nombreux singes évoluant dans les parois, font de la Daninghe une zone de choix à la fois pour le tourisme et la protection de l'environnement.

2. Les grottes aménagées

Il existe plus de 50 cavités ouvertes au public dans l'ensemble de la Chine. Ce chiffre paraît faible au regard de la superficie karstique du pays, mais le total de visiteurs dépasse sans doute plusieurs millions par an et probablement beaucoup plus. Les grottes les plus visitées se situent à proximité de Shanghai. Dans l'une d'elle, le nombre de visiteurs peut atteindre 40 000 par jour pendant les périodes de vacances.

Ces cavités présentent un éclairage électrique et des sentiers aménagés. La plupart des visites sont guidées. Des trajets en barques sont également possibles dans les rivières souterraines. Suite à la réforme économique de Deng Xiao Ping, de nombreux comtés ont voulu avoir leur grotte touristique. Aussi, beaucoup de grottes connaissent-elles un aménagement sommaire, mais en l'absence de financement elles attendent des jours meilleurs.

La plupart des grottes touristiques se situent dans les provinces subtropicales du SW (Guizhou, Yunnan, Guangxi, Guangdong, Sichuan) et à l'Est autour des métropoles de Shanghai (Zhejiang) et Beijing (Hebei, région de Beijing, Shandong).

Dans le Guizhou, on connaît cinq cavités aménagées. L'une d'elle, la grotte de Bailong, s'ouvre dans la ville de Guiyang. Toutefois, la plus visitée de la province est la grotte de Longgong près d'Anshun qui mesure 4,5 km de développement. Elle possède une rivière souterraine et un abondant concrétionnement. Dajidong, près de Zhijin, est une grotte fossile de 2,6 km avec de grosses stalagmites de 30 à 40 m de haut. A Tongren, la grotte de Jiulong (1,7 km) renferme une grande salle et des stalagmites géantes de 20 à 40 m de haut.

L'une des grottes touristiques les plus remarquables de Chine est celle de Tianquan. Elle se situe près de Xingwen, dans le Sichuan méridional, non loin de la frontière avec le Yunnan et le Guizhou. Elle se développe dans les Permien sur 3,4 km de long ; elle possède une grande salle et surtout un aven géant de 500 m de diamètre sur 180 m de profondeur provenant de l'effondrement du plafond d'une immense salle.

La grotte aménagée de Yunshui se situe sur le territoire de la municipalité de Beijing, à Fangshan, soit 35 km au SW de la capitale. Elle mesure 570 m de développement et a la particularité de se développer dans les dolomies précambriennes du Sinien. Toujours dans la zone de Pékin, la grotte de Zhoukoudien (ou Choukoutien) s'ouvre dans l'Ordovicien et constitue un gisement paléontologique fameux avec des restes fossiles de mammifères et de *Sinanthropus*.

3. La conservation de l'environnement karstique

L'Institut du Karst de Guilin (Guangxi) a bien compris les problèmes liés à la gestion et à la conservation de l'environnement karstique dans les régions calcaires du Sud de la Chine. Des articles consacrés à cet aspect sont développés dans la revue "Carsologica Sinica" et dans d'autres publications. Cette problématique va de pair avec celle développée par l'Union Internationale de Spéléologie ("Man's impact in karst") et les divers colloques qui lui ont été dédiés, dont celui de 1990 tenu en Tchécoslovaquie et en Hongrie.

◇ **Villes et karsts** : Avec 2 millions d'habitants, l'agglomération de Guiyang (Guizhou) est la plus grande ville de Chine installée directement sur le karst : elle s'étend au fond d'un bassin d'aplanissement et commence à déborder sur les reliefs coniques des environs. L'important développement de la conurbation depuis vingt ans pose le problème de son alimentation en eau et de la protection de son environnement. Les cônes karstiques sont totalement pelés et désormais rongés par les carrières, et les eaux souterraines sont contaminées par les rejets (égoûts et industries). Des mesures sur l'aménagement et la protection sont discutées par LI XINGZHONG (1988).

En retour, le karst impose aussi ses contraintes, notamment pour la construction des bâtiments. Cet aspect est également bien connu à Guilin (Guangxi), autre grande ville construite sur le karst. Comme ces karsts de bassin sont couverts par des dépôts meubles (alluvions, limons), le pompage des eaux souterraines peut entraîner des affaissements. L'exhaure des mines provoque le même phénomène d'affaissement. Les tirs de mines sont aussi à l'origine d'effondrements dans les rizières comme à Liangwu (Guangxi) (TRICART, 1985, p. 58). Aussi les travaux de génie civil nécessitent-ils de multiples précautions : reconnaissances, sondages et traitements des vides par injection de béton.

◇ **Pollution des eaux et protection des grottes** : Nous ne reviendrons pas en détail sur cet aspect qui a été développé dans le chapitre 8 par B. Collignon. Rappelons que cette pollution s'effectue par l'exploitation des nombreuses veines de charbon et surtout par le rejet des égoûts et des effluents industriels dans les rivières et les cavités. On ne voit pas comment résoudre ce problème sans traitement des eaux, ce qui réclamerait

d'importants investissements.

La prise de conscience de la protection du milieu souterrain est réelle chez les karstologues chinois. En pratique, la grotte continue d'être pillée pour ses concrétionnements. De nombreux hôtels, dans de petites agglomérations comme dans des grandes villes (ex : Yichang/Hubei), présentent des aménagements (bassins, sculptures) à partir de stalagmites.

CONCLUSION

L'environnement karstique en Chine du Sud constitue l'un des milieux naturels du globe les plus soumis à la pression démographique en zone rurale, et parfois en zone urbaine (ex : Guiyang). Malgré le développement de l'agriculture en terrasses, l'intense déforestation accentue les crues de mousson d'été comme celles de juillet 1991 qui ont été meurtrières, comme à l'accoutumé, dans le bassin du Yangtse. Le reboisement reste timide en zone karstique et l'écobuage continue à se développer. De plus, les chiffres officiels sur l'évolution de la superficie forestière depuis 1949 ne semblent pas correspondre avec la réalité, et le parc forestier national tend à diminuer plutôt qu'à augmenter comme le souligne WU CHUAN-JUN (1990, p. 448).

L'érosion des sols demeure un problème dans l'ensemble de la Chine, et notamment en Chine du Sud, aussi bien en zone karstique que cristalline (XI CHENG-FAN, 1990). La protection des ressources naturelles et des terres

cultivées devient donc un des enjeux majeurs de la Chine en cette fin de vingtième siècle. Des milliers de km² de terres cultivées vont disparaître chaque année à cause de la pression démographique, de l'extraction du charbon en zone rurale, du développement urbain... Une nouvelle politique agraire devrait voir le jour, mais il faudra du temps pour en mesurer les résultats.

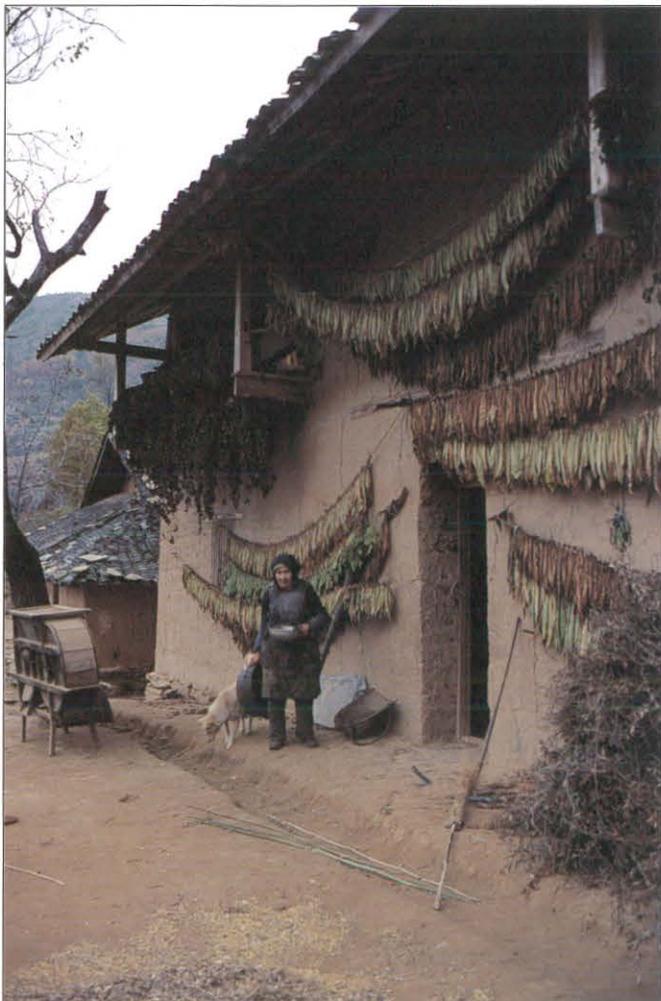
Aujourd'hui, le taux moyen d'ensemencement des zones cultivées est de 151 % pour l'ensemble du pays selon le "cropping index". Il est de 125 à 175 % dans les karsts de plateau du Yunnan et du Guizhou (parfois plus avec deux récoltes de riz par an), et peut atteindre 250 % au sud du Yangtse. Il est inférieur à 100 % au nord de la Grande Muraille en raison du climat plus rude (WU CHUAN-JUN, 1990).

Il existe aussi des disparités régionales inévitables au niveau du développement économique et des investissements. Les provinces karstiques de Chine du Sud sont généralement en croissance lente (Guangxi, Yunnan, Guizhou, Sichuan) à cause d'un cadre socio-économique pauvre longtemps fondé sur une agriculture traditionnelle de montagne. La croissance économique est moyenne dans le Hunan. Seules les provinces de Guangdong (ouverture sur la mer de Chine) et du Hubei (à la sortie des gorges du Yangtse qui est un noeud de communications) connaissent un développement relativement rapide. Les grands karsts de Chine du Sud pourront se développer que si l'on investit dans les voies de communications et le riche potentiel touristique constitué par ses grottes et ses paysages exceptionnels.

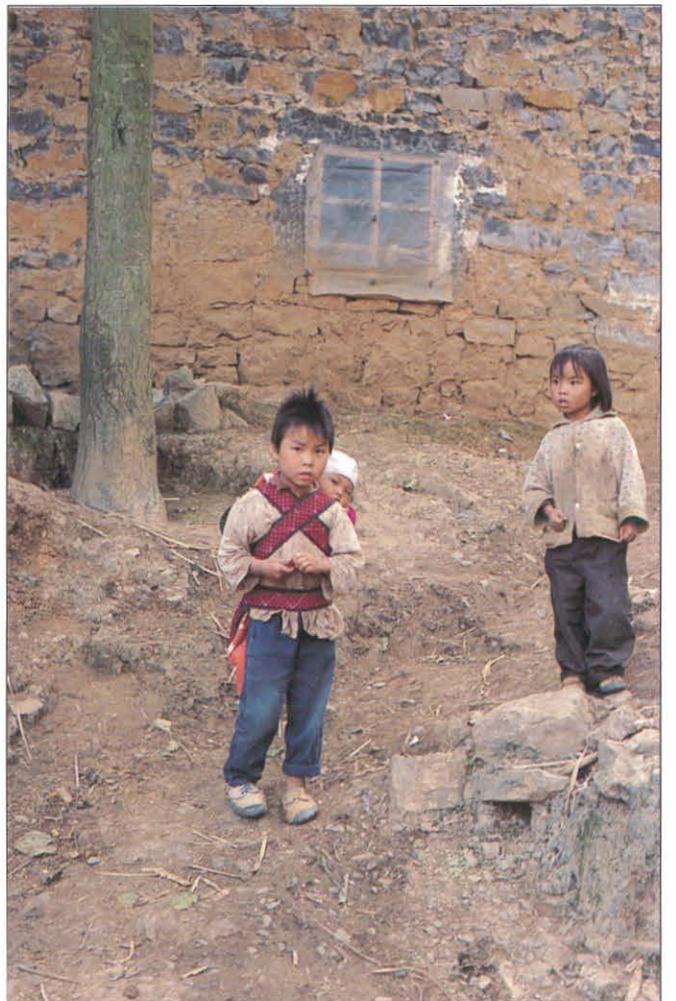




Découverte des campagnes chinoises... (JPBa) — *Discovery of the Chinese countryside...*



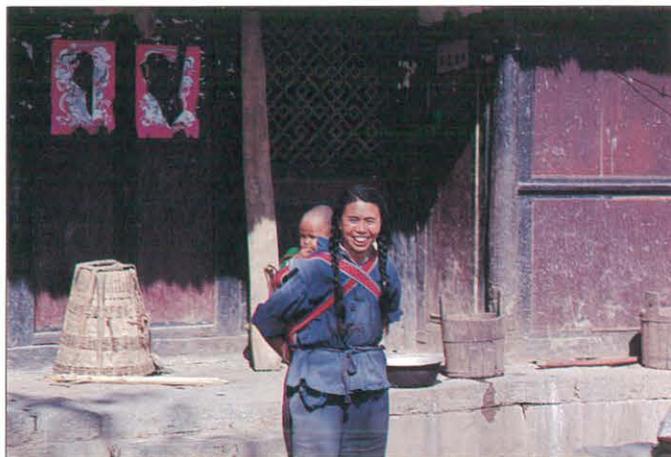
(JPB)



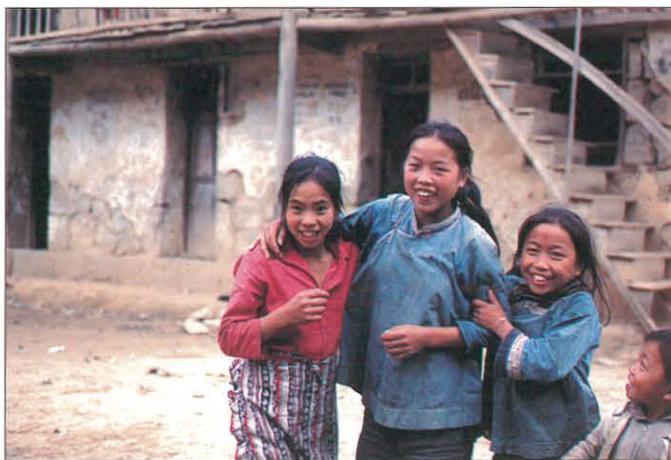
(JPBa)



(BC)



(JB)



(JPB)



(JB)

Troisième partie

VIE DE L'EXPEDITION

– Jean-Pierre BARBARY, Franck BARBARY, Pascale BOTTAZZI, Brigitte CHEVAILLER,
Herbert Daniel GEBAUER, Jean-Luc MOUDOUD, Denis VAN BERLEERE

RECITS ANECDOTIQUES DÉROULEMENT, VIE PRATIQUE CHRONOLOGIE NOTE SUR LA TOPOGRAPHIE BUDGET MATÉRIEL

Cher lecteur, si vous êtes encore là, voici la troisième et dernière partie de ce rapport. Celle-ci devrait inciter les scientifiques à descendre de leur "planète" tout comme la deuxième partie aura permis aux spéléos de décoller le nez de leur poignée jumar et des vis de plaquettes...

Après toutes ces pages où la découverte du karst chinois s'est faite par des tableaux, des chiffres, des schémas et une information des plus denses, levons un autre voile : celui de la dimension humaine de notre expédition.

Finis les mots barbares, finis les chiffres, parce qu'avant tout nos expéditions sont de belles aventures humaines. Nous allons essayer, au travers de ces quelques pages, de vous faire découvrir nos impressions, nos états d'âme lors de cette aventure. Alors cette troisième partie, c'est d'abord des récits bruts tirés des comptes-rendus journaliers. Mais c'est aussi tout l'aspect de l'organisation : déroulement, chronologie, budget, matériel...

Oui, nous publions même la liste du matériel ; cela peut paraître "bête", mais avoir un matériel adapté et rationnel ne s'improvise pas : c'est le résultat de notre expérience, de celles de nos prédécesseurs, de mille petits "trucs" vécus qui font le succès ou l'échec d'un projet de ce type, et les exemples sont nombreux...

Jean-Pierre BARBARY

Récits anecdotiques

Septembre 1986, la première expédition spéléologique franco-chinoise se réalise. Défi fou relevé. Ce sera un succès à tout point de vue et de solides liens d'amitié sont nés de cette aventure humaine. C'est pourquoi 5 partenaires chinois de l'Académie des Sciences de Pékin seront accueillis en France en juillet 87. Un mois de rencontres, de visites et surtout un travail intensif sur le rapport d'expédition, mais déjà dans nos têtes mûrit un nouveau projet.

C'est en janvier 1989 que la deuxième expédition est lancée. Il faut réunir le budget et surmonter les difficultés de l'organisation. Le projet a pris une dimension internationale. Paperasserie mais aussi entraînement sportif sont de rigueur car les points d'interrogation laissés en 86 cachent les rivières inconnues, il faudra les explorer...

Enfin le 20 octobre 1989, notre équipe de 14 spéléologues s'envole vers la Chine. Par les textes qui vont suivre nous espérons vous faire partager un peu de notre voyage ...

Lyon le 19 Octobre 89

«Salut, tchao, bon ben ... bon voyage, fait attention quand même.

