

中國
湖北
鄂西
洞穴
考察

DONGHE 92

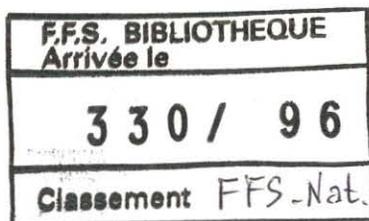
KARSTS DE CHINE CENTRALE

中国科学院地质研究所
喀斯特与地下水研究室
法国洞穴联盟会
青年洞穴潜水协会

Plongée Spéléo Club Jeunes Années de Vénissieux
Institute of Geology Academia Sinica
Karst & Groundwater Research Division
URA 1978 du CNRS - DYMSET (Talence)

KARSTOLOGIA Mémoires n°6 - 1995

KARSTS DE CHINE CENTRALE



DONGHE 92

"La grotte rivière"

Troisième expédition spéléologique franco-chinoise PSCJA / IGAS
(provinces du Hubei et du Hunan)

Coordination et rédaction : Jean-Pierre BARBARY, Richard MAIRE, ZHANG Shouyue
Simon POMEL et Bernard COLLIGNON
Synthèse topo : Daniel GEBAUER

avec la collaboration de :

José BENAVENTES, Jean BOTTAZZI, CHEN Shicai, Serge FULCRAND,
JIN Yuzhang, Sylvain MATRICON, Jacques ORSOLA,
Cyriaque REMY, QI Zhonglin, ZHANG Dachang et SHI Mengxiong

Plongée Spéléo-Club Jeunes Années (PSCJA - Vénissieux)
Karst & Groundwater Research Division, Institute of Geology, Academia Sinica (Beijing)
Natural Sciences Foundation of China
CNRS, URA 1978 "DYMSET" (Talence)

KARSTOLOGIA Mémoires n°6 - 1995
Fédération Française de Spéléologie et Association Française de Karstologie

Introduction : Les karsts du Hubei et du Hunan

Première partie : LES RÉSEAUX SPÉLÉOLOGIQUES

Chapitre 1 : LES CAVITÉS DU COMTÉ DE WUFENG

Chapitre 2 : LES CAVITÉS DU COMTE DE HEFENG

Chapitre 3 : LES CAVITÉS DU COMTE DE XIANFENG.

Chapitre 4 : LES CAVITÉS DU COMTE DE SANGZHI

Deuxième partie : L'ÉVOLUTION DES KARSTS DE MONTAGNE DE CHINE CENTRALE

Chapitre 5 : QUALITÉ DES EAUX KARSTIQUES

Chapitre 6 : RELATIONS ENTRE LES REMPLISSAGES SOUTERRAINS ET LA DESTABILISATION DE L'ENVIRONNEMENT

Chapitre 7 : CLIMAT, MORPHOLOGIE ET GENÈSE DES CAVITÉS

Chapitre 8 : FORMATION D'UN KARST CONIQUE A PARTIR DE LA COUVERTURE DE FLYSCH

Chapitre 9 : ÉVOLUTION MORPHOLOGIQUE DES KARSTS DU HUBEI.

Troisième partie : L'HOMME ET L'ENVIRONNEMENT KARSTIQUE EN CHINE CENTRALE

Chapitre 10 : LES SOLS ET LES REMPLISSAGES DES POLJES MONTAGNARDS

Chapitre 11 : LE KARST ET L'ÉVOLUTION DES PAYSAGES AGRAIRES ..175

Chapitre 12 : L'EXPLOITATION DU KARST PAR L'HOMME

Quatrième partie : L'EXPÉDITION

DONGHE 92

NOTES

Conclusion

Glossaire

Bibliographie

Introduction : Karsts of Hunan/Hubei

Part I : THE CAVES SYSTEM

19 Chapter 1 : CAVES OF WUFENG COUNTY

41 Chapter 2 : CAVES OF HEFENG COUNTY

72 Chapter 3 : CAVES OF XIANFENG COUNTY

85 Chapter 4 : CAVES OF SANGZHI COUNTY

Part II : EVOLUTION OF THE MOUNTAINS KARSTS IN CENTRAL CHINA

96 Chapter 5 : QUALITY OF KARSTIC WATER

101 Chapter 6 : KARST INFILLINGS AND ENVIRONMENT DESTABILISATION

121 Chapter 7 : CLIMATE, MORPHOLOGY AND GENESIS OF CAVES

130 Chapter 8 : FORMATION OF CONE KARST AFTER EROSION OF A FLYSCH COVER

142 Chapter 9 : MORPHOLOGICAL EVOLUTION OF THE HUBEI KARST

Part III : KARST AND ENVIRONMENT IN CENTRAL CHINA

152 Chapter 10 : SOILS AND INFILLINGS OF THE MOUNTAIN POLJES

175 Chapter 11 : KARST AND RECENT EVOLUTION OF THE FARMING LANDSCAPE

199 Chapter 12 : THE EXPLOITATION OF THE KARST BY MAN

207 Part IV : THE EXPEDITION

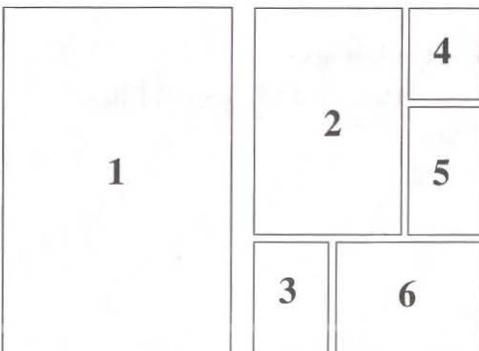
DONGHE 92

NOTES

Conclusion

Glossary

Bibliography



1^{ère} de couverture

4^{ème} de couverture

Photo 1 : Galerie de la puissante résurgence de Donghe (Wufeng) cliché R.M.

Photo 2 : Galerie d'entrée (amont) de la grotte tunnel de Donghe (Wufeng) cliché J.P.B.

Photo 3 : Grand père et sa petite fille au col de Datangmi (Yanziping) cliché B.C.

Photo 4 : Tu nous a laissé l'image de la vie... cliché J.W.B.

Photo 5 : Concrétions dans la galerie de l'Oubli à Dadong (Wufeng, Hubei). cliché R.M.

Photo 6 : Les Qiufeng sous la neige dans la région de Sangzhi (Hunan) cliché J.P.B.

目 录

序					
前言					
概述					
I 地质背景					
A 岩石地层					
B 主要造山期					
II 气候					
第一部分					
第一章 五峰县的洞穴					
概况					
I 长乐坪背斜西段					
A 大洞					
B 将军洞					
C 东西天坑					
D 洞湾					
E 太阳之女洞					
F 天坑槽之一					
G 天坑槽之二					
H 小林口					
II 长乐坪背斜中段					
I 消水洞之一					
J 消水洞之二					
III 长乐坪背斜东段					
K 五峰洞河					
L 停车场洞					
IV 黄龙洞向斜的洞穴					
M 黄龙洞					
N 王冠洞					
O 干洞					
小结					
第二章 鹤峰县的洞穴					
概况					
I 燕子坪水文地质系统					
A 深水洞					
B 杨塔子仙洞					
C 出水洞					
D 狐狸洞					
E 觅水洞					
F 砾岩洞					
G 寨洞—干洞洞穴系统					
1 干洞					
2 牛洞					
H 响水洞					
I 鹤峰洞河					
J 穿心洞					
K 万人洞					
L 穿洞					
II 太平水文地质系统					
A 王家坪天坑					
B 帽子山洞					
C 帽子山天坑					
D 消水洞					
III 水杉坪地区					
A 水杉坪					
B 大天坑					
C 大寨洞					
D 大岩屋					
E 豪猪洞					
小结					
第三章 咸丰县的洞穴					
概况					
I 大集场向斜东南翼					
A 城墙洞					
B 宏石板溶斗及落水洞					
C 滴水洞					
D 老硝洞					
E 岩硝洞					
II 大集场向斜西北翼					
A 阳山湾洞					
B 蓝家洞					
C 长洞					
D 清水坪洞					
III 咸丰背斜					
E 白龙洞					
第四章 桑植县的洞穴					
概况					
I 二叠系的洞穴					
A 观音洞					
B 半边丘					
II 三叠系的洞穴					
A 硝洞 2					
B 双洞—张家洞					
C 下洞					
D 吴家湾洞					
E 凉风洞					
第二部分					
第五章 喀斯特水水质及地下水文网的功能					
I 喀斯特水中的细菌及水化学					
A 水化学相					
B 硝酸盐					
C 水的细菌污染					
D 酸雨					
II 水流动态及模式					
III 地下水文网的形成					
小结					
第六章 洞穴流水机械沉积物与环境变化关系					
I 指示古气候变化的洞穴流水沉积物					
A 五峰大洞红色纹泥剖面					
1 岩石—地层剖面描述					
2 沉积物层序及微形态学研究					
3 U/Th 年龄及古地磁					
4 古气候解释					
B 五峰天坑槽的骨化石					
1 岩石—地层学及沉积学					
2 解释					
II 近代褐色垆母及木炭沉积物					
A 五峰大洞“褐纹泥厅”剖面					
1 剖面描述					
2 粒度、矿物学及微形态学研究					
3 剖面底部树木的 ¹⁴ C 年龄					
B 鹤峰出水洞的木炭沉积物					
1 剖面描述					
2 沉积学及微形态学研究					
3 ¹⁴ C 及 U/Th 年龄与解释					
小结: 人类与气候影响					
地下记录					
第七章 洞穴形态与成因					
概述					
I 洞穴气候特征					
II 洞穴形态的地貌学分类					
A 溶盆的落水洞					
1 阶梯状溶盆的暗河进口和出口系统					
2 溶盆中间歇性的隧道状落水洞					
3 谷地与溶盆中间歇性的竖井状落水洞					
B 谷地的落水洞					
1 间歇性的活动的竖井状落水洞					
2 盲谷中间歇性隧道状落水洞					
C 谷地的出水洞					
D 坍塌竖井					
III 喀斯特系统的成因					
A 现代喀斯特系统的演化					
B 被蚀去的高位洞穴					
第八章 始于复理石复盖的锥状喀斯特(丘峰)形成实例					
概述					
I 复理石上的河流作用时期					
II 复理石及碳酸盐岩上的河成喀斯特时期					
III 碳酸盐岩上的锥状喀斯特时期					
IV 一般性解释					
A 风化作用					
B 岩石与生物—气候作用间的关系					
C 溶盆的成因及锥状喀斯特形成					
D 长乐坪锥状喀斯特的年代与对比					
第九章 地貌演化(热带喀斯特					

演化对比及差异)	.....
I 地貌学观点	.....
II 构造复盖层的剥蚀及土壤圈条件的作用	.....
A 构造期与喀斯特剥夷作用	.....
B 河成喀斯特作用与锥状喀斯特向塔状喀斯特与溶原的变化	.....
C 红盆地成因	.....
D 土壤圈条件及风化成壤作用	.....
E 气候变化: 纹泥与洞穴钙质沉积物的意义	.....
III 中国热带与亚热带喀斯特演化对比简述	.....
A 粤桂低海拔平原与塔状喀斯特	.....
B 湘鄂川黔山地喀斯特	.....

第三部分

第十章 鄂西南山区溶盆中沉积物与土壤 全新世及历史时期环境的记录	.....
概述 近代的土壤与植被	.....
I 湖北鹤峰燕子坪大汤涓溶盆实例	.....
II 湖北鹤峰水杉坪溶盆实例	.....
III 湖北咸丰白水坝溶盆实例	.....
IV 演化综述	.....
第十一章 喀斯特及近代农业景观的演化	.....

I 历史资料回顾	.....
II 毁林与土壤侵蚀综述	.....
III 封闭洼地中耕作分带	.....
IV 现代农业发展	.....
V 住房与交通	.....
第十二章 喀斯特开发与人类	.....
I 水资源	.....
II 矿产与采矿场	.....
III 采硝	.....
IV 洞穴掩避所	.....
V 旅游事业	.....

第四部分

概述	.....
洞河 92	.....
日程	.....
计划	.....
保健	.....
生活条件	.....
预防措施	.....
小事故	.....
预算	.....
设备与材料	.....
技术	.....
洞穴测量与制图软件的应用	.....
全球定位系统的应用	.....
野外调查表	.....
调查表	.....
考察地点	.....
86 - 92 考察综述	.....

湖北省	.....
五峰长乐坪背斜	.....
鹤峰太平 - 燕子坪向斜	.....
贵州省	.....
织金三塘向斜	.....
紫云格必河	.....
罗甸大小井暗河出口	.....
四川省	.....
巫溪通城坝向斜	.....
前景	.....
结束语	.....
参考文献	.....
术语	.....
致谢	.....
装备	.....
考察队成员	.....

Remerciements

Un grand merci, thank a lot, Danke schön, XIE XIE....

Aux Habitants et aux gouvernements locaux des comtés de Wufeng, Hefeng, Xianfeng, Sangzhi
 À nos sponsors pour leur soutien matériel ou financier
 Opinel, E.R.T.F, Katadyn France, C.R.E.I (Féd. Fr. Spéléologie), Vieux campeur Lyon, Patinos, Focus,
 Burckard, Béal, Natural Sciences Foundation of China.
 À tous nos membres d'honneur
 À M. Heller pour l'indestructible Toporobot.
 Au professeur Blavoux, pour son soutien et les analyses hydrochimiques réalisées au Laboratoire d'hydrogéologie de l'Université d'Avignon (France).
 Au Dr. Dussein qui a préparé la pharmacie.
 À l'équipe GAP pour l'aide technique
 A tous ceux qu'on oublie...trop vite !

Préface

La troisième expédition franco-chinoise "DONGHE 92" s'inscrit dans le cadre d'une fructueuse collaboration entreprise il y a maintenant près d'une dizaine d'années. Pour ma part le travail qui nous est présenté fait apparaître trois éléments d'importance :

- L'intérêt exceptionnel des karsts chinois n'est plus à démontrer : ils offrent des paysages parmi les plus spectaculaires de la planète tant par leur variété que par la beauté des sites maintes fois décrits et peints depuis la plus haute Antiquité, puis abondamment photographiés depuis que la Chine s'ouvre peu à peu au tourisme international. Mais disons-le sans ambages, l'intérêt scientifique de Donghe est avant tout de constituer un modèle de karst subtropical montagnard. Il s'agit d'une énorme plate-forme carbonatée épaisse de plusieurs milliers de mètres datant du Paléozoïque et du Trias et ayant été constamment soumise à la karstification depuis le Jurassique. Ici le facteur temps prend toute sa signification car il permet l'élaboration de morphologies et de paysages particuliers, lesquels n'auraient pu apparaître dans des régions soumises à des systèmes morphogénétiques plus contrastés.

Enfin, l'ensemble a été soumis à l'orogénèse himalayenne qui est relativement récente (Oligo-Miocène et Plio-Quaternaire), mais extrêmement importante, ce qui fait que progressivement l'ensemble de la plate-forme carbonatée a subi plissements, fracturation, et élévation avec de puissantes érosions consécutives. Aujourd'hui ce karst se situe à la jointure d'influences climatiques de nature différente : influences tropicales et océaniques méridionales d'une part et d'autre part influences altitudinales et continentales, faisant intervenir le froid venant du nord. Bien entendu, les paysages karstiques actuels sont le résultat de ces héritages successifs et se traduisent par la multiplication des réseaux étagés ou décapités et par d'innombrables grottes-tunnels et gouffres-pertes verticaux.

L'équipe franco-chinoise a bien compris l'intérêt exceptionnel que représente le karst de Chine centrale en tant que milieu enregistreur de l'évolution morphogénétique au travers des modelés, des remplissages de poljés et des dépôts souterrains. Leur analyse a été encore plus fine pour la période récente, celle où l'Homme a commencé à construire des paysages agraires : périodes de mises en valeur, de déforestation, de brûlis, de construction de terrasses et de rizières, d'occupation et d'utilisation des cavités et des ressources hydrologiques, ou encore de déprises. Tous ces événements successifs ont laissé des traces que l'analyse fine des profils (sols, altérites, remplissages) et de leurs indicateurs (lamines, charbons, etc.) révèlent. La période actuelle est aussi une période de crise relative, liée à la pression démographique et à la déforestation consécutive qui influe largement sur le paysage karstique. Cette étude représente donc un apport considérable à la connaissance de la Chine, un apport très concret loin des ouvrages à connotation géopolitique, et souvent hasardeux, que l'on a vu proliférer ces dernières décennies.

- "Karsts de Chine centrale" n'aurait pu voir le jour sans la passion soutenue des membres de l'expédition pour l'aventure, le goût des voyages, la découverte, le sens de l'effort sportif et pour beaucoup une vocation à la spéléologie. Organiser une expédition en Chine n'est pas une sinécure compte tenu des distances, dans tous les sens du terme, qui séparent nos deux pays. Combien d'efforts a-t-il fallu dépenser pour obtenir les autorisations nécessaires pour pouvoir se déplacer dans les zones situées hors des circuits touristiques organisés ? Combien de tractations pour acheminer un matériel lourd sur les lieux d'exploration et d'études ? Par ailleurs une expédition si lointaine demande une forte disponibilité en temps. Celui-ci n'est pas toujours facile à obtenir de la part des employeurs. En conséquence, il est souvent pris sur le temps de vacances. Enfin, et surtout, une expédition en Chine représente un coût financier très important que malheureusement les participants ont dû financer pour une très grosse partie de leurs propres deniers.

Il convient de dire avec force que si la karstologie française (y compris la spéléologie) est reconnue comme l'une des meilleures du monde, elle le doit avant tout à l'enthousiasme de ses tenants car malheureusement les aides que l'on pourrait attendre de la part des organisations universitaires, scientifiques et autres, contrairement aux pays anglo-saxons, sont absentes ou dérisoires.

- Enfin, la collaboration avec nos partenaires chinois apparaît comme remarquable. En dépit des difficultés de communication, elles-mêmes liées aux problèmes de langue, mais aussi de culture et de mode de pensée, les efforts consentis par les uns et les autres ont régulièrement abouti à des résultats positifs. Des sympathies mutuelles sont apparues et des amitiés solides se sont nouées à ces occasions. Il est vrai que rien ne vaut les parcours de terrains, notamment lorsque ces derniers sont difficiles et exigent une entraide, pour que des solidarités apparaissent. Les bivouacs et les repas ainsi que les discussions scientifiques amicales sont autant d'occasion de rapprochement entre individus décidés à s'estimer sans a priori. Par la suite les séances de travail en commun aboutissant à la rédaction des résultats ont conforté ces liens.

Le livre qui nous est présenté concrétise l'ensemble de ces différents aspects, lesquels ne sauraient être dissociés les uns des autres. Pour cet apport à la connaissance et pour la leçon qui est sous-entendue derrière cet ouvrage, nous remercions l'ensemble de l'équipe franco-chinoise en lui souhaitant la poursuite de ses activités et de nouvelles productions tout aussi réussies.

Jean-Noël SALOMON

Président de l'Association Française de Karstologie

Avant propos

Cette expédition se situe dans le cadre du travail entrepris depuis 1986 par le Plongée Spéléo Club Jeunes Années de Vénissieux et le Karst & Underground Water Research Division of Institute of Geology Academia Sinica Beijing. Elle fait suite aux deux expéditions précédentes (Guizhou 86, Gebihe 89). Elle s'est déroulée du 17 novembre 1992 au 14 janvier 1993 dans les provinces du Hubei (comtés de Wufeng, Hefeng, Xianfeng) et du Hunan (comté de Sangzhi). Elle a réuni onze spéléologues européens (un allemand, un belge, neuf français), dont trois scientifiques (un hydrogéologue, un karstologue, un pédologue), et six scientifiques chinois (deux karstologues, un hydrogéologue, trois ingénieurs géologues). Les objectifs majeurs ont été choisis en fonction des intérêts mutuels et des travaux menés au cours des expéditions précédentes. Tous nos travaux se sont déroulés dans un secteur volontairement assez limité géographiquement : le sud-ouest de la province du Hubei dans les comtés de Wufeng, Hefeng et Xianfeng, et le nord de la province du Hunan dans le comté de Sangzhi. D'une part nous avons essayé de continuer le travail entrepris au cours de la dernière expédition, Gebihe 89, dans les comtés de Wufeng et de Hefeng (Hubei), ceci pour nous permettre de mieux cerner certaines zones très intéressantes et d'y effectuer un travail plus en profondeur dans tous les sens du terme. D'autre part nous avons reconnu des zones nouvelles pour des travaux futurs : Xianfeng (Hubei) et Sangzhi (Hunan) afin d'élargir notre champ d'investigation.

Cette année devant les nombreux problèmes pour trouver un financement nous avons dû renoncer à la réalisation d'un film ; c'est bien dommage mais en contre partie cela nous a permis de faire encore plus d'exploration !

Les résultats spéléos sont excellents puisque 64 km de galerie ont été topographiés dans 52 cavités et de nombreuses études scientifiques ont été menées sur le terrain, principalement dans les domaines de l'hydrogéologie, de la karstologie, de l'étude des sols et de l'environnement (75 kg d'échantillons de roche et de sols ramenés en France pour analyses et lames minces ainsi que plus d'une centaine d'échantillons d'eau, 6 000 photos et diapos...). Parmi les cavités explorées on peut noter le Réseau de Zhaidong, 8 400 m, - 552 m (Hubei, Hefeng) qui devient le plus profond de Chine (et ne le dites à personne ça continue de tous les côtés), et la grotte de Donghe, 6 692 m, \pm 366 m (Hubei, Hefeng) qui continue aussi...

Les résultats scientifiques sont donc très encourageants. Des précisions sont apportées sur la dissolution et la qualité bactériologique des eaux, le fonctionnement hydrologique et l'évolution des réseaux souterrains ; de nouvelles données précises sont également apportées sur les dépôts souterrains et les remplissages de poljés comme enregistreurs de la déstabilisation de l'environnement ; l'évolution géomorphologique des karsts à cônes de Chine centrale est désormais bien cernée grâce aux multiples exemples montrant les stades de décapage de la couverture de flysch et l'influence de la surrection tertiaire himalayenne. Enfin, sur le plan humain, des études ont été menées sur l'évolution des paysages agraires par le biais des études de sols et de remplissages (phases de déforestation, de brûlis, de déprise rurale, d'aménagements) et sur l'exploitation du karst par l'homme (grottes-refuges, nitrate, ressources en eau, tourisme).

Plus que ces nombreux chiffres, Donghe 92 est une étape supplémentaire d'une collaboration exemplaire entre spéléos français et scientifiques chinois, des moments inoubliables, des découvertes extraordinaires, des paysages de légendes, enfin un échange culturel permanent avec les hommes, les femmes et les enfants des montagnes de Chine centrale, véritables spéléos paysans héritiers d'un passé mouvementé (révoltes paysannes) et ô combien prestigieux.

Jean-Pierre BARBARY et ZHANG Shouyue

前 言

这次考察自 1992 年 11 月 17 日至 1993 年 1 月 14 日, 是始于 1986 年及 1989 年考察的继续, 是法国洞穴联盟青年洞穴潜水协会与中国科学院地质研究所喀斯特与地下水研究室的第三次合作。

考察地区包括中国湖北省五峰、鹤峰及咸丰县以及湖南省桑植县, 考察队成员由 11 名欧洲(法国、德国及比利时)洞穴学家(其中有三名科学家: 水文地质学、土壤学、喀斯特学)及 6 名中国地质与水文地质学家组成。

主题是根据双方共同感兴趣的内容, 这些研究始于 1989 年的考察, 所有安排均经协商并选定在上述较小范围地区。咸丰及桑植县是新增加的地区。

为实施本项目, 曾企图获得更多的资助, 还打算拍一部影片, 但均未实现, 不过这使我们有更多的时间进行野外考察。

结果是满意的。共测量了 52 个洞穴, 总长 64 km, 还作了一些研究工作, 主要是地质、水文地质、土壤与环境等方面。采集岩石与土的样品 75 公斤供分析测试, 还分析了 100 多个水样, 获得了 6000 张幻灯片及照片。

鹤峰县的寨洞总长 5.4 km、深 552m, 是中国目前探测到最深的洞穴, 还有鹤峰洞河 6692m、深 366m, 这两个洞穴都没有探查完毕。

上述数字表明一个新的阶段开始, 是又一次中国与法国之间十分成功的合作。合作是难以忘怀的, 特别是寨洞的发现。

多学科洞穴调查基础资料及深入研究成果将为中国的经济建设提供依据。

RÉPARTITION ET CONTEXTE GÉOGRAPHIQUE DES KARSTS DU HUBEI ET DU HUNAN

✓ ZHANG Shouyue, Richard MAIRE

RÉSUMÉ : Les régions étudiées dans les provinces du Hunan et du Hubei sont situées entre 29 et 31° de latitude nord. Ce sont des karsts subtropicaux de montagne, à cônes, se développant entre 200 et 2 000 m d'altitude. Les cavités sont représentées par des grottes-tunnels et des gouffres-perles qui allient la grande dimension des galeries, des puits et des marmites et la présence de rivières souterraines cascadantes. Ces karsts se développent dans une structure plissée appartenant à la paraplateforme du Yangtse, unité géotectonique majeure qui couvre la presque totalité du bassin-versant du Yangtse. La série carbonatée, épaisse de plusieurs milliers de mètres, va du Précambrien supérieur (Sinien) au Trias moyen. Les terrains tertiaires sont représentés par des conglomérats et des couches rouges localisés dans des bassins intramontagnards. L'ensemble du Protérozoïque supérieur et du Paléozoïque inférieur a été plissé à la fin du Paléozoïque inférieur (plissement calédonien supérieur). Au Paléozoïque supérieur (Dévonien, Carbonifère), la majeure partie de la paraplate-forme du Yangtse est émergée et connaît l'orogénèse hercynienne. Le cycle orogénique de Yanshan, subdivisé en trois phases (Jurassique, Crétacé, Eocène), est capital car il est responsable de la structure plissée actuelle et de l'ensemble de la karstification des karsts de Chine centrale et méridionale. Au cours du Cénozoïque (Oligo-Miocène et Plio-Quaternaire), l'orogénèse himalayenne se traduit par une surrection généralisée qui explique le creusement des vallées et l'étagement des réseaux. Aujourd'hui, ces régions sont soumises à un climat subtropical humide à saisons contrastées en raison du régime de mousson et de la situation continentale. Les précipitations annuelles sont de l'ordre de 1 500 à 1 800 mm. L'été est chaud et humide et l'hiver est froid et relativement sec.

Mots-clés : karst, cavité, géographie, géologie, orogénèse, climat, Chine centrale, Hubei, Hunan.

ABSTRACT: We visited regions located between 29 and 31 °N, in the Hubei and the Hunan Provinces. The landscape is a subtropical karst with cones, developed in mountains ranging from 200 to 2 000 m a.s.l. The main caves are tunnels and sinkholes where the galleries and the shafts are very wide. They are crossed by big underground rivers, flowing from impervious outcrops. The karsts are developed in a very wide geotectonic unit covering most of the Yangtse basin : the Yangtse folded paraplatfrom. The carbonate rocks range from the Sinian (Upper Precambrian) to Middle Triassic and are very thick (more than five thousand meters). Cenozoic exists only as continental sediments : conglomerates and red beds filling inter mountainous basins. The whole Upper Proterozoic and Lower Palaeozoic has been lift up during the end of the Lower Palaeozoic (Upper Caledonian uplift). During Devonian, most of the Yangtse paraplatfrom was above sea level (and some parts during Lower Carboniferous). It was lift up during Permian and Lower Triassic (Hercynian orogenesis in Europe). During Permian and Trias, the sea came back and deposited some of the most thick carbonate beds of the Earth. The sea withdraws during Middle Triassic, with the beginning of the Yangshan orogenesis. It is divided in three stages (Jurassic, Cretaceous and Eocene) and is very important for us because it is responsible for the present folded structure of the development of the main karsts in Central and Southern China. During Cenozoic (Oligocene to Quaternary), the Himalayan orogenesis produced a general uplift and consequently the valleys deepened and the caves developed new gallery levels. Today, the climate of these regions is subtropical and humid with contrasted seasons (monsoon rains and continental influence). Annual rainfalls range from 1 500 to 1 800 mm/year. Summer is hot and wet and winter is cold and quite dry.

Keywords: Karst, cave, geography, geology, orogenesis, climate, Central China, Hubei, Hunan.

ZUSAMMENFASSUNG: In den Provinzen Hunan und Hubei liegen die untersuchten Gebiete zwischen dem 29. und 31. Breitengrad. Sie bestehen aus subtropischem Gebirgsegelkarst in Höhenlagen zwischen 200 und 2000 Metern. Höhlen bestehen vorwiegend aus geräumigen, gefällestarken Tunnel- und Durchgangshöhlen mit gestuften Schächten und unterirdischen Flüssen mit Strudelkolken und Wasserfällen. Der Karst hat sich hier in einer größeren Faltungszone entwickelt, die fast die gesamte Yangtse Paraplatform einnimmt. Die Abfolge der Karbonatgesteine zwischen dem Oberen Perm (Sinium) und Mittleren Trias umfasst mehr als fünftausend Meter. Das Tertiär findet sich als Konglomerat und Rotliegendes in intramontanen Becken, während die Gruppierung zwischen dem Oberen Proterozoikum und Unterem Paläozoikum gegen Ende des Unteren Paläozoikums gefaltet wurde (jungkalédonische Faltung). Im Oberen Paläozoikum (Devon, Karbon) hat sich im Zuge einer herzynischen Orogenese der Großteil der Yangtse Paraplatform gehoben. Für die gegenwärtige Faltungsstruktur und die Gesamtheit der zentral- und südchinesischen Verkarstung ist hauptsächlich der orogenetische Yanshanzyklus verantwortlich, der dreiphasig im Jura, Kreide und Eozän stattfand. Im Verlauf des Känozoikums (Oligozän-Miozän bis Plio-Quartär), hat die Himalayaorogenese zu einer allgemeinen Hebung geführt, die sich in Taleinschnidungen und Höhlenniveaubildungen ausgewirkt hat. Heutzutage ist das Gebiet einem subtropischen Klima ausgesetzt, in welchem eine monsunale Jahreszeit mit einer kontinentalen kontrastiert. Die jährlichen Niederschläge liegen in einer Größenordnung von 1500 bis 1800 mm. Die Sommer sind feuchtheiß und die Winter relativ kalttrocken.

Stichworte: Karst, Höhle, Geographie, Geologie, Orogenese, Klima, Zentralchina, Hubei, Hunan.

概 述

我们的调查区位于北纬 29 至 31° 的湖北和湖南省。其景观是具锥状喀斯特(丘峰)的亚热带碳酸盐岩地貌,为海拔 200 至 2000m 的山区。主要是很宽广的竖井与廊道组成的洞穴。为从非碳酸盐岩区域流来的巨大的暗河所切过。喀斯特发育在占长江流域大部分的广阔的大地构造单元: 扬子准地台。震旦纪至中三叠纪的碳酸盐岩厚逾 5000m。新生代仅为陆相沉积: 充填在山间盆地中的砾岩与红层。

上元古界及下古生界于早古生代末隆升(加里东隆升)。泥盆纪时期扬子准地台大部分为陆地, 一些部分其陆地延续至早石炭世。二叠及三叠纪时期为沉积了地球上最厚的碳酸盐岩区域之一, 隆升于海西造山期。中三叠纪时海水退去, 燕山期开始, 可分为早中晚三个时期, 分别相应于侏罗纪、白垩纪及始新世, 中国中部与南部喀斯特区域褶皱主要在燕山期。新生代渐新世至第四纪时期喜马拉雅造山运动使隆升并随之产生深切河谷及洞穴层, 目前, 这一区域属于潮湿的季风亚热带气候。年降水达 1500 至 1200mm, 具湿热的夏季及干冷的冬季。



Photo 1 : Karst à cônes très redressés dans la zone de Yanziping (Hefeng, Hubei), alt. 1 100 m.
Ferme et zone défrichée au premier plan. Cliché J.W.B.
Cone karst in the Yanziping area (Hefeng, Hubei), alt. 1 100 m.

Introduction

Les régions étudiées sont situées dans les provinces du Hunan et du Hubei, en Chine centrale, entre 29 et 31° de latitude nord. Ce sont des karsts subtropicaux de montagne typiques, se développant entre 200 m et 2 000 m d'altitude, dans des chaînes plissées. La morphologie générale est différente des karsts tropicaux classiques de Chine du Sud à tourelles et plaines karstiques du Guangxi et à champs de pitons et dépressions du Guizhou (fenglin). Les karsts du nord Hunan et du sud Hubei sont surtout des karsts à cônes (qiufeng-ouvala) se développant sur le flanc des plis. Les cavités sont représentées par des grottes-tunnels (actives, semi-actives ou sèches) et des gouffres-peres qui allient la grande dimension des galeries, des puits et des marmites et la présence de rivières souterraines cascades, d'où la pratique d'une spéléologie originale, parfois technique, que l'on peut qualifier de subtropicale alpine.

I. Contexte géologique

Les karsts de montagne du Nord Hunan et du Sud Hubei se développent dans une structure plissée appartenant à une unité géotectonique majeure, la paraplate-forme du Yangtse, qui couvre la presque totalité du bassin-versant du fleuve Yangtse (ou Changjiang). Le socle est recouvert par des terrains sédimentaires épais commençant par les molasses, tillites et dolomies du Sinien (Protérozoïque supérieur) visibles dans les Trois Gorges du Yangtse. La série carbonatée, de plusieurs milliers de mètres de puissance, va du Sinien au Trias moyen. La couverture primaire et secondaire est constituée principalement par des dolomies et calcaires marins (faciès de bassin et de plate-forme) et des basaltes continentaux. Les brèches intraformationnelles rencontrées dans la série calcaire du Trias inférieur suggèrent deux hypothèses : soit des brèches de failles, soit des brèches d'effondrement engendrées par la dissolution de niveaux de gypse. Les terrains tertiaires sont représentés par des conglomérats et des couches rouges localisées dans des bassins intramontagnards comme celui de Laifeng situé à l'ouest de Hefeng. D'après les récentes études sur les «couches rouges» tertiaires de Chine, des corrélations peuvent être faites grâce à l'étude des fossiles (vertébrés) et microfossiles (pollens, spores) (YANG Zunyi, 1986).

A. LITHOSTRATIGRAPHIE DES ZONES ÉTUDIÉES

- **A Wufeng (fig. 2)**, les séries de roches carbonatées sont puissantes de 2 000 m et vont du Cambrien au Trias. La plupart des réseaux souterrains explorés (Dadong, Longdong, Tiankengcao, Donghe 1) se développent dans les calcaires et dolomies du Cambrien et de l'Ordovicien (anticlinal de Changleping). Les flyschs du Silurien, épais de plus de 1 000 m, ont été décapés sur les anticlinaux, permettant le développement d'un karst conique remarquable parcouru par des vallées sèches désorganisées et des poljés allongés comme celui de Changleping (chap. 8).

- **A Hefeng (fig. 3)**, les séries carbonatées, épaisses de 1 500 à plus de 2 000 m, vont du Permien au Trias et affectent le synclinal



Figure 1 : Carte générale de situation des zones étudiées
Location of the studied areas

Zone de travail/ Studied area	◆
Ville, village/ Town, village	●
Route/Road	—
Limite de province/Province border	---
Rivière/River	~
1 HUBEI	
2 HUNAN	
3 GUANGXI	
4 GUIZHOU	
5 YUNNAN	
6 SICHUAN	

de Hefeng où la plupart des cavités ont été explorées (secteur de Taiping, Datiankeng, secteur de Yanziping avec Zhaidong, Donghe 2). Comme à Wufeng, le Silurien est constitué par une série de flysch puissante de 1 700 à 2 000 m, mais il n'intéresse pas les zones karstiques étudiées.

- **A Xianfeng (fig. 4)**, les affleurements vont des remplissages rouges et conglomérats du Crétacé-Eocène de bassins aux terrains schisteux et calcaires du Cambrien inférieur. Les séries carbonatées, de plus de 3 000 m de puissance, sont surtout représentées par les calcaires et dolomies du Cambrien moyen et supérieur (> 1 500 m), les calcaires du Permien inférieur (300 à 500 m) et les calcaires et dolomies du Trias moyen et supérieur (> 1 000 m). Les cavités explorées se situent dans ces divers étages. Le Silurien, en position intermédiaire, est toujours formé par une épaisse série schisteuse (1 100 à 2 000 m).

- **A Sangzhi**, dans le nord du Hunan (fig. 5), la série carbonatée est puissante de 1 500 à plus de 2 000 m ; elle va du Permien inférieur (calcaires et calcaires à cherts) au Trias inférieur (calcaires en petits bancs) et moyen (dolomies et calcaires). Les cavités explorées au SW de Sangzhi se situent dans les calcaires du Trias inférieur.

Mésos. (Mz)	Paléozoïque (Pz)			
	TRIAS	PERMIEN		
	Daye	T _{1d}		bancs fins de calcaires monocristallins gris avec des bancs de shales dans la partie inf.
	Dacong	P _{2d}		bancs épais de calcaires bioclastiques microcristallins avec chert. partie inf avec shale et charbon en bancs fins. sommet en bancs de silice.
	Wujiaping	P _{2w}		
	Maokou	P _{1m}		bancs épais de calcaires bioclastiques gris-foncé avec chert. sommet en bancs de silice.
	Qixia	P _{1q}		bancs épais de calcaires bioclastiques gris-foncé avec chert. à la base, 20 à 30m de roches clastiques et charbon.
	Huanglong	C _{2h}		partie sup : dolomie et calcaires gris-clair en bancs moyens. partie moyenne : bancs moyens à épais de calcaires microcristallins. partie inf : roches clastiques.
	Yanguan	C _{1y}		roches clastiques avec des calcaires au sommet.
	Yuntaiguan	D ₃ D _{2y}		roches clastiques avec des calcaires bioclastiques dans la partie moyenne.
	Linxiang	O _{3l}		partie sup : calcaires argileux gris en bancs ondulés. partie inf : bancs moyens de calcaires gris et bordeaux (éclaté).
	Baota	O _{2b}		partie sup : calcaires bordeaux en bancs moyens ondulés et calcaires argileux avec shale.
	Miaopo	O _{2m}		partie moyenne : calcaires bioclastiques sparitiques gris en bancs moyens à épais avec shale.
	Guniutan	O _{1g}		partie inf : calcaires oolithiques microcristallins gris en bancs moyens à épais, calcaires dolomitiques, dolomies calcareuses.
	Dawan	O _{1d}		bancs épais de dolomie sparitique grise avec quelques cherts au sommet.
	Hunghuayuan	O _{1h}		
	Fenxiang	O _{1f}		
	Nanjinguan	O _{1n}		
	Sanyoudong	Є ₃		calcaires sparitiques gris en bancs épais avec quelques dolomies sparitiques.
	Qinjiamiao	Є _{2qn}		
	Shilungdong	Є _{2sl}		dolomies et calcaires dolomitiques.

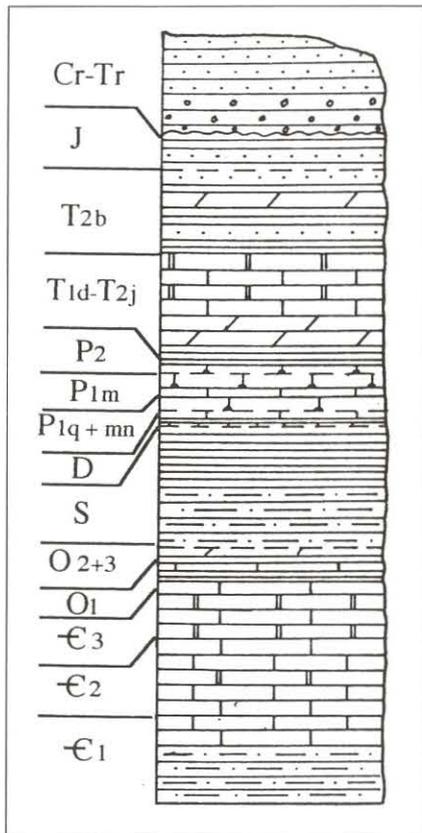


Figure 2 : Echelle lithostratigraphique simplifiée de la zone de Wufeng (Hubei).
Simplified lithostratigraphic column of Wufeng area (Hubei).

Figure 3 (page suivante) : Echelle lithostratigraphique simplifiée de la zone de Hefeng (Hubei).
Simplified lithostratigraphic column of Hefeng area (Hubei).
(next page)

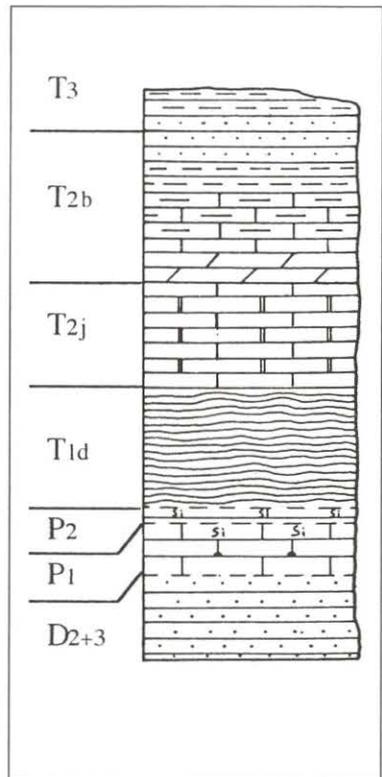
MÉSOZOÏQUE		TRIAS				
MÉSOZOÏQUE	TRIAS	Badong	T _{2b} ² 1036m			Roches clastiques et marnes.
		Jialingjiang	T _{1j} ² 232-292m			Calcaires, calcaires dolomitiques gris et gris-blanc en bancs épais.
			T _{1j} ¹ 310-539m			Calcaires et dolomies
PALÉOZOÏQUE	PERMIEN	Daye	T _{1dy} 609-913m			Calcaire gris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

Figure 4 : Echelle lithostratigraphique simplifiée de la zone de Xianfeng (Hubei). Tr-Cr : Tertiaire-Crétacé, > 1 320 m de grès calcaires et conglomérats, discordance à la base. J : Jurassique, > 460 m de grès et schistes, discontinuité à la base. T2b : Trias Moyen, 1 250 m de grès, schistes et marnes dans la partie moyenne. T1d-T2j : Trias moyen-supérieur, >1400 m de calcaires et dolomies, marnes et schistes à la base. P2 : Permien, 38 à 138 m, bancs de silex et schistes au sommet, calcaires à cherts et schistes charbonneux + fins bancs de charbon à la base, discontinuité à la base. P1m : Permien inférieur, 215 à 347 m, calcaires en bancs massifs et calcaires avec bancs de silex. P1q+mn : Permien inférieur, 130 à 192 m, calcaires en bancs épais, à cherts et quelques schistes calcaires légèrement charbonneux ; marnes et schistes charbonneux, bancs fins de charbon et bauxite et discontinuité à la base. D : Dévonien, 0 à 112 m, grès et schistes, calcaires et marnes au sommet, discontinuité à la base. S : Silurien, 1 100 à 2 000 m, schistes avec niveaux argilo-sableux à la base et discontinuité. O2+3 : Ordovicien moyen et supérieur, 60 à 92 m, marnes et schistes. O1 : Ordovicien inférieur, 350 à 425 m, calcaires et quelques schistes. C3 : Cambrien supérieur, 548 m, dolomie et un peu de calcaire. C2 : Cambrien Moyen, 880 à 1 027 m, calcaires et calcaires dolomitiques. C1 : Cambrien inférieur, > 1 200 m, schistes argilo-sableux, calcaires en bancs au sommet.



Simplified lithostratigraphic column of Xianfeng area (Hubei).

Figure 5 : Echelle lithostratigraphique simplifiée du comté de Sangzhi (Hunan). T3 : Trias supérieur, > 310 m, grès grossiers et fins, mudstone. T2B : Trias moyen, 1 044 m, grès et argiles, marnes à la base. T2J : Trias moyen, 542 à 831 m, dolomies et calcaires. T1d : Trias inférieur, 609 à 913 m, calcaires en petits bancs et quelques bancs de dolomie, discontinuité à la base. P2 : Permien supérieur, 28 à 154 m, bancs de silex et schistes siliceux, discontinuité à la base. P1 : Permien inférieur, 250 à 450 m, calcaires, calcaires à cherts et lits de silex, discontinuité à la base. D2+3 : Dévonien moyen et supérieur, 400 à 600 m, grès quartzitiques.



Simplified lithostratigraphic column of Sangzhi area (Hunan).



Photo 2 : Le karst à buttes de Sangzhi sous la neige de janvier 93, alt. 400 m (Hunan, lat. 29°) ! Le climat est de type subtropical à saisons contrastées (été très chaud, hiver froid). Cliché J.P.B. Snow in january 93 on the cone karst of Sangzhi, alt. 400 m a.s.l (Hunan, lat. 29°) ! Subtropical climate with contrasted seasons (very hot summer, cold winter).



Figure 6 : Carte géologique des zones étudiées : Sangzhi (Hunan) au SE, Wufeng (Hubei) au NE, Hefeng (Hubei) au centre et Xianfeng (Hubei) à l'W. Etages géologiques cf. fig. 2, 3, 4, 5
 Next page Geological map of the studied area : Sangzhi (Hunan) SE, Wufeng (Hubei) NE, Hefeng (Hubei) in central part Xianfeng (Hubei) W. Geological stage cf. fig. 2, 3, 4, 5

B. LES PRINCIPALES PHASES OROGÉNIQUES

Les phases orogéniques anciennes, du Précambrien supérieur et du Paléozoïque, sont peu visibles dans les karsts de Chine. Les terrains du Protérozoïque supérieur (Sinien) et du Paléozoïque inférieur (Cambrien, Ordovicien) ont été plissés à la fin de l'Ordovicien : c'est le plissement calédonien supérieur (Gulangien). Des indices de karstification (poches), datant probablement de l'orogénèse calédonienne, ont été découverts dans les calcaires du Cambrien supérieur (grotte-gouffre de Tiankengcao, Wufeng/Hubei). Au Paléozoïque supérieur, la majeure partie de la plate-forme du Yangtse est émergée et connaît l'orogénèse hercynienne : phase du Qilianien au début du Dévonien et phase du Tianshanien au Carbonifère. Au Trias supérieur, l'orogénèse indosinienne (Indonésien 1) se traduit au début par la sédimentation de couches rouges dans les fosses bordières. (**tab. 1**)

Le grand cycle orogénique de Yanshan (Yanshanien), subdivisé en trois phases, est capital car il est responsable du maillage structural, de la structure plissée et de l'ensemble de la karstification des karsts de Chine centrale et méridionale. La première phase de Yanshan se produit à la fin du Jurassique, la seconde au cours du Crétacé et la troisième à l'Eocène ; cette dernière est responsable du dépôt de conglomérats et d'altérites rouges caractéristiques dans les bassins. A la fin du Mésozoïque, la partie orientale de la paraplate-forme du Yangtse a été affectée par un magmatisme à grande échelle (essentiellement des granites, volcanisme rare).

Au cours du Tertiaire, l'orogénèse himalayenne se manifeste par une surrection généralisée (épirogenèse) de la paraplate-forme du Yangtse. La première phase himalayenne a lieu à l'Oligo-Miocène et la seconde au Plio-Quaternaire et correspondraient dans les Alpes aux phases savique et rhodanienne. Cependant, d'après les dernières données géomorphologiques que nous avons récoltées sur les karsts de Wufeng notamment (fluvio-karst perché, creusement des canyons), il semble que la deuxième grande phase tectonique himalayenne débute au Miocène supérieur pour se poursuivre au Plio-Quaternaire (**chap. 9**).

C. LES STYLES TECTONIQUES ET MORPHOSTRUCTURAUX

Les styles tectoniques (forme des plis) rencontrés dans les régions karstiques montagneuses du Hunan et du Hubei sont assez homogènes ; il font partie d'un même ensemble géologique correspondant à la partie NE plissée de la paraplate-forme du Yangtse au sud des Trois Gorges (**fig. 6**). Il s'agit d'une série d'anticlinaux et de synclinaux parallèles, orientés NE-SW. Dans les régions de Wufeng, Hefeng et Xianfeng (Hubei), les synclinaux sont longs et relativement étroits (5-10 km), avec un pendage de 40°, voire plus, sur les flancs les plus raides comme sur les bordures du synclinal de Hefeng où des pendages de 60-70° ont été signalés (**chap. 2**). Ils sont formés par des calcaires du Permien et du Trias comme dans les synclinaux de Yanziping (Hefeng) ou Baiyiping (Wufeng). Les anticlinaux sont larges et coffrés, généralement avec des axes assez courts ; ils sont formés par des calcaires paléozoïques, en particulier du Cambrien et de l'Ordovicien comme dans l'anticlinal coffré de Changleping (Wufeng), orienté E-W, large d'une vingtaine de kilomètres. Le bombement de Lichuan, dans le NW du Hubei, atteint 40 km de large et détient le grand système karstique de Tenglongdong. Tous ces plis sont affectés par une intense fracturation croisée, en gros de directions NE et NW. Dans le nord du Hunan (comté de Sangzhi), le style tectonique est similaire, avec des plis orientés NE-SW à ENE-SSW.

Le bilan de l'érosion globale au cours du Tertiaire et du Quaternaire donne un relief qui n'est pas toujours conforme à la structure. On observe ainsi des formes conformes comme le bassin synclinal de Hefeng ou non conformes comme le synclinal perché de Baiyiping (2 320 m) situé juste à l'WNW de Wufeng. La plupart des plis, en particulier les plus larges, sont largement affectés par les

reliefs en cônes karstiques dont la taille peut aller de 50-100 m à plus de 300-400 m. Les cônes peuvent être dissymétriques sur les flancs des plis car il s'agit au départ de formes en chevron. On observe aussi des synclinaux qui ne sont pas affectés par un modelé de karst conique : c'est le cas des synclinaux perchés qui se situent dans les zones les plus soulevées (> 1 700 m), d'où un relief de type «préalpin» qui a été affecté par les processus périglaciaires (gélifraction et nivation) au Quaternaire.

Temps géologiques	Ma	Phases tectoniques
Sinien (Précambrien sup.)	850-600	Début du plissement calédonien (Jinningien, Chengjiangien)
Paléozoïque inférieur (Cambrien, Ordovicien)	600-438	Fin du plissement calédonien (Xingkaïen, Gulangien)
Paléozoïque supérieur (Dévonien, Carbonifère)	408-286	Plissements hercyniens (Qilianien, Tianshanien)
Fin du Paléozoïque sup. (Permien)	286-248	Début du plissement indosinien (Yiningien)
Début du Mésozoïque (Trias)	248-213	Fin du plissement indosinien (Indonésien 1, Indonésien 2)
Jurassique	213-144	Début du plissement Yanshanien (Yanshanien 1)
Crétacé	144-65	Yanshanien 2
Eocène	65-37	Fin du plissement Yanshanien (Yanshanien 3)
Oligo-Miocène	37-12	Plissement himalayen principal (Himalayen 1)
Miocène supérieur à Plio-Quaternaire	12-0	Epirogenèse himalayenne (Himalayen 2)

**Tableau 1 : Synthèse des événements tectoniques depuis le Précambrien supérieur en Chine centrale et méridionale (1 Ma = 1 million d'années) (d'après WANG Hongzhen, 1986, p. 257).
Main tectonic events since the upper precambrian in southern and central china (1 Ma = 1 million year) (after WANG Hongzhen, 1986, p. 257)**

II. Climat

Ces régions karstiques de Chine centrale au sud du Yangtse (lat. 29-30°N) sont soumises à un climat subtropical humide de montagne, à saisons contrastées, en raison du régime de mousson et de la situation continentale. L'été est très chaud, humide et concentre 70 % des précipitations annuelles si l'on inclut le printemps. L'hiver est froid et relativement sec ; mais il peut exister des hivers pourris comme celui de 1992-93. Des données précises ont pu être obtenues pour les stations de Hefeng et Xianfeng dans le Hubei et de Sangzhi dans le Hunan. Les diagrammes (**fig. 7**) montrent clairement que le régime climatique est le même pour les diverses régions visitées avec de petites nuances liées sans doute à l'altitude et à l'exposition. Le maximum des températures est toujours en juillet, tandis que le maximum des précipitations est soit en juin, soit en juillet.