Ouf, les portes du bureau se referment, me voilà en vacances pour deux longs mois ... Il ne me reste qu'une après-midi pour boucler mon sac... quelques heures seulement me séparent encore de l'évasion ! Excitation mais aussi fatigue et appréhension se mêlent dans mon esprit : demain je m'enverrai à nouveau pour la Chine. Je sais, pour l'avoir découverte un an plus tôt, les sentiments opposés que ce pays éveille en moi ; et nombreux de ceux qui l'ont parcourue pourraient vous le dire : on adore la Chine autant qu'on peut la haïr, tant elle n'est que paradoxes, merveilleuse et surnoise, si dangereusement belle ; cette sensation bizarre d'être attachée à cette terre, l'envie même pourquoi pas d'y vivre un jour et l'incompréhension puis l'ennui parfois ... Mais n'est-ce pas aussi ça la passion ?» (BC)

Vendredi 20 octobre 1989

«La nuit a été courte, trop courte ! Surtout avec la journée d'hier que nous avons passée à courir à droite à gauche afin de

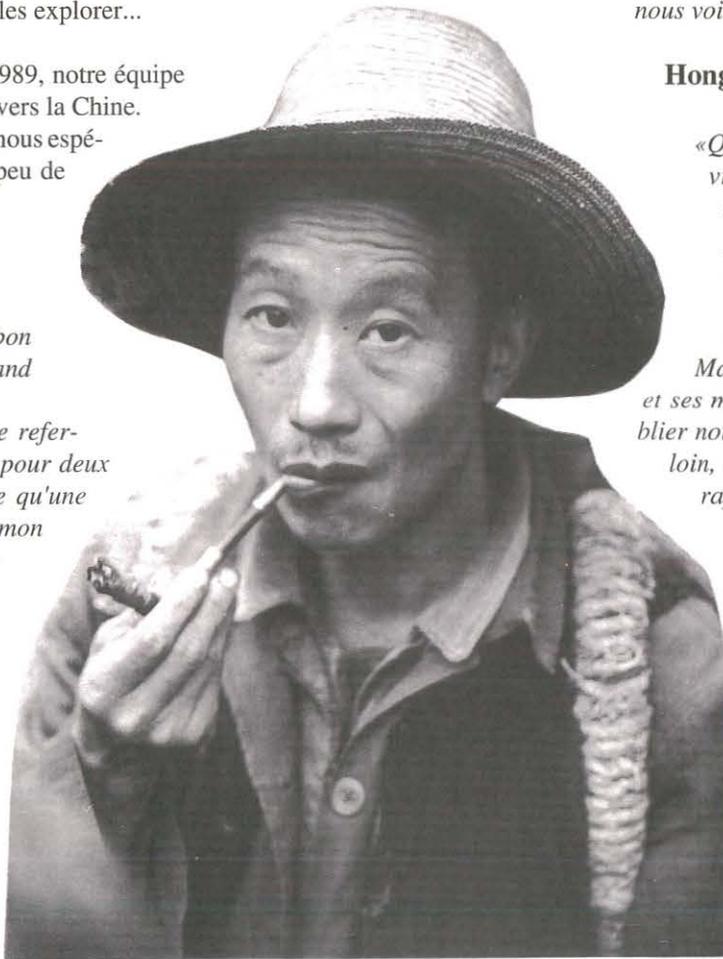
réunir les derniers équipements, derniers contacts téléphoniques, ne rien oublier, ne rien négliger... Le soir repas de famille... 23 heures dernier tri des paperasses, Brigitte recopie les adresses des sponsors ... argent ... pharmacie ... Jean Luc, Jean Paul et Franck partent "en bringue", pour eux la nuit sera inexistante. 1h du matin, voilà une autre partie de l'équipe qui arrive, Christian, Serge et Richard, quelques discussions encore, mais l'efficacité a disparu effacée par la fatigue et cette sale grippe qui me tient ! 5 h 30, nous bouclons les derniers sacs et prenons un bon petit déjeuner. Nous retrouverons les autres membres de l'expé à Paris, Pascale et Jean, Daniel, Claude, Bernard. A 7 h 00, nous arrivons à la gare où les amis nous ont rejoints, quelques photos pour la presse, les au-revoir toujours difficiles... et nous voilà enfin partis» (JPB)

Hong-Kong le 21 Octobre 89

«Quelle galère ces sacs ! On est vraiment lourd cette année avec nos trois sacs chacun (et plus pour certains) qui pendouillent tant bien que mal, devant, derrière... Attention le dos ! Les vacances commencent bien ! Mais Hong-Kong avec ses buldings et ses mille lumières nous fait vite oublier notre fardeau. La France est déjà loin, c'est fou comme on déconnecte rapidement de notre vie quotidienne et tant mieux : le coeur est léger, une impression de liberté nous grise...

Une grosse femme nous interpelle, elle veut nous loger dans son hôtel. Les copains négocient les tarifs, pourquoi pas ? Nous sommes finalement répartis dans plusieurs petits hôtels privés, mais tous dans la même tour. En fait, chaque appartement est transformé en mini-hôtel par la pose judicieuse de cloisons. Les chambres sont minuscules : juste la place du lit, une télé et un placard en hauteur, business oblige ! Après avoir déambulé tard dans les rues et croqué un hamburger (on trouve même ça bon !) je dormirai quatre heures comme un bébé, malgré le bruit incessant de la ville et la chaleur moite, étouffante.» (BC)

Les kilomètres qui défilent, nous menant de zones en zones, ne sont pas sans surprises et sueurs froides. En Chine, le transport est souvent une opération risquée : les chauffeurs, l'état des routes et leur encombrement (aussi bien de charrettes,



de camions et de bicyclettes), rendent coutumiers les accidents en tout genre. Pourtant, c'est au cours de ces longues journées que nous assistons au spectacle d'une activité humaine incessante. A chaque trajet, nous nous étonnons encore de cette façon de travailler la terre, de cette multitude de gestes ruraux inchangés depuis des siècles.

Les villes nous fascinent tout autant. Quel que soit le temps, les étalages se succèdent, aguichant grâce aux couleurs, aux senteurs. Les femmes tricotent avec dextérité, tout en marchant ou en regardant autour d'elles. A la rivière, d'autres lavent le linge ou les légumes. Les enfants portant leur cartable se poursuivent en courant, d'autres plus calmes jouent aux osselets ou bien recopient soigneusement des calligraphes. De la matière première au produit fini, un bric à brac circule dans les ruelles. Parfois passent les rémouleurs, les livreurs de cubes de charbon ; les cordonniers s'affairent aux cliquetis de leur machine à coudre. Des petites cahutes abritent les revendeurs de cigarettes, les réparateurs de montres, les vendeurs d'enveloppes. Quoi qu'il en soit les gens discutent entre eux ou attendent patiemment en fumant les yeux dans le vague. Les odeurs de fritures et de soufre se mêlent. Les bananes minuscules et savoureuses côtoient les montagnes de mandarines et les pamplemousses énormes dans leur panier d'osier. La viande, en gros tas rouge, est vaguement posée sur une bâche souvent à même le sol.

Toute cette agitation colorée nous fait presque oublier que les grandes villes sont grises et poussiéreuses avec leurs immeubles en construction qui semblent déjà vieux.

Nous arrivons dans le comté de Zhijin, notre première zone de travail où plusieurs objectifs intéressants laissés en 86 nous attendent. Parmi eux, le "petit" et le "grand gouffre" et le mystérieux réseau de Santang qui nous livrera encore quelques kilomètres de première arrachés à la boue. C'est durant les derniers jours de travail dans cette zone que nous explorerons la "grotte de la tête variolée" appelée en chinois Mawotou !

«La zone de Mawotou est située dans le prolongement de celle de Santang ; il suffit de dépasser le village et de poursuivre la route sur quelques kilomètres. La marche d'approche est un peu plus longue que d'habitude et les villages traversés encore

plus typiques du fait de leur isolement. Notre objectif est de visiter et comprendre les importantes remontées d'eau (60 m), dans le fond d'une doline. Nous sommes au complet, répartis en trois équipes ayant chacune une cavité à explorer.

Nous commençons à descendre le long du sentier tortueux serpentant entre les gros blocs de calcaires et les murets retenant des terrasses plus ou moins grandes, toutes cultivées. Le paysage qui s'offre à nos regards est constitué d'une falaise de près de 200 m au pied de laquelle s'ouvre une cavité repérable surtout par une surface brun clair, témoin d'un niveau d'eau boueuse noyant tout le fond de la demi-cuvette en

période de crue. Deux entrées supplémentaires se trouvent de chaque côté au-dessus de cette ligne. Nous nous divisons donc, chaque groupe formant une petite colonne de couleur vive sur la vaste étendue verte. Nous sommes trois, Daniel, Jean et moi, à nous diriger vers le porche de gauche presque caché derrière la végétation ; c'est le plus haut.

Un paysan souriant, assis à surveiller quelques buffles, nous demande par gestes combien nous sommes. Avec nos doigts, selon la méthode chinoise, nous indiquons les chiffres correspondants. Il ne faut pas se tromper, car ils comptent jusqu'à dix sur une seule main. Nous voici presque arrivés. Il faut passer le long d'une vire herbeuse très pentue, étroite et légèrement glissante, pour accéder à l'entrée. (en se gardant des ronces et des orties). Il n'est cependant pas nécessaire d'installer une main courante. Nous nous équipons en un temps record, et déjà, le bruit familier du compteur de la boîte topo résonne dans mes oreilles.

Voilà un premier embranchement ; à gauche l'eau court sur des galets, à droite un petit monticule d'argile beige et compacte doit être franchi. Derrière, un bol cassé atteste d'un passage ou d'une habitation probable de cette partie de la cavité. Un peu plus loin, nous descendons vers un passage plus bas de plafond. Tiens ? Faudrait-il ramper ? Et bien non : erreur d'appréciation des perspectives ; debout le casque ne racle même pas ; comme quoi, il ne faut pas se fier à nos années d'expérience en France, ici, pas de commune mesure !

Le sol que nous foulons porte les marques d'un fort courant d'air : les projections liées à l'impact des gouttes d'eau ont imprimé dans la glaise sèche des dessins triangulaires en direction de l'entrée. La topo file bon train, Daniel en



Photo 78 :
Marché du Guizhou - Market in Guizhou

avant reconnaît le chemin. Puis nous arrivons devant des passages plus techniques ; nous devons équiper... La galerie continue devant nous ; faut-il descendre ou rester au même niveau ? Nous décidons de traverser horizontalement. Le scénario se répètera plusieurs fois... et puis, il nous semble que cette fois, le passage est bien bouché. Nous sommes prêts à revenir sur nos pas lorsque Daniel, assis sur ses talons, nous déclare tranquille, que pour lui la suite est incontestablement au-dessus de nos têtes ! Surprise de petit Jean qui prend un peu de recul, écarquille les yeux, scrute, interroge la ligne sombre, et ma foi, s'engage dans une petite escalade et ... et oui, Daniel avait tout à fait raison ! Intuition, perception, pourtant Jean aussi est un sacré habitué des premières, mais là, il est sidéré. Tout content, il félicite Daniel et nous poursuivons notre chemin, ragaillardis. Nous sommes obligés de maintenir un cap et les points d'interrogation se succèdent sur le carnet de notes. Nous retrouvons une nouvelle zone de puits que nous laissons de côté ; les bifurcations se font nombreuses... mais... il y a dans l'air un petit quelque chose d'inhabituel et en même temps de terriblement familier. Nous ressentons tous cette sensation d'odeurs ténues, d'air tiède, et pourtant nous sommes toujours dans le noir ; il n'y a que nos lampes pour contrer l'obscurité, alors ?

Nous sommes un peu plus impatients, la curiosité nous aiguillonne, et quoi ? toujours rien... Nous cherchons le passage : il faut remonter, puis descendre, prendre le temps d'équiper, et là : ho ! des escaliers de pierre, sur une vire ! tiens tiens, quelle surprise ! Il nous faudra encore parcourir plusieurs dizaines de mètres avant de discerner une lueur vers laquelle nous convergeons. Oui, mais là, dans un virage, nous butons sur un ressaut de 10 m. Nous avons été trop vite ; puisque les Chinois sont passés, il doit y avoir une solution. Nous revenons sur nos pas.

Effectivement, dans un recoin, je découvre un passage entre les blocs, certaines prises sont lisses, patine témoignant de nombreuses allées et venues. Hé hé, nous voici au pied du ressaut de tout à l'heure. La galerie est très haute, très belle, ce secteur est particulièrement enchanteur, où allons-nous nous retrouver ? Nous montons une butte, vers la lumière. L'odeur de la végétation est plus distincte. A nos pieds, la

mousse, timide, recouvre le sol, remplacée bientôt par des plantes plus vivaces. Je ne sais où regarder, ne voulant rien perdre du nouveau paysage, sans pour autant piétiner cette végétation ténue, prémice de vie dans la caverne. Ho, à gauche, j'entends couler une cascabelle et là, dans cette lumière verte, des chants d'oiseaux ! Incroyable, c'est devenu tellement exceptionnel ici. Il se dégage de ce lieu une grande sensation de calme. Habituellement les bandes de gamins et d'adultes curieux nous entourent d'un brouhaha joyeux lorsque nous sortons. Quel contraste ! On se croirait sous d'autres cieux. Un

mur fortifié ferme l'enceinte et nous rejoignons, par une porte en arcade, l'oasis de verdure : ici, le temps semble se reposer alors qu'ailleurs l'automne s'est déjà installé. Nous débouchons à une extrémité de ce qui semble être un immense effondrement ; nous nous trouvons à mi-hauteur, encerclés de falaises. Une ligne électrique barre le ciel. Nous descendons lentement. Un petit cheval et deux vaches un peu farouches sont en train de pâturer. A travers les maïs, nous distinguons enfin des terrasses plus soignées où deux femmes en costumes cueillent leur récolte à la faucille. Elles nous ont aperçu et poursuivent leur travail en regardant un peu de côté. Nous essayons de leur expliquer notre présence incongrue et demandons le nom du village le plus proche, mais elles ne comprennent pas. En remontant rejoindre Daniel, nous repérons d'autres objectifs. Nous topographions encore une zone de puits avant de repartir. Une fois de plus, Daniel a repéré un point clé majeur lorsque nous faisons les relevés et me désigne sur son



Photo 79 :
 Equipement du puits de 370 m (Gebihe) - In the pitch 370 m

carnet un gros embranchement en insistant vaguement. Mais je ne prends pas sa proposition suffisamment en compte (à cause de la langue, de la fatigue, ou bien suis-je dépassée par ce nombre impressionnant de points d'interrogations ; il y en a de partout !). Bref, ce sera tout pour aujourd'hui.» (PB)

Le lendemain, ayant situé l'effondrement sur la carte, nous revenons sur les lieux. Une équipe prospecte la base des falaises et s'occupe d'une nouvelle séance photo.

«Tout d'abord, c'est un coin super. On a fait trois visées, un record ; en fait c'est une immense trémie infernale où il n'est

pas conseillé de séjourner longtemps. A priori, aucune suite n'est possible, tout est bouché par des énormes blocs. En ce qui concerne la photo, à voir avec les maîtres photographes. Découverte très intéressante, la science nous le confirmera, des espèces d'oeufs gélatineux...» (JLM, FB)

L'autre équipe continue la topo de la veille...

«Les trois mêmes reprennent la topo. Bon, alors cette fois, on y va à ce fameux passage. Nous y voilà. On descend sur quelques mètres ; tiens, nos voix se mettent à résonner étrangement et soudain, paf ! en plein dessus ! la rivière est là, à nos pieds ! Sous nos yeux, ronds, comme la section du boyau qui s'offre à nous, l'eau défile sans bruit. C'est fabuleux ! Moment d'extase, et puis :

- on va où ?

- il faut prévenir les autres.

Mais ils sont déjà loin derrière et nous n'avons qu'une boîte.

- Bon, alors, on y va ? Bien-sûr ! Nous choisissons l'aval qui semble plus praticable (nous n'avons pas de canots, et on part le lendemain)...

Passage un peu sur les côtés, l'eau semble profonde, on est plutôt en équilibre et... plouf ! la boîte topo vient de choir.

La "récup" se fait sans problème, le fil n'est même pas cassé et tout fonctionne comme si rien ne s'était passé, pratique ! (chapeau bas les Vulcains !). Nous progressons assez longtemps ; la galerie change davantage à une fracture. Nous avons pied, puis nous débouchons

dans une sorte de haute diaclase où les arrivées d'eau sont multiples. On se fait une idée de l'ensemble, rapidement, car il nous faut songer à rentrer. C'est fini pour ce coup-ci.

Une dernière surprise nous attend toutefois : de retour dans la galerie principale, Jean, comme convenu, prend le chemin de la veille de façon à récupérer l'équipement, et Daniel et moi revenons sur nos pas. Nous montons le premier ressaut le long de la corde en place, pour constater un peu plus loin, une fois arrivés devant la main courante, que celle-ci a été

déséquipée ! Trop tard pour rejoindre "Bozo" (I Z comme Zorro), il a pris trop d'avance, donc, on décide d'enchaîner avec la corde qui nous reste. Forcément, les copains ont cru bien faire et ont dû récupérer nos affaires à la sortie, on est parti un peu précipitamment en début de séance, sans mettre les choses vraiment au point ; mais ce n'est pas un gros problème, si ce n'est la perte de temps qui me sera nécessaire au rééquipement. Bref, nous sortons à la nuit tombée. Les villageois, toujours aussi aimables, nous guideront à la lampe torche dans le dédale de sentiers ; et nous arrivons enfin à la route et au mini-bus.» (PB)

Ce même jour, une autre équipe travaille plus particulièrement sur l'aspect scientifique dans la grotte de Ganlaodong (toujours dans le synclinal de Santang).

"Nous prélevons des échantillons de concrétions (pour les datations) au marteau et au carottier (prêté aimablement par J.J Delannoy). Celui-ci marche très bien mais consomme beaucoup d'eau : 15 litres pour une carotte d'environ 40 cm... ennuyeux quand on se trouve dans la "grotte où l'on ne prend pas l'eau"... Encore quelques analyses et nous repartons en carriole jusqu'aux mines de charbons. Un fantastique réseau de galeries creusées dans une petite veine de charbon. Conditions de travail effroyable on entend chuintier le grisou..." (BCo.)

Et pendant que nous terminons notre première zone de travail, Denis commence son long périple pour nous rejoindre ; attention le ci-

néma arrive !

2 novembre 1989 Hong-Kong

«88 kg à enregistrer plus bagages à main à 200 F le kilo d'excédant ... Il en compte 50 ! 10 000 F que Gérard me promet de revirer à mon compte dès demain. Départ avec 1 h 30 de retard, vol direct (11 h) luxueux ! Surclassé en business class : champagne, foie gras.



Photo 80 : Petit commerce - Small shop

Arrivée à Hong-Kong : un chauffeur m'attend avec pancarte TF1, Mercedes et téléphone dans la voiture pour appeler Olivari correspondant TF1 à Hong-Kong ("Ushuaia" aurait pu prévenir, ce n'est pas le boulot d'un consulat), tout s'arrange il est ok pour me laisser la voiture. Bureau de Cathay Pacific, bureau de British, dur à trouver : plein de problèmes à résoudre. Trop tard pour un bateau ce soir, à l'hôtel deal avec le chauffeur qui est ok pour revenir à 6 h demain.»

4 novembre 1991

«Le chauffeur me laisse au départ du Ferry, guichet en chinois surpeuplé, cohue pas possible avec 100 kg de bagages et seul c'est facile ! 8 h 15 départ hydro - 12 h arrivée à Canton. Pas de problème majeur au passage de la douane, longue palabre et longue paperasse, mais ça passe. Taxi pour la CAAC, objectif : avoir un billet pour Guiyang "as soon as possible". Pas de chance, pas de billet avant le 7.»

5 et 6 novembre

«Canton : problème, contacter l'expé avec pour seule indication Ziyun Gouvernement Office après 20 h. A 19 h je m'y applique. Mais comment trouver le numéro ? Le 12 n'existe pas bien-sûr et les opératrices ne parlent pas anglais et Ziyun est inconnu, même pas marqué sur les cartes. Après 2 heures de transfert, de palabres et de bip bip, de... j'entends Serge me parler en direct des douches municipales de Ziyun !!! Merveille de la technique ! Leur problème de billet retour n'est pas encore résolu, il faut que je règle ça de Canton.»

7 novembre 1991

«Départ de bonne heure pour l'aéroport. Trop tôt, le guichet n'est pas encore ouvert et le porteur est obligé de m'abandonner au milieu de l'immense hall. Toujours la même galère, seul avec 100 kg de bagages pour trouver le bon guichet au bon moment et pas une seule tête sympathique à qui faire confiance et qui baragouinerait 3 mots d'anglais. Quel monde ! Attente ... De guichet en guichet, je finis par découvrir que le vol de 11 h est reporté à 17 h 30. 6 h 30 à attendre et je ne peux même

pas aller pisser ! Vers 13 h., un Allemand et un Suisse se pointent, ils vont aussi à Guiyang, un autre vol à 14 h. Je force le passage et me fait prendre en "stand by" sur ce vol là, arrivée à Guiyang 15 h 30.» (DVB)

Les balades à l'extérieur sont aussi riches d'enseignement. Indissociables du paysage, les cavités s'ouvrent partout à nos yeux. Les paysans chinois les utilisent depuis des millénaires et c'est assez surprenant de constater à quel point elles sont

intégrées dans leur vie quotidienne. Il faut dire que les Chinois n'appréhendent pas les grottes comme des lieux où le noir et la peur règnent. Si ce n'est quelques légendes de dragon et les passages infranchissables sans technique adaptée, rien n'empêche les paysans de connaître leurs grottes et de les exploiter. C'est pourquoi les indications qu'ils nous donnent s'avèrent si précieuses.

«La jeep me casse le dos, je crois que c'est ce qui est le plus fatiguant en Chine : les transports, la conduite chinoise aidant ! Ouf, ça y est, je me rappelle que j'ai deux jambes et qu'il est agréable de s'en servir ! C'est cet étroit sentier se déroulant à travers des paysages de rêve qui nous mènera au coeur du pays Miao là où disparaît sous un porche majestueux la rivière Gebihe.» (BC)

Après notre halte au petit village de Gebong et l'exploration du superbe système de la Gebihe, il paraît

qu'une vieille femme Miao raconte cette histoire, le soir à la veillée...

« Ils sont arrivés un peu avant midi. Je ne savais pas de quelle province ils venaient, mais les gens de Beijing qui les accompagnaient m'ont dit qu'ils venaient de loin, de bien plus loin que les frontières. Je n'avais jamais vu leurs costumes multicolores ni les drôles de hottes fermées dans leur dos. En m'approchant un peu, j'ai pu voir leurs visages. Certains avaient les yeux bleus comme le ciel après les pluies d'été et un autre avait un nez très long ! Mais que venaient-ils faire dans notre village ? Ils se sont installés dans l'école pour dormir, quelle drôle d'idée !



Photo 81 : Vie quotidienne - Everyday life

Le premier soir, je suis allée à la maison du Directeur du village, ils mangeaient là. Beaucoup de monde était venu pour les voir. Je ne comprenais pas toujours les Hans qui parlaient... Mais j'ai su qu'ils venaient pour apprendre les grottes. Ils posaient beaucoup de questions. Je leur ai dit qu'il y avait bien longtemps que plus personne ne descendait dans le puits central pour ramasser les plantes de médecine et que les ponts de bambou montant aux fours à nitrate et aux nids d'hirondelle étaient presque tous écroulés. Ils m'ont dit qu'ils prendraient un autre chemin.

Le jour d'après, ils sont partis, hommes et femmes. Sur leurs nouveaux habits pendaient de nombreux appareils, je n'en connaissais pas l'usage. Le plus drôle, c'était leur bateau mou, juste assez grand pour qu'une personne puisse y tenir dedans. Certains allaient vers Dadong, la grande grotte, d'autres à la grotte de Gebong et d'autres encore à la grotte suspendue. En les regardant s'éloigner, je me suis souvenue de ceux qui avaient déjà essayé de percer le mystère de nos grottes. Quelques années en arrière, de jeunes hommes de la vallée sont restés 2 jours et 2 nuits sous la terre. Ce fut un voyage très dur, de nombreuses fois ils durent porter les barques en bois et de nombreuses fois ils tombèrent dans l'eau. De temps à autre, ils s'arrêtaient pour se reposer et se sécher près d'un feu. De longues colonnes de fumée montaient vers les voûtes invisibles. Par chance, le bois ne manquait pas, de nombreux troncs secs amenés par les crues d'été gisaient çà et là dans les blocs bien plus gros que la plus grande des maisons du village. Durant tout leur voyage, ils furent accompagnés d'hirondelles et de chauves-souris. Il y avait de grands lacs, calmes, puis des rapides assourdissants et encore des lacs. La rivière continuait son chemin et le temps passait... épuisés, affamés, les jeunes hommes ne purent atteindre le puits central où de très haut on aperçoit la rivière écumante. Mais qu'elle ne fut pas ma surprise de voir les étrangers descendre dans le puits central accrochés à une corde pas plus grosse que mes doigts. En moins d'une demi-journée, ils firent le même voyage que les jeunes hommes de la vallée autrefois.

Durant neuf jours, ils visitèrent toutes les grottes alentours. Quelques-uns ont aussi traversé le plateau jusqu'au village troglodyte là où ressortent les eaux de la rivière Gebihe. Souvent, le soir, ils rentraient bien après le milieu de la nuit. Au matin du dixième jour, ils sont partis vite, comme ils étaient venus; ils faisaient toutes les choses vite, comme s'ils voulaient rattraper le temps. Lourdemment chargée la colonne s'est éloignée du village. De nombreux villageois et tous les enfants couraient autour déçus de les voir repartir si vite. Peut-être reviendront-ils un jour ? »
(JPB)

13 Octobre, quelque part sur la route

Nous voilà à nouveau sur les routes et les campagnes du Guizhou sont déjà très loin. Pourtant de nombreux kilomètres nous séparent encore des provinces du Sichuan et du Hubei. Le premier mois de notre expédition s'achève et 8 jours de voyage nous attendent : bateau, train, bus, avec en prime la descente des gorges du Yangtse. Malgré un ciel désespérément gris, nous apprécierons l'immensité du fleuve roi et l'ambiance particulière qui règne sur le bateau et dans les ports.

A chaque arrivée dans les zones, le même scénario se répète : déchargement des 1000 kg de matériel, réception par les autorités locales... Nous découvrons l'hôtel où chaque soir, de retour d'exploration, nous apprécierons le repas et la douche, d'autant plus qu'il y faudra faire une première analyse et un premier traitement des données : des milliers de calculs qui aboutiront à la représentation graphique des cavités découvertes. Les séances photo et cinéma sont interminables car chacun rêve, tout en portant la caméra ou les éclairages, aux découvertes qu'il pourrait faire pendant ce temps précieux qui s'écoule inexorablement.

«Sept heures de prise de vue qui, je pense, satisferont notre cinéaste ; on verra bien le produit fini, mais que c'est chiant ! »
(Anonyme)

"Séance cinéma à Dadong avec le parapente !

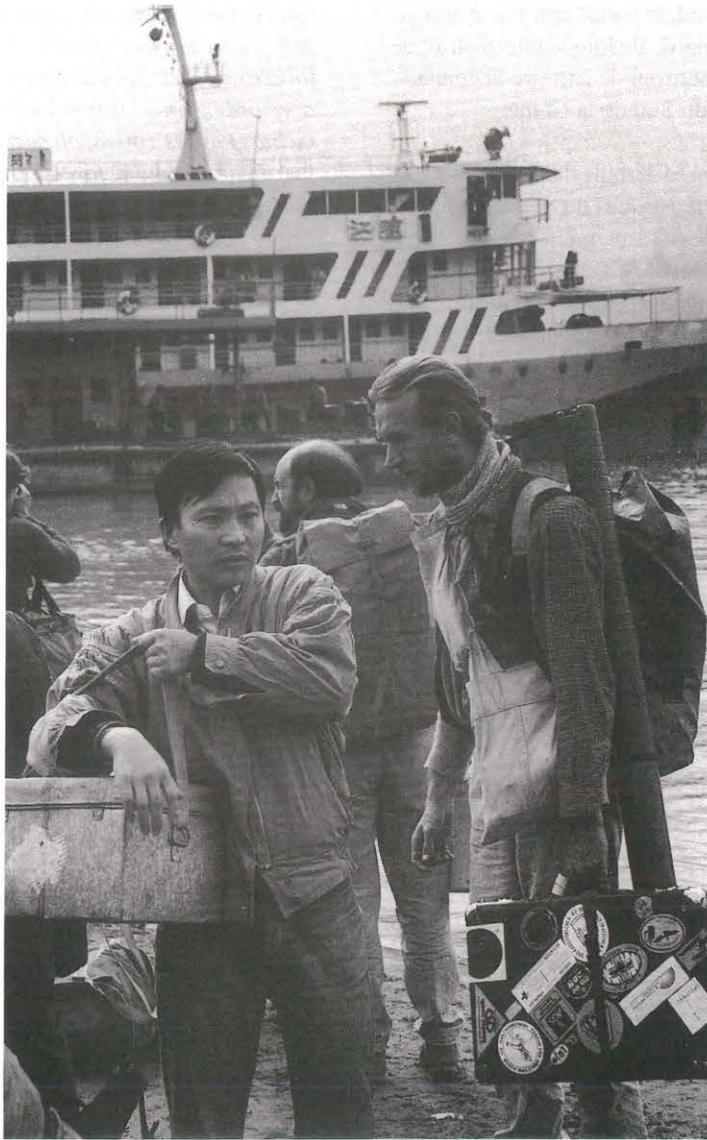


Photo 82 : Sur la route, encore ... On the road again ...

Au programme, débroussaillage, vol numéro 1 : très turbulent, vol numéro deux : calme ; vol numéro 3 : voile déchirée ; vol numéro trois et demi : "atterro" catastrophe près du lit de la rivière... c'était bien la peine de se traîner ce sac en plus pendant toute l'expée pour en arriver là ! » (JB)

Tous les matins, divisés en petites équipes autonomes, nous partons pour des objectifs différents et complémentaires : prospection en surface, exploration, photo-cinéma, sciences ... Nos 3 professeurs poursuivent assidûment leurs investigations. Ils cherchent à comprendre ce fabuleux karst et prélèvent de nombreux échantillons qu'ils étudieront en France. Emportés par l'enthousiasme de leur passion, le temps leur fait systématiquement défaut, surtout à Bernard, de loin le plus distrait de tous ! Ces savantes études permettront de parfaire la connaissance sur l'histoire géologique du Sud de la Chine.

La seconde partie de l'expédition se déroule dans des paysages plus familiers. Les pitons caractéristiques du Sud de la Chine laissent place à des reliefs massifs qui nous rappellent les Alpes. L'exploration de grottes verticales et profondes devient plus sportive. L'équipe est maintenant rodée et d'une efficacité surprenante. Les kilomètres d'exploration se succèdent, mais ne se ressemblent pas.

Aux puits jumeaux de Wufeng, on rêve au record de profondeur de Chine. Jour après jour, nous nous en approchons. Hélas, la météo et le manque de temps nous arrêteront tout prêt du but...

«Sortie cinéma pour prises de vues dans un puits... Chinois sur corde, Mister Zhang. Equipement du puits d'entrée où les cailloux mettent dix minutes à descendre !??? Après avoir fait pas mal de prises de vues, enfin nous descendons ce puits entièrement : 84 m, 5 fracs... Départ d'une galerie où, ho surprise, un courant d'air froid et aspirant nous promet peut-être de belles journées. Nous arpentons les conduites forcées où de petites rivières descendent en cascade...

Nous reviendrons demain sans cinéma !

Nous commençons la topo des premières galeries se trouvant juste après le puits d'entrée: la première mène à un autre puits, nous reviendrons. Notre objectif principal est de trouver la rivière qui nous permettra d'atteindre peut-être le collecteur... Nous serpentons à travers de petites conduites forcées où de petits ruisselets coulent gentiment (tant mieux car vu la configuration des lieux, il doit être vraiment malsain de se trouver par là quand les deux pertes fonctionnent !). Nous butons sur

un premier siphon que nous "shuntons" et passons une étroiture formée par des troncs coincés. Nous devons nous mouiller jusqu'à la ceinture, les boules ! Ce ne sera pas pour rien, car après 100 m, nous débouchons dans une grande salle avec au bout un puits sur faille ! Nous l'estimons à 100 m... La rivière se jette dedans et le courant d'air est toujours là. Mais il est tard "Môsieur" (17 h 30), il faut qu'on s'rentre...

Equipement du grand puits sur faille ; quelques problèmes avec les baudriers en sangle, il faut le dire haut et fort "c'est de la merde" ! Nous touchons le fond après deux heures d'équipement, 5 fracs auront été nécessaires pour éviter les embruns. Nous arrivons sur un éboulis qui barre la faille. Après une descente dans des blocs, un autre puits 25 m "plein pot". Nous suivons la faille en espérant recouper une conduite forcée ou même un autre puits. La topographie du puits nous a retardé, nous pensons arrêter... Nous continuons quand même et après 100 m, oh surprise, la rivière s'engouffre dans une belle conduite forcée entrecoupée de marmites... Nous nous arrêtons sur l'une d'elles qu'il faudra équiper. La suite est prometteuse et le courant d'air soufflant est toujours présent... Nous continuons notre chemin ; en suivant cette belle rivière, et passons en canot la marmite où nous nous étions arrêtés la veille. La suite sera du même calibre, nous posons plusieurs

mains courantes au-dessus des vasques et progressons aujourd'hui de 600 m avant de s'arrêter sur rien... Le soir nous calculons la profondeur atteinte: - 358 m.

Nous partons avec une grosse crainte, car il a plu la veille et la rivière doit être plus grosse, enfin on verra bien... Petit à petit dans le trou, bien qu'il y ait plus d'eau, la forme et le moral vont crescendo.... Nous arrivons au terminus de - 358 m en deux heures et attaquons la topo pleins d'espoir. Ça démarre bien par une succession de petites marmites que nous passons en vire. Malheureusement, au bout de 200 m, le plafond s'abaisse et le siphon apparaît inévitable juste au moment où nous venions de croiser un gros affluent sur la gauche....