A. LES TEMPÉRATURES

Les températures fluctuent selon l'altitude et l'exposition entre 2 et 5°C en janvier et 25 et 28°C en juillet. L'amplitude thermique entre le mois le plus froid et le mois le plus chaud va de 1 à 6 à Hefeng et Sangzhi, de 1 à 9 à Xianfeng et de 1 à 14 à Wufeng (1,7°C en janvier et 24°C en juillet). Cette amplitude thermique est beaucoup plus

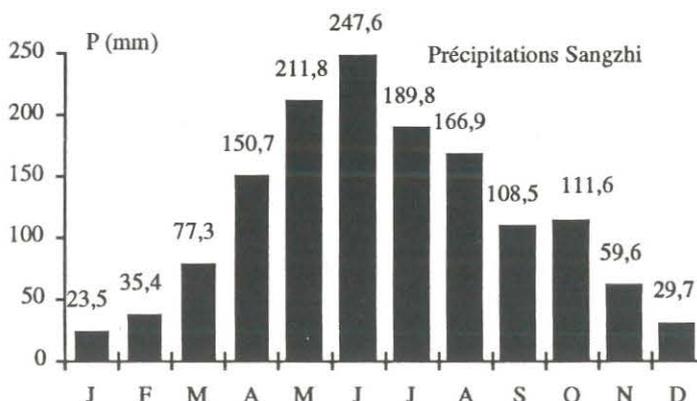
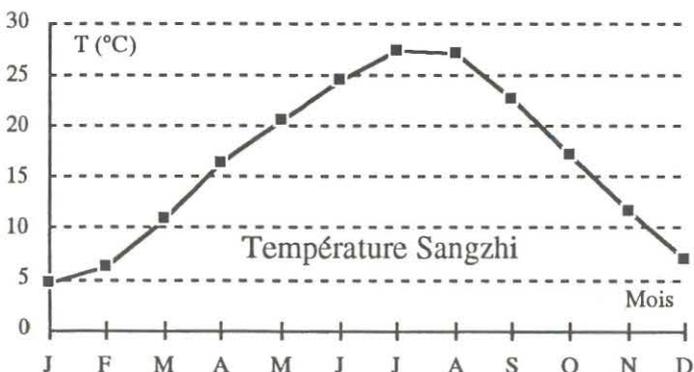
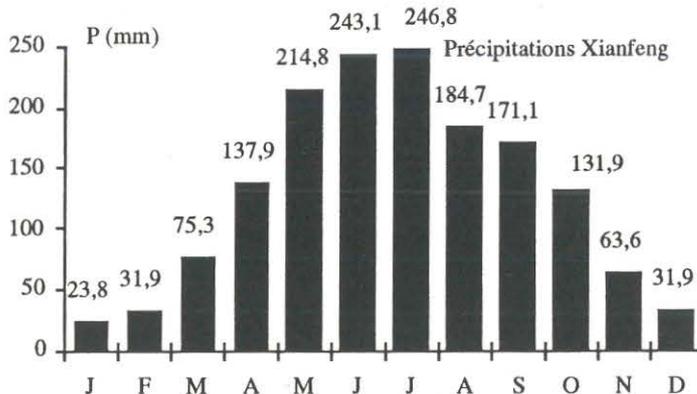
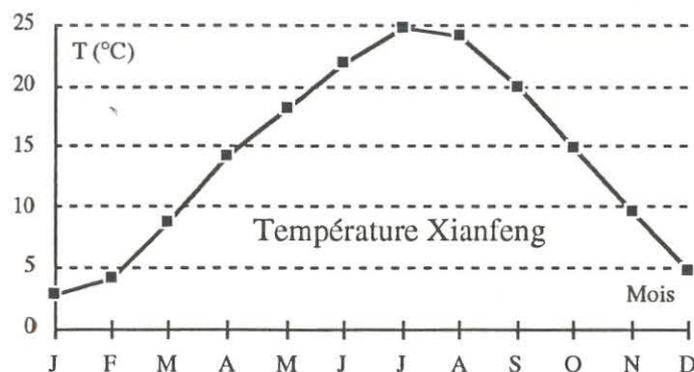
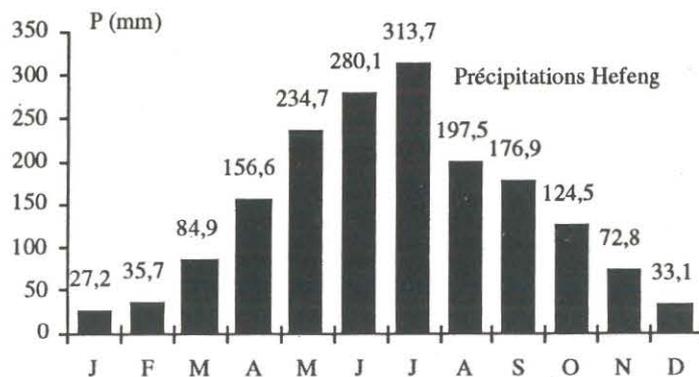
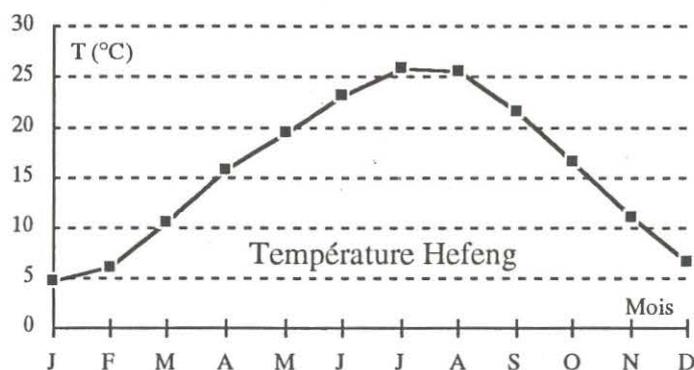
importante que dans les karsts tropicaux du Guizhou situés plus bas en latitude ; par exemple, à Ziyun, l'amplitude thermique va de 1 à 4 (5,7°C en janvier, 22,7°C en juillet). Dans le nord du Hunan et l'ouest du Hubei, les effets de la continentalité et de la montagne sont donc très marqués comme l'attestent aussi les températures extrêmes relevées : 37°C dans les fonds de vallées en été et - 15°C sur les sommets en hiver. (fig. 7, tab 2)

Figure 7 : Diagrammes des températures et des précipitations moyennes à Hefeng (Hubei), Xianfeng (Hubei) et Sangzhi (Hunan).

Average temperature and rainfall at Hefeng (Hubei), Xianfeng (Hubei) and Sangzhi (Hunan).

Stations	Altitude	T°C janvier	T°C juillet	Moyenne annuelle
Wufeng (Hubei)	600 m	1,7	24	13,1
Hefeng (Hubei)	520 m	4,6	25,8	15,5
Xianfeng (Hubei)	700 m	2,7	24,7	13,96
Sangzhi (Hunan)	250 m	4,7	27,4	16,35
Ziyun (Guizhou)	900 m	5,7	22,7	15,3

Tableau 2 : Températures mensuelles minimum (janvier) et maximum (juillet) et moyenne annuelle dans plusieurs stations de Chine centrale (lat. 29-30°N). Comparaison avec la station de Ziyun (lat. 25°N) dans le karst tropical du Guizhou.



RÉSUMÉ : Cette première partie se compose de 4 chapitres où sont décrits en détails tous les résultats de nos explorations dans les comtés de Wufeng, Hefeng et Xianfeng (Province du Hubei) et de Sangzhi (Province du Hunan). Tous sont situés sur la rive droite du Yangtse, entre 29° et 30°10' de latitude nord ; nous sommes au coeur des karsts subtropicaux de montagne de Chine centrale. Dans ces espaces karstiques presque tous les types de cavités sont représentés, les grandes grottes-tunnels côtoient de somptueux gouffres alpins, de puissantes résurgences ou d'incroyables pertes. Au total 64 km de galerie ont été topographiés dans une cinquantaine de cavités : 5 dépassent les 5 km de développement, et l'une d'entre elle, Zhaidong, atteint la profondeur de - 552 m. Dans certaines zones déjà visitées au cours des expéditions antérieures, nous avons eu le plaisir de pouvoir pousser plus à fond nos recherches sur certains systèmes hydrogéologiques fabuleux, par exemple ceux de Changleping (Wufeng) et de Yanziping (Hefeng). Mis à part le comté de Sangzhi, les zones étudiées dans le Hubei sont toutes situées dans des zones extrêmement montagneuses qui offrent des cavités alpines aux dimensions chinoises : c'est étonnant et passionnant !

Mots-clés : Wufeng, Hefeng, Sangzhi, Xianfeng, Hubei, Hunan, karsts subtropicaux, montagne, grotte-tunnel, perte, gouffre alpin, résurgence, Zhaidong, Changleping, Yanziping

ABSTRACT : This first part is divided in four chapters and describes in detail results of our explorations. The four counties visited on the right bank of Yangtse river are the counties Wufeng, Hefeng and Xianfeng of Hubei Province and Sangzhi county of Hunan Province. These large karst areas are a Paradise for cavers. Tunnel caves are neighbouring alpine shafts, big blue springs and deep sinkholes. We explored 50 caves and mapped 64 km of galleries. Five caves were longer than 5 km and another five deeper than 300 m. At -552 m, the Zhaidong is one of China's deepest. The counties of Xianfeng and Sangzhi are new regions for caving, but at Wufeng and Hefeng we continued explorations begun in 1989 (in the Changleping anticline and in the Yanziping Syncline). Except Sangzhi county the regions explored are mountainous and it is very exciting to use single rope techniques in Chinese size caves (that is to say climbing in the centre of 20 x 20 m shafts).

Keys-words : Wufeng, Hefeng, Sangzhi, Hubei, Hunan, Subtropical karst, Mountainous karst, China, Zhaidong, tunnel cave, sinkhole, shaft, resurgence, Changleping, Yanziping.

ZUSAMMENFASSUNG: Der erste Teil besteht aus vier Kapiteln und beschreibt im Detail die Ergebnisse der Untersuchungen in den Bezirken Wufeng, Hefeng, Xianfeng (alle Provinz Hubei) und Xianfeng (Provinz Hunan). Sie liegen alle zwischen 29° und 31°10' Nord, rechts des Yangtse, und im Herzen des subtropischen Gebirgskarstes von China. Im Karstgebiet treten fast alle Höhlentypen auf. Es gibt riesige Flusshöhlen und umfangreiche alpine Systeme mit gigantischen Eingängen. Insgesamt 64 km Gangstrecke wurden in 50 verschiedenen Höhlen kartiert, wobei fünf Höhlen länger als 5 km sind und in einer, der Zhaidong, eine Tiefe von - 552 m erreicht wurde. Zum einen Teil, zum Beispiel in Changleping (Wufeng) und Yanziping (Hefeng), wurden Forschungen in früher erkundeten Gebieten fortgesetzt, zum anderen Teil hochinteressante Höhlensysteme in neuen, faszinierenden Forschungsgebieten angegangen.

Stichworte: Wufeng, Hefeng, Sangzhi, Xianfeng, Hubei, Hunan, Karst, Subtropen, Gebirge, Tunnelhöhle, Flußhöhle, Schluckloch, Resurgenz, Alpinkarst, Zhaidong, Changleping, Yanziping.

第一部分

共四章,详细叙述了考察的所有成果。考察了长江南岸的湖北鹤峰、五峰及咸丰县以及湖南桑植县。

这里的喀斯特是探洞者的天堂,隧道状溶洞及山地竖井、大的涌泉及深的溶斗共存。

我们探查了 50 个洞穴,测量并制成图件的洞穴总长 64km。其中洞穴长度超过 5km 的 5 个,深度逾 300m 的洞穴 5 个。寨洞是中国已探查洞穴中深度最大的,达 552m。咸丰及桑植是新探查的地区,五峰及鹤峰则是继续始于 1989 年的探查。除去桑植我们考察的区域以外,其余地区均是十分崎岖的山地,令人十分刺激的是在中国式规模的洞穴中利用单绳技术,亦即在 20×20m 的竖井中心攀登。

LES CAVITÉS DU COMTÉ DE WUFENG

✓ *L'équipe*

Introduction

C'est à la fin de l'expédition de 1989 que nous avons repéré la superbe résurgence de Donghe depuis la route Wufeng-Yichang et qui allait donner le nom à la prochaine expédition. Trois ans plus tard, nous sommes de nouveau là pour continuer le travail entrepris sur le vaste anticlinal de Changleping. En 1989, nous avons exploré 12 cavités représentant 27 km de galeries topographiées. Cette année, notre objectif principal est d'essayer de résoudre l'énigme hydrogéologique de ce gigantesque système : 15 cavités sont explorées ou poursuivies représentant 16 km de topographie. De bons résultats et de très belles cavités de style alpin, mais les points d'interrogation se multiplient ! Nous quittons la zone avec des regrets et un sentiment de frustration : 13 petits jours d'exploration à 8 spéléos, c'est beaucoup trop court. Nous n'avons même pas eu le temps de travailler sur la fabuleuse zone de Wantan reconnue en 1989 et qui reste un objectif majeur, ou d'aller traîner nos bottes sur le synclinal perché de Baiyiping, enfin quoi du travail pour des dizaines d'expédition ! C'est cela la spéléo en Chine.

- **Présentation géographique :** Le comté de Wufeng se situe au SW du Hubei, à proximité du Hunan, soit à 80 km de la ville de Yichang localisée au débouché des gorges du Yangtse. 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). Les chaînes plissées de la région de Wufeng culminent à 2 320 m et se placent sur la ligne de partage des eaux des rivières Qingjiang et Lishuihe, toutes deux tributaires de rive droite du Changjiang (Yangtse). Les massifs karstiques sont séparés par de vertigineuses vallées dont la profondeur varie de plusieurs centaines de mètres à 1 000 m. 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 1 500 mm/an pour une température moyenne de 13,1°C. Il neige de novembre à mars au-dessus de 900 m, mais celle-ci fond après chaque chute. L'amplitude thermique est importante : 1,7°C en janvier, 24°C en juillet.

- **Présentation géologique et karstologique :** Les séries de roches carbonatées, puissantes de 2 000 m, vont du Cambrien au Trias. La direction des axes de plissement est généralement E-W. Les anticlinaux sont larges et coffrés, et 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 paysages karstiques sont caractérisés par des morphologies moins évolués que dans le Guizhou ; il s'agit d'un karst à qiufeng-poljé et qiufeng-ouvala qui s'est installé sur les plis, souvent après le décapage d'une couverture imperméable de flysch ou de schistes argileux appartenant au Silurien et à l'Ordovicien. Ainsi, quelques km à l'est de Wufeng, sur la route qui va au Puits Est, on observe les différents stades de genèse du karst à partir de l'érosion des flyschs : système d'érosion linéaire dans les flyschs imperméables, fluvio-karst quand les vallons atteignent le calcaire sous-jacent, fluvio-karst et karst à cônes et ouvalas quand la couverture a disparu. Ce modèle d'évolution est explicité plus en détail dans les **chapitres 8 et 9**.

- **Présentation spéléologique :** Nous explorons la superbe résurgence de Donghe (4 828 m, - 270 m) qui draine la partie orientale de l'anticlinal. Avec Longdong-Yanzidong (5 692 m, + 147 m) (**cf. Gebihe 89**), elles constituent les deux exurgences majeures de l'anticlinal, la première à l'est, la seconde à l'ouest, mais entre les deux que de points d'interrogations ! Dans la partie ouest de l'anticlinal, la zone de Changbuxi garde son secret malgré la découverte de deux nouvelles cavités et la suite des explos dans quatre cavités commencées en 1989. Au Puits Est (Dongxitiankeng), 840 m de topo supplémentaire portent le développement à 5,8 km ; la profondeur reste inchangée à - 382 m. Mais où va donc cette rivière ? Quant à la jonction rêvée avec la grotte du Général (Jiangjundong) et bien ce sera peut être pour une autre fois : 300 m supplémentaires, arrêt sur étroiture à courant d'air et sur siphon... Dommage ! A 1 km de là, nous explorons le gouffre de Tiankengcao (3 748 m, ± 216 m) dans lequel nous mettons beaucoup d'espoir pour une jonction avec le Puits Est, malheureusement celui-ci semble appartenir à un autre système. Tout près aussi le gouffre-perte de Dongwan ; cette superbe cavité est arrêtée à - 256 m sur rien ! Similaire au Puits-Est, elle semble drainer un bassin encore plus important ! Avec l'exploration de la galerie de l'Oubli et de la diffluence à Bozzo, la perte énorme de Dadong passe maintenant les 10 km et ça continue, mais les espoirs de retrouver la galerie principale s'amenuisent un peu, bien entendu pour une cavité qui se trouve à 10 000 km de chez nous ! Dans la partie centrale de l'anticlinal, les deux pertes principales du superbe poljé de Changleping sont explorées, mais nous sommes encore très loin d'une jonction avec la résurgence de Donghe ! (*Jean Pierre et Richard*)

第一章 五峰县的洞穴

长乐坪背斜中部的地质背景

长乐坪背斜是一个长逾 50km、宽 15km 的大型箱状背斜。背斜轴几乎是纬向，北翼岩层倾角达 45°，但喀斯特所在的宽广的核部产状平缓，倾角小于 20°。寒武-奥陶纪碳酸盐岩厚度超过 1000m，并为上奥陶纪及志留系非渗透的页岩所覆盖。

LE COMTÉ DE WUFENG EN QUELQUES CHIFFRES

Superficie = 2 375 km²
Population = 200 000 hab.
Densité = 84 hab./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



Photo 4 : Dans l'Amont de l'Extincteur, perte de Xiaoshuidong 2, vers - 100 m (extrémité W du poljé de Changleping). En crue, la perte absorbe force troncs, cagettes et débris divers ! Cliché R.M.

In the "Amont de l'Extincteur", Xiaoshuidong 2 cave, near - 100 m (Changleping polje, Wufeng/Hubei).

Tableau 4 : Spéléométrie des cavités explorées dans le comté de Wufeng (Hubei).
Cave data, Wufeng County (Hubei).

Nom	N°	Village	Long. Est Lat. Nord	Alt. (m)	Dév. (m)	Dénivelé (m)	Stratigraphie	Note
DADONG Grande grotte	Wf891	Songjiahe	110°42,5 30°11,5	780	10 922	314 (- 214, + 100)	Cambrien supérieur	Continue
JIANGJUNDONG Grotte du général	Wf899	Jiangjundong		1 120	2 282	139 (- 83, + 56)	Cambrien	Continue
DONGXITIANKENG Puits Est / Puits Ouest	Wf8910	Changbuxi	110°48,6' 30°14,8'	1 080	5 807	- 382	Cambrien	Continue
TIANKENGAO Gouffre du vallon	Wf9215	Changbuxi	110°48,2' 30°14,6'	1 230	3 748	226 (- 216, + 10)	Cambrien	Continue
TIANKENGAO 2 Gouffre du vallon 2	Wf9214	Changbuxi		1 240	148	- 12	Cambrien	Continue
Gouffre de la fille de lumière	Wf9216	Changbuxi			40	- 40	Cambrien	
XIAOLING KOU	Wf9217	Changbuxi			300	- 53	Cambrien	
DONGWAN	Wf9218	Dongwan	110°49,8' 30°15,3'	1 120	974	- 256	Cambrien	Continue
DONGHE La grotte rivière	Wf9213	Yuyangguan		510	4 828	- 270	Cambrien	Continue
Grotte du parking	Wf9219	Yuyangguan			104	- 24		
WANGGUANDONG Grotte de la couronne de l'empereur	Wf9220	Tianyuan		725	260	22 (- 10, + 12)	Permien inférieur	
HUANGLONGDONG Grotte du dragon jaune	Wf9221	Huanglongdong		465	1 531	- 20	Permien inférieur	
GANDONG Grotte sèche	Wf9222	Huanglongdong			35	10	Perm inf.	Continue
XIAOSHUI DONG 1 Perte 1	Wf9223	Yaopai	110°52,8' 30°10,3'	960	764	- 137	Cambrien	Continue
XIAOSHUI DONG 2 Perte 2	Wf9224	Changleping	110°50,8' 30°09,9'	960	998	131 (- 120, + 11)	Cambrien	Continue

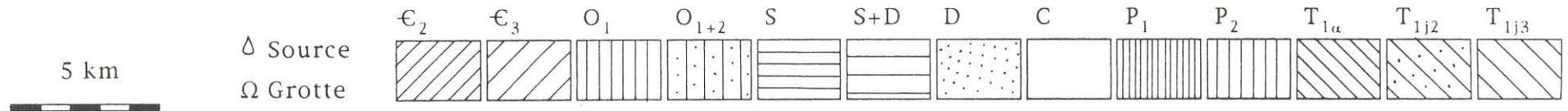


Figure 8 : Contexte géologique des zones d'exploration du comté de Wufeng (Hubei), situation des cavités.

Ω1 : Dadong et cavités alentours ; Ω2 : Résurgence de Longdong-Yanzidong ; Ω13, 19 : Résurgence de Donghe, Grotte du Parking ; Ω21, 22 : Résurgences de Huanglongdong et Gandong ; Ω23 : Perte de Xiaoshuidong 1 ; Ω24 : Perte de Xiaoshuidong 2. Description des étages géologiques (cf. fig.2 p. 10).

Wufeng area (Hubei) : geological context of studied areas and cave location

Ω1 : Dadong & adjacent caves ; Ω2 : Longdong-Yanzidong spring ; Ω13, 19 : Donghe spring, Parking cave ; Ω21, 22 : Huanglongdong & Gandong springs ; Ω23 : Xiaoshuidong 1 sinkhole ; Ω24 : Xiaoshuidong 2 sinkhole. Geological stage (cf. fig. 2 p. 10).

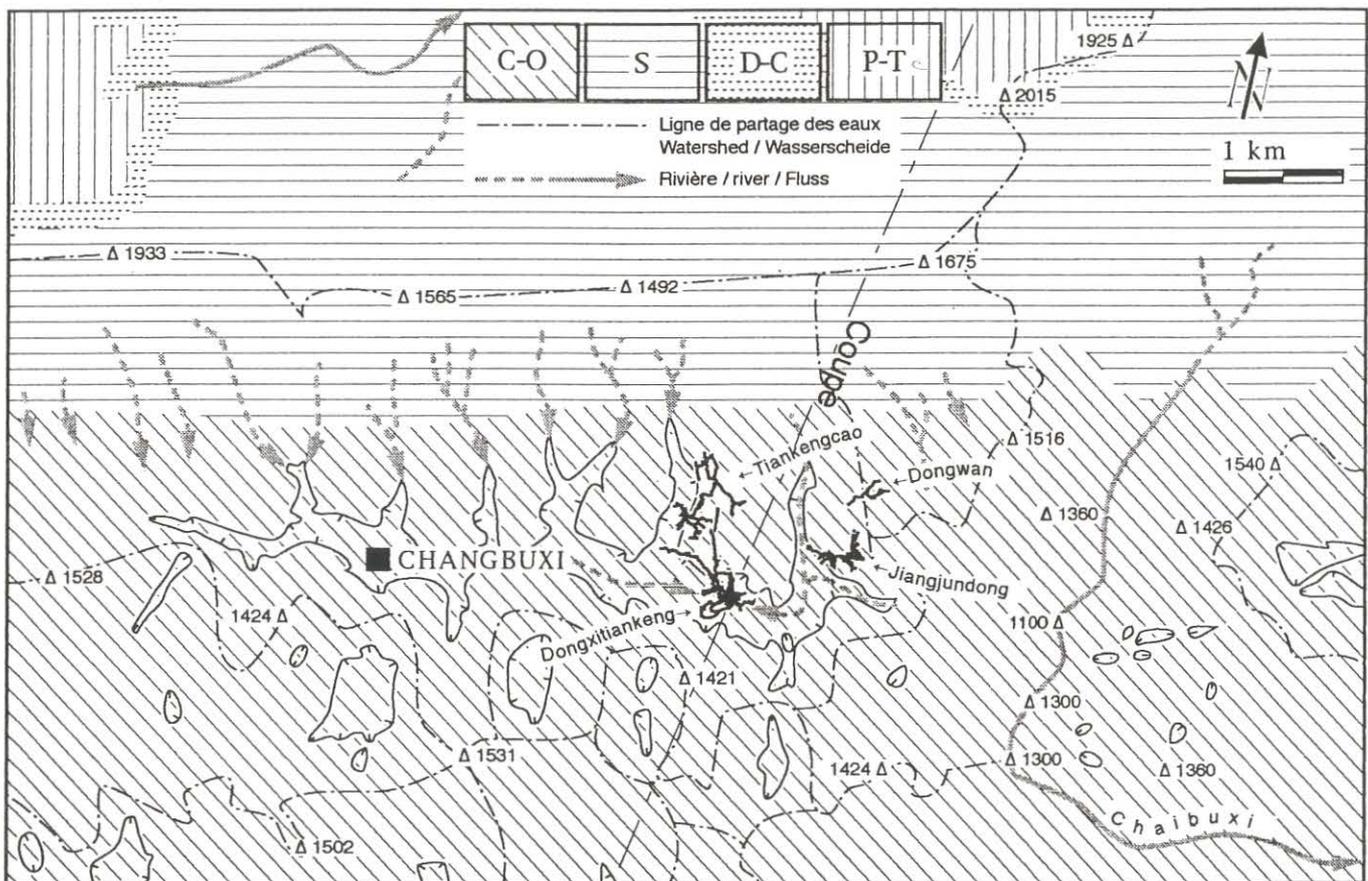
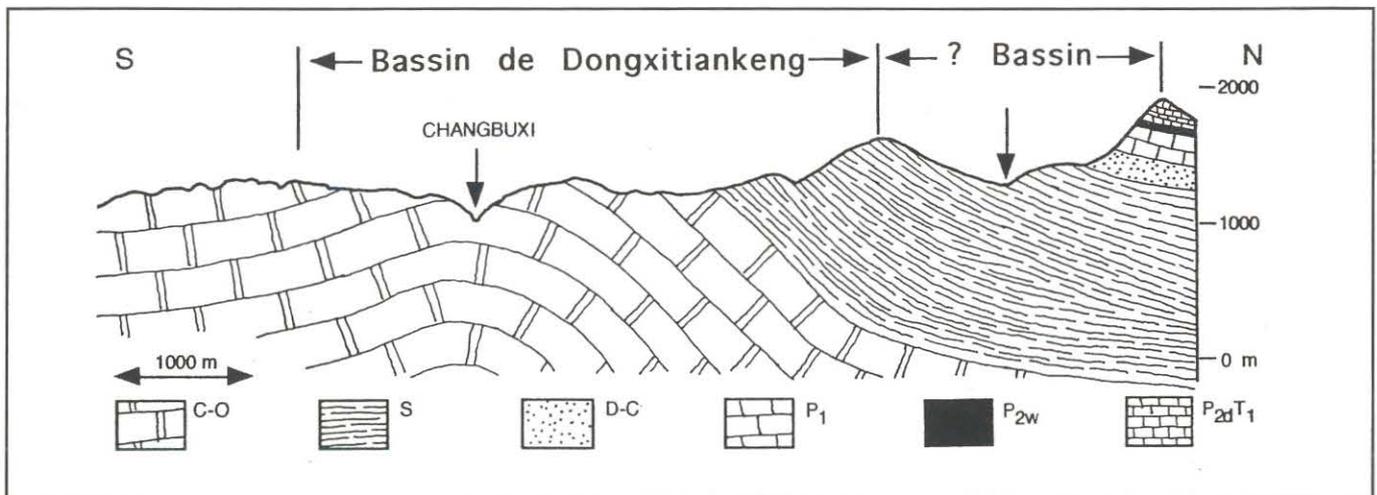


Figure 9 : Contexte géologique et situations des cavités du secteur de Changbuxi
 Changbuxi aren : geological setting and cave location

Figure 10 : Coupe géologique de l'anticlinal de changleping dans le secteur de Changbuxi (Wufen/Hubei).
 Geological section of Changleping anticline in Changbuxi area (Wufeng/Hubei).