Au retour, nous far-

fuillons quelques départs, mais le coeur n'y est plus ; nous déséquiperons et sortons à la nuit très, très déçus...» (JLM, FB)

Dans le réseau de Dadong, les découvertes s'enchaînent : grandes salles, fabuleuses concrétions de gypse, rivières enchanteresses...

«Ce matin, nous voilà partis pour explorer Dadong. Jean-Pierre et Daniel font équipe avec moi et nous suivons la gale-



Photo 83 : Traversée d'un village - Crossing the village

rie principale. Les dimensions, comme souvent dans ce pays, dépassent l'imagination, on ne voit même pas le plafond dans certains passages. Et le topofil tourne, tourne ; «ça usine» comme dirait Richard, un de nos chers professeurs ! Nous avons laissé derrière nous les autres équipes qui explorent des galeries secondaires. Nous avançons toujours et encore... dire qu'en France, on ne fera jamais ce genre de découverte ! Ces journées là, avec leurs kilomètres de découverte, nous récompensent de tout le travail et des soucis qu'engendrent la préparation de ce genre d'expédition lointaine. On se surprend même presque à courir, on chantonne... Soudain, de gros blocs

et des troncs d'arbres enchevêtrés témoignent des crues géantes que doit subir la rivière. La galerie descend, descend. C'est bizarre, l'ambiance a changé : plus austère, plus sombre, mais aussi plus mystérieuse, chacun donne libre cours à son imagination. On s'enfoncé toujours plus profondément dans les ténèbres. Dans ce lieu devenu un peu mystique, on ressent enfin l'ivresse d'être les premiers à découvrir ce sous sol vierge : "mais qu'est-ce qu'il y a derrière ?". On envie les explorateurs qui un jour découvrirent de nouveaux continents. Je passe la première pendant que mes deux coéquipiers farfouillent entres les blocs. Je suis comme envoûtée par cette galerie qui toujours plus noire continue... J'escalade les blocs, je goûte des sensations vraiment nouvelles que je n'ai jamais rencontrées ailleurs. "Fais gaffe, surveille où tu mets les pieds" me crie Jean-Pierre ! Et curieusement, je suis partagée entre l'envie d'attendre ou de continuer, de toute façon il ne tardera pas à me rattraper ! "Mince le passage se rétrécit". A nouveau tous les trois, nous devons finalement ramper... mais le courant d'air est toujours là... Ca devient vraiment étroit, il est déjà tard et nous sommes à 2 km de l'entrée ; le charme est rompu. Il faudra voir la suite demain. Mais quelle journée inoubliable ! De retour sous le porche d'entrée, un paysan nous a fait cuire des patates à la braise. Hum quel délice !

Doucement chauffée par ce petit feu, je ressens à quel point j'aime ce pays et ses hommes.» (BC)

Ces rencontres sur les chemins et au travers des villages sont des moments inoubliables où nous mesurons à quel point nos civilisations occidentales ont perdu à jamais certaines richesses. Nous savons déjà que nous ne serons plus comme avant, qu'il sera difficile d'oublier ces visages chaleureux, ces portes qui s'ouvrent, cette vie paisible et sereine des campagnes chinoises.

Dans une vallée perdue nichée dans les montagnes aux confins du Hubei et du Hunan en sortant de la grotte de Tanguangdong...

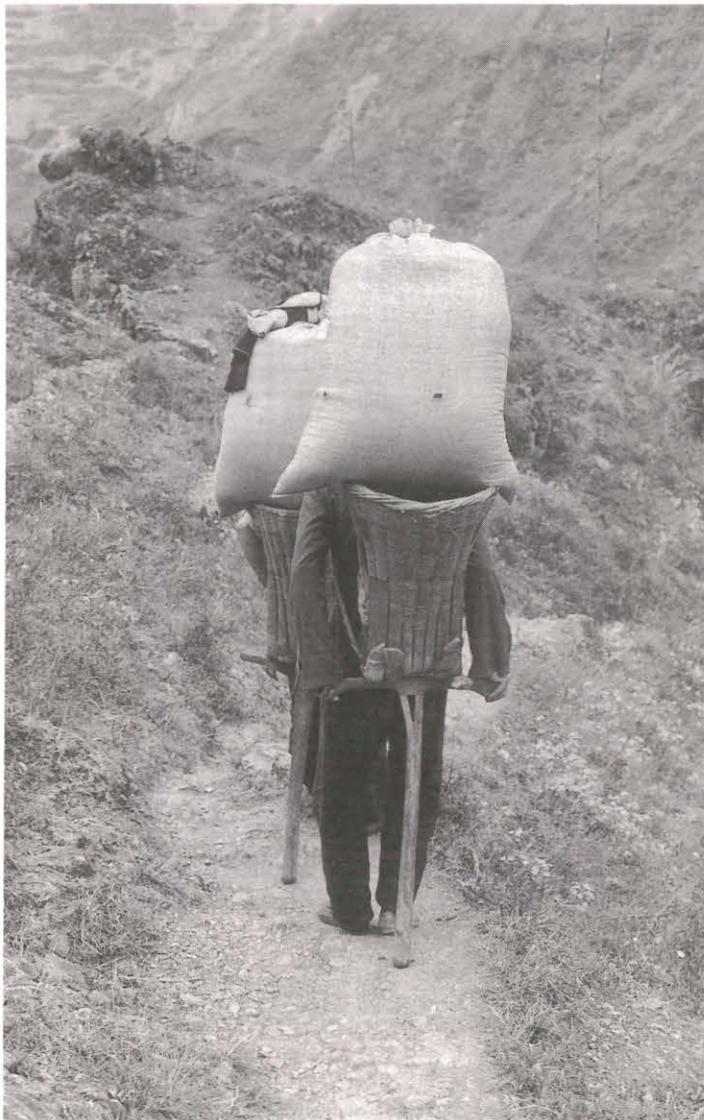


Photo 84 : Porteurs dans les montagnes du Daguang Shan (Sichuan).
Carriers in Daguang Shan mountains (Sichuan).

«Je vois le jour ! Ouf, après 7 heures passées sous terre, nous voilà à l'air libre. C'est pas dommage, car la progression était cette fois fatigante, en plus on a eu que des pépins avec le matériel topo !

Quelle heureuse surprise, nous sommes attendus à la sortie ! Quelques paysans curieux sont là. Je m'installe près d'une vieille femme pour me changer. Son visage est superbement ridé et ses pieds sont minuscules ; je ne peux pas dire son âge, mais elle a dû avoir les pieds bandés. Tout d'un coup, je me sens si proche de cette grand-mère qui est pleine d'attention pour moi. Malgré la barrière du langage, par les gestes, elle exprime son étonnement à me voir aller sous terre. Elle veut que je m'habille chaudement, que je mange... Mes bottes en plastique la font rire et son grand âge ne l'empêche pas de rester accroupie, position préférée des Chinois pour attendre ou discuter !

Mais il faut rentrer, les copains nous attendent. C'est difficile de la quitter, là comme ça : je voudrais tellement connaître sa vie, son histoire et celle de la Chine à travers elle... Je sais bien que je ne la reverrai jamais, cruel et tendre hasard des rencontres fugitives ! » (BC)

C'est dans le comté voisin de Hefeng que nous avons décidé d'effectuer une petite reconnaissance de trois jours pour une prochaine expé....

«Nous jetons un coup d'oeil à une entrée au bord de la route puis à ce qui semble n'être qu'une immense salle située juste sous la route près d'un champ circulaire. Ensuite, nous filons jusqu'à un village où se trouve un puits (une pierre lancée depuis le haut met deux minutes avant de toucher le fond!) qui devrait nous conduire, soi-disant, à un autre puits encore plus profond d'après les archives du XVI^{ème} Siècle... Equipement et topo avec Zhang Dachang... et déception : la suite semble bouchée depuis ou l'a toujours été, ou bien c'était ailleurs... Ensuite, un peu plus loin, nos guides nous conduisent à une perte et quelle perte ! Elle draine un très grand bassin d'alimentation et nous trouvons des galeries à l'amont comme à l'aval et aussi en falaise ! Le coin est très prometteur. Nous tirons 100 m de topo avant d'être arrêtés par un ressaut de 5 m qui domine un petit lac. Un peu avant, un autre ressaut suivi d'un lac nous laisse entrevoir la suite où il faut équiper. Le courant d'air est important ! Le temps nous manque, mais c'est un choix : nous sommes là en "reco" et non pas pour tirer le maximum de fil ; de toutes façons, nous reviendrons ! Nous repérons un petit poisson cavernicole blanc près de l'entrée.... Lors de notre retour, nous nous arrêtons et descendons par un sentier très raide dans le lit d'une rivière. Tout ceci pour accéder à un porche qui est une très belle résurgence. A l'entrée, une porte avec un arrondi et un reste de mur ; derrière, quelques lacsiphons au-dessus desquels nous passons sans problème. Quelques concrétions très blanches et toujours le courant d'air... La suite est une grande salle dans laquelle nous rejoignons la rivière que nous ne pourrions pas remonter faute de temps...» (PB)

La seconde partie de l'équipe est en reconnaissance dans le comté de Lichuan qui recèle la plus grande grotte de Chine, encore une "grotte du dragon"... Mais du "dragon volant" ! Le séjour trop court, l'équipe un peu malade, un peu démotivée par les trop longues heures de bus, le mauvais choix des objectifs, ne nous permettront pas de faire quelque chose d'intéressant. Seulement deux grottes visitées, une très intéressante et l'autre la "grotte du boa"...

«En fait de grotte du long serpent, c'est plutôt d'un serpent qu'il faut parler. Nous ne topographions pas plus de 250 m. Une branche queue sur éboulis merdique, une autre queue après un puits de 20-25 m sur des "boyaux" merdiques. Déçus de cette cavité, nous ne fouinerons pas trop dans les divers boyaux. Richard, à la remontée, ramassera quelques échantillons ; il était assez radieux, ce qui est bon signe quant à l'intérêt de ses échantillons...» (JLM)

Dernier jour dans le comté de Hefeng...

«Nous nous rendons directement après un long trajet jusqu'au village où une grotte est située au-dessus de la rivière. Un cinéaste nous accompagne ainsi que beaucoup de personnes du comté et du village. Beaucoup trop de monde d'ailleurs qui nous gênent pour les visées topo d'autant plus que nous essayons de récupérer le maximum de fil. Bon, au bout d'un moment, le passage devient moins haut de plafond et nous entamons la progression en canard. Il y a moins d'embrouilleurs ! La suite se rétrécit pour finir sur éboulis. La rivière rencontrée se perd rapidement dans des passages étroits... Le trou n'est pas très sympa. Nous tirons 750 m de topo sans trouver le passage qui, paraît-il, jonctionne avec un autre porche quelques mètres plus loin. Bof, on laisse une petite

galerie à courant d'air près de l'entrée car il est tard. A notre sortie, il commence à pleuvoir. Au retour, nous nous arrêtons une première fois pour apprécier une cascade qui dégringole d'un porche situé au-dessus de la rivière et qui semble très bien placé. Plus loin, nous apprenons qu'une grotte se développe sur plus de 10 km de long avec des galeries de plus de 100m de large. Nous restons méfiants. Une salle immense se situe non loin... A voir ? Dernier arrêt après un détour le long d'un affluent pour jeter un coup d'oeil à deux grottes perchées. L'une d'elle devrait faire 200 m, l'autre a été parcourue par les paysans chinois pendant plus d'une journée sans qu'ils en trouvent la fin. Nous rentrons à l'hôtel où l'autre partie de l'équipe nous attend. Christian est bien malade. Repas officiel avec le directeur du comté, très sympathique, visualisation du film réalisé pendant notre bref séjour, discours et cadeaux : de magnifiques petites sculptures de chevaux réalisées dans des calcaires fossilifères du Silurien : 400 millions d'années nous contemplant ! Superbe...» (PB)



Photo 85 :
Au détour d'un sentier ... - In the path

Mais déjà l'hiver arrive sur le comté des cinq montagnes. La nuit la température descend au-dessous de zéro. Nous savons que bientôt nous repartirons vers l'Europe en espérant ne pas avoir trop perturbé la vie de ces villages reculés.

Les résultats de nos deux expéditions le confirment : la Chine est bien le nouvel Eldorado des spéléos. Durant deux mois passés dans le Sud de la Chine, nous avons exploré 57 km de galeries, visités huit comtés, parcourus 6000 km par le train, le bus, le bateau...

Cette nouvelle expérience renforce encore notre passion pour la spéléologie d'exploration et à travers elle, comme un prétexte, la découverte d'autres lieux, d'autres hommes, d'autres coutumes. (JPB)

DEROULEMENT

Bénéficiant de l'expérience de notre première expédition, certains points importants ont été améliorés, apportant une meilleure organisation au déroulement de l'expédition.

Contrairement à l'expédition 86, cette année les différents changements de zones nous obligeaient à prendre des moyens de transport supplémentaires (avion, train, gros bateau, bus...) ce qui nécessita de nombreux chargements et déchargements. Il était important de pouvoir porter nous-mêmes tout notre matériel (même si certains dos ont souffert). Double avantage : le matériel voyageait toujours avec nous évitant ainsi les retards et limitant les pertes, nous forçant ainsi à calculer au plus juste le rapport poids/utilité (bien que cette fois encore nous aurions pu l'alléger de quelques kg superflus).

L'organisation sur les zones de travail a été la même : plusieurs petites équipes (environ 4 personnes) réparties sur plusieurs objectifs très précis. Chaque équipe était autonome sur le plan matériel (exploration, topographie) et sur le plan logistique (nourriture...). Toutes effectuaient la topographie en même temps que l'explo ; le soir, à l'hôtel, elles effectuaient leurs reports topographiques au propre et si possible résumaient par écrit le compte-rendu de journée. Contrairement à certains pays (Papouasie Nouvelle-Guinée...), nos explorations se faisaient à la journée, ce qui a l'avantage que les équipes après une bonne douche, un repas copieux et un gros sommeil sont prêtes à repartir le lendemain. Il est évident que certains objectifs ont nécessité le campement, notamment pour le site de la Gebihe. Ce fut nouveau par rapport à 1986 ; il est vrai que cela pose de gros problèmes d'autorisation et de logistique, c'est compliqué à mettre en oeuvre sur le terrain.

Par contre, pour la vie de l'expédition, cela apporte une touche différente et super importante, vivre quelques jours au contact direct des paysans ne s'oublie pas. Le fait de pouvoir bivouaquer est un gage important de réussite pour l'avenir, car plusieurs de nos objectifs futurs nécessitent de camper, sinon impossible de continuer l'exploration sur certains sites fantastiques. La conduite des chauffeurs chinois n'a malheureusement guère évolué, et, comme le trafic a par contre considérablement augmenté, le mode de transport bus ou jeep reste très dangereux et occasionne un stress et une fatigue importante.

Le vol a lui aussi malheureusement progressé (deux membres de l'expé se sont fait dérober leur argent dans leur chambre d'hôtel). Une nouveauté encore, l'apparition de dancing dans chaque ville moyenne ; nous y sommes allés surtout par curiosité... Dans les rues, les filles portent des bas noirs moulants. Les temps changent !

Cette année, malgré les événements du printemps de Pékin, nous avons eu une plus grande souplesse, ce qui nous a permis de bénéficier de plus de facilité, pour photographier, se promener et bien-sûr pour le film. Toute la logistique de l'expédition est organisée par nos collègues chinois de

l'Académie des Sciences, tâche très difficile (réserver les divers billets pour tous nos transports, réserver les hôtels, obtenir les autorisations d'accès aux zones, de filmer, de pouvoir effectuer le vol en parapente...) ; long travail nécessitant sûrement de nombreuses démarches et discussions. Malheureusement, et c'est là que le bât blesse, l'obstacle principal reste le budget démesuré si l'on tient compte du coût réel de la vie en Chine. Les deux parties en sont convaincues, mais seul le temps et les réformes guériront ces maux. (JLM)

CHRONOLOGIE

20 au 24 octobre :

C'est parti pour 4 jours de voyage : Lyon-Paris par TGV, Paris-Londres-Hong-Kong par avion, Hong-Kong-Canton par Overcraft, Canton-Guiyang par train et Guiyang-Zhijin en bus.

25 octobre au 2 novembre :

Explorations dans le Comté de Zhijin dans la province du Guizhou.

3 au 12 novembre :

Exploration dans le comté de Ziyun et reconnaissance pour 3 membres de l'équipe dans le comté de Pingtang du 10 au 12.

13 au 16 octobre :

4 jours de voyage marathon pour rallier le comté de Wuxi dans le Sichuan : Ziyun-Guiyang en bus Guiyang-Chongqing par train, la descente du Yangtse jusqu'à Fengjie, et Fengjie-Wuxi en bus.

17 au 22 novembre :

Exploration et reconnaissance dans le comté de Wuxi.

23 au 25 novembre :

Descente des gorges de la rivière Daninghe et des gorges du Yangtse jusqu'à Yichang et nous rejoignons le comté de Wufeng en bus.

26 novembre au 7 décembre :

Exploration dans la zone de Wufeng.

7 décembre :

Voyage en bus pour rejoindre le comté de Lichuan.

8 au 11 décembre :

Exploration et reconnaissance dans les comtés de Hefeng et Lichuan.

12 décembre :

Retour à Wufeng.

13 décembre :

Dernières explorations dans la zone.

14 décembre :

Wufeng-Yichang en bus.

15 au 17 Décembre :

Topographie d'une petite grotte destinée à l'aménagement dans le comté de Yichang, shopping et visite de la ville.

18 Décembre :

Train Yichang-Wuhan capitale du Hubei.

19 Décembre :

Wuhan-Canton en train.

20 Décembre :

Arrivée à Canton à 5 h du matin et départ pour Hong-Kong... A 8 h 30, nous quittons la Chine.

21 au 22 Décembre :

Tourisme à Hong-Kong et départ pour la France.

23 Décembre :

Arrivée à Lyon à 19 h...

INTRODUCTION

Durant une expédition lointaine, c'est dans un temps très court que doivent être topographiées des dizaines de kilomètres de galeries et ceci le plus parfaitement possible, car si quelques données semblent douteuses, on ne pourra pas aller les vérifier dimanche prochain... De plus, certaines cavités ne seront sans doute pas revisitées d'ici 50 ans... Jour après jour, des équipes topo de composition différente produisent toujours plus de notes. On se retrouve vite sous des montagnes de notes topo, des piles de dessins et des croquis en tous genres. Le temps pour traiter toutes ces données et pour dessiner se limite aux seules soirées qui sont souvent occupées par des actions de relation publique, des réunions pour définir les objectifs prochains et bien-sûr la réparation du matériel et des hommes...

Dans ces circonstances, les notes topo sont généralement stockées et travaillées par les topographes quelques jours après, et surtout quelques kilomètres après. Ainsi les souvenirs ont tendance à s'estomper, à se confondre, tant il est vrai qu'une conduite forcée ressemble à une autre conduite forcée, qu'un nom chinois entendu ressemble à un autre nom. Aussi seules les notes écrites sur ou sous le terrain resteront-elles les seules sources d'informations fiables.

Depuis le premier grand projet entrepris par les hommes, la construction des tours de Babylone, nous savons et pourtant négligeons que les problèmes de communication sont une source d'échec pour des entreprises de coopération. Une entreprise comme la nôtre doit posséder un langage commun pour pouvoir bien fonctionner.

Les notes topo qui ne peuvent être interprétées sont source de colère et de frustration.

HIÉRARCHIE DES DONNÉES

Pour démarrer, il faut utiliser une hiérarchie commune pour les données. Peu importe si celle-ci est : longueur, azimuth, pente, largeur gauche, largeur droite, hauteur dessus, hauteur dessous ou bien : 5, 2, 6, 7, 1, 3, 4, ! L'important c'est qu'elle soit toujours utilisée de la même manière pour faciliter l'interprétation et éviter les erreurs de calculs. Cette hiérarchie est généralement déterminée par les documents utilisés pour le stockage des données.

SYMBOLE COMMUN

Dans le cas d'une expédition comme la nôtre, les spéléos concernés doivent être assez généreux, pour refréner leur joli mais trop personnel dialecte de notation et le mélanger dans un dialecte commun ! Vu qu'il n'existe pas vraiment de symboles internationaux réellement adaptés, il faut prendre le temps de

discuter et de mettre au point des symboles et une légende qui seront publiés avec les topos. (fig. 116)

NUMÉROTATION DES STATIONS

Du "trou à rat" au grand système, chaque nouveau point de station doit être affecté d'un code le distinguant sans aucune équivoque des autres points. Cette petite phrase prend une signification proportionnelle à la complexité du réseau...

Il existe beaucoup de systèmes testés et utilisés, mais une seule numérotation "parfaite" qui trouve de plus en plus d'adeptes dans le monde. Elle est basée sur une numérotation des stations dépendant d'un numéro de série. Les grandes salades de stations homonymes peuvent être effectivement évitées. Jusqu'à 998001 stations peuvent être parfaitement distinguées avec seulement des nombres de série et de stations à trois chiffres. Dans l'exemple suivant 999/999, il peut y avoir 999 stations portant le numéro 1, mais elles seront toutes parfaitement reconnaissables grâce à leur numéro de série dont elles dépendent.

SENS DE LECTURE

Les recherches en sexologie nous disent que "tout ce qui est possible est normal". Alors, que l'on fasse des visées avant ou des visées arrières, peu importe. Mais encore une fois, pour éviter les mauvaises interprétations, le même sens de lecture devrait être utilisé tout au long de l'expédition et bien évidemment noté partout où cela est nécessaire. De lui dépend toute la topographie ; c'est l'anti-miroir !

TOPO 3 D

L'histoire de la spéléographie nous montre que différents supports ont été utilisés pour travailler et retranscrire toutes ces observations et mesures : gravures dans la pierre, grattages sur l'argile, peintures sur peaux, dessins sur parchemins, papiers, film... Aujourd'hui, les ordinateurs : la puissance de programme comme le Toporobot, le SMAPS, et un riche fond de données et d'aide à la réalisation permettent une utilisation aisée. Ces outils s'avèrent spécialement adaptés pour la création de topographie en trois dimensions. Celles-ci seront réalisables à l'unique condition que toutes les notations préalables aient été respectées et que les équipes de topo aient noté scrupuleusement toutes les dimensions nécessaires du point d'origine jusqu'au point final !

TYPE DE REPRÉSENTATION GRAPHIQUE UTILISÉ DANS LE RAPPORT

La topographie représente un objet en trois dimensions (la

grotte) projeté sur une surface plane (la feuille). Dans ce rapport nous utiliserons quatre types de projection.

◇ *Le plan :*

C'est une projection verticale avec un angle de -90° sur une surface horizontale, le nord indiquant le haut de la feuille.

◇ *La coupe développée :*

Certain spéléos "sportifs" préfèrent une vue simple où l'on peut voir tous les obstacles ; il s'agit de la coupe développée qui est une projection horizontale développée ne tenant pas compte des directions de galeries.

◇ *La coupe projetée :*

Pour bien appréhender la morphologie de la cavité, ses principaux niveaux de développements, son contrôle par la tectonique et la lithostratigraphie, il est nécessaire de définir une direction de projection. La cavité est maintenant projetée horizontalement sur un écran qui se trouve au nord de votre position de spectateur. Cette coupe projetée est symbolisée par $360^\circ/00^\circ$ qui donne le repère de direction.

◇ *La coupe projetée inclinée :*

Parfois certains aspects de la cavité ne peuvent être détectés sans l'aide d'une inclinaison de la projection. Celle-ci doit être définie quand la topo est terminée. Cette projection inclinée est symbolisée par sa direction et son inclinaison ; ex : coupe projetée de la Gebihe (chap. 2) $360^\circ/-20^\circ$.

MATÉRIEL UTILISÉ

Pour le relevé des mesures, nous avons utilisé comme à l'habitude des topofil vulcain et TSA, des compas Silva MB60 et Suunto, des clisimètres Suunto KB14, des altimètres Thommen 5000. 120 bobines de fil (coton 500 m) ont été nécessaires.

Pour la prise de notes, nous avons utilisé deux types de support.

◇ *Des feuilles de calque polyester* (indéchirables) sur de petits sous main qui se sont avérées très pratiques. Elles présentent l'avantage de pouvoir être classées directement dans le dossier respectif de chaque cavités, mettant ainsi à l'abri toutes les données relevées sur le terrain.

◇ *Les étonnants "survey books"* (Chartwell 2647) qui présentent une résistance remarquable dans presque toutes les circonstances. Un inconvénient, malgré tout, ces petits carnets d'une centaine de pages peuvent contenir des dizaines de kilomètres de topo dans des cavités différentes. Aussi, quand le carnet commence à se remplir, devient-il un véritable trésor qu'il vaut mieux éviter de perdre dans une fissure inaccessible ou dans un lac profond !

Pour le traitement des données, des calculettes programmables de type Sharp et Casio ont été utilisées. Nous avons aussi prévu un tube de protection avec sangle, pour les dessins terminés. Malheureusement celui-ci a fini son voyage sur une route au fin fond du Hubei. Profitant que la porte arrière du bus soit entrouverte, il a continué son périple chinois sans nous !! Des dizaines d'heures de travail envolées...

CONCLUSION

En bref, nous pouvons dégager quelques suggestions importantes. Avant de démarrer la topo, les annotations préalables suivantes doivent figurer impérativement sur le

carnet : nom de la cavité, localisation, date de la topo, équipe de topo, Nord, échelle, unité du compas et correction si nécessaire, unité du clisimètre et correction si nécessaire, sens des visées. Si l'on utilise un carnet : écrire toutes ces annotations au début de la nouvelle topo. Si ce sont des feuilles séparées, elles doivent figurer dans chacune d'elles.

Utiliser un système de numérotation des stations et des séries reconnu de tous et mis en oeuvre pendant toute l'expédition. Noter toutes les largeurs et hauteurs du premier au dernier point. (topo 3 D)

Dessiner le croquis à l'échelle et orienter avec des symboles reconnus de tous.

Tout cela peut paraître évident, mais il n'est pas toujours facile de l'appliquer dans le contexte très spécifique d'expédition de ce type. Néanmoins, une plus grande rigueur dans la topo permettrait de gagner des centaines d'heures dans ce travail colossal.

57 km topographiés, 50 cavités, 300 pages de relevés de notes, plus de 6000 stations, plus de 50 000 calculs, 100 représentations graphiques : voilà pourquoi la méthode doit être au point ! (HDG, JPB)

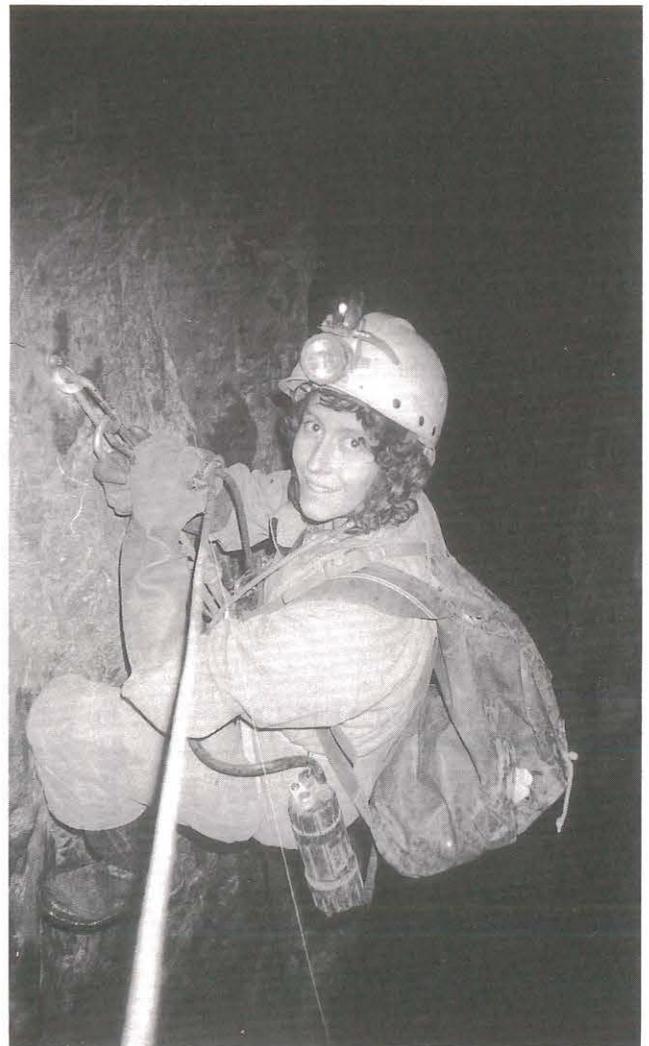
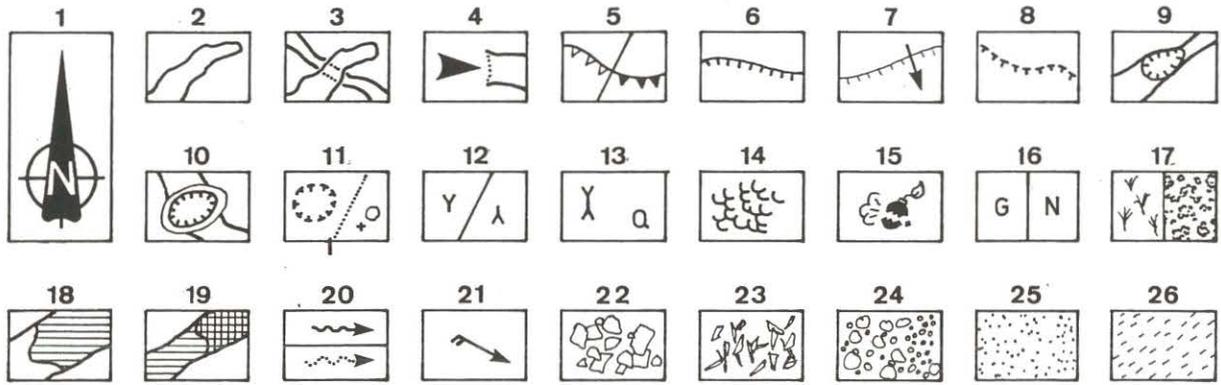


Photo 86 :
Le doux chant du topofil. *The sweet song of topofil.*



- 1 Nord magnétique 11/12 1989
- 2 Contours
- 3 Passage inférieur
- 4 Entrée
- 5 Verticale très importante-importante.
- 6 Ressaut vertical
- 7 Rupture de pente
- 8 Rupture de pente verticale du plafond
- 9 Puits

- 10 Puits d'entrée
- 11 Cheminée
- 12 Stalactite-Stalagmite
- 13 Colonne-Disque
- 14 Gours
- 15 Explosif...Danger
- 16 Gypse-Exploitation nitrate
- 17 Végétation
- 18 Lac

- 19 Siphon
- 20 Rivière pérenne-temporaire
- 21 Courant d'air
- 22 Blocs calcaires
- 23 Blocs de marnes
- 24 Galets
- 25 Sables
- 26 Boue

- 1 磁北 11/12 1989
- 2 洞穴轮廓线
- 3 下伏通道
- 4 进口
- 5 很大的及大的陡坎
- 6 陡坎
- 7 斜坡
- 8 顶板陡坎
- 9 暗竖井

- 10 地表竖井
- 11 顶板烟囱状竖井
- 12 石钟乳/石笋
- 13 石柱/穴盾
- 14 边石
- 15 危险的易爆物
- 16 石膏/硝坑
- 17 植被
- 18 水

- 19 虹吸管道
- 20 常年与间歇水流
- 21 气流
- 22 块石
- 23 片石
- 24 砾石
- 25 砂
- 26 泥

- 1 Magnetic North 11 / 12 1989
- 2 Passage limits
- 3 Underlaying passage
- 4 Entrance
- 5 Very big / big drop
- 6 Step
- 7 Slope
- 8 Roof shape
- 9 Interior pit

- 10 Surface Pit
- 11 Chimney
- 12 Stalactite / Stalagmite
- 13 Column / Disc
- 14 Rimstone
- 15 Explosives, Danger
- 16 Gypsum / Nitrate Works
- 17 Vegetation
- 18 Water

- 19 Siphon
- 20 Running, permanent/temporary
- 21 Aircurrent
- 22 Boulders
- 23 Slabs
- 24 Gravels
- 25 Sand
- 26 Mud

- 1 Magnetisch Nord, 11/12 1989
- 2 Raumbegrenzung
- 3 Unterlagerung
- 4 Eingang
- 5 sehr große / große Stufe
- 6 Stufe
- 7 Gefälle
- 8 Deckenstufe
- 9 Innenschacht

- 10 Außenschacht
- 11 Kamin
- 12 Stalaktit / Stalagmit
- 13 Tropfsteinsäule / Disque
- 14 Sinterbecken
- 15 Sprengstoff / Gefahr
- 16 Gips / Salpetergrube
- 17 Pflanzenbewuchs
- 18 Gewässer

- 19 Siphon
- 20 Gerinne, stetig / episodisch
- 21 Bewetterung
- 22 Versturzbrocken
- 23 Schieferverbruch
- 24 Geröll
- 25 Sand
- 26 Lehm

Figure 116 :
Légendes des symboles utilisés pour les topographies.
Legends of using symbols for the cave maps.