I. La zone occidentale de l'anticlinal de Changleping

C'est sur ce secteur proche de la ville de Wufen que nous avons beaucoup travaillé lors de l'expédition «Gebihe 89». Aussi avons-nous continué les explorations.

A. DADONG

«Grande grotte» (Wf89/1)

Long. 110° 42,5' E Lat. 30° 11,5' N Alt. 780 m

Dév. 10 922 m Dén. 314 m (- 214, + 100)

L'exploration principale a été faite en 1989. Cette grotte remarquable débute par un porche colossal de 100 m de haut sur 80 m de large : il

s'agit tout simplement de la perte d'un canyon aveugle, à sec l'hiver, mais débitant plusieurs dizaines de m³/s en saison des pluies. En 1992, nous décidons d'aller revoir le fond, en particulier une escalade située au-dessus d'un puits de 50 m, pour tenter une jonction avec la grotte-émergence de Longdong-Yanzidong située quelques km au NW. (cf. *Karstologia Mémoires*, n° 4, p. 86).

- **L'escalade du P50** : Ce puits de 50 m est situé à l'extrémité NW du réseau dans une branche fossile où circule un fort courant d'air. Le puits, en forme d'entonnoir, mesure 15 m de large et reçoit un actif provenant du NE. En face, donc au nord, il est surmonté par une haute paroi où nous sommes censés trouver la suite du trou, mais le courant d'air tourbillonne et a plutôt tendance à descendre le puits. Mais par la «foi», nous croyons discerner une galerie au sommet de ce mur peu engageant. Le premier jour, nous équipons une traversée de 40 m sur

DADONG

Wf89/1

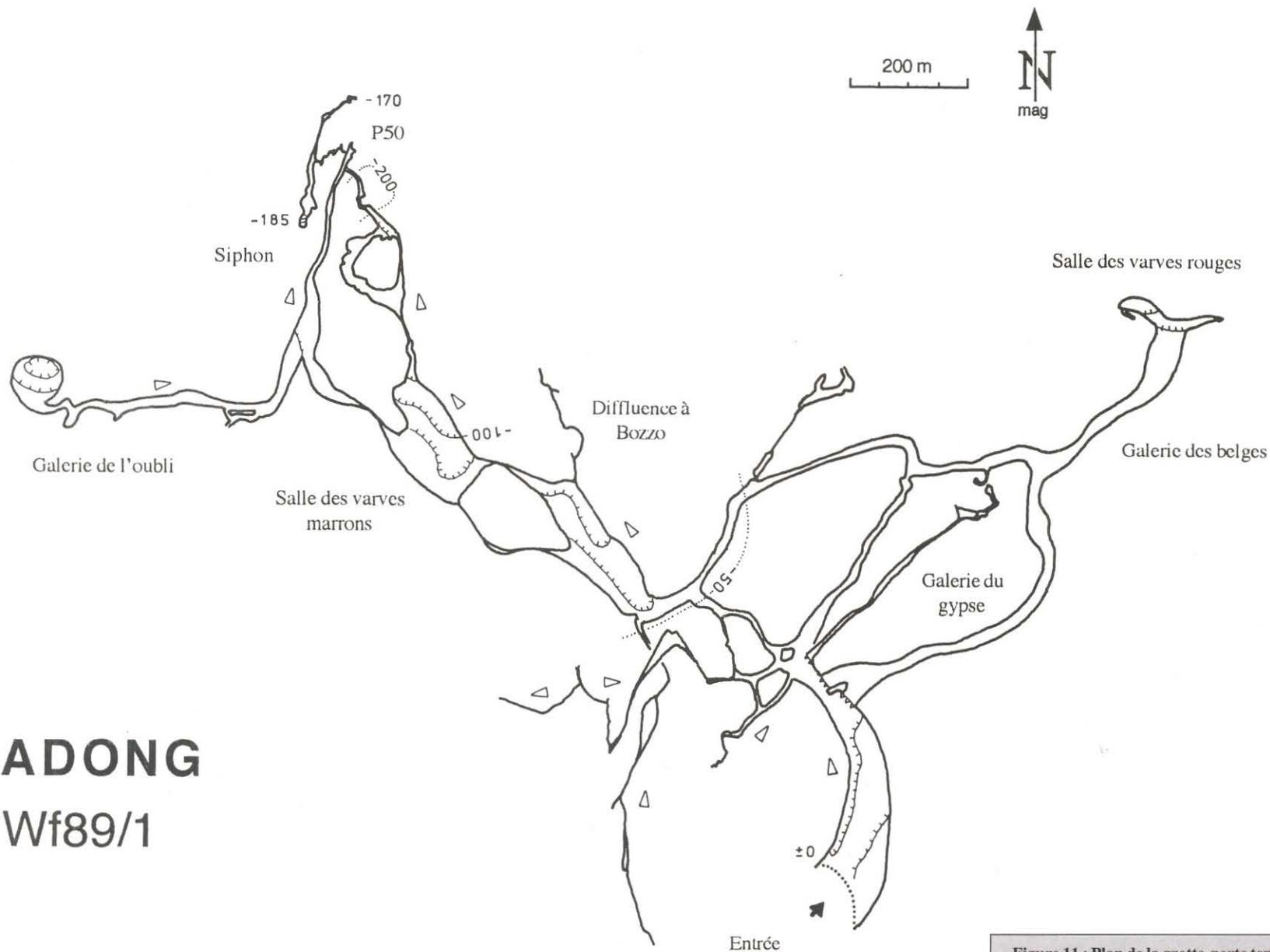
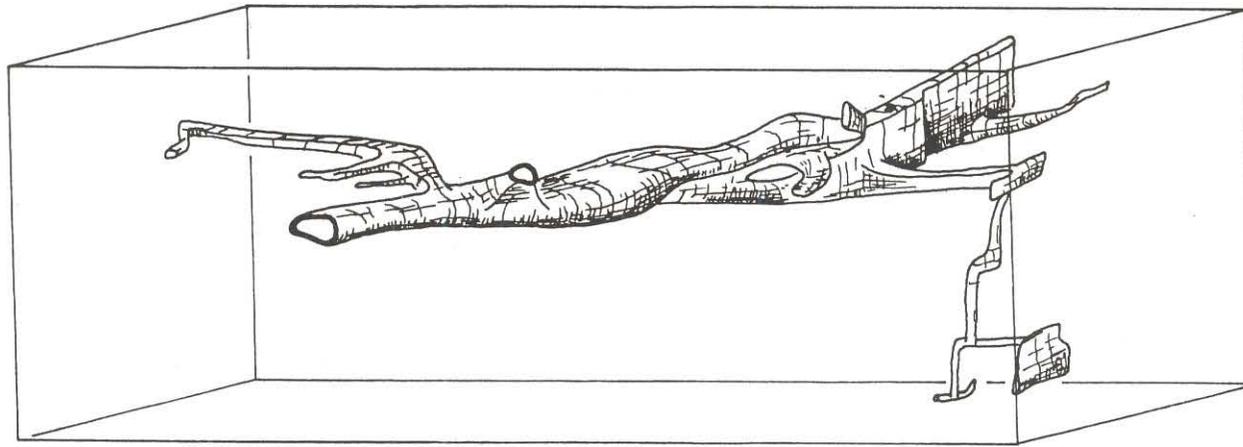


Figure 11 : Plan de la grotte-perte temporaire de Dadong (Wufeng, Hubei)
Dadong temporary sinkhole (Wufeng, Hubei), plan.



Vue-3D
projection 380 / -05

JIANGJUNDONG
Wf89/9

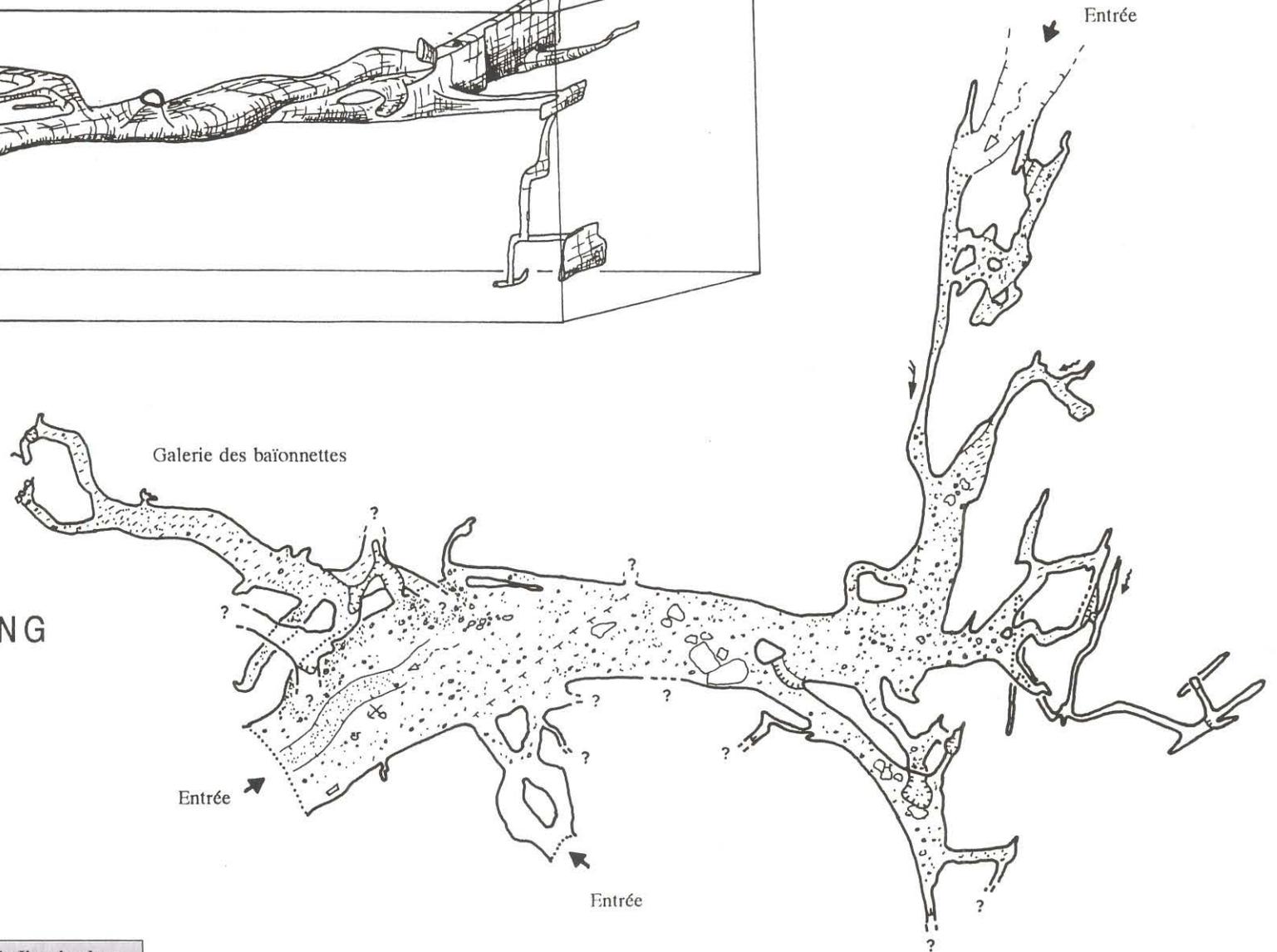
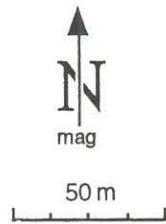


Figure 12 : Plan et coupe de la grotte de Jiangjundong (Wufeng, Hubei).
Jiangjundong cave (Wufeng, Hubei), plan and profile.

le bord ouest du puits, d'abord au profit d'une vire qui se rétrécit, puis en plein vide. On rejoint ainsi la base du mur nord sur un plan incliné boueux. Au-dessus, la paroi devient presque verticale, mais anfractueuse, avec des plaquages d'argile. Il faut une deuxième sortie pour venir à bout de ce mur de 40 m que Cyriaque grimpe sans coup férir. Au sommet, une galerie de 12 m de large sur 6 m de haut file plein nord sur une cinquantaine de mètres, mais elle se termine sans espoir sur un remplissage argileux. Au total, 130 m de premières chèrement gagnés ! (Richard et Cyriaque)

- **La galerie de l'Oubli (explorée en 1992)** : Toutefois, en revenant de l'escalade, nous découvrons fortuitement une superbe galerie fossile qui se situe 300 m au sud du P50, dans le «pointillé» de la topo. En 1989, le bord ouest de la galerie, large de 25 m et surmonté de puissantes terrasses, n'avait pas été longé. Juste au-dessus d'un talus de blocailles, une galerie large de 30 m s'enfoncé vers l'inconnu. Ce jour là, en revenant de l'escalade du P50, nous faisons une courte reconnaissance. Le lendemain, muni du topofil et de nombreuses bobines, nous avançons religieusement dans un fossile superbe, de 15 à 20 m de large et de 15 à 20 m de haut. D'importants remplissages argilo-limoneux bouchent pratiquement la galerie au bout de 350 m. Le plafond s'abaisse à moins de 1 m, puis à 500 m de la bifurcation, la galerie remonte dans une trémie de gros blocs inclinée à 30°. Nous débouchons dans une salle supérieure de 100 m de long sur 60 m de large dont l'extrémité nord est creusée par un vaste entonnoir (suçoir) de 25 m de diamètre et autant de profondeur. Il n'a pas été descendu, mais il paraît bouché ! (Richard)

- **La diffluence du Bozzo Continental** : Au retour de notre pointe dans la galerie de l'Oubli, nous décidons d'aller voir une galerie non terminée en 1989. Il s'agit d'un petit conduit, large de 2 m, qui démarre dans l'angle nord de la première grande salle appelée salle des varves marrons à cause de son remplissage fabuleux (**chap. 6**). Il s'agit, en fait, d'une diffluence de trop-plein qui fonctionne en période de hautes eaux lorsque le niveau de l'eau remonte de plusieurs mètres dans la salle. Cette galerie, à courant d'air aspirant, a été explorée sur 200 m jusqu'à une bifurcation : au nord, un petit conduit au tracé méandrique et au plancher argileux est topographié sur 120 m. La galerie continue, mais se rétrécit ; un autre départ étroit, en rive droite, n'a pas été exploré. En revenant à la bifurcation, nous fonçons à la branche de droite, la plus intéressante, mais nous sommes arrêtés au bout de 30 m sur un profond bassin ! La suite du trou semble là, dans une galerie de 5 m x 5 m, mais nous n'aurons pas le temps cette année. Pas le temps, toujours le même leitmotiv ! (Richard)

B. JIANGJUNDONG

«Grotte du général» (Wf89/9)

Dév. 2 282 m Dén. - 83 m, + 56 m

Cette grotte-tunnel, explorée en 1989 sur 1 950 m, présente plusieurs points d'interrogation. Au bout d'une large galerie fossile située non loin de l'entrée inférieure (galerie des baïonnettes), à un étage supérieur, s'ouvre un petit puits ouvert par un déblaiement du remplissage sur environ 9 m. Lors de la précédente exploration datant de trois ans, sur un palier du remplissage, nous avons trouvé une décharge d'armes et d'explosifs, d'autant plus dangereuse que posée sur des parois meubles où il était nécessaire de prendre pied afin de fractionner la descente. Cette fois-ci et comme nous nous en doutions un peu, plus aucune trace de relique militaire : les trois ans écoulés et les baïonnettes remontées en surface et offertes au comté y sont pour quelque chose. Après avoir fractionné, nous descendons dans un beau puits de 15 m s'ouvrant dans une roche plus compacte. En bas, une courte galerie large de 2 m nous mène à une petite salle de 4 m de diamètre dominée par un puits remontant. La seule suite vers une hypothétique jonction avec le système du Puits Est, est un méandre légèrement ventilé où s'infiltrèrent les écoulements. Celui-ci devient très étroit au bout de 7 m et la poursuite de l'exploration nécessiterait une désobstruction.

L'autre suite que nous avons laissée en 1989 se situe dans la partie la plus orientale au niveau d'un puits-faille que nous n'avions

pas descendu faute de corde et de temps. Orienté NNE-SSW, ce puits mesure 15 m de profondeur ; en bas, nous partons au SSW en suivant l'écoulement des eaux tandis que l'extrémité opposée de la fracture se pince au bout de 20 m. Après un petit ressaut, nous progressons en opposition jusqu'à un élargissement recouvert de choux-fleurs de calcite qui donne sur un puits de 38 m. Au fond nous trouvons une petite salle d'où partent deux galeries, l'une avec un violent courant d'air aspirant, l'autre empruntée par l'eau. Nous suivons d'abord l'eau dans une belle galerie de 2 m x 4 m qui débouche sur une deuxième fracture orientée N-S plus large que la première. Nous descendons par un puits de 18 m après avoir franchi une vasque suspendue. Cette fracture se pince à ses deux extrémités et présente un petit siphon non plongeable sans sa branche nord.

Revenus à la salle située au bas du puits de 38 m, nous empruntons maintenant la galerie au courant d'air dont le sol est tapissé d'argile sèche et qui part à l'opposé de la galerie précédente ; elle nous conduit à une troisième fracture orientée NE-SW. En descendant une dizaine de mètres, on aperçoit l'extrémité NE qui se pince. A l'opposé part un petit ruisseau qui se resserre progressivement, mais reste pénétrable. Juste avant de descendre, deux départs se présentent : l'un à l'E est bouché par des remplissages, l'autre donne accès à une quatrième fracture parallèle à la précédente, mais bouchée à ses deux extrémités. C'est dans cette partie du réseau que se trouve le point bas de la cavité. (Cyriaque, José)

C. DONGXITIANKENG

«Puits Est-Ouest» (Wf89/10)

Long. 110° 48,6' E Lat. 30° 14,8' N Alt. 1 080 m

Dév. 5 807 m Dén. - 382 m

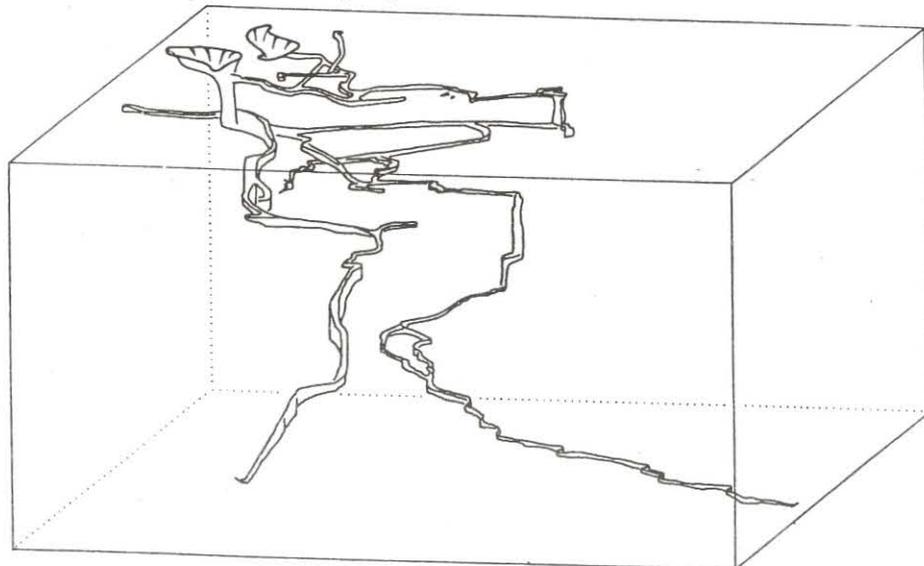
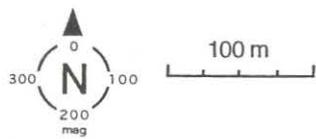
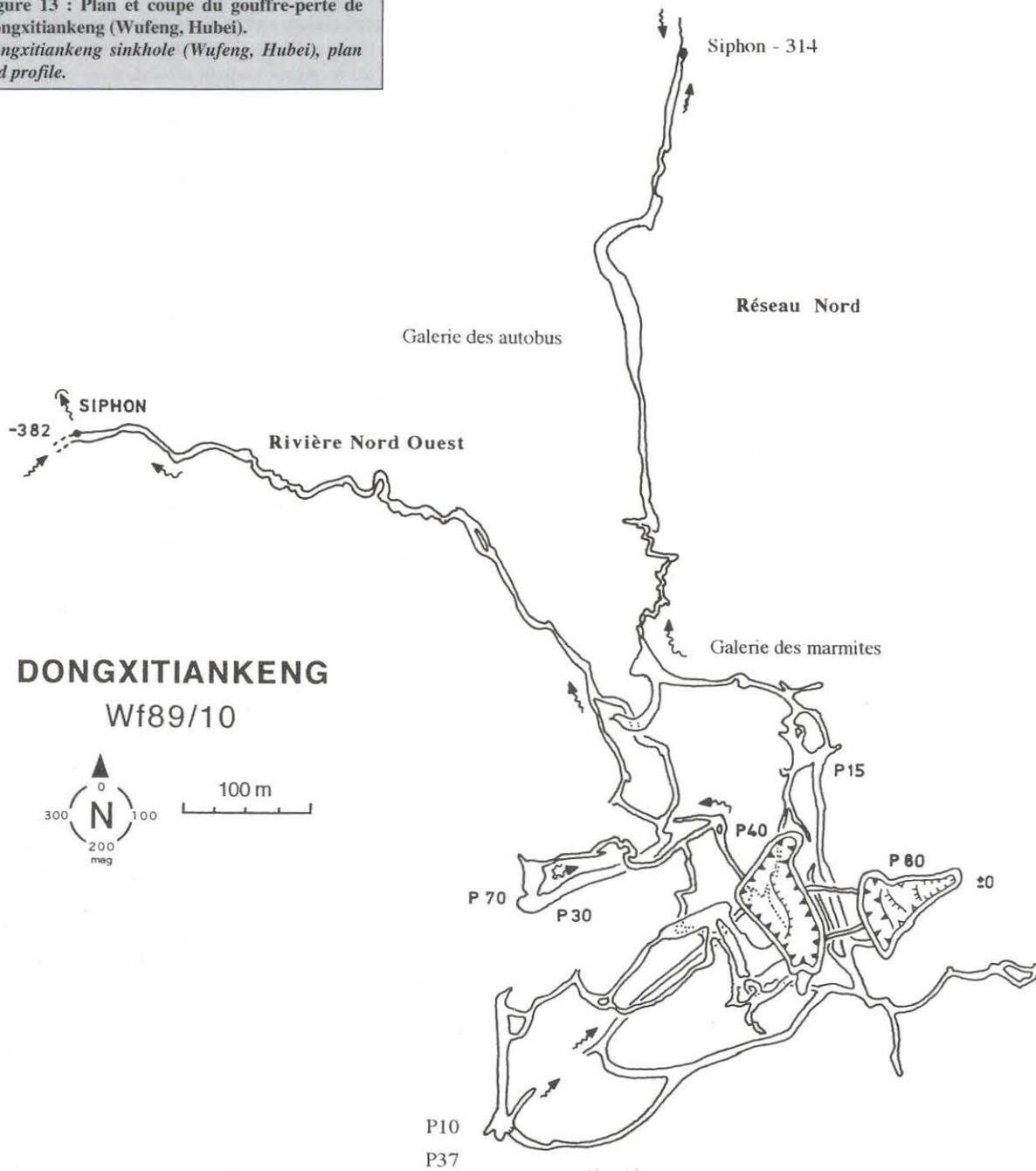
Ce gouffre-perde exceptionnel, exploré en 1989, s'ouvre par deux puits jumeaux (P40 et P80) dans lesquels se précipitent, en saison des pluies, des torrents impétueux chargés de galets. Le fond se termine sur siphon, mais 841 m de galeries nouvelles sont topographiées au nord. (cf. *Karstologia Mémoires*, n° 4, p. 96).

Le nouveau réseau se situe au nord du complexe Puits Est / Puits Ouest et démarre à la cote - 156 m, là où nous nous étions arrêtés en 1989 sur une vasque d'eau profonde. La galerie est agrémentée par une série de bassins profonds, avec de belles formes d'érosion et de corrosion : marmites, coups de gouge, lames aux bords arrondis. Comme cette galerie des Marmites fonctionne en trop-plein, il y a très peu de sédiments fins car le courant est trop rapide pour permettre leur dépôt ; en effet, le débit passe rapidement de quelques m³/s à 0, dès que toute l'eau peut être évacuée par la galerie de basses eaux située plus au nord. La violence des crues est soulignée par les bois flottés coincés un peu partout, mais en hiver le débit est insignifiant fort heureusement !

N'oublions pas que cette perte est perchée plus de 400 m au-dessus de la zone noyée, les conduits ne devenant fonctionnels qu'après de fortes pluies. Ils drainent alors un bassin-versant très vaste de sorte que les crues sont très violentes : plus de 5 m³/s, voire plus, d'après la taille et la pente des talwegs, et le niveau des hautes eaux indiqué par les paysans. En novembre, nous n'avons vu que quelques suintements de moins de 1 l/s. Ils suffisent à garder en eau la plupart des marmites et des lacs qui constituent alors de sérieux obstacles à cause de l'eau froide. On progresse soit en opposition au-dessus de l'eau (la galerie fait souvent moins de 1,5 m de large), soit en nageant dans les bassins.

Un très fort courant d'air aspirant est sensible tout au long de la galerie des Marmites et les parois sont donc très sèches. Il y a une faune assez diversifiée : crabes, criquets blancs, gros têtards blancs que nous surnomons «steambread à queue» ; celle-ci est alimentée par les débris organiques apportés par la rivière. De nombreuses banquettes perchées marquent l'ancien niveau de la rivière. De multiples petits conduits recoupent la galerie principale : ce sont de petits affluents ou des recoupements de méandre, et il faudrait les explorer méthodiquement. Cette progression aquatique se termine brutalement en arrivant au plafond d'une salle de 30 m de haut, 20 m de long et 6 m de large.

Figure 13 : Plan et coupe du gouffre-perte de Dongxitiankeng (Wufeng, Hubei).
 Dongxitiankeng sinkhole (Wufeng, Hubei), plan and profile.



Vue 3D réduite 185/-10

A partir de cette salle démarre une grande galerie de 40 m de haut sur 8 m de large appelée galerie des Autobus. Elle est vraisemblablement alignée sur une faille car son tracé rectiligne recoupe brutalement la galerie des Marmites. Elle est encombrée de bois flottés et d'énormes blocs tombés du plafond de format "autobus", polis par les crues. En rive droite, un ruisseau de 1 l/s tombe d'une galerie très inclinée (6 m x 30 m), à 200 m de la galerie des Marmites. Pour l'atteindre, il faudrait réaliser une escalade de 6 m. La galerie des Autobus siphonne au bout de 450 m dans un petit lac encombré de nombreux troncs d'arbres. Le courant d'air est perceptible jusqu'à ce lac, puis se perd dans de nombreuses cheminées encombrées de branches instables.

Pour la galerie des Marmites, une néoprène et une bouée sont conseillées. Le parcours en bateau est possible, mais un peu délicat à cause de nombreux lacs étroits et d'embarquements parfois «héroïques». Quelques équipements sont à placer : une corde de 15 m dans la première marmite (AN), une main courante de 10 m dans la troisième (AN + piton). Pour la galerie des Autobus, il faut équiper les trois ressauts au début du réseau : 4 spits, 2 pitons, 60 m de corde en continu pour une série de puits décomposée en P18, P15 et P15. (Bernard)

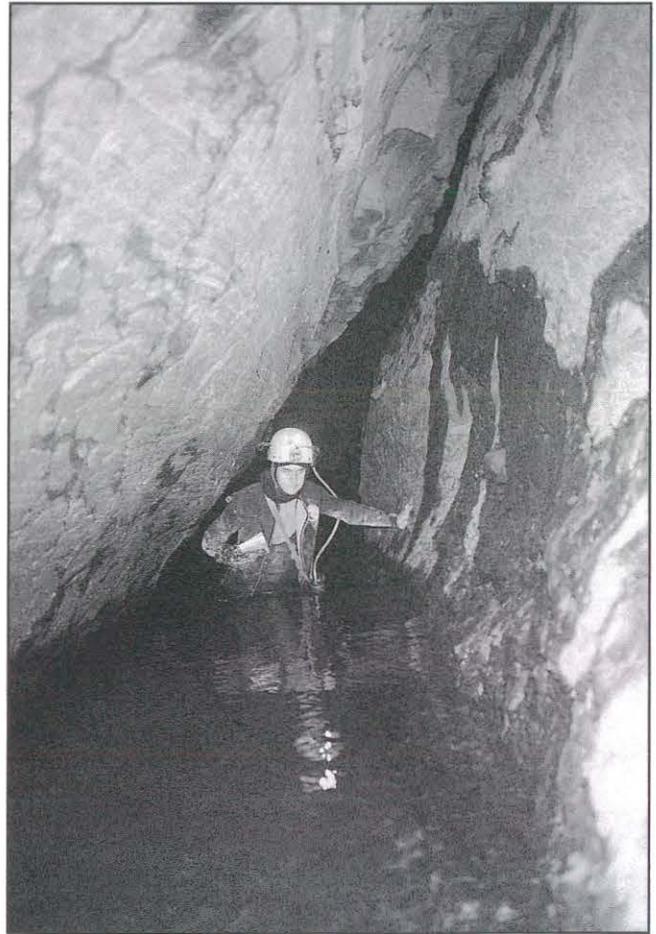


Photo 5 (en haut à droite) : Passage aquatique dans la galerie des Marmites (réseau du Puits E/Puits W - Dongxitiankeng). Cliché J.B.
In the "galerie des Marmites" (Dongxitiankeng). (up right)

Photo 6 (en bas à gauche) : La perte temporaire géante de Dadong s'ouvre par un porche de plus de 100 m de haut dans les calcaires cambriens et ordoviciens. Cliché R.M.

The giant Dadong entrance in the cambrian and ordovician limestones. (down left)

Photo 7 (en bas à droite) : Porche haut perché en paroi sur la bordure du synclinal de Huanglongdong, au sud de la zone anticlinale de Changleping. Cliché J.P.B.
Old cave level on the edge of the Huanglongdong syncline (south of Changleping anticline) (down right).

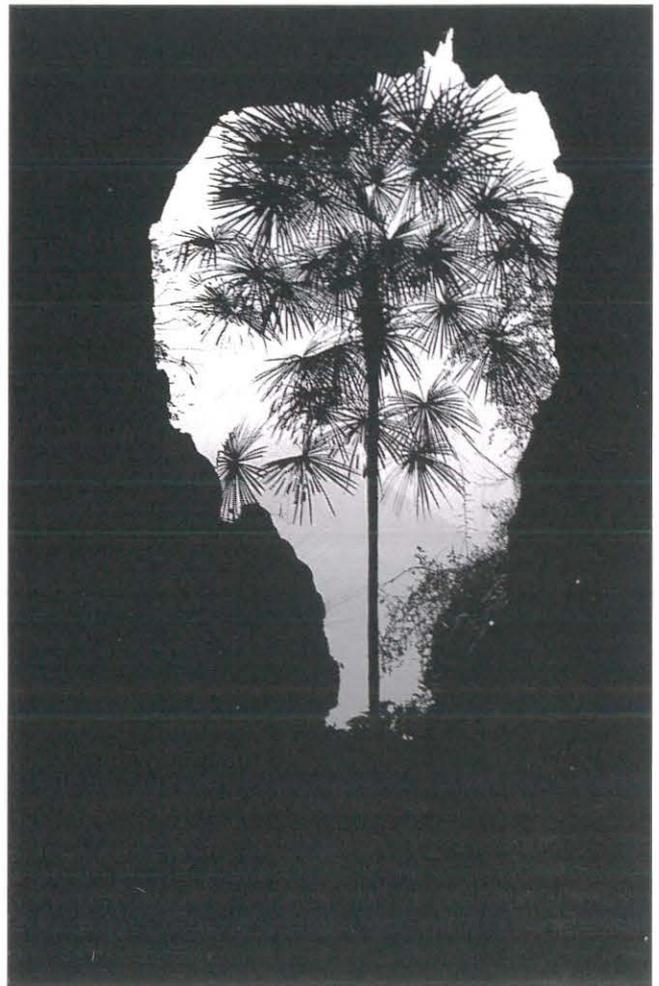
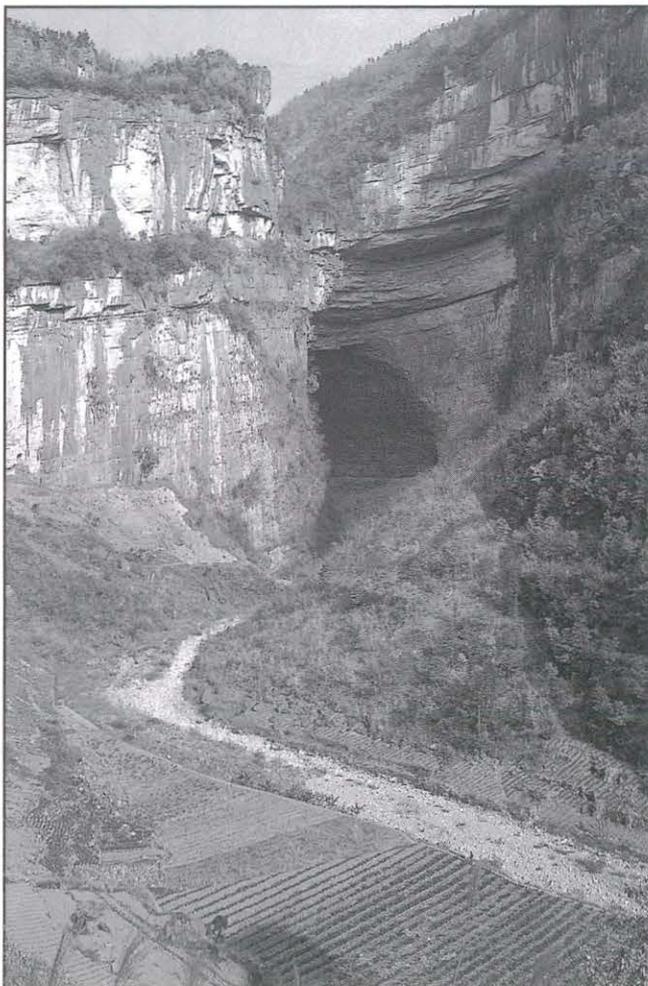
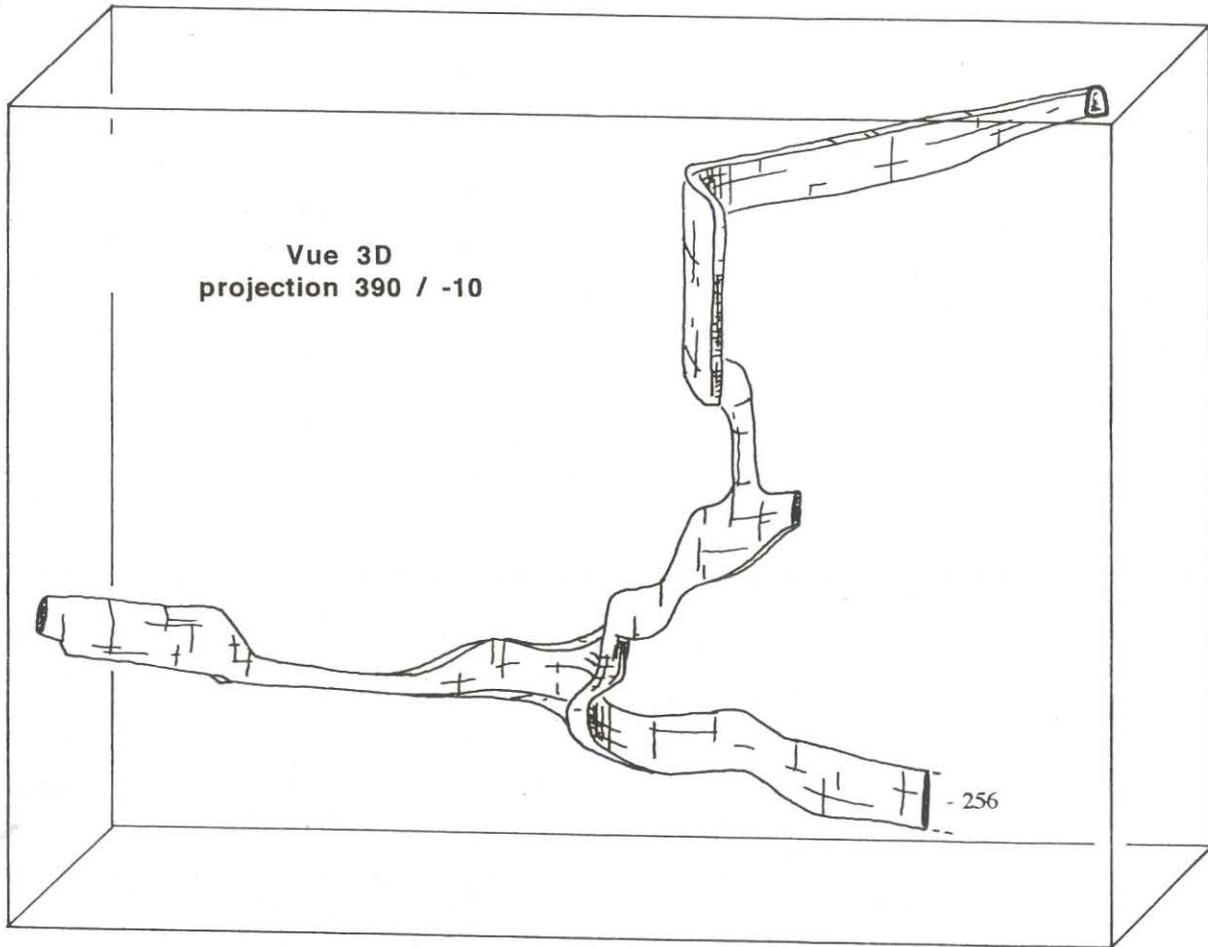
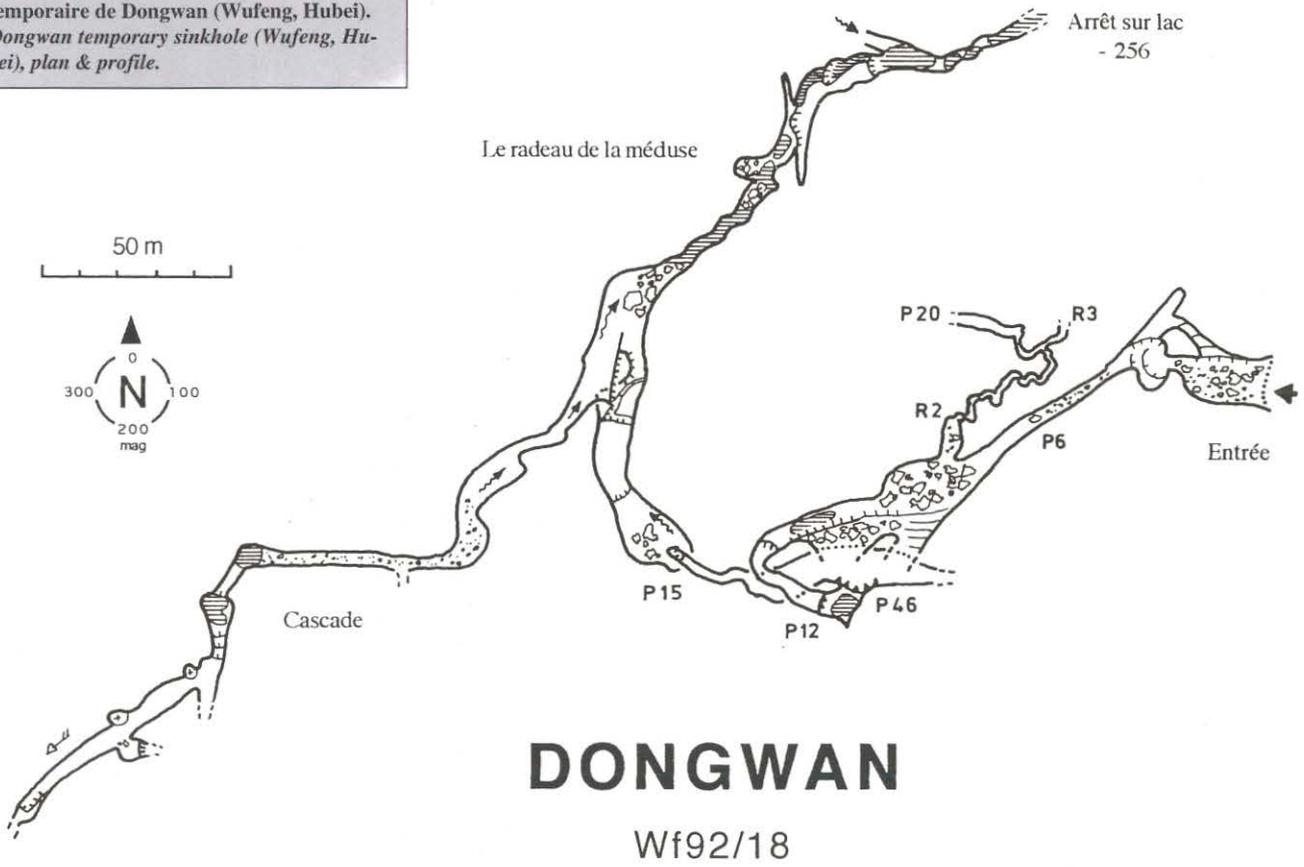


Figure 14 : Plan et coupe du gouffre-perte temporaire de Dongwan (Wufeng, Hubei).
 Dongwan temporary sinkhole (Wufeng, Hubei), plan & profile.



D. DONGWAN

«Gouffre de Dongwan» (Wf92/18)

Long. 110° 49,8' E Lat. 30° 15,3' N

Dév. 974 m Dén. - 256 m

Cette cavité s'ouvre sur le flanc d'un petit canyon, au fond d'une dépression de 30 m. On y accède par un bon sentier à travers champs (20 mn) qui démarre en contrebas et à l'est de la route, 2 km après le Puits Est. Le porche d'entrée est une voûte parfaite de 15 m de large. Au-delà, une galerie alignée sur une faille N60°E, avec deux petits ressauts (R2 et P6), conduit à une salle d'effondrement. En période de crue, la rivière poursuit son cours vers l'ouest en cascade entre de gros blocs rocheux polis par l'érosion. En basses eaux, par contre, elle disparaît dans un petit méandre, au nord de la salle, dans lequel souffle un fort courant d'air tiède. Nous explorons ce méandre jusqu'à un petit ressaut ; en rive gauche, une galerie remontante bute sur un puits de 20 m non descendu.

Au-delà de la salle, la galerie principale se poursuit selon des joints de strates, avant de rejoindre un grand puits de 120 m (4 ressauts) aligné sur une faille N115°E. Le premier jet de 15 m aboutit dans une vasque profonde que l'on évite par la gauche. Idem pour le second de 30 m et le troisième de 17 m. Le dernier jet de 48 m, magnifique, aboutit dans une belle salle de 20 m x 40 m x 60 m dont la voûte et les parois sont sculptées en formes arrondies, presque féminines, par la chute de l'eau ! La progression vers l'aval se poursuit dans une galerie aux parois et au sol totalement lisses. Après un ressaut de 6 m et une marmite peu profonde, nous arrivons à une verticale de 15 m formée par le remplissage de la galerie précédente empruntant en fait une fracture. Après être descendus d'un étage, nous voici dans une grande salle en interstrate. L'écoulement de l'eau se fait toujours au contact du plancher légèrement incliné et d'une paroi. Un nouveau ressaut, puis une vasque franchie par une vire et nous voilà dans la salle où arrive l'affluent principal d'un débit équivalent à celui de la rivière (situation en novembre 92). La rivière poursuit son cours de marmite en marmite et nous tentons de faire de même, mais avec un canot percé, ce n'est pas brillant. Après quatre petits bassins et quelques ressauts, nous laissons l'eau continuer toute seule vers des profondeurs que l'on imagine importantes : le potentiel est de plus de 500 m. Revenons à l'affluent laissé en rive gauche. Il se remonte par une rampe inclinée à 34°, sculptée par l'eau, pour atteindre le cours de l'eau défendu par une petite cascade glissante à cause de la pellicule noirâtre recouvrant la roche. Le cheminement se fait tout d'abord dans un méandre large de 2 m, puis la galerie s'élargit et le plancher est recouvert de galets et d'argile. On arrive à une salle où deux vasques sont alimentées par une cascade au-delà de laquelle la galerie est rectiligne jusqu'au terminus 92 (encore le manque de temps). Mais les derniers mètres ont été faits sur un remplissage sec et la suite semble nettement plus étroite. L'essentiel de l'eau de cet affluent provient de deux puits remontants, 10 m avant le terminus 92, et d'une arrivée située au même niveau sur la paroi opposée. Un autre départ sur la même paroi que l'arrivée d'eau, mais un peu en amont, semble jonctionner avec celle-ci.

- **Hydrogéologie** : Ce gouffre est la perte d'un canyon qui draine un bassin-versant de quelques km² seulement. D'après la morphologie du lit, les débits de pointe semblent très forts, de l'ordre de 10 m³/s, sans doute en raison de la forte pente de la partie amont du bassin. L'eau s'enfonce alors rapidement sous terre (- 256 m pour un cheminement de moins de 1 km), pour rejoindre un niveau de base qui doit être situé entre 400 et 500 m sous l'entrée. Il n'y a aucune trace de mise en charge dans la partie que nous avons explorée, ce qui indique que le gouffre se poursuit encore en profondeur, avec de larges sections sur plusieurs centaines de mètres. Sa résurgence n'est donc vraisemblablement pas Longdong, la source vaclusienne située vers 800 m d'altitude dans le canyon de la Chaibuxi qui traverse la montagne 1 km plus à l'est. La résurgence des eaux de Dongwan doit se situer à une altitude beaucoup plus basse. Une incertitude subsiste : l'eau se dirige-t-elle vers l'ouest ou vers l'est ? Encore un trou qu'il faudra continuer. (Bernard et Cyriaque)

E. GOUFFRE DE LA FILLE DE LUMIÈRE

(Wf92/16) Dév. 40 m Dén. - 40 m

C'est une après-midi ensoleillée et comme nous avons malheureusement fini l'exploration de la grotte du Général, nous décidons de faire quelque chose dont j'avais envie : partir en prospection dans la campagne, hors des sentiers battus par nos équipes. Un orifice de puits est découvert, dissimulé sous des broussailles. Un jet de pierre nous remplit de joie et nous installons rapidement la corde sur un arbre voisin. La descente commence par une fracture de 80 cm de large sur 4 m de long. Pendant 40 m, nous espérons la jonction avec le système du Puits Est. Arrivé en bout de corde, je descends encore 4 m en désescalade pour m'arrêter sur un colmatage argileux complètement hermétique. Nous topographions en remontant. (Cyriaque)

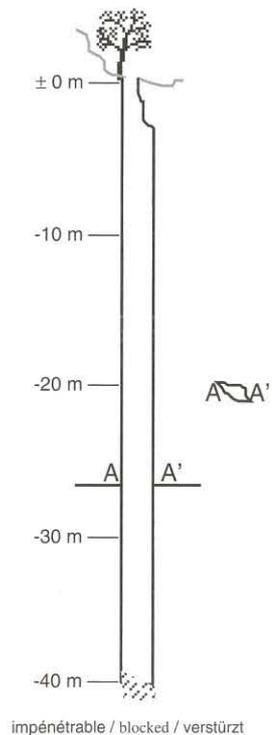


Figure 15 : Coupe du gouffre de la fille de lumière (Wufeng, Hubei).
"Fille de lumière" cave (Wufeng, Hubei), profile.

F. TIANKENGCAO

«Gouffre du vallon» (Wf92/15)

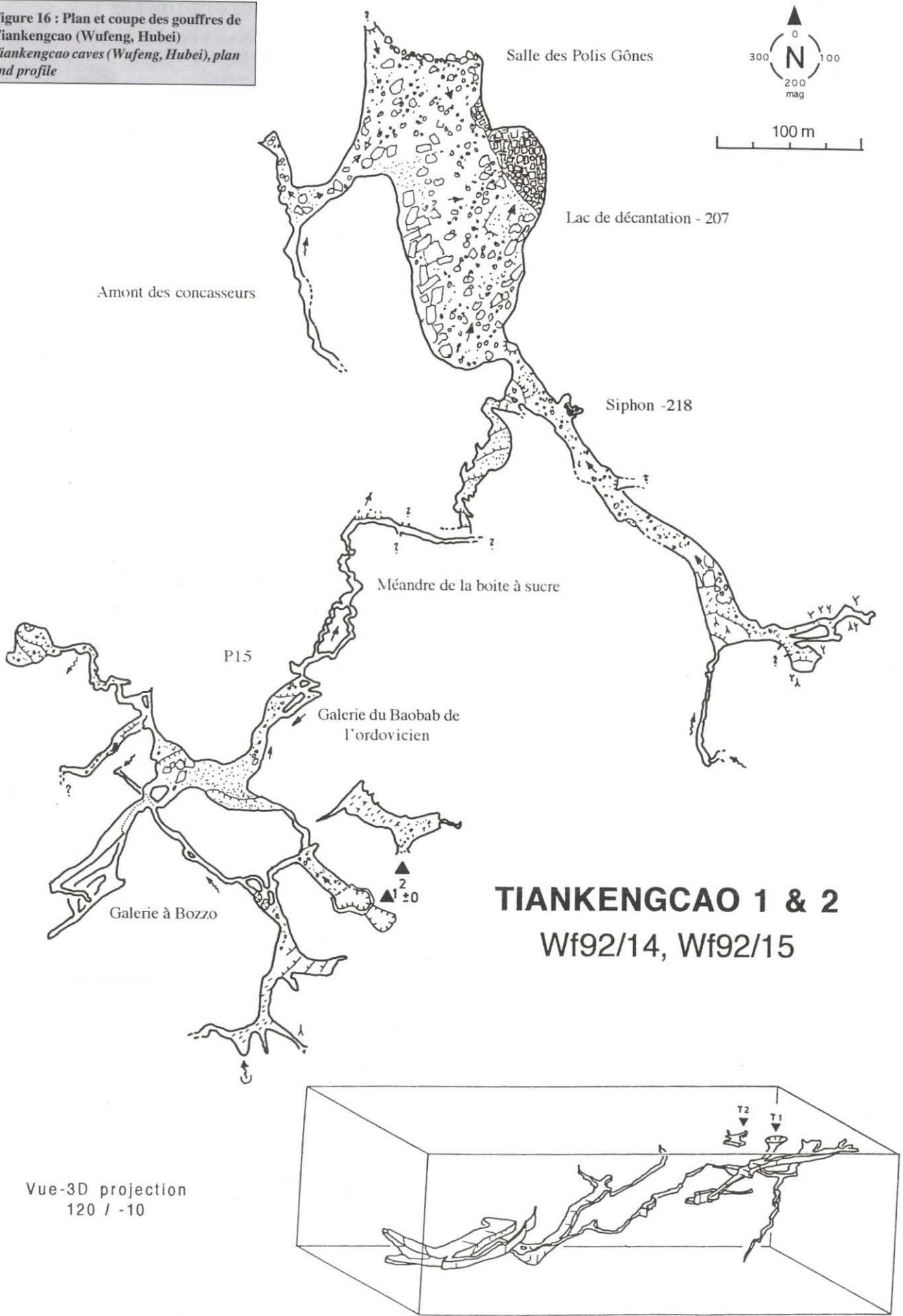
Long. 110° 48,2' E Lat. 30° 14,6' N Alt. 1 250 m

Dév. 3 748 m Dén. 226 m (- 216, + 10)

Ce gouffre remarquable commence par une ancienne perte, perchée plus de 170 m au-dessus du puits Est (25 mn de marche). L'entonnoir d'accès, occupé par des bambous, se situe au bord d'un ouvala cultivé. Il donne rapidement sur une bouche noire inclinée de 8 m de large sur 2 m de haut. La galerie, en forte pente, est encombrée de blocs instables. Au bout de 50 m, on rejoint une petite salle de 20 m de large, basse de plafond car envahie par la blocaille. Dans le coin gauche, nous retrouvons le départ de la galerie à Bozzo explorée rapidement en solo en 1989 et non topographiée. A droite et en hauteur, le courant d'air emprunte un autre passage fossile.