Budget-Matériel

DEPENSES		RECETTES	
Intendance logistique	283 261,01	Apport membres de l'expédition	175 220,00
Voyage	88 516,00	Financeurs	172 500,00
Matériel	20 263,72	Divers	5 266,00
Administration expédition	15 167,00	Autofinancement	105 444,60
Divers	21 226,05		
Remboursement	30 000,00		
TOTAL	458 433,78 FF		458 430,60 FF

TOPOGRAPHIE :

CALCULETTES	5
CARNET TOPO	6
PAPETTERIE DIVERS	1
TUBE DE TRANSPORT TOPO	1
KIT DE MARQUAGE	5
ALTIMETRE	3
TOPOFILS	7
CLISIMETRE	3
COMPAS	3
FIL TOPO	120
ALTIMETRE	3

SPELEO :

SHERPAS	16
BLOQUEURS	6
TAMPONNOIRS	6
COINCEURS	23
CORDE DYNAMIQUE	80
TROUSSES A SPIT	6
CORDE STATIQUE	1500
MAILLONS ZICRAL	198
MARTEAUX	6
MOUSQUETONS	71
PERFO	1
MECHES 12	2
CHARGEUR	1
SANGLE 28mm	140
MECHES 10	2
PILES	60
ACCUS NCR 20	12
TAMPONNOIRS HILTI	2
PITONS	12
PLAQUETTES	198
CHARGEUR UNIVERSEL	1
ANNEAUX	29
POULIES	10
ACCUS NCF 22	3

CHEVILLES SPIT 8	200
CHEVILLES HILTI 8	100
ACCUMULATEURS	3

RIVIERE :

GROS CANOTS	2
PETIT CANOTS	5
PALMES	3
CORDE FLOTTANTE	80
CORDELETTE D 5,5	35
HYDROSPEED	1
CORDELETTE D 3	350
GRAPIN	1
BAUDRIER RIVIERE	3
COMBINAISONS NEOPRENE	3

INTENDANCE :

KIT DE REPARATION	1
TONNEAUX 6l	8
CAMPING GAZ 360	8
LYOFILISE	48
TUBES DE MIEL 38g	38
RECHAUD ESSENCE	2
TUBES DE MIEL 250g	9
GOURDES	11
GAMELLES	1
TUPPERWARE	10

CADEAUX CHINOIS :

CHAUSSETTES	6
COMBINAISONS SPELEOS	6
THERMOS	5
DUVETS	6
GANTS	6
SURVIES LOURDES	3
BANANES	3
PORTE CARTES	3

MATERIEL SCIENTIFIQUE :

MARTEAU GEOLOGIE	1
POMPE DRAGER	1
AMPOULES DRAGER	50
pH METRE	1
KIT BACTERIOLOGIE	1
SONDE pH	1
KIT ANALYSE DES EAUX	1
MICRO ORDINATEUR	1
ANALYSE BACTERIO	1
CAROTTIER	1
MICROSCOPE	1

PHOTO :

appareil POLAROID	1
pellicule POLAROID	10
pel. PAPIER NB 4 5 6	8
pel. PAPIER NB 125	10
pel. DIAPO KODAK 200	19
pel. PAPIER FUJI 4 5 6	7
pel. DIAPO KODAK 64	60
pel. PAPIER 100VR 24	30
pel. DIAPO EKTA 200	5
pel. PAPIER 200 GOLD 24	20
ampoule FLASH AG3B	1000
pel. PAPIER FUJI 100	5

DIVERS :

SURVIES LEGERES	3
OPINELS	36
SACS ETANCHES	3
PARAPENTE	1

Conclusion

Tous ces résultats n'ont pu être atteints que grâce aux efforts conjugués des deux équipes, et notamment à l'efficacité de l'équipe chinoise qui avait préparé toute la logistique de l'expédition.

Dans chaque zone, nous avons reçu un accueil chaleureux des habitants comme des autorités. Certains comtés très intéressés par les résultats de nos travaux n'ont pas hésité à mettre à notre disposition la totalité de leurs faibles moyens logistiques et notamment des véhicules. D'autres n'ont pas saisi tout l'intérêt de notre travail et ont donné à nos échanges un sens uniquement commercial loin de favoriser nos investigations. Pourtant, les recherches sur le terrain peuvent apporter les connaissances de base nécessaires, d'une part à la compréhension et à la vision globale du karst, d'autre part à sa mise en valeur. Car dans ces régions fortement peuplées, la natalité, la désertification, l'épuisement des ressources naturelles et la pollution posent de sérieux problèmes aux conséquences difficilement mesurables. Aussi espérons-nous que ces travaux contribueront quelque peu à relever le défi auquel est confronté le pays.

Du point de vue spéléologique, cette seconde expédition semble ouvrir de nouvelles perspectives aux explorations car, outre les gigantesques et innombrables grottes-tunnels, nous sommes maintenant assurés que la Chine possède aussi des zones d'altitude à fort potentiel. Du point de vue scientifique, les champs de recherches dans le domaine du karst sont tout simplement à la dimension du pays, c'est-à-dire immenses...

Dans l'organisation, quelques points noirs restent à améliorer : la réduction du coût trop élevé de certaines prestations, l'accès aux cartes pour les deux équipes, l'assouplissement des contraintes de stationnement. Ces trois points importants conditionnent directement les travaux entrepris et leurs résultats ; aussi nous efforcerons-nous de les améliorer encore lors de notre prochaine collaboration. Aussi bien du côté chinois que du côté français, le financement est un des problèmes les plus délicats à résoudre. Malgré la qualité et l'utilité du travail entrepris, le pourcentage des financements extérieurs représente à peine 50 % du budget total de l'expédition !

Outre ce rapport et de nombreux articles publiés dans le monde, l'expédition, c'est aussi des images : avec le film de Denis Van Berleere, "Dans l'aven du dragon" primé au festival de Barcelone, des milliers de photos et diapos qui retracent cette aventure... Celle-ci se poursuivra par une nouvelle expédition qui concrétisera encore la collaboration que nous avons entreprise depuis bientôt 6 ans. Nous continuerons notre périple à travers ce karst fabuleux tout comme l'a fait il y a 400 ans le fameux géographe chinois Xu Xiake.

结束语

所有这些结果的获得只能归功于双方的共同努力。中国队还承担了考察队的全部后勤工作。

所到地区我们都受到当地居民及政府的热烈欢迎。在一些对我们工作十分感兴趣的县里，毫不犹豫地提供他们有限的后勤支持，特别是让我们支配车辆。但也有一些县没有真正认识到我们工作的意义。无论如何，我们的研究一方面提供了解喀斯特所需的知识，另一方面对其重要性作出评价。对这样人口稠密的区域来说，出生率、沙漠化、自然资源枯竭以及污染代表着后果难以估计的严重问题。希望我们的工作，至少是在某种程度上对这些挑战提起注意。

从洞穴学观点而言，第二次考察似乎开辟了除去考察巨大的及无数的管道洞穴以外的新前景，在中国高能量高程的地带，基于科学观点，与喀斯特有关的该研究领域

是绝对必须的。

就组织工作而论，几个方面有待改善：削减费用、双方应用的图件及临时的野外宿营，野外工作开展所取得结果直接与上述有关。在进一步合作中我们将继续努力去改善。

对中国和法国双方说来，筹集资金是最难解决的问题。尽管说该工作有质量及实用性，但筹集来的费用不到考察总预算的50%。

除了本报告及已出版的许多文章以外，考察成果还有在巴塞罗那洞穴电影节获奖的德尼先生的影片“龙的血脉”、资料片、数千张照片与幻灯片。在此之后将有新的一次考察，这将使从六年前开始的合作更为牢固。我们将继续自己的项目，象四百年前著名的中国地理学家徐霞客那样去发掘那些令人神往的喀斯特。

CONCLUSION

All these results could only be obtained thanks to the joint efforts of the two teams, and thanks to the efficiency of the Chinese team, who had prepared the complete logistics of the expedition.

In all regions, we were given a warm welcome by the inhabitants as well as by the authorities. In certain counties, where they became very interested in the results of our work, they did not hesitate to put the whole of their limited logistical means and, especially, vehicles at our disposal. In other counties, where the interest of our work was not realized, they attached solely commercial meaning to our exchanges and were far from favouring our investigations. However, our studies of the terrain could provide the basic knowledge necessary for the understanding and global vision of the karst on the one hand, and the evaluation of its significance on the other hand. For in these densely populated regions the birth rate, desertification, the coming to an end of natural resources, and pollution represent serious problems with consequences difficult to assess. We also hope that our work might, at least to some small degree, contribute to drawing attention to this true challenge confronting the country.

From the speleological point of view, this second expedition seems to open new perspectives for exploration : apart from the gigantic and innumerable tunnel-caves, we now know that China also has altitudinal zones of high potential. From the scientific point of view, the field of research connected with the karst is simply as huge as the country itself.

As far as our organisation is concerned, a few points remain to be improved: the reduction of the cost of certain extremely high charges; the access to maps for the two teams; and at least the exemption from restrictions relating to camp location. The work that can be done and its results, directly depend on these three important points. We shall continue in our efforts to improve them during future cooperation.

On the part of the Chinese as well as of the French, financing is one of the most delicate problems to be resolved. Despite the quality and utility of the work, the percentage of external funding is hardly 50 % of the expedition's total budget!

Apart from this report and numerous articles published around the world, the expedition also exists in pictures; together with the film "*Dans l'aven du dragon*" by Denis Van Berleere, which was awarded a prize at the Barcelona festival, there are thousands of photographs and slides which retrace this adventure .

This expedition will be followed by a new one which will render the cooperation which started nearly six years ago even more concrete. By this project, we shall continue the trip across this fabulous karst, that Xu Xiake, the famous Chinese geographer, began 400 years ago.

SCHLUSSWORT

All diese Ergebnisse sind nur der Zusammenarbeit der beiden Forschungsgruppen zu verdanken und der Tüchtigkeit des chinesischen Teams, das die ganze Logistik der Forschungsreise vorbereitete.

In jedem besuchten Bezirk sind wir sowohl von den Einheimischen als auch von den Behördenvertretern herzlich empfangen worden. In manchen Bezirken, wo die Letzteren an den Ergebnissen unserer Arbeit stark interessiert waren, haben sie nicht gezögert, uns die beschränkten logistischen Mittel, insbesondere Fahrzeuge, zur Verfügung zu stellen. In anderen Bezirken, wo wenig Interesse an unserer Arbeit bestand, legten die Behördenvertreter ausschließlich auf die finanzielle Seite unserer Zusammenarbeit Wert und kümmerten sich nicht um unsere Ergebnisse. In jedem Fall ergaben die Feldstudien grundlegende Erkenntnisse, die einerseits für das Verständnis und den globalen Überblick über den Karst, und andererseits zur Bewertung seiner Bedeutung nützlich sind. In diesen stark besiedelten Gebieten stellen nämlich Geburtenrate, Desertifikation, Erschöpfung natürlicher Ressourcen und Umweltbelastung schwerwiegende Probleme dar, deren Folgen nicht abschätzbar sind. Wir hoffen auch, daß unsere Bemühungen zumindest ein wenig dazu beitragen, daß die Aufmerksamkeit auf diese wesentlichen Herausforderungen, die an dieses Land gestellt werden, gelenkt wird.

Vom höhlenkundlichen Standpunkt aus besehen eröffnet diese zweite Forschungsreise neue Perspektiven auf künftige Forschungsvorhaben. Abgesehen von zahllosen und gigantischen Durchfluhöhlen bietet China auch Hochgebirge mit großem Potential. Vom wissenschaftlichen Aspekt her sind die zu untersuchenden Gebiete so immens wie das Land selbst.

Einige organisatorische Punkte können durch Beschneidung von bestimmten, extrem teuren Gebühren verbessert werden, durch Zugang zu Kartenmaterial für beide Arbeitsgruppen und durch zumindest teilweise Aufhebung von Restriktionen, die das Biwakieren regulieren. Die Arbeit, die geleistet werden kann und die daraus folgenden Ergebnisse stehen in direktem Zusammenhang mit diesen drei Punkten. Sie zu verbessern, werden wir uns im Zuge unserer zukünftigen Zusammenarbeit weiterhin bemühen.

Von französischer wie auch von chinesischer Seite aus ist das am schwersten zu lösende Problem die Finanzierung. Trotz der Hochwertigkeit und Nützlichkeit der erbrachten Leistung beträgt der Anteil an externer Finanzierung kaum 50 %!

Abgesehen von diesem Abschlußbericht und vielen anderen Publikationen, die weltweit veröffentlicht wurden, ist die Forschungsreise auch mit Bildmaterial dokumentiert. Zusammen mit dem Film "*Dans l'aven du Dragon*" von Denis Van Berleere, der einen Preis auf dem Festival von Barcelona erhielt, gibt es tausende von Fotografien und Diapositiven.

Diese Forschungsreise wird von einer weiteren gefolgt werden, um die Zusammenarbeit, die schon vor sechs Jahren begann, fortzuführen. Wir werden mit unserem Projekt weiterhin die sagenhaften Karstlandschaften schützen, wie es bereits Xu Xiake, der berühmte chinesische Geograph, vor 400 Jahren getan hat.

Jean Pierre BARBARY et ZHANG Shouyue

Bibliographie

- AUDRA (Ph.) - 1987 - Le karst du Guizhou : approche géomorphologique d'un karst chinois. *Mémoire de maîtrise*, 122 p., Inst. Géographie Alpine, Grenoble.
- BARBOUR (G. B.) - 1934 - Analysis of Lushan glaciation problem. *Bull. Geol. Soc. China*, vol. 13, 4, p. 649-656.
- BLUNDEN (C.) & ELVIN (M.) - 1983 - Cultural atlas of China. *Phaidon, Oxford*, 237 p.
- BRITISH CAVE RESEARCH ASSOCIATION - 1990 - Caves of Guangxi, China. *Cave Science*, vol. 17, n° 2.
- BONAVIA (J.) - 1985 - A guide to the Yangzi River. 192 p., *China Guide Series Limited, Hong Kong*.
- BULL (P. A.), YUANDAOXIAN and HU MENG YU - 1989 - Cave sediments from Shan Tower Karst, Guilin, China. *Cave Science*, vol. 16, 2, p. 51-56.
- CAI GUIHONG - 1988 - Agro-ecological environment in karst mountainous areas of South China. *Carsologica Sinica*, vol. 7, n° 1, p. 1-8.
- CAMBESSEDES (O.) - 1990 - Atlaseco de poche, édition 1990 (atlas économique mondial). *Ed. du Sérail*, 760 p. (Chine : p. 174-180).
- CASTANY (G.) et RICOUR (J.) - 1975 - Compte rendu d'un voyage en Chine (12-28/10/75). Rapport 76 DRE 001, *BRGM, Orléans*.
- CHEN CHEN-SIANG - 1984 - China : essays on geography. 379 p., *Joint Publ. Co., Hongkong*.
- CHEN JIAN - 1990 - Caves in China. *NSS News*, february 1990, p. 43.
- CHEN ZHI PING - 1986 - Karst zonation in China. *New Directions in Karst, Proc. of the Anglo-French Karst Symp., 1983, Paterson/Sweeting*, p. 591-596.
- CHEN ZHI PING, SONG LIN HUA & SWEETING (M. M.) - 1986 - The pinnacle karst of the stone forest, Lunan, Yunnan, China : an example of a sub-jacent karst. *New Directions in Karst, Proc. of the Anglo-French Karst Symp., 1983, Ed. Paterson & Sweeting*, p. 597-607.
- CHINA HANDBOOK - 1983 - Geography. 260 p., *China Handbook Series, Foreign Languages Press, Beijing*.
- COTTERELL (A.) - 1988 - China : a concise cultural history. *John Murray, London*, 339 p.
- DUSAR (M.) & ZHANG SHOUYUE - 1991 - East Yunnan 1991. *Service géologique de Belgique, Professional Paper*, 1991/4, n° 248, 40 p.
- EDITORIAL COMMITTEE - 1984 - Physical Geography in China. Paleogeography. *Science Press, Beijing*, 262 p. (en chinois)
- ELISSEEFF (D.) et (V.) - 1979 - La civilisation de la Chine classique. *Arthaud*, 629 p.
- EK (C.), GEWELT (M.) et ZHANG (S.) - 1989 - Carbon dioxide content of cave sediment sand, cave air in China. *Proceedings of 10th Intern. Congress Speleol., Budapest*, p. 63-64.
- FANG JINFU, SONG LINHUA, ZHANG YAOGUANG - 1985 - Study on the case hardening of carbonate rocks. *Carsologica Sinica, Guilin, IV, 4*, p. 341-348.
- FELIX-HENNINGSSEN (P.), ZAKOSEK (H.), LIU LIANG-WU - 1989 - Distribution and genesis of red and yellow soils in the central subtropics of southeast China. *Catena, Cremlingen*, vol. 16, p. 73-89.
- FOGG (P. & T.) - 1989 - China Caves Project 1987-1988 : the anglo-chinese project in caves of South China. (Inst. of Karst Geology/Guilin, Guizhou Normal University, British Cave Res. Associat.), 32 p, *China Caves Project*.
- FOGG (T.) et al. - 1989 - The Guangxi Expedition, China Caves Project 1988. *Caves & Caving*, 40, p. 4-9.
- FOREIGN LANGUAGES PRESS - 1989 - Atlas of the People's Republic of China. 114 p., *Foreign Languages Press, China Cartogr. Publ. House, Beijing*.
- GANTER (J.) - 1989 - Preliminary impressions of maps 4.2. *Compass and tape, Quarterly Newsletter* (Huntsville : Survey & Cartography Section of the NSS), Vol. 6, n°4, p. 28.
- GEOGRAPHICAL SOCIETY OF CHINA - 1984 - Geography in China. *Science Press, Beijing*, 222 p. (edit. by Wu Chuanjun et al.).
- GILL (D.) - 1990 - The three counties expedition, China Caves Project, 1989. *Caves & Caving*, n° 50, p. 8-12.
- GILL (D.), LYON (B.) and FOWLER (S.) - 1990 - The caves of Bama county, Guangxi, China. *Cave Science*, 17, 2, p. 55-66.
- GILLI (E.) - 1984 - Recherches sur le creusement et la stabilité des grands volumes karstiques souterrains. Thèse 3ème cycle, Univ. d' Aix-Marseille, 180 et 107 p.
- HELLER M. - 1983 - Toporobot l'ordinateur au service du spéléologue cartographe/Höhlenkartographie mit Hilfe des computers. *Stalactite* (Neuchâtel), Société Suisse de Spéléologie, (1), p. 9-21
- HUA JUEMING - 1983 - Founding. In "Ancient china's technology and science", p. 408-418, *Foreign Languages Press, Beijing*.
- INSTITUTE OF GEOLOGY (Academia Sinica) - 1989 - Advances in geoscience. *Contributions to 28th International Geological Congress, Washington (july 1989)*. 434 p., *China Ocean Press, Beijing*.
- INSTITUTE OF THE HISTORY OF NATURAL SCIENCES - 1983 - Ancient china's technology and science. 632 p., *China Knowledge Series, Foreign Languages Press, Beijing*.
- LEE (J. S.) - 1933 - Quaternary glaciation in the Yangtze valley. *Bulletin of the Geological Society of China*, vol. 13, 1, p. 15-48. (cf. 1934, 13, 3, p.395-431).
- LEE (K. Y.) - 1989 - Geology of petroleum and coal deposits in the North China Basin, Eastern China. *U. S. Geological Survey Bulletin, Denver*, n° 1871, 36 p.
- LIMAOQIU - 1981 - The deep karsts in Wujiang valley at Wujiangdu Dam site. *Actes du Congrès Intern. de Spéléologie, Bowling Green/USA*, p. 732-734.
- LIN YUSHI et al. - 1984 - Karst metasomato-reformationally, fractural tectonites, case history of Guilin karst region. *Carsologica Sinica*, vol. 3, n°1, p. 1-14, Institut de Géologie du Karst, Guilin.
- LIU LIJUN, LI YOUWEI, ZHU KANGREN, WANG ZHICHENG - 1985 - Karstification stages of mesozoic era and tertiary period in south Hunan, China. *Carsologica Sinica, Guilin*, vol. 4, 4, p. 307-314. (résumé en anglais).
- LIU TUNG-SHENG (édité par) - 1985 - Quaternary geology and environment of China. *China Ocean Press (Beijing) and Springer Verlag (Berlin)*, 301 p.
- LU YAORU - 1987 - Water resources in karst regions and their comprehensive exploitation and harnessing (China). *International Geomorphology*, 1986, part II, p. 1151-1167, *Edit. by V. Gardiner, John Wiley*.
- MAIRE (R.), PERNETTE (J. F.), RIGALDIE (C.), SOUNIER (J. P.) et al. - 1981 - Papouasie Nouvelle-Guinée. *Spelunca spécial, Féd. Fr. de Spéleo*, 48 p.
- MAIRE (R.) - 1990 - La haute montagne calcaire (karsts, cavités, remplissages, Quaternaire, paléoclimats). *Karstologia Mémoires*, n° 3, 731 p.
- MANGIN (A.) et BAKALOWICZ (M.) - 1990 - Le karst conique : sa genèse à partir de l'exemple du karst du sud de la Chine. *C. R. Acad. Sc. Paris*, t. 310, Série II, p. 301-307.
- MASSCHELEIN (J.) and ZHANG SHOUYUE (Edit. by) - 1990 - Teng Long Dong : the longest cave of China. *Report on the first belgian-chinese speleological exped. in 1988*, 46 p., *Belgian-Chinese Karst and Caves Assoc.*