- **Galerie à Bozzo** : Depuis la salle du début, nous empruntons une courte et étroite galerie jusqu'au sommet d'un puits de 5 m de diamètre et de 15 m de profondeur ; il se court-circuite par un petit puits parallèle donnant dans le P15. Ici comme ailleurs, le sieur La Rouille nous gratifie d'un équipement à la «bulgare», histoire d'utiliser ses câbles plastifiés ! En bas, nous observons un petit actif tombant en pluie d'une cheminée. A l'opposé, une jolie conduite forcée s'enfonce dans un joint de strate incliné à 35° (pendage de direction N330 à N350°). Au bout de 200 m, nous aboutissons dans une micro salle bouchée par un siphon de graviers que Bozzo avait cru passable il y a trois ans ! Un petit actif arrive de l'est par une voûte basse infranchissable. En remontant, nous allons faire la galerie fossile située en amont du puits de 15 m. Ce vaste conduit, de 15 à 20 m de large, grimpe dans le pendage, puis atteint un palier. Plusieurs affluents (cheminées, méandres étroits) arrivent en rive droite, c'est-à-dire de l'est. On observe un remplissage généralisé de limons argileux et des bouchons détritiques. Les concrétionnements anciens sont corrodés.

Figure 16 : Plan et coupe des gouffres de
Tiankengcao (Wufeng, Hubei)
*Tiankengcao caves (Wufeng, Hubei), plan
and profile*



Après avoir accédé à une lucarne et parcouru une petite galerie, nous débouchons dans la partie basse d'une très belle salle qui forme le carrefour de plusieurs départs. Au SE un complexe de très belles galeries remontantes formant l'amont se terminent toutes sur des remplissages. Au NE un départ dans l'interstrate mène à un carrefour tandis qu'à gauche une galerie ventilée pourrait bien déboucher sur l'énorme doline située non loin de là. Nous nous sommes arrêtés dans un petit puits remontant. Tout droit une belle galerie serpentant mène à une salle dont le fond est crevé par un puits d'au moins 15 m non descendu. Au NE c'est la galerie du «Baobab de l'Ordovicien» qui mène au P15 donnant accès au fond du réseau par le «Méandre de la boîte à sucre».

- Réseau du méandre de la boîte à sucre : A la base du P15 on trouve à gauche un petit actif disparaissant dans une fracture étroite et peu engageante que nous n'avons pas exploré. A l'opposé démarre un méandre fossile entrecoupé de petits puits. Il se dédouble au départ sur une centaine de mètres. La roche saine du début cède rapidement sa place à une roche complètement délitée par les fins bancs de gypse qui la font littéralement exploser, d'où le nom du méandre car on y trouve les boîtes, excellentes prises interchangeables, mais aussi le sucre en poudre (du gypse) qui reste toujours au fond des boîtes ! La fin se dédouble par une conduite forcée en plafond. Elle aboutit par une étroiture à un interstrate très vaste et très poussiéreux que l'on traverse pour trouver un passage descendant, puis remontant très ventilé. On arrive alors en balcon d'une grande galerie d'effondrement orienté NW-SE. Deux possibilités : descendre la galerie jusqu'à un point bas où une courte galerie donne sur un siphon, puis remonter de bloc en bloc jusqu'au bout de la galerie devenant très concrétionnée et donnant sur une série d'amont arrêtés sur puits remontant et un petit aval actif entrevu sous les blocs.

La deuxième possibilité débute au pied du balcon où il faut grimper le grand talus lui faisant face. On entre alors dans une salle descendante aux dimensions imposantes, 220 m par 120 m pour une surface d'environ 16 000 m² : c'est la salle des Polis gônes. Elle présente des traces de mise en charge : blocs recouverts d'une peau d'argile et lac de décantation. Au nord elle bute sur une énorme trémie, à l'ouest une galerie mène à deux amonts. Au sud l'amont des Concasseurs, vaste fracture où les blocs s'empilent les uns sur les autres, pourrait correspondre à l'actif du P15. Au nord une nouvelle trémie arrête toute progression.

Ce superbe gouffre de type alpin pourrait encore réserver de nombreuses surprises car il est vraisemblablement une des clés importantes pour la compréhension du système, dans cette partie de l'anticlinal. (Richard, Jean-Pierre et Sylvain)

G. TIANKENGCAO 2

«Gouffre du vallon 2» (Wf92/14)

Dév. 148 m Dén. - 12 m

Cette petite cavité se situe juste à 50 m de Tiankengcao et pourrait bien jonctionner par un petit puits en diaclase qui n'a pas été descendu.

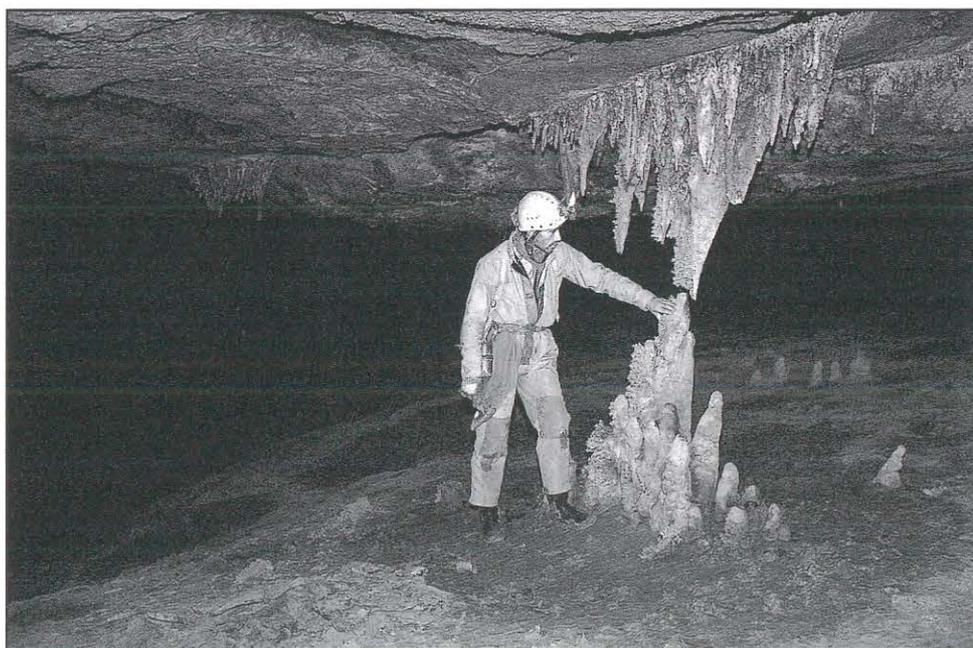
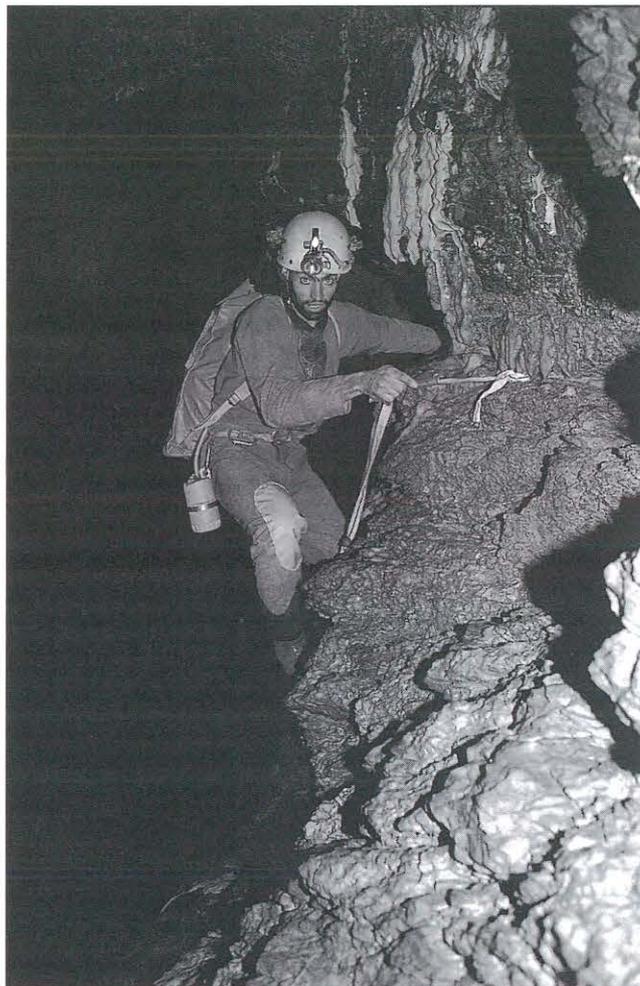
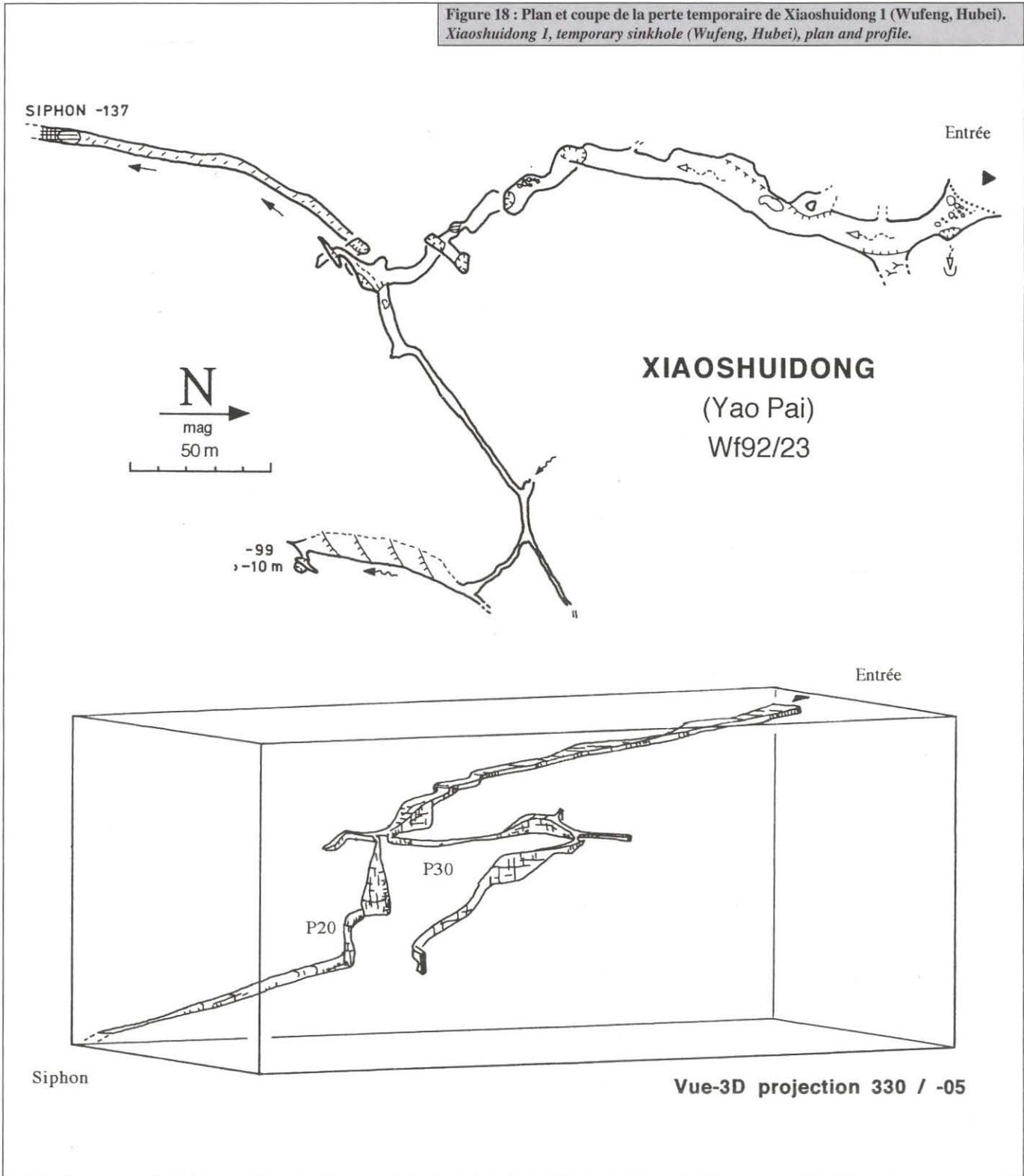


Photo 8 (en haut) : Passage en vire dans la résurgence de Donghe (Wufeng). Cliché R.M.
In the Donghe resurgence (Wufeng). (Up)

Photo 9 : Dans la galerie de l'Oubli (Dadong), concrétions sur remplissage argileux. Cliché R.M.
In the "galerie de l'Oubli" (Dadong), speleothems on clayed deposits.

Figure 18 : Plan et coupe de la perte temporaire de Xiaoshuidong 1 (Wufeng, Hubei).
 Xiaoshuidong 1, temporary sinkhole (Wufeng, Hubei), plan and profile.



terminus sur étroiture, une petite conduite forcée descendante très ventilée. Celle-ci finit 20 m plus loin au sommet d'un petit puits : celui-ci se prolonge par une fissure relativement étroite dans laquelle nous progressons une centaine de mètres jusqu'à un nouveau puits. Là est peut-être la suite. Mais nous n'avons pu la découvrir, encore faute de temps ! De même, plusieurs départs n'ont pas été vus dans la galerie d'entrée. (Sylvain)

B. XIAOSHUIDONG 2

«Grotte de la Perte 2» (Wf92/24)

Long. 110° 50,8' E Lat. 30° 09,9' E Alt. 960 m

Dév. 998 m Dén. 131 m (- 119, + 14)

Voilà encore une perte comme on les aime ! Située un peu en contrebas de l'extrémité ouest du poljé, la perte double est alimentée par deux vallées : la première vient du nord et se jette dans un porche de 10 m x 15 m, la seconde vient du sud et aboutit dans un puits de 20 m. Les énormes quantités d'eau absorbées pendant la mousson d'été — sans doute des pointes à plusieurs dizaines de m³/s — ont façonné des puits-marmites hors du commun par leur taille et leur esthétique, en particulier le puits en spirale du Bobsleigh profond de 40 m, suivi du Chaudron karstique, large de 40 m sur 30 m ! En bas, une galerie en canyon, haute de 40 m, se termine au bout de 150 m sur un conduit étroit englué d'argile. En hautes eaux, l'excédent d'eau emprunte vers le NE un réseau supérieur encombré de troncs d'arbres

XIAOSHUIDONG 2

Wf92/24

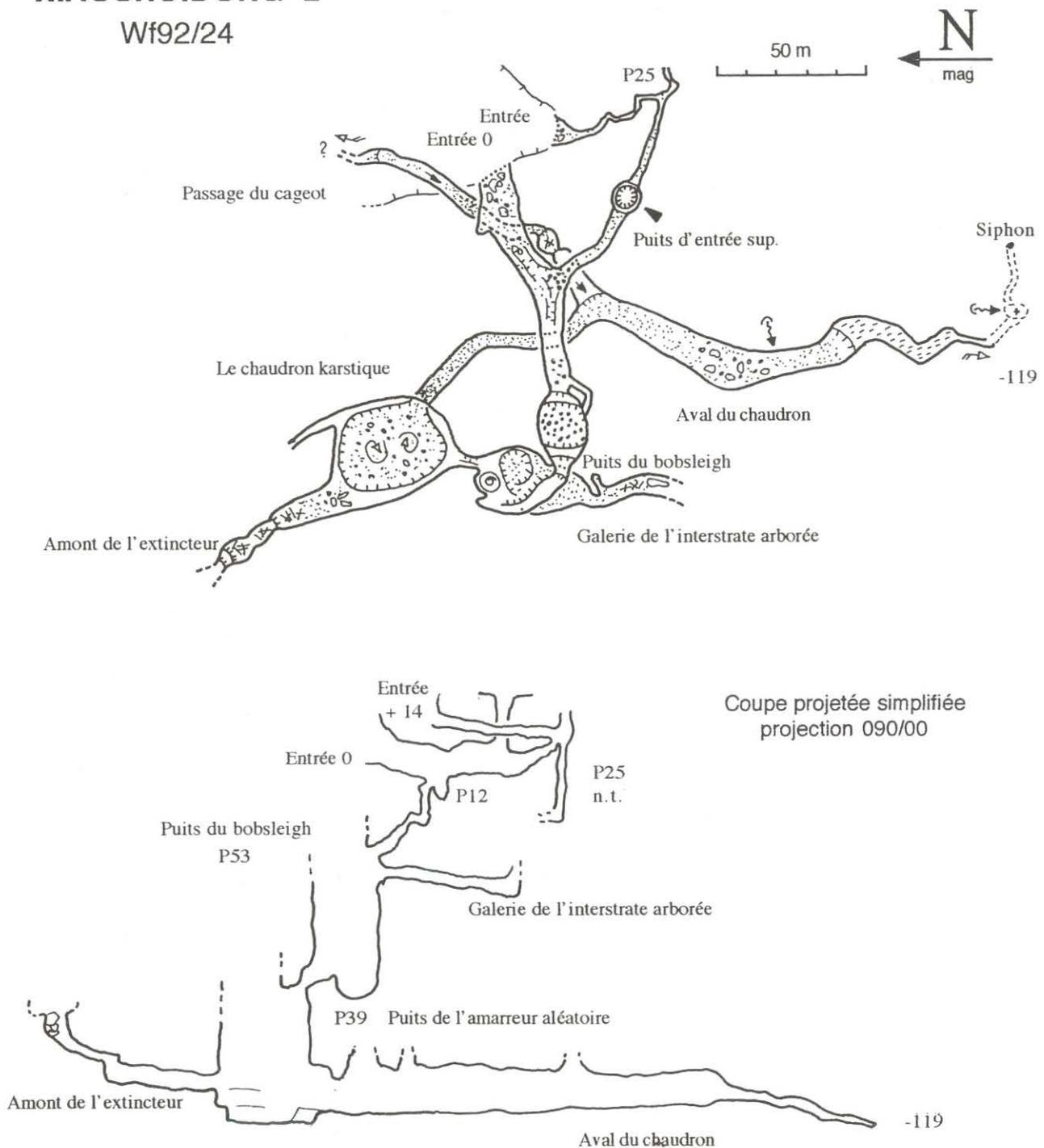


Figure 19 : Plan et coupe de la perte de Xiaoshuidong 2 (Wufeng, Hubei). Xiaoshuidong 2 sinkhole (Wufeng, Hubei), plan and profile.

et de cagettes en plastique, et probablement un passage supérieur principal qui n'a pas été reconnu.

Le Chaudron karstique est alimenté également par une galerie, l'Amont de l'Extincteur (photo 4 p. 20), elle-même encombrée par un entrelacs de branches et moult troncs ! Nous nous sommes arrêtés à la base d'un gros bloc coincé (escalade de 5 m) : la galerie continue. Dans cette perte typiquement chinoise, la puissance des crues est telle que des troncs de belles dimensions ont été propulsés perpendiculairement à l'axe des puits, par exemple dans la galerie de l'Interstrate Arborée (tout un programme !) située au beau milieu du

puits du Bobsleigh. L'aspect blanc, satiné ou martelé des parois donne une idée de l'érosion mécanique des eaux pendant les crues. Les galets sont projetés à grande vitesse selon un mouvement circulaire descendant. Le manque de temps ne nous a pas permis de découvrir la suite du réseau qui doit se situer dans un passage surplombant la grande galerie en aval du Chaudron karstique. L'équipement du trou s'est fait différemment selon l'humeur et les possibilités de la roche : soit avec de beaux spits dans une roche saine, soit avec des pitons délicatement plantés dans des fissures vite impénétrables. (Richard, La Rouille et Jean-Pierre)



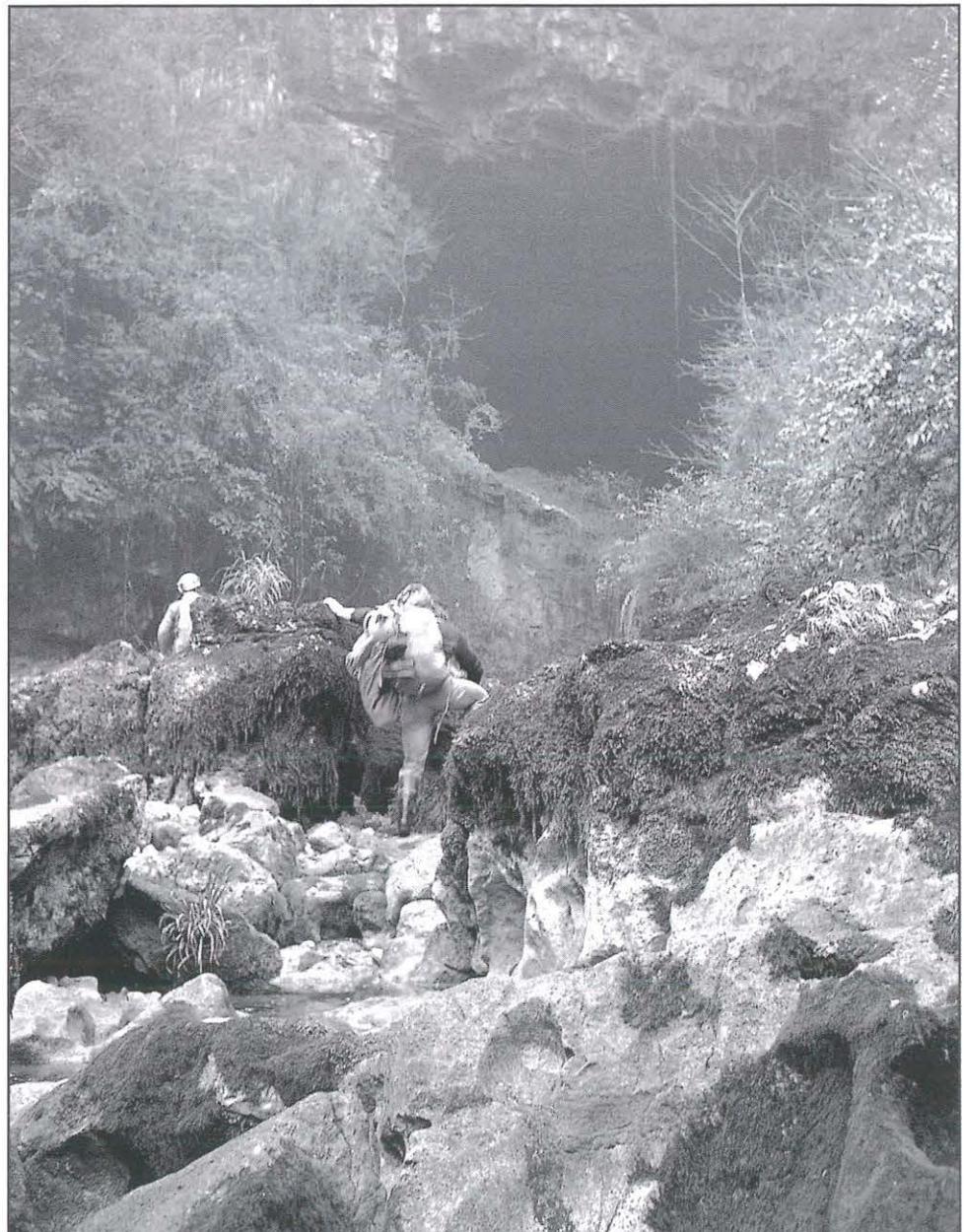
Photo 10 : Relais dans le puits du Bobsleigh (perte de Xiaoshuidong 2). A gauche, départ de la galerie de l'Interstate arborée dans laquelle des troncs d'arbres ont été injectés par les crues de mousson. Cliché R.M.

In the "puits du Bobsleigh" (Xiaoshuidong 2 cave). On the left, the "galerie de l'Interstate arborée" with numerous wood trunks at the extremity.



Photo 11 : Approche vers la résurgence de Donghe. Le lit est en grande partie à sec à cause de la saison sèche et du captage des eaux souterraines vers une usine hydroélectrique (débit 1,1m³/s). Cliché R.M.

The Donghe resurgence in dry season (winter discharge 1,1 m³/s).



III. La zone orientale de l'anticlinal de Changleping

Explorée à partir de la ville de Yuyangguan et ses fumées soufrées, cette région présente la fameuse grotte-résurgence de Donghe dont la gueule béante nous avait enthousiasmé en 1989. Nous l'explorons sur près de 5 km et 270 m de dénivellation. Encore un regret : le manque de temps !

A. DONGHE (DONGHE WUFENG)

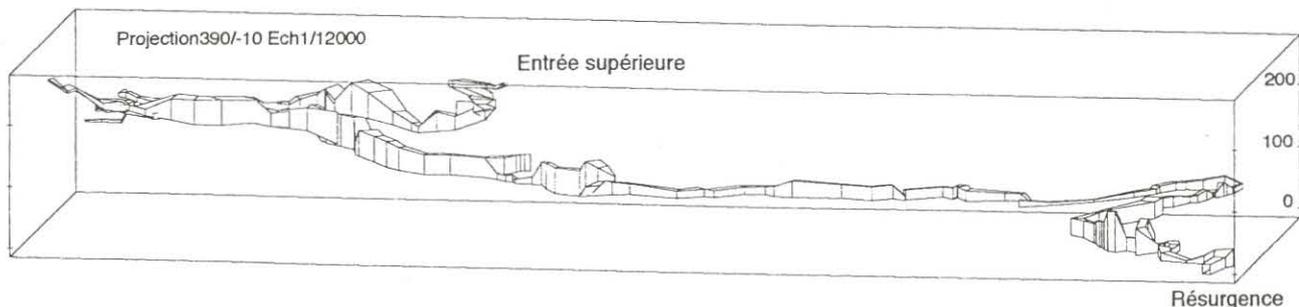
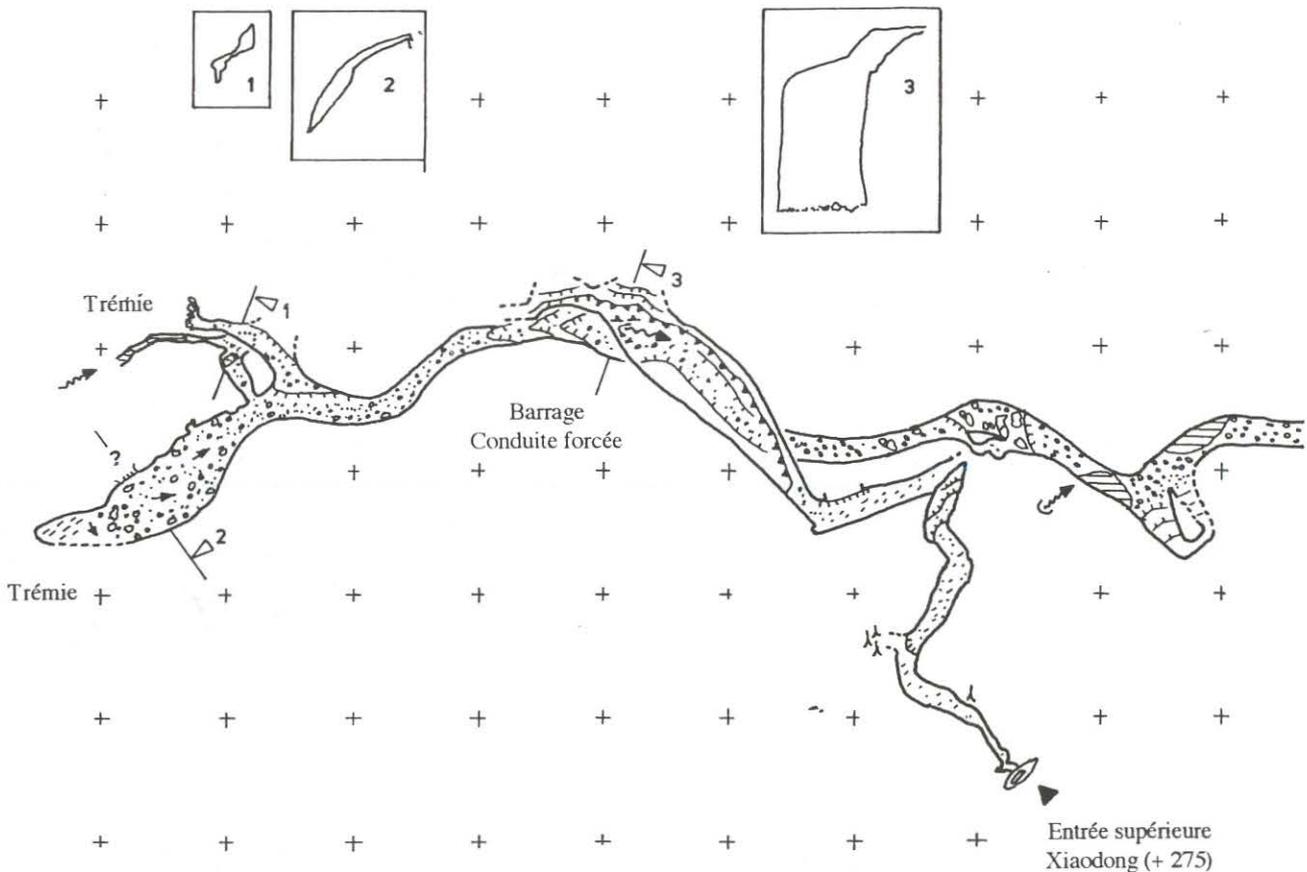
«La grotte rivière» (Wf92/13)

Dév. 4 828 m Dén. - 270 m Alt. 510 m

La résurgence de Donghe jaillit au fond d'une reculée par un porche de 20 m de haut sur 20 m de large qui a été sommairement aménagé par les paysans. Un ancien canal d'irrigation suit la rivière en rive gauche. Il devait permettre d'irriguer quelques rizières situées plus en aval, mais il a été abandonné depuis longtemps, comme certaines terrasses situées au-dessus de la grotte. C'est le seul cas de ce genre que nous ayons vu jusqu'à présent. Selon les explications que nous avons pu avoir, ces aménagements avaient été réalisés sous la houlette

d'un cadre politique très motivé, dans la ligne de «*Comment Yukong déplaça les montagnes*», mais ils ont ensuite été abandonnés par les paysans, car ils étaient vraiment difficiles à exploiter.

- **La remontée de la rivière** : La salle d'entrée, de 30 m de large sur 30 m de haut, est une cloche d'effondrement. En rive gauche, elle contient quelques anciens fours à nitrates. La galerie s'enfonce petit à petit dans l'obscurité en décrivant des méandres très photogéniques. Le plancher est taraudé de belles marmites ou recouvert de gros blocs roulés. A 200 m de l'entrée, un petit lac nous barre le passage, mais il peut être évité par la droite, en remontant un éboulis qui aboutit à un beau lit sablonneux. Un peu plus loin, un second lac ne peut être évité que par une vire un peu exposée en rive droite : une sangle est installée pour permettre le rétablissement au-dessus de l'eau. Juste après, nous franchissons une série de petites cascades avec de magnifiques formes d'érosion. Encore quelques vires et on bute sur un nouveau lac profond. Le court-circuit existe : c'est une diaclase qui passe en rive gauche et qui est suivie par une vire exposée. Plus loin, la baignade est inévitable. Nous revenons le lendemain avec canot et néoprène pour tenter la jonction avec l'équipe qui passe par l'entrée supérieure. Il y en a pour près d'un km, avec cinq longs lacs, dont le plus long fait 250 m. La progression dans les bassins est facile, simplement entrecoupée de quelques dunes de galets à escalader. La

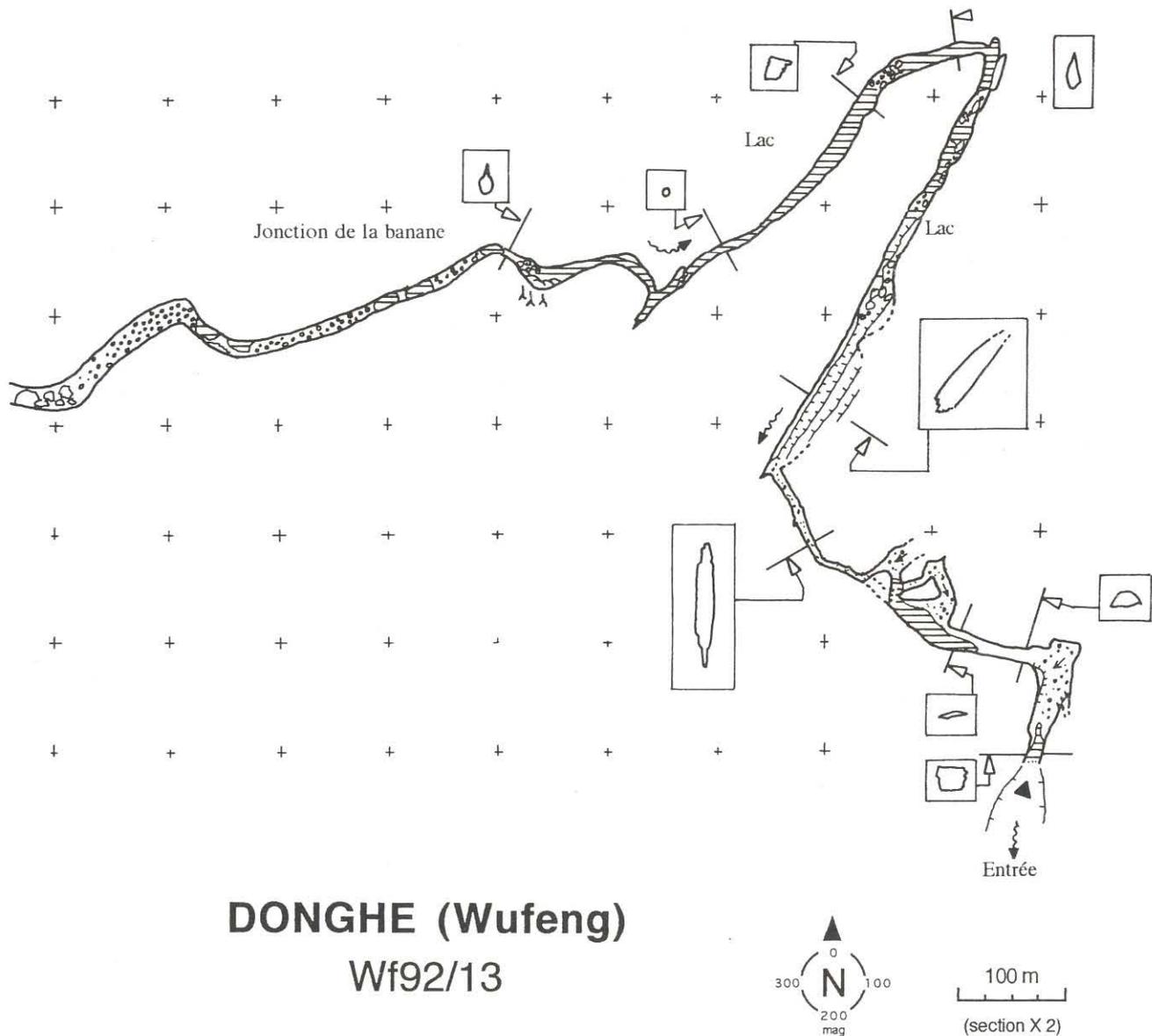


galerie est toujours très large, alignée sur de grosses fractures, dont une faille de direction N35°E que l'on suit rigoureusement pendant 400 m. Par endroits, un passage en banquettes en rive NW est possible du côté où plongent les strates, mais il est plus facile de suivre l'eau. (Bernard, et La Rouille)

- **L'entrée supérieure :** Pendant que la première équipe remonte la rivière par la résurgence, deux équipes passent par l'entrée supérieure, la première pour tenter la jonction, la seconde pour faire la topo de cette partie jusqu'à la rivière. Cette entrée supérieure, sans doute une ancienne perte, se situe à 50 m de la route, près de 2 km à l'ouest de la résurgence. Un sentier a été aménagé par les Chinois pour rejoindre la rivière souterraine et creuser une galerie de dérivation depuis l'intérieur de la grotte afin d'alimenter l'usine hydroélectrique située 200 m plus bas (captage souterrain et conduite forcée extérieure). La galerie qui rejoint la rivière mesure 700 m de long sur 200 m de dénivellation. On progresse dans un conduit qui s'élargit au fur et à mesure, avec d'abondants concrétionnements, pour atteindre une vaste salle de 240 m de long sur 60 m de large et 100 m de haut au moins. En fait, on arrive en balcon plus de 60 m au-dessus de la rivière dont on entend maintenant le grondement. Un sentier a été installé et parfois taillé sur une vire qui contourne la bordure NE de la salle, puis une série d'escaliers et de balustrades permet de rejoindre la galerie

active. L'extrémité nord de cette salle n'a pas été visitée : elle semble continuer encore très haut ! (Daniel)

- **La jonction avec l'aval :** De l'entrée supérieure, on atteint la rivière de Donghe là où elle sort des blocs. Nous attaquons vers l'est, c'est-à-dire vers l'aval afin de rejoindre l'équipe de la résurgence qui, elle, est partie avec le matériel aquatique (néoprène et canots). Nous espérons ne pas rencontrer de difficultés car nous n'avons rien pour franchir des bassins profonds ! Nous avançons gaillardement, le topofil dans la main, dans une galerie large de 30 m et haute de 50 m ou plus, d'abord encombrée par les blocs de la salle supérieure, puis par des amas de galets. La rivière passe en sous-écoulement. Nous progressons vite, les visées se suivent sans difficultés dans un conduit mesurant maintenant 20 à 25 m de large sur une hauteur variant entre 10 et 40 m. Au bout de 400 m, nous évitons un amoncellement de blocs géants formant puits par un conduit latéral (bassins). Après, la galerie se poursuit avec les mêmes dimensions, toujours vers l'est, en présentant quelques larges virages. Le topofil fume... et les petites bobines roumaines de 250 m ne font pas long feu ! Au bout de 650 m, un vrai bassin. Heureusement, une escalade en rive droite permet de le passer sans nous tremper, mais c'est pour nous retrouver aussitôt devant un très long bief qui se perd dans les ténèbres. Au moment où nous commençons un pique-nique mérité, des sons confus nous



DONGHE (Wufeng) Wf92/13

Figure 20 : Plan et coupe de la résurgence de Donghe (Wufeng, Hubei). Donghe spring plan and profil.

parviennent de l'aval, puis l'on aperçoit un mauvais canot jaune, en partie dégonflé, qui se dirige à pleine vitesse sur nous. Il est occupé par Bernard qui brandit un carnet topo ondulé et gonflé par l'eau. Il est bientôt suivi par un deuxième canot jaune, aussi mauvais que le premier, surmonté par La Rouille, les moustaches au ras de l'eau. Une ambiance de fête : nous venons de réaliser la jonction au bon endroit, pour les uns et pour les autres, dans ce réseau exceptionnel. (Richard et José)

- **L'amont de Donghe** : Une large galerie sèche, encombrée de blocs géants, remonte vers l'ouest. Au bout de 250 m, on parvient à un carrefour. Au nord, une puissante terrasse de blocs, haute de 15 m, donne dans une galerie large de 20 m qui se termine au bout de 100 m sur une grosse trémie dans laquelle s'enfile le courant d'air. Une escalade un peu délicate est effectuée, mais aucune continuation n'est évidente et nous préférons ne pas nous enfileur entre des blocs en équilibre instable. 50 m avant, un départ existe 12 m au-dessus de la galerie, mais nous n'avons pas le temps de franchir ce surplomb difficile, mais la suite du réseau est peut être là. Revenue à la bifurcation, la galerie principale aboutit rapidement dans une sorte de salle de 150 m x 50 m dont les strates effondrées obstruent complètement l'extrémité ouest. En revenant, une autre galerie se dirige vers le nord : elle est empruntée par le courant d'air. Un puits intermédiaire perce le plancher et mène à un siphon ; un peu au-dessus, nous descendons un puits-faille de 25 m qui donne sur un bassin profond (siphon). En amont, après un pendule, on aboutit dans la rivière qui s'écoule entre des berges de boue avec de nombreux têtards blancs dépigmentés. Hélas, la rivière sort quelques dizaines de mètres plus loin d'un méandre impénétrable et du dessous d'une énorme trémie fortement aspirante, mais dans laquelle nous n'avons pas trouvé la suite. (Jean-Pierre)

- **Hydrogéologie** : Donghe est creusée dans les bancs de calcaires massifs du Cambrien, au coeur de l'anticlinal de Changleping. Cette rivière souterraine a un débit considérable qui peut atteindre 50 m³/s pendant la mousson d'été. Il atteint 1,1 m³/s en novembre 1992, en plaine saison sèche, et tombe à 0,25 m³/s en fin d'été (données fournies par la station hydroélectrique). Le bassin d'alimentation est estimé à une centaine de km². Les limites sud et nord de l'aquifère correspondent aux limites d'affleurement des calcaires du Cambro-Ordovicien. Les limites orientales et occidentales restent encore mal définies. Il est probable que le poljé de Changleping soit drainé vers cette émergence. Par contre, nous ne savons pas encore si les pertes situées dans la zone de Changbuxi (Dongxitiankeng, Dongwan) sont drainées vers l'est, donc vers Donghe, ou vers l'ouest, c'est-à-dire vers Longdong-Yanzidong. (Bernard)

B. GROTTES DU PARKING

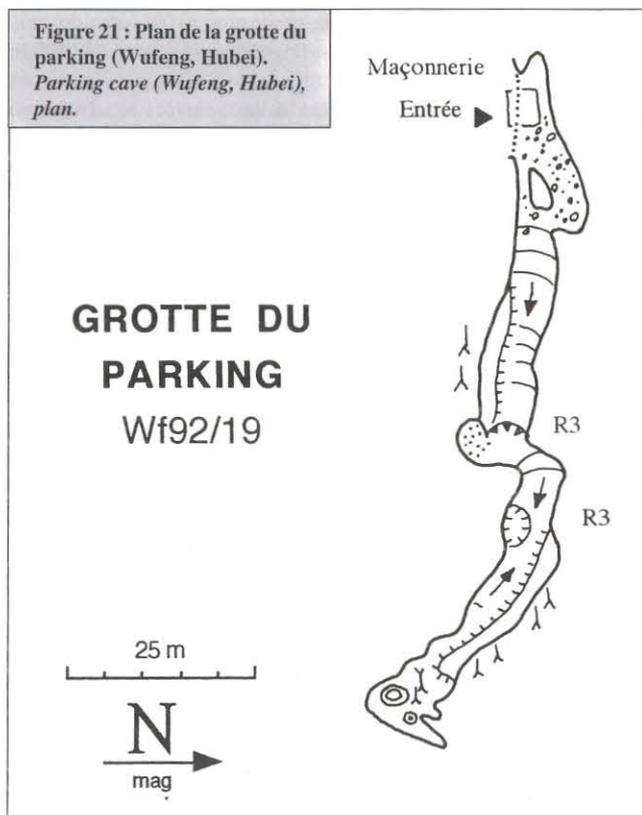
(Wf92/19) Dév. 104 m Dén. - 24 m

Cette cavité s'ouvre immédiatement à gauche de la piste qui mène à Donghe, 50 m avant le point de stationnement du bus. Le porche d'entrée porte encore les traces d'une ancienne construction. Un courant d'air aspirant est de bonne augure, mais la cavité ne tient pas ses promesses. C'est une galerie sèche, d'une centaine de mètres de long et de 10 m² de section. Elle est creusée dans les calcaires massifs du Cambrien. Il n'y a actuellement plus aucun écoulement important. Deux petits ressauts entrecoupent la progression, dont l'un demande une corde de 10 m. De très nombreux massifs stalagmitiques encombrant la galerie et finissent par obturer complètement le passage. On perd le courant d'air à mi-chemin. La grotte a été largement colmatée par l'argile et il y a des «box-works» de calcite sur de vieilles concrétions. (Bernard)

IV. Les cavités du synclinal de Huanglongdong

Plusieurs grottes ont été explorées au sud de la ville de Yuyangguan, c'est-à-dire dans le synclinal situé immédiatement au sud du grand anticlinal de Changleping.

Figure 21 : Plan de la grotte du parking (Wufeng, Hubei). Parking cave (Wufeng, Hubei), plan.



A. HUANGLONGDONG

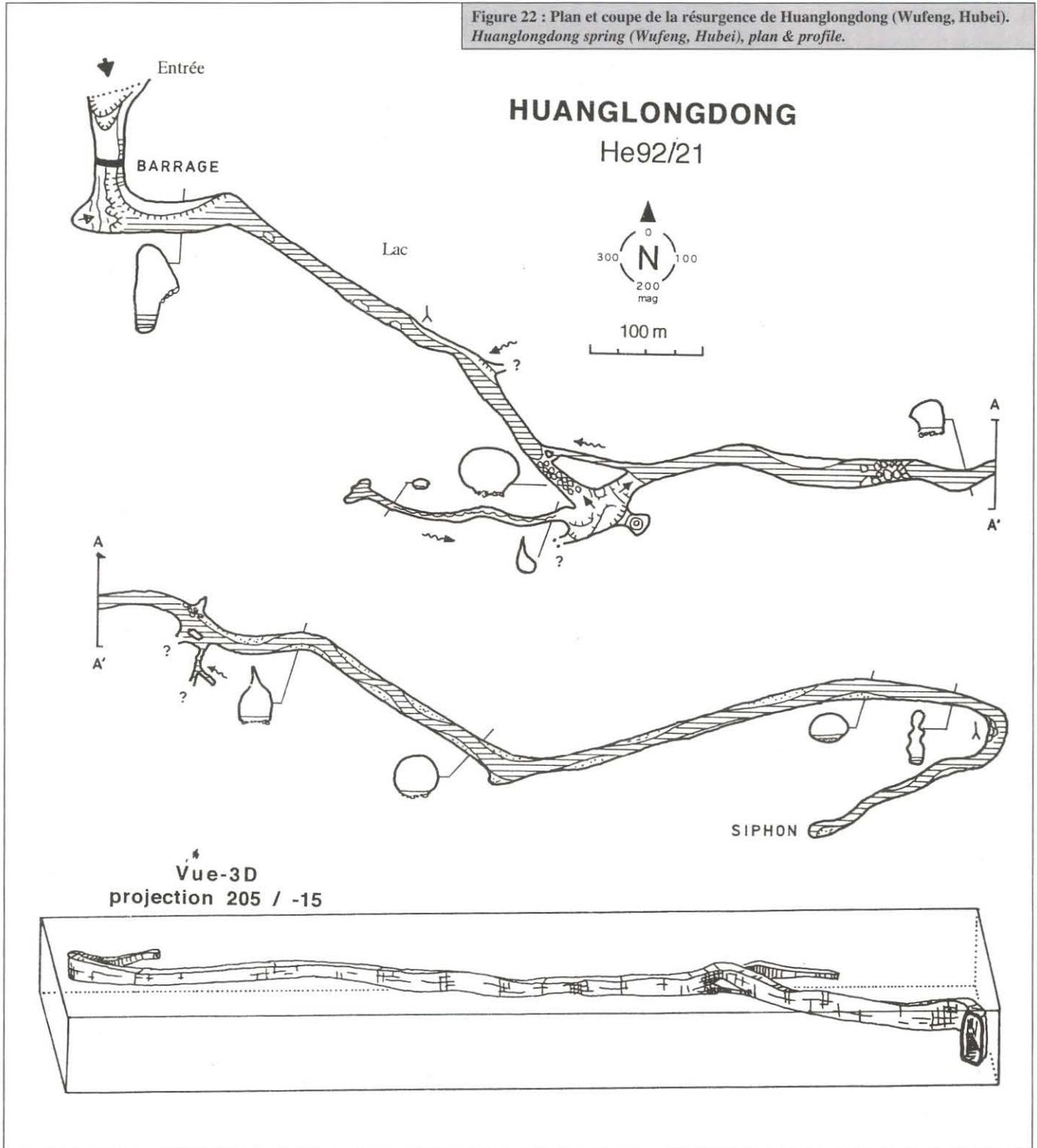
«Grotte du Dragon Jaune» (Wf92/21)

Dév. 1 531 m Dén. - 20 m Alt. 465 m

La grotte du Dragon Jaune s'ouvre au bout d'une belle reculée située 5 km au sud de Yuyangguan. On peut y accéder soit en empruntant une piste un peu difficile ouverte pour le chantier de la centrale électrique, soit en remontant un petit sentier qui part de la centrale électrique à travers bois, puis à dans les rizières irriguées par la résurgence (1/2 heure de marche). Le porche d'entrée est impressionnant : 60 m de haut pour 15 m de large. Il s'ouvre en plein milieu d'une falaise de 200 m de calcaires permien. C'est une résurgence qui se déverse par une cascade de 30 m dans une vallée à forte pente. Actuellement, elle ne coule plus que pendant les crues, car un barrage a été édifié à l'entrée de la grotte. La progression commence donc d'une manière assez originale : on descend le long du barrage pour se mettre à l'eau. Attention : il faut absolument laisser en place une corde assez longue, car le niveau du lac peut varier rapidement en fonction de l'exploitation de la centrale.

Le lac d'entrée, long de 300 m, nécessite un canot ou une néoprène. Il s'étire dans une magnifique galerie, aux parois verticales, alignée sur une grosse faille. Au bout du lac, une petite salle constitue le carrefour de tous les réseaux. On peut abandonner les canots pour poursuivre à pied, avec une pontonnière de préférence. Au sud, un affluent permanent se dirige vers le sud en suivant les joints de strates et en décrivant de larges méandres. Le plafond s'abaisse rapidement et le brouillard devient sensible : cela sent le siphon et effectivement on bute rapidement sur le dit siphon ! Au NE, une pente argileuse (et savonneuse) ramène à la rivière principale. Il est possible de «shunter» la grimpe dans la salle et cette descente hasardeuse en empruntant une petite diaclase qui s'ouvre en rive droite du lac, juste à l'orée de la salle. Au-delà, la rivière poursuit son cours en suivant la même faille, mais on ne progresse plus en nageant, mais en marchant sur un joli lit de petits galets. La galerie est tellement rectiligne que nous ne pouvons nous empêcher de faire deux visées de plus de 100 m de long, dont le record absolu de cette expédition : 134 m ! L'atmosphère est un peu brumeuse et les parois sont sombres, dépourvues de concrétions comme souvent dans les rivières souterraines. Au bout de 400 m, un virage à gauche, puis la galerie s'aligne sur les joints de strates et

Figure 22 : Plan et coupe de la résurgence de Huanglongdong (Wufeng, Hubei).
Huanglongdong spring (Wufeng, Hubei), plan & profile.



son plafond s'abaisse rapidement comme celui de l'affluent visité auparavant. Même scénario : siphon. Mais celui-ci doit être large et cracher de gros débits, car il y a une dune de galets à son entrée. Quelques affluents ont été repérés, mais ils ne semblent pas avoir un grand potentiel.