- MEI ZHENGXING et YAN JINGMIN - 1985 - A preliminary study on cave pearl. *Journal of Guizhou Teachers University*, p. 23-32 (en chinois).
- MILLS (J.-P.) - 1985 - Petrography of selected speleothems of carbonate caverns. *Ph. D., Univ. Kansas*, 47 p.
- NICOD (J.) et SALOMON (J.-N.) - 1990 - Les mogotes : des reliefs karstiques résiduels litho-structuraux et/ou hérités. Comparaison des karsts tempérés et tropicaux. *Rev. Géomorph. Dyn.*, p. 15-38.
- NIE YAOPING - 1984 - A preliminary study and test on the dissolution of carbonate rocks in South Guizhou province. *Carsologica Sinica, Guilin*, vol. 3, 1, p. 38-44.
- PHAM KHANG - 1991 - Présentation des karsts du Vietnam. *Karstologia*, 18.
- QUINIF (Y.) - 1986 - Genèse des karsts à tours en pays intertropicaux : l'exemple du Bas-Zaïre. *Ann. Soc. Géol. Belgique*, 109, p. 515-527.
- ROBERT (M.), VENEAU et BERRIER (J.) - 1980 - Action des composés organiques sur la dissolution des carbonates. *Science du Sol*, 3, p. 231-245.
- RU JINWEN et al. - 1984 - Application of thermal remote sensing to study geology in vicinity of Guilin. *Carsologica Sinica, Guilin*, vol. 3, 1, p. 77-86.
- RU JINWEN et al. - 1985 - Application of satellite remote sensing and combining with geophysical informations to study of regional structural geology in northeast Sichuan province. *Carsologica Sinica*, IV, 3, p. 268-287.
- SCHALLER (G.) - 1989 - Noir ou blanc, l'avenir du panda géant ? *Terre Sauvage*, n°26, p. 16-29 (propos recueillis par Elena Adam).
- SILAR (J.) - 1990 - Article in "Proceedings of the International Conf. on anthropogenic impact and environmental changes in karst". *Studia Carsologica*, n° 2 et 3, Czechoslovak Academy of Sciences, Brno.
- SMART (P.), WALTHAM (T.), YANG MINGDE and ZHANG YING-JUN - 1986 - Karst geomorphology of western Guizhou, China. *Cave Science*, vol. 13, 3, p. 89-103.
- SONG LINHUA - 1986 - Karst geomorphology and subterranean drainage in south Dushan, Guizhou province, China. *Cave Science*, 13, 2, p. 49-63.
- SONG ZHENGHAI - 1983 - Water conservancy projects and knowledge of hydrology. In "Ancient china's technology and science", p. 236-249, *Foreign Languages Press, Beijing*.
- STUMMER (G.) - 1986 - : Bezeichnung der Vermessungspunkte.-Merkblätter zur karst und Höhlenkunde (Wien : Verband österreichischer Höhlenforscher), 2 Lieferung, D19.
- SWEENEY & BURNHAM - 1980 - *AAPG Bull.*, 74, 10, p. 1559-1570.
- SWEETING (M. M.) - 1978 - The karst of Kweilin, southern China. *The Geographical Journal*, vol. 144, 2, p. 199-204.
- TRICART (J.) - 1985 - Quelques aspects du karst en Chine. *Karstologia*, n°5, p. 53-60.
- TRUDGILL (S. T.) - 1985 - Limestone geomorphology. *Longman*, London, 196 p.
- VALLI (E.) et SUMMERS (D.) - 1990 - Chasseurs des Ténèbres. *Nathan Image*.
- WALTHAM (A. C.) - 1984 - Some features of karst geomorphology in South China. *Cave Science*, vol. 11, 4, p. 185-198.
- WALTHAM (A. C.) (edit. by) - 1986 - China caves " 85 (the first anglo-chinese project in the caves of south China). *Royal Geogr. Society, London*, 60 p.
- WAPLES - 1980 - *AAPG Bull.*, 64, 6, p. 916-926.
- WAPLES - 1982 - Organic geochemistry for Exploration Geologists. *Boston, International Human Resource Development Corporation*, 151 p..
- WEFFER (F. L.) - 1990 - Content definition and control for stage-4 Cave maps. -*ibid.*, 1990,7, (4), p. 3-23.
- WENG JINTAO - 1984 - The differential corrosion of calcites and dolomites. *Carsologica Sinica, Guilin*, vol. 3, 1, p. 28-37.
- WILLIAMS (P. W.) - 1972 - Morphometric analysis of polygonal karst in New Guinea. *Bull. Geol. Soc. Am.*, 83, p. 761-796.
- WILLIAMS (P. W.) - 1987 - Geomorphic inheritance and the development of tower karst. *Earth Surface Processes and Landforms*, vol. 12, p. 453-465.
- WU CHUAN-JUN - 1990 - Land utilization in China : its problems and prospect. *GeoJournal, Kluwer Academic Publishers*, vol. 20, 4, p. 347-352..
- WU YINGKE, LU DONGHUA & LIANG YONGPING - 1989 - Development and utilization of natural resources in karst areas of the Yangtze River Basin. *Carsologica Sinica*, vol. 8, n° 2, p. 107-116.
- XIA GANNIU - 1985 - "Le pipeau d'or" et "le bossu et l'enfant du bananier". In "l'esclave et la fille du roi dragon" (contes populaires chinois), *Ed. en langues étrangères, Beijing*, 134 p.
- XI CHENG-FAN - 1990 - Better land use and reclamation of the red soil hilly region of southern China. *GeoJournal, Kluwer Academic Publishers*, vol. 20, 4, p. 365-368..
- XU XIAKE - 1636/1637 - Le voyage de Xu Xiake. Ouvrage en chinois (éditions en 1928 et 1986, Beijing). (ouvrage relatant le voyage du précurseur de la karstologie chinoise dans les karsts de la Chine du SW).
- YANG MINGDE, ZHANG YINGJUN, SMART (P.) & WALTHAM (A. C.) - 1987 - Karst geomorphology of Western Guizhou, China. *Carsologica Sinica, Guilin*, vol. 6, 4, p. 344-352.
- YANG ZUNYI, CHENG YUQI & WANG HONGZHEN - 1986 - The geology of China. *Oxford University Press*, 338 p.
- YAO ZHENKAI, LIU YUANHOU, ZHU RONGBIN - 1986 - Types and characteristics of karst uranium deposits. *Carsologica Sinica*, 5, 2, p. 85-93.
- YUAN DAOXIAN - 1983 - Problems of environmental protection of karst area. 15 p., *Institute of Karst Geology, Guilin-Guangxi*.
- YUAN DAOXIAN - 1988 - On the karst environmental system. *Carsologica Sinica*, vol. 7, n° 3, p. 186-190.
- ZHANG SHOUYUE - 1986 - The tourist caves of China. *Actes du Congrès Intern. de Spéléologie, UIS, Barcelone*.
- ZHANG SHOUYUE - 1979, 1987 - Research of China karst. 336 p., 119 photos, *The Karst Research Group, Institute of Geology, Academia Sinica, Science Press, Beijing*. (en chinois).
- ZHANG SHOUYUE et BARBARY (J.-P.) - 1988 - Guizhou Expé 86. Première expédition spéléologique franco-chinoise. *PSCJA/Lyon et Institut de Géologie de Pékin (Academia Sinica), Spelunca-Mémoires*, n° 16, 108 p.
- ZHANG SHOUYUE - 1989 - Paleokarst of China. In "Paleokarst : a systematic and regional review", *Elsevier and Acad., Amsterdam and Praha*, p. 297-311.
- ZHAO SHUSEN, LIU MINGLIN et MA ZHIBANG - 1985 - Dating speleothems by the uranium series methods. in "Karst Geomorphology and Speleology", p. 102-108 (en chinois).
- ZHAO SHUSEN et LIU MINGLIN - 1988 - Les concrétions du Guizhou et les résultats de leurs datations U/Th. *Spel. Mém. : Guizhou Expé 86*, 16, p. 81-86.
- ZHOU JIAHUA - 1983 - Gunpowder and firearms. In "Ancient china's technology and science", p. 184-191, *Foreign Languages Press, Beijing*.
- ZHAO JIZHU - 1983 - Agricultural machines. In "Ancient china's technology and science", p. 419-428, *China Foreign Languages Press, Beijing*.
- ZHOU SHIYING, ZHOU DEHAO, LAO WENKE - 1988 - Calculation of karst denudation rate in peak cluster depression in Guilin area. *Carsologica Sinica, Guilin*, vol. 7, 1, p. 72-80.

A TOUS CEUX QUI NOUS ONT AIDE MERCI !

Aux comtés de Zhijin, Ziyun, Pingtang, province du Guizhou

Au comté de Wuxi, province du Sichuan.

Aux comtés de Wufeng, Hefeng, la ville de Lichuan et la préfecture de Yichang, province du Hubei.

Et tout particulièrement au village de Gebong et son directeur qui a mis sa maison à notre disposition, à tous les écoliers qui ont bien voulu nous prêter leur école, et à l'équipe de cuisine de l'hôtel de Ziyun.

NOS SPONSORS

Il est maintenant évident que des expéditions de ce type ne peuvent se dérouler sans l'aide massive de sponsors qui par leur engagement ont apporté cette année plus de la moitié du budget. La majeure partie d'entre eux était déjà présent lors de l'expédition de 1986, preuve d'une certaine confiance qui récompense notre travail dans cette direction.

Finances...

SODIME
VILLE DE VENISSIEUX
CAP XXI
EUROBINOX
CLUB DES JEUNES ANNEES
COMMISSION DES GRANDES EXPEDITIONS SPELEOLOGIQUES FRANCAISES (FFS)
COMITE SPELEOLOGIQUE RHONE-ALPES
SPELEMAT
COMITE DEPARTEMENTAL DE SPELEOLOGIE DU RHONE
CONSEIL GENERAL DU RHONE
NATIONAL NATURAL SCIENCE FOUNDATION OF CHINA

Matériel et prestations...

AGENA	(prêt d'un ordinateur portable)
BEAL	(tarif préférentiel)
BRITISH AIRWAYS CARGO	(frêt gratuit)
BURCKARD	(don de matériel)
CAMPING GAZ	(don de matériel)
CMID	(don de pellicules photo)
HAACH COMPANY	(don de matériel d'analyse d'eau)
INSTITUT PASTEUR LYON	(vaccination gratuite)
KODAK	(don de pellicules photo)
LYOFAL	(don de nourriture lyophilisée)
OPINEL	(don de couteaux)
PAPILLON	(don de miel en tube)
PATINOS	(don de pellicules et développement)
PCM FRANCE	(don de tonneaux)
PEGUET	(don de maillons rapides)
SPIT	(don de chevilles)

A TOUS NOS AMIS, SI NOMBREUX !

Pour leur dévouement, leur disponibilité et leur soutien ; et notamment :

JEAN-JACQUES DELANNOY , YANNICK PISTILLI , SPELEO CLUB D'ORSAY, SPELEO CLUB VULCAIN, PLONGEE SPELEO CLUB JEUNES ANNEES, RENATE KALMBACH, FRANCK EBERT, HENNES OBERMEYER, CLAUDE DUCROS, JEAN YVES BOSCHI, CAROLINE VON LENGERKE, ANDY EAVIS, JOSE BENAVENTE, YVES QUINIF, SYLVIE GIRERD, Mme et Mr PAJEAN.

Glossaire

Dans ce glossaire, nous essayons de donner une définition succincte permettant une meilleure compréhension de certains mots chinois et termes scientifiques utilisés dans les textes.

Termes chinois

Beijing : Pékin.
Changjiang : "Long fleuve" ou Yangtse "Fleuve bleu".
Da : grand (ex : Dadong = grande grotte).
Dong : grotte.
Dongqun : réseau karstique.
Fangtian : champs carrés.
Feng : mont, butte.
Fengcong : groupe de buttes.
Fenglin : karst à buttes, cônes ou pitons.
Fenglin-ouvala : fenglin associant dolines et ouvalas.
Fenglin-poljé : fenglin associant poljé et plaine d'aplanissement chimique.
Geng : une des deux grandes variétés de riz.
Guangzhou : Canton.
Gufeng : butte, cône ou piton isolé.
Han : principale ethnique chinoise.
He : rivière.
Huoyao : "drogue de feu" ou "médecine" s'appliquant à la poudre noire.
Jiang : rivière majeure.
Keng : gouffre.
Liang : unité de poids valant 50 grammes.
Long : dragon.
Luoshui : perte, ponor.
Miao : minorité ethnique chinoise présente notamment dans le Guizhou.
Mu : unité de surface représentant 0,066 ha.
Pinyin : transcription du chinois en caractères latins.
Qiao : pont.
Qiufeng : karst à buttes karstiques (mamelons) dont le diamètre est plusieurs fois supérieur à la hauteur.
Qiufeng-ouvala : qiufeng associant dolines et ouvalas.
Qiufeng-poljé : qiufeng associant poljés et plaines d'aplanissement chimique.
Shan : montagne.
Shilin : forêt de pierres.
Shiya : dent de pierre, lapiés.
Shui : eau.
Shujing : gouffre.
Tiaotian : champs en bandes rectangulaires.
Titian : terrasses cultivées.
Tujia : minorité ethnique chinoise présente surtout dans le Hubei et le Hunan.
Yuan : monnaie chinoise actuelle.
Xian : une des deux grandes variétés de riz.
Xiao : nitrate ou petit.

Termes techniques

Allotone (rivière) : en hydrologie karstique, rivière dont le bassin d'alimentation amont se situe en zone non carbonatée.
Altérite : terme général désignant le résidu d'altération d'une roche.
Allitisation : processus d'altération d'une roche silicatée, typique en zone tropicale, conduisant à la formation d'hydroxydes d'alumine avec perte de la silice (genèse des sols et croûtes ferrallitiques).
Benthos : ensemble des organismes vivant sur les fonds marins.
Calcin : type de concrétionnement de petite taille se développant dans les entrées de cavités, les abri-sous-roche..., avec participation biologique fréquente.
Case-hardening : processus de concrétionnement pelliculaire à la surface de certains reliefs karstiques en zone tropicale.
Chitonique : en micromorphologie, entassement des éléments avec ciment et vides intergranulaires.
Crackage (ou craquage) : transformation moléculaire des hydrocarbures par raffinage ou par diagenèse (sous l'effet de la température, de la pression).
Crypto-karst : karst évoluant sous une couverture (de sols, de roches...).
Crypto-lapiés : lapiés évoluant par corrosion (formes arrondies) sous une couverture de sols et/ou de sédiments. Les "forêts de pierres" ou shilin sont d'anciens crypto-lapiés repris par la dissolution externe.

Diagenèse : lente transformation mécanique et chimique des sédiments en roches sédimentaires par enfouissement (compaction, augmentation de la température, cristallisation...).

Dolmicrite : dolomie microcristalline (micritique).

Dolparite : dolomie macrocristalline (sparitique).

Engrenés (cristaux) : structure de cristallisation dans les roches et les spéléothèmes dans laquelle les cristaux s'interpénètrent à la manière d'un puzzle (syn = structure granoblastique pour les roches métamorphiques).

Epirogenèse : lent mouvement de soulèvement du continent.

Foudroyage : effondrement de la voûte d'une cavité naturelle ou d'une galerie de mine.

Géosynclinal : fosse sous-marine qui, par serrage, donnerait une chaîne de montagne.

Géfurique : en micromorphologie, éléments reliés par un ciment en pont (ex : ponts de calcite palissadique dans une brèche)

Ginkgo : arbres chinois fossiles remontant à l'ère secondaire. La seule espèce encore vivante est le *Ginkgo biloba*.

Indochinois (plissement) : orogénèse du Trias.

Leptospirose : parasitose que l'on peut contracter par les eaux souillées en matières fécales.

Méthémoglobinémie : affection du sang due à la pollution de l'eau en nitrates.

Microstromatolitique : structure cristalline en touffes et bandes ondulées de certains concrétionnements karstiques due à une participation de microorganismes (algues, champignons...).

Micritique : structure de cristallisation très fine pour les roches carbonatées (cristaux de 1 à 4 microns) et par extension pour les spéléothèmes (1 à 10 microns environ).

Mogotes : reliefs karstiques résiduels désignant généralement les buttes karstiques des régions tropicales.

Phytokarst : les concrétionnements phytokarstiques se développent dans les entrées des cavités chinoises et contiennent des algues (croissance vers la lumière).

Plasmique (structure) : structure amorphe de la matière minérale, sans orientation, visible au microscope sur des lames minces de roches, de spéléothèmes...

Porphyrique (distribution) : en micromorphologie, éléments (grains, graviers...) noyés dans un ciment ; on parle d'espacement à pas simple, double... pour la distance séparant les éléments.

Progradation : pour un delta, avancée progressive vers le large par alluvionnement.

Rhexistase : phase de déséquilibre (climatique et/ou tectonique) provoquant la destruction du couvert végétal et des sols (par opposition à biostase = équilibre de la végétation et des sols).

"Rougier" : terme peu employé désignant des sédiments rouges riches en hydroxydes de fer et d'aluminium provenant de l'altération de roches silicatées.

Saccharoïde : se dit de cristaux ayant la structure du sucre cristallé (type de structure macrocristalline).

Sparitique : structure de cristallisation à grands cristaux pour les roches carbonatées (10-20 à 100 microns) et par extension pour les spéléothèmes (10-20 à plusieurs centaines de microns).

Spéléothème : ensemble des concrétionnements souterrains.

Squelette : en micromorphologie (lame mince), le squelette désigne l'ensemble des éléments (grains de roches, fossiles...) séparés ou noyés par un ciment dont la microstructure peut présenter également un squelette (ex : ciment microbréche).

Sinien : Etage chinois du Précambrien supérieur (Protérozoïque supérieur) allant de 850 à 600-570 millions d'années.

Thénardite : minéral sulfaté proche du gypse.

Tillite : Dépôt morainique ou fluvioglaciaire ancien transformé en conglomérat, grès varvés (tillites du Sinien)...

Varisque (orogénèse) : importantes phases de plissement au Paléozoïque supérieur correspondant à l'orogénèse hercynienne.

Varvés (sédiments) : caractérisent des dépôts à structure rythmée, les couples de lamines ayant une signification climatique.

Vitrinite : constituant organique amorphe du charbon.

Yanshan (tectonique de) : orogénèse polyphasée du Jurassique à l'Eocène responsable des principales structures plissées des karsts de Chine du Sud.

Table des matières - Contents

PREFACE (Jean NICOD)	p. 4		
AVANT-PROPOS	p. 5		
INTRODUCTION :	p.7		
DESCRIPTION PHYSIQUE GENERALE			
<i>General physical description</i>			
PARTIE 1 :	p. 17		
ETUDES REGIONALES			
(GUIZHOU, SICHUAN, HUBEI)			
<i>South China karsts (Guizhou, Sichuan, Hubei)</i>			
Chapitre 1 :	p. 20		
Karsts et cavités du comté de Zhijin (Guizhou)			
<i>Karsts and caves of Zhijin county (Guizhou)</i>			
Présentation physique	p. 22		
Description des cavités	p. 26		
I. Les cavités du synclinal de Guanzhai	p. 26		
II. Les cavités du système de Santang	p. 30		
III. Les cavités du système présumé de Zhulingkeng	p. 39		
Chapitre 2 :	p. 42		
Le système de la rivière Gebihe (comté de Ziyun, Guizhou)			
<i>The Gebihe system, Ziyun county (Guizhou)</i>			
Présentation physique	p. 44		
Le système de la Gebihe	p. 49		
A. Le réseau amont	p. 49		
B. Le réseau aval	p. 53		
Chapitre 3 :	p. 55		
Reconnaissance dans le karst du comté de Pingtang (Guizhou)			
<i>Karst of Pingtang county (Guizhou)</i>			
Présentation physique	p. 56		
Présentation des cavités	p. 59		
Chapitre 4 :	p. 61		
Karsts et cavités du comté de Wuxi (Sichuan)			
<i>Karsts and caves of Wuxi county (Sichuan)</i>			
Présentation physique	p. 63		
Description des cavités	p. 69		
I. Les cavités de la zone de Tongchengba	p. 69		
II. Les cavités au nord de Wuxi	p. 73		
III. Les cavités de la paroi ouest du Daguan Shan	p. 75		
IV. Les cavités à l'ouest de Wuxi	p. 75		
Chapitre 5 :	p. 80		
Karsts et cavités du comté de Wufeng (Hubei)			
<i>Karsts and caves of Wufeng county (Hubei)</i>			
Présentation physique	p. 82		
		Description des cavités	p. 86
		I. Le système de Longdong	p. 86
		II. Le système grotte du Général/Puits est-puits ouest	p. 93
		III. Autres cavités	p. 99
		Chapitre 6 :	p. 101
		Karsts et cavités du comté de Hefeng (Hubei)	
		<i>Karsts and caves of Hefeng county (Hubei)</i>	
		Présentation physique	p. 103
		Description des cavités	p. 106
		I. Le système de Yanziping	p. 106
		II. Le système du poljé de Taiping	p. 108
		III. Autre cavité	p. 111
		Chapitre 7 :	p. 112
		Comtés de Lichuan et Yichang (Hubei)	
		<i>Lichuan and Yichang county (Hubei)</i>	
		I. Le karst du comté de Lichuan	p. 114
		II. Reconnaissance dans le comté de Yichang	p. 116
		PARTIE 2 :	p. 117
		ETUDES SCIENTIFIQUES THEMATIQUES	
		<i>Scientific studies</i>	
		Chapitre 8 :	p. 118
		Etudes hydrochimiques et bactériologiques	
		<i>Hydrochemical and bacteriological studies</i>	
		I. Synthèse de l'étude hydrochimique	p. 122
		A. Présentation des méthodes analytiques	p. 122
		B. Faciès chimique des eaux du karst chinois	p. 122
		C. Faciès chimique et nature géologique des aquifères	p. 124
		D. Saturation des eaux et taux d'ablation spécifique	p. 126
		E. Remarque sur les eaux de condensation	p. 126
		II. Etude de la qualité bactériologique des eaux karstiques	p. 127
		A. Echantillonnage et méthodes analytiques	p. 127
		B. Résultats	p. 127
		C. Conclusions	p. 127
		Chapitre 9 :	p. 132
		Les remplissages karstiques	
		<i>The cave sediments</i>	
		I. Les concrétionnements karstiques	p. 134
		A. Les morphologies cristallines des spéléothèmes	p. 134
		1. Les fabriques cristallines	p. 134
		2. Les structures ou séquences de cristallisation à participation biologique	p. 135
		3. Les structures oncolitiques et les perles	p. 138

4. Les structures en mosaïque	p. 138
B. L'altération et la contamination détritique des spéléothèmes	p. 138
C. Composition chimique	p. 140
D. Datations U/Th des spéléothèmes et travertins	p. 140
II. Les remplissages détritiques indurés	p. 143
A. Les conglomérats fluviaux	p. 143
B. Les dépôts bréchiques	p. 145
C. Signification des remplissages indurés	p. 145
III. Un exemple de séquence endokarstique : la coupe de Dadong (Wufeng/Hubei)	p. 146
A. Levé et description de la coupe	p. 147
B. Signification géomorphologique et paléoclimatique	p. 147

Chapitre 10 : p. 150

Les types de systèmes karstiques

The types of karst systems

I. Les systèmes karstiques	p. 152
A. Les facteurs géologiques	p. 152
B. Les grands types de systèmes karstiques	p. 152
II. Les grands vides karstiques	p. 155
A. Les grandes salles	p. 155
B. Les puits profonds	p. 155
C. Les avens géants	p. 157
III. Genèse des systèmes karstiques	p. 157
A. Formation des grands vides souterrains	p. 157
B. Rôle du régime hydrologique et du niveau de base sur la spéléogenèse	p. 160

Chapitre 11 : p. 162

Genèse des karsts de Chine du Sud

Morphogenesis of South China karsts

I. Les conditions actuelles de la karstification	p. 165
A. La dissolution différentielle	p. 165
B. Les conditions de l'altération	p. 165
C. La dissolution spécifique	p. 167
II. Morphologie et genèse du relief karstique tropical	p. 167
A. Types morphologiques des karsts de Chine du Sud	p. 167
B. Genèse des morphologies à fenglin et qiufeng	p. 167
III. Les formations rouges du Crétacé-Eocène	p. 170
A. Caractères des formations rouges	p. 170
B. Signification des formations rouges	p. 174
C. Altérites et crypto-karsts	p. 174
IV. Schéma de l'évolution du karst depuis le Précambrien	p. 178
A. La karstification au Précambrien	p. 178
B. La karstification au Paléozoïque	p. 178
C. La karstification au Mésozoïque	p. 179
V. Karstification et surrection au Cénozoïque	p. 180
A. Problématique générale	p. 180
B. Genèse des grottes-tunnels étagés	p. 182
C. Le karst quaternaire et l'influence périglaciaire	p. 183
VI. Approche des milieux karstiques de Chine du Sud par télédétection	p. 184

Chapitre 12 : p. 187

Evolution de la matière organique comme indicateur d'érosion

Evolution of organic matter, indicator of erosion

I. La matière organique sédimentaire et son évolution diagénétique	p. 188
II. Application au comté de Zhijin, Guizhou	p. 189
A. Acquisition des données	p. 189
B. Mise en oeuvre de la méthode	p. 189
C. Résultats	p. 190
III. Conclusion	p. 191

Chapitre 13 : p. 192

Karst et environnement en Chine du Sud

Karst and environment in Southern China

I. Karst et environnement rural	p. 194
A. Eléments sur l'évolution de l'agriculture	p. 194
B. Distribution des régions karstiques agricoles	p. 194
C. Utilisation intensive des sols et déforestation	p. 195
D. Les ressources en eaux	p. 198
II. L'exploitation du karst et des grottes	p. 201
A. L'exploitation minière en domaine karstique	p. 201
B. Montagnes et grottes refuges	p. 204
C. Les ressources touristiques et la conservation du karst	p. 206

PARTIE 3 : p. 209

VIE DE L'EXPEDITION - *The expedition*

Récits anecdotiques (<i>communications</i>)	p. 210
Déroulement, vie pratique (<i>organization</i>)	p. 219
Chronologie (<i>chronology</i>)	p. 219
Note sur la topographie (<i>survey</i>)	p. 220
Budget (<i>budget</i>) - Matériel (<i>equipment</i>)	p. 223

CONCLUSION - *Conclusion* p. 224

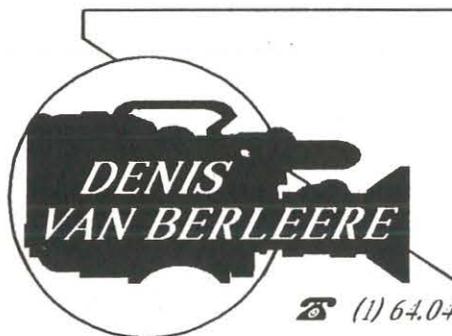
BIBLIOGRAPHIE - *Bibliography* p. 226

REMERCIEMENTS - *Aknowledgements* p. 228

GLOSSAIRE - *Glossary* p. 229

L'EQUIPE - *The team* p. 232

IMAGES ET REALISATIONS,
TOUS SUPPORTS DE COMMUNICATION...
- FILMS DOCUMENTAIRES ET DE REPORTAGE,
- FILMS D'ENTREPRISE,
- PLAQUETTES, TRACTS, PUBLICATIONS...



☎ (1) 64.04.75.48

FAX: (1) 64.04.77.57

49 rue de la CROIX SAINT PAUL

F77580 LE CHARNOY DE GUERARD

L'équipe

BARBARY Jean-Pierre	(JPB)	PSCJA, Vénissieux, Moniteur spéléo, chef d'expédition Plongée Spéléo Club Jeunes Années , 20 rue P. Brossolette, 69200 Vénissieux
BARBARY Franck	(FB)	PSCJA, Vénissieux
BAYERE Jean-Paul	(JPBa.)	PSCJA, Vénissieux
BOTTAZZI Jean	(JB)	URSUS, Lyon., Initiateur spéléo
BOTTAZZI Pascale	(PB)	URSUS, Lyon., Initiateur spéléo
CHEVAILLER Brigitte	(BC)	PSCJA, Vénissieux
COLLIGNON Bernard	(BCo.)	SCOF, Orsay /Lab. d'hydrogéologie, Univ. d'Avignon 33, rue Louis Pasteur, 84000 Avignon
FULCRAND Serge	(SF)	Instructeur spéléo, CTN (Mission DRJS Midi-Pyrénées)
GEBAUER Herbert Daniel	(HDG)	HAG Schwäbisch Gmünd (Allemagne)
MAIRE Richard	(RM)	ARSIP, Arette ; CEGET/CNRS, Dom. univ. Bordeaux, 33405 Talence cedex ; Jeune Equipe CIBAMAR, Univ. Bordeaux I et Ass. CLIME (Mauzun)
MOUDOUD Jean-luc	(JLM)	PSCJA, Vénissieux, Moniteur spéléo
MOURET Claude	(CM)	Groupe Spéléo Corrèze, Ingénieur Géologue/TOTAL
RIGALDIE Christian	(CR)	Groupe VULCAIN, Lyon
VAN BERLEERE Denis	(DVB)	Cinéaste, Paris
ZHANG Shouyue	(ZS)	Institute of Geology, Academia Sinica (IGAS), POB 634, Beijing
SONG Shixiong	(SS)	Guizhou Academia of Science, Guiyang
CHEN Shicai	(CS)	IGAS, Beijing
SHI Mengxiong	(SM)	IGAS, Beijing
ZHANG Dachang	(ZD)	IGAS, Beijing
JIN Yuzhang	(JY)	IGAS, Beijing
QI Zhonglin	(QZ)	IGAS, Beijing

* Pour la réalisation des photogrammes : BENAVENTE José (JVB), PSCJA Vénissieux.

** Entre parenthèses : abréviations pour les auteurs des textes et des photos.



XU XIAKE

(portrait copié par Wu Jun)

Xu Xiake (1587-1641) fut un fameux géographe voyageur chinois. Durant un périple de trois ans (1636-1639) dans la moitié de la Chine, il écrivit un brillant ouvrage ("le Voyage de Xu Xiake") dans lequel il fit des descriptions et analyses précises sur la géomorphologie du Karst et des cavités du Sud-Ouest de la Chine. Par ses travaux remarquables, il est sans nul doute le précurseur de la karstologie et de la spéléologie chinoise.

Xu Xiake (1587-1641) was a famous geographer and traveller. When he journeyed over a half of China, he wrote a brilliant work "Xu Xiake travels", in which he made a detailed description and remarkable discussion on karst geomorphology and caves of Southwest China where he spent three years (1636-1639) exploring karst morphology and caves. Xu Xiake had largely contributed to develop the karst science and speleology of China.



霞客先生遺像
咸豐壬子夏日吳儁摹



Editions GAP, 13 rue Lamartine, 73490 LA RAVOIRE (Fr) Tel : 79 33 02 70

ISBN 2-7417-0030-3

Dépôt légal 4ème trimestre 1991

ISSN 0751-7628

Tirage : 1700 exemplaires

Imprimerie : Public Imprim, 69200 VENISSIEUX