- **Hydrogéologie** : Huanglongdong est creusée dans les calcaires du Permien, qui reposent sur un substratum imperméable de schistes siluriens (et de quelques mètres de grès dévoniens). Elle est située sur le flanc nord d'un grand synclinal perché dont le coeur est constitué de Trias calcaire. Le réseau de Huanglongdong est donc un petit réseau marginal de ce grand synclinal et il ne doit drainer que quelques km². La rivière, d'un débit de l'ordre de 100 l/s en décembre 92, est utilisée pour alimenter une petite centrale hydroélectrique. En saison sèche, la centrale ne tourne que quelques heures par jour, après

avoir stocké un peu d'eau en amont du barrage de 18 m de haut qui barre l'entrée de la grotte. C'est d'ailleurs la construction de ce barrage qui a créé le lac d'entrée. Auparavant, la rivière devait couler jusqu'au jour sur un lit de galets assez semblable à celui que l'on rencontre dans la partie amont. Comme les strates plongent bien vers le sud (pendage de 10 à 15°), il est normal que la grotte siphonne assez rapidement en allant vers le sud. En fait, les grandes galeries qui sont accessibles n'existent que parce qu'elles suivent une grande faille parallèle à l'escarpement, qui suit aussi la direction des strates. L'existence de cette résurgence a permis le développement d'une multitude de rizières étagées au pied de la falaise. Un autre porche, jumeau du premier et situé 400 m plus à l'ouest, doit communiquer avec le même aquifère. Il a été également fermé par un barrage. (Bernard)

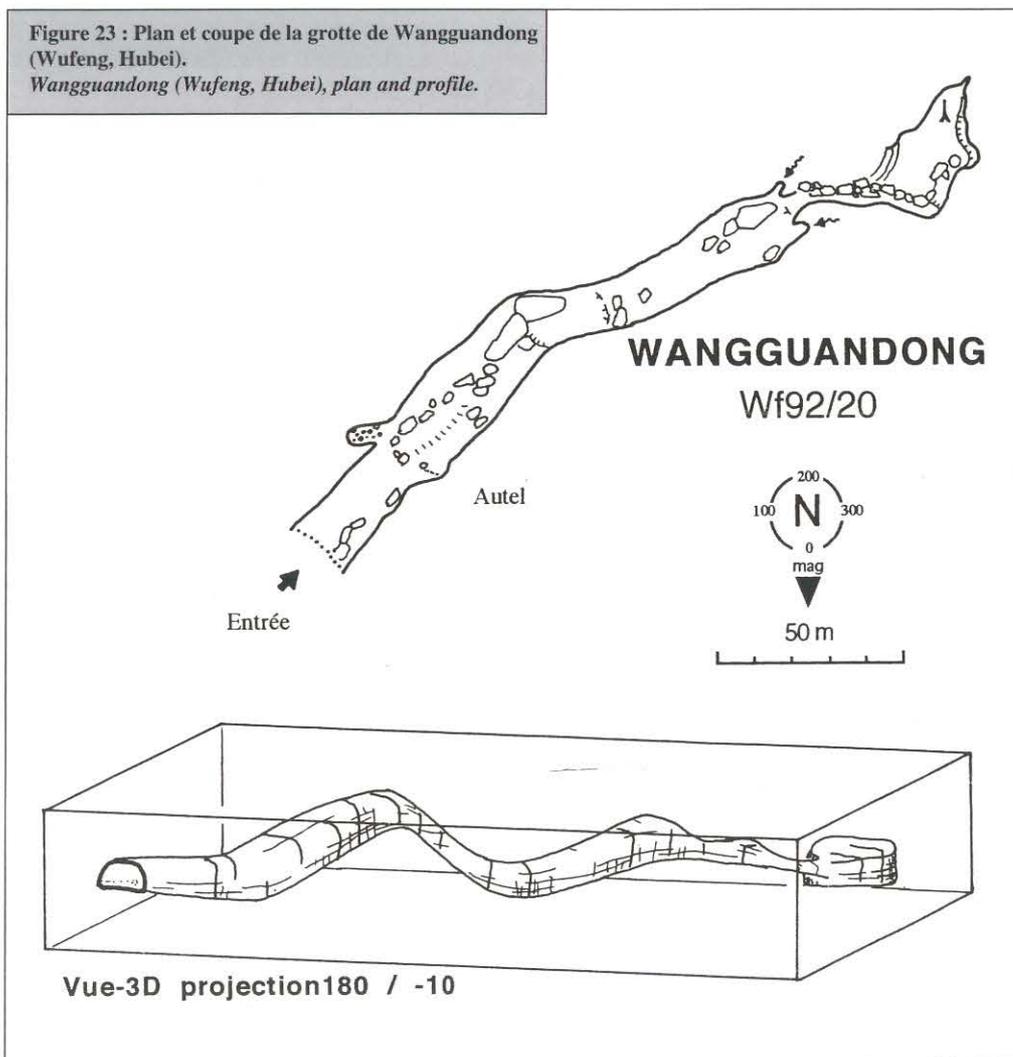
B. WANGGUANDONG

«Grotte de la Couronne de l'Empereur» (Wf92/20)

Dév. 260 m Dén. 22 m (- 10, + 12)
Alt. 725 m

Depuis le village de Tianyuan un sentier, réaménagé depuis peu, monte en pleine pente sur la gauche. Celui-ci passe par un couloir étroit et très raide avant d'arriver à l'entrée de la cavité qui se situe environ 150 m au-dessus de la piste. Son orientation face à la pente offre un très beau panorama sur la vallée. Cette cavité se développe dans les calcaires du permien inférieur. Une vaste et unique galerie s'étire en montagne russe sur 250 m vers le SW, son sol est jonché d'énormes morceaux de strates effondrés du plafond. Elle se termine sur une grosse trémie et une petite salle concrétionnée qui laisse peu de possibilité de continuation. Dans l'entrée un autel est aménagé sur deux gros blocs, un tissu de soie rouge vif recouvre précieusement six paires de petits chaussons rouges. De nombreux bâtons d'encens consumés jonchent l'autel et les alentours. Nous ignorons la signification de cet autel et de ses objets. Outre son aspect religieux, cette cavité semble aussi avoir été visitée pour les belles veines de calcite que l'on trouve dans le calcaire permien. (Jean-Pierre)

Figure 23 : Plan et coupe de la grotte de Wangguandong (Wufeng, Hubei).
Wangguandong (Wufeng, Hubei), plan and profile.



C. GANDONG

«Grotte sèche» (Wf92/22)

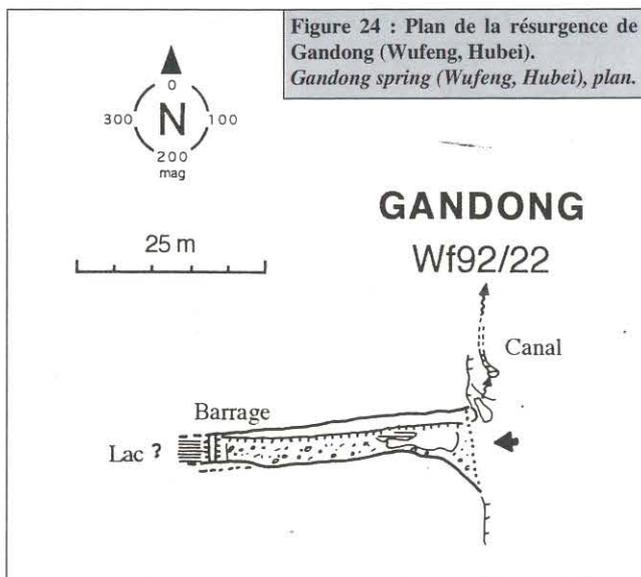
Dév. 35 m Dén. 10 m

Cette cavité s'ouvre environ à 400 m à l'ouest de la résurgence de Huanglongdong au pied de la même falaise. Elle se développe sur une fracture et est aménagée en barrage à trente mètres de l'entrée. Les dimensions de la galerie d'entrée semblent promettre de bonnes chances de continuation, d'autant plus qu'il s'agit visiblement de la même retenue d'eau qu'à Huanglongdong. Hélas, hélas trois fois, pas de canot ce jour là ! Car ce lac situé tout de suite après le barrage nous ôte toute chance d'en savoir plus sur cette deuxième émergence de ce très beau cirque. (Sylvain)

Conclusion :

Au cours des expéditions de 1989 et 1992, 43 km de galeries ont été topographiées dans le comté de Wufeng au cours de deux séjours de 12 et 13 jours. C'est dire la grande richesse spéléologique de ce comté et la nécessité d'y revenir pour mieux comprendre l'organisation souterraine divergente de l'anticlinal de Changleping dont la partie centrale demeure en grande partie inconnue ● ● ●

Figure 24 : Plan de la résurgence de Gandong (Wufeng, Hubei).
Gandong spring (Wufeng, Hubei), plan.



LES CAVITÉS DU COMTÉ DE HEFENG

✓ L'équipe

RÉSUMÉ : Le comté montagneux de Hefeng est situé dans l'angle SW du Hubei, à côté de celui de Wufeng. Il culmine à 2 326 m. Il s'agit d'une région plissée, SW-NE, armée par les calcaires du Permien et du Trias. Le paysage karstique est de type qiufeng-ouvala, avec poljés et canyons. Le climat subtropical humide (P = 1 737 mm/an et T = 15,5°C à Hefeng, alt. 520 m) présente une amplitude pluviométrique marquée entre l'hiver et l'été (janvier / 27 mm, juillet / 314 mm). Durant l'expédition de 1989, nous avons topographié sept cavités totalisant 3,3 km. En 1992, nous en avons exploré 24 autres et le développement cumulé de ces cavités représente 30 km. Ces grottes sont réparties sur trois systèmes hydrogéologiques. Les deux premiers (Yanziping et Taiping) sont alignés sur le synclinal de Hefeng et sont 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. Le dernier système (Shuishanping) est situé dans un monoclinale de calcaires du Trias, entouré de terrains imperméables. **Mots-clés :** calcaire, Permien, Trias, qiufeng, ouvala, poljé, ponor, delta souterrain, grottes étagées, résurgence, canyon, climat, système hydrogéologique, Hefeng, Hubei.

ABSTRACT: CAVES OF HEFENG COUNTY (HUBEI). In the SW corner of Hubei the hilly county of Hefeng is situated in the neighbourhood of Wufeng county and culminates at 2326 m. It is a SW-NE folded area of Permian and Triassic limestones. The type of the karst landform is qiufeng-uvala with poljes and canyons. The humid subtropical climate (1737 mm/year, 15.5 °C at Hefeng, 520 m a.s.l.) has a pluviometric amplitude marked by winter minima of 27 mm in January and summer maxima of 314 mm in July. In 1989, during a three day reconnaissance 3.3 km were surveyed in seven caves. During the 1992 expedition, another 24 caves were mapped to an accumulated length of 30 km. These caves are associated with three distinct hydrogeological systems. Two of them (Taiping and Yanziping) are aligned with the Hefeng syncline and are located to both sides of Loushuihe river. The Yanziping system on the NE side, is fed by sinkholes probably resurging at the Wanrendong emergence-cave. On the SW side, the Taiping system drains a large polje (Cedong ponor and cave). Located at the outlet of Loushuihe valley, the Yinquandong emergence-cave (1.3 km), resurgence of the system, is a fine example of an underground delta in stepped levels. The third system (Shuishanping) is enclosed in a limestone monocline, trapped by shales.

Key-words: Limestone, Permian, Trias, qiufeng, uvala, polje, ponor, underground delta, cave levels, resurgence, canyon, climate, hydrogeological system, Hefeng, Hubei.

ZUSAMMENFASSUNG: DIE HÖHLENSYSTEME VON HEFENG. Der gebirgige Bezirk von Hefeng liegt unmittelbar neben Wufeng im südwestlichsten Teil von Hubei und erreicht eine maximale Höhe von 2326 m über dem Meer. Kalke aus dem Perm und Trias treten in einer SW-NE ausgerichteten Faltung auf. Der Quifeng-Uvala Karst bildet Polje und Schluchten. Das subtropische Klima (durchschnittlich 1737 mm/a Niederschlag und 15,5°C in Hefeng Stadt auf 520 m NN) hat eine pluviometrische Amplitude mit Sommermaximum (314 mm im Juli) und Winterminimum (27 mm im Januar). Während der Forschungen von 1989 waren in sieben Höhlen 3,3 Gangkilometer erforscht und kartiert worden, 1992 kamen 30 Gangkilometer in 24 Höhlen dazu. Die Höhlen gehören zu drei verschiedenen hydrologischen Systemen. Zwei davon (Yanziping, Taiping) sind entlang der Hefeng-Synklinale ausgerichtet und befinden sich beidseits des Flusses Loushuihe. Das Yanziping-System im Nordosten wird von Ponoren genährt und resurgiert vermutlich in der Wanrendong-Quellhöhle. Im Südwesten entwässert das Taiping-System mit der Ponorhöhle Cedong eine große Polje. Am Talaustritt des Loushuihe bildet die 1,3 km lange Quellhöhle Yinquandong, welche das ganze System entwässert, ein unterirdisches Delta mit mehreren Etagen. Das letzte der Systeme, Shuishanping, liegt in einer Monoklinale aus triassischen Kalken in einem Umfeld aus nicht verkarstungsfähigen Gesteinen.

Stichworte: Kalk, Perm, Trias, Quifeng, Uvala, Polje, Ponor, unterirdisches Delta, Niveauhöhle, Resurgenz, Schlucht, Klima, hydrologisches System, Hefeng, Hubei.

第二章 鹤峰县的洞穴

鹤峰县位于鄂西南山区，邻近五峰县，山峰最高达海拔 2326m，为二叠及三叠纪灰岩北东-南西向褶皱区。喀斯特景观类型为丘峰-溶洼，具溶盆与峡谷。潮湿亚热带气候表明冬夏降水量变幅很大，元月份平均 26mm，七月份平均 304mm，高程 520m 的鹤峰气象站年平均降水量 1687mm，年平均温度 16°C。

1989 年，我们在鹤峰踏勘了三天，调查了总长 3.3km 的 7 个洞穴。此次洞河考察，我们调查了另外 30 个洞穴，总长达 30km。这些洞穴分属三个水文地质系统。太平及燕子坪系统顺鹤峰向斜排列座落在娄水河两侧。东北侧燕子坪系统的水受溶斗补给，可能在万人洞排入河流。西南侧太平系统的水则排泄大型溶盆(测洞落水洞)的水，位于娄水河谷的阴泉洞(长 1.3km)是该系统的暗河出口，该洞是一个具阶梯状洞穴层的地下三角洲的很好实例。第三个水杉坪系统是为页岩所圈闭的灰岩单斜。

Introduction

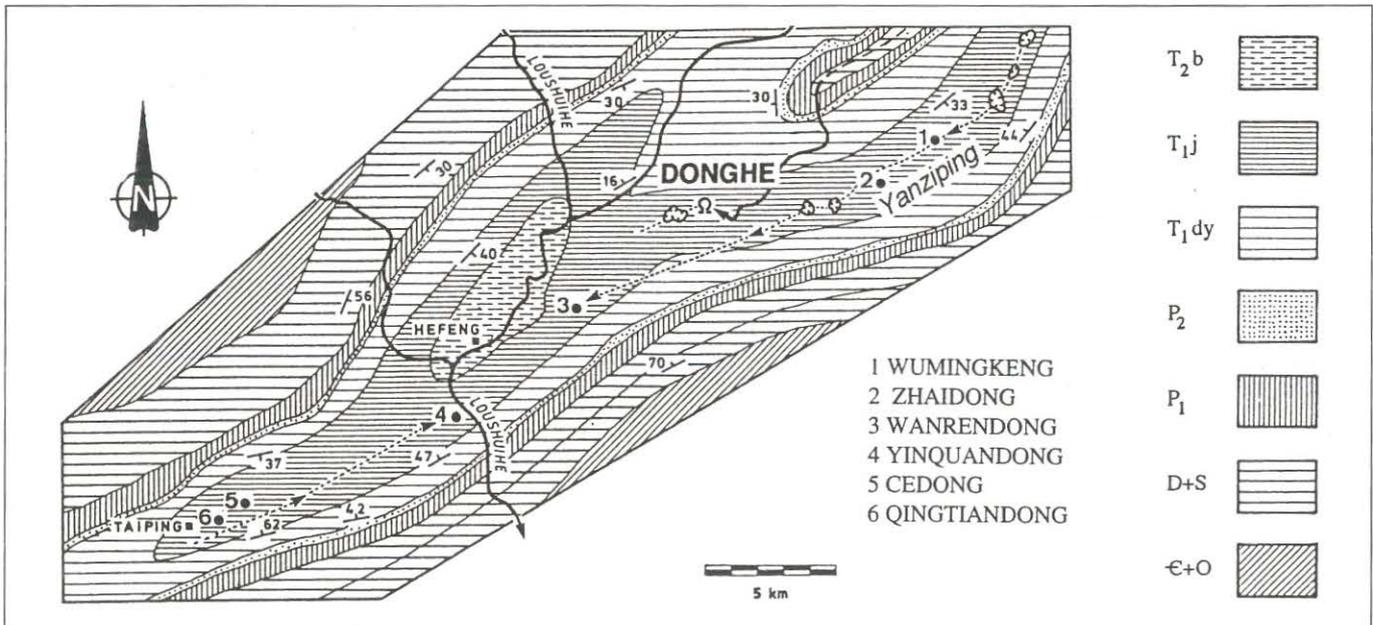
Cette région de montagne du Sud du Hubei présente un potentiel exceptionnel en grottes et en pertes karstiques, combinant la grandeur des paysages souterrains des grottes-tunnels du Guizhou et l'esthétique sauvage des gouffres-pertes d'altitude où l'ambiance alpine est rehaussée par des rivières souterraines parfois difficiles et des escalades délicates au-dessus de marmites géantes. En somme, il y en a pour tous les goûts ! Ainsi, en 20 jours, nous avons exploré 21 cavités qui représentent 26,5 km de galeries topographiées. Les marches d'approche, qui dépassent rarement une heure, se font dans des paysages superbes à cônes, vallées sèches, ouvalas et poljés. La population est toujours aussi curieuse à notre égard et très attentionnée. Un pays de rêve où paysages karstiques et aménagement rural ne font qu'un et dans lequel nous nous sentons en harmonie. Plusieurs fois des enfants et de jeunes adultes nous accompagnent, parfois fort loin sous terre comme à Donghe : c'est là, une fois de plus, que nous constatons la grande aisance de ces montagnards chinois qui sont des spéléologues nés (et leur capacité de se déplacer dans l'obscurité) : une leçon pour les spéléos occidentaux que nous sommes !

Figure 25 : Carte géologique du synclinal de Yanziping (Hefeng, Hubei). Situation des cavités principales. Etage géologique cf. fig.3 p.11.
Yanziping syncline (Hefeng, Hubei) geological map and cave location. Geological stage cf. fig.3 p.11.

LE COMTÉ DE HEFENG EN QUELQUES CHIFFRES

Capitale = Hefeng (alt. 520 m)
Superficie = 2 892 km²
Culmen = 2 326 m
Précipitations = 1 600 à 2 000 mm/an (1 687 mm à Hefeng)
Température = 16°C (Moyenne annuelle à Hefeng)
Population = 205 800 hab.
Nationalités dominantes = Tujia et Miao (53 %)
Densité = 71 hab/km²
Forêt = 69,5 % de la superficie du comté
Agriculture = Tabac, thé, bois, maïs, blé, patate, riz, plantes médicinales

- **Présentation géographique :** Le comté de Hefeng (2 892 km²) est une région calcaire très montagneuse faisant partie des chaînes occidentales de la province du Hubei, qui forment la limite entre le bassin moyen et le bassin inférieur du Yangtse. Situé largement à l'intérieur des terres et à 29° de latitude nord, ce pays est soumis à un climat subtropical de montagne à saisons contrastées. Les précipitations atteignent 1 600 à 2 000 mm/an dont 77 % sont concentrés entre avril et septembre. L'humidité relative est élevée (71 à 89 %), même durant la "saison sèche" hivernale. Les températures moyennes ne sont pas élevées à cause de l'altitude et de l'influence continentale, et les jours de gel sont nombreux en hiver. La température moyenne annuelle est seulement de 16°C dans la ville de Hefeng qui est le point le plus bas de la région (520 m).



Nom	N°	Village	Long. Est Lat. Nord	Alt. (m)	Dév. (m)	Dénivelé (m)	Strati.	Note
ZHAIDONG (Réseau) Grotte du village fortifié	He894	Yanziping	110°13,5' 29°57,9'	1 345	8 403	- 552	Trias inf.	Continue
GANDONG Grotte sèche	He9215	Yanziping	110°13,4' 29°57,5'	1 215			Trias inf.	
NIUDONG Grotte du boeuf	He9229	Yanziping					Trias inf.	
ZHAIDONG (haut)	He928	Yanziping	110°13,4' 29°57,3'	1 260			Trias inf.	
WANRENDONG Grotte des dix mille personnes	He895	Yunnanzhuang	110°13' 29°54'	570	1 329	52 (- 37, +15)	Trias inf.	
CHUANDONG La grotte tunnel	He929	Yunnanzhuang	110°04,1' 29°54,5'	740	219	- 33	Trias inf.	
XIANGSHUIDONG Grotte de la voix de l'eau	He9210	Hongyuxi	110°5,6' 29°54,7'	1 040	453	159 (- 158, + 1)	Trias inf.	Continue
CHUSHUIDONG La résurgence	He9211	Datangmi	110°14,6' 29°58,2'	1 180	2 940	57 (- 3, + 54)	Trias inf.	Continue
MISHUIDONG La perte	He9212	Datangmi	110°14,2' 29°58,2'	1 175	1 784	74 (- 43 + 31)	Trias inf.	Continue
HULIDONG La grotte du renard	He9213	Datangmi			110	5 (- 4, + 1)	Trias inf.	
DONGHE La grotte rivière	He9214	Tangjiapu	110°5,8' 29°49,5'	710	6 692	366 (- 128, + 238)	Trias inf.	Continue
Grotte du conglomerat	He9216	Datangmi		1 245	110	13 (- 6, + 7)	Trias inf.	
XIAOSHUIDONG Grotte perte	He9217	Xiaojiaping	109°55,9' 29°49,6'	920	712	- 27	Trias inf.	Continue
DAZHAIIDONG Grotte du grand village	He9218	Guanyinpo	110°2,6' 29°56,7'	860	895	81 (- 36, + 45)	Trias inf.	
CHUANXINDONG Grotte du coeur percé	He9219	Hahulu			152	21	Trias inf.	Continue
DAYANWU La grande niche	He9220	Guanyinpo		990	407	33	Trias inf.	Continue
YANTAZHIXIANDONG Rivière de Zhongmi	He9221	Zhongmi			602	- 23	Trias inf.	Continue
SHENSHUIDONG Emergence de Zhongmi	He9222	Zhongmi			143	3	Trias inf.	Continue
DATIANKENG Le grand gouffre	He9223	Shuishanping	110°3,5' 29°56,7'	900	1 464	333 (- 247 + 86)	Trias inf.	Continue
SHUIZHANPINGQUAN Résurgence de Shuishanping	He9224	Shuishanping	110°3,5' 29°56,5'	915	107	10	Trias inf.	
MAOZHISHANDONG Grotte du chat des montagnes	He9225	Taiping	110°59,6' 29°51,1'	940	101	-20	Trias inf.	
MAOZHISHANTIANKENG Puits du chat des montagnes	He9226	Taiping	110°59,6' 29°51,1'	940	14	-14	Trias inf.	
WANGJIAPINGTIANKENG Gouffre de Wangjiaping	He9227	Taiping	110°59,8' 29°51,1'	930	27	-27	Trias inf.	
HAOZHUDONG Grotte du porc-épic	He9228	Shuishanping		1 000	225	58 (-11 + 47)	Trias inf.	

Tableau 5 : Spéléométrie des cavités explorées dans le comté de Hefeng (Hubei).
Cave data, Hefeng County (Hubei).

En raison de ses qualités de zone refuge, la région montagneuse de Hefeng est occupée depuis longtemps par les minorités Tujia et Miao qui représentent aujourd'hui 53 % de la population du comté. Sur un total de 205 800 habitants, moins de 10 % habitent Hefeng (18 000 habitants), l'unique ville du comté. La population rurale occupe les poljés de montagne (villages) et l'ensemble de la montagne sous forme de fermes isolées ou de groupes de fermes. La densité (71 hab./km²) est loin d'atteindre celle que l'on trouve dans certain comté de la province du Guizhou, par exemple le comté de Zhijin avec ses 265 hab./km². En raison des reliefs escarpés, les terres fertiles se limitent aux fonds des dépressions et aux versants développés dans les couches rouges triasiques. Les plaines alluviales sont très étroites et les terres irriguées pour le riz sont faibles. Les poljés sont totalement utilisés pour la culture du tabac (6 400 tonnes en 1991), du thé (3 200 tonnes en 1991), du riz, du blé et des légumes. Le thé est cultivé également sur les versants raides (jusqu'à 50°) et la culture du maïs s'étend chaque année davantage sur les pentes rocheuses jusqu'au moindre recoin de lapiaz.

- Présentation géologique : La région de Hefeng est située sur la paraplata-forme du Yangtse, grande unité géotectonique qui couvre la majeure partie de la Chine centrale. Dans cette zone du Hubei occidental, les structures sont caractérisées par de vastes anticlinaux coffrés où affleure le Cambrien et d'étroits synclinaux dont le coeur est constitué par les calcaires et les argilites rouges du Trias. Les axes des plis ont presque toujours une direction comprise entre 40 et 80° E. Nous avons concentré nos efforts sur le synclinal de Taiping-Yanziping qui détient un nombre important de cavités. De direction N50°E, celui-ci mesure 15 km de large et 50 km de long, avec un pendage axial de 10° SW. Ce synclinal, relativement étroit par rapport aux grands anticlinaux coffrés, présente des flancs très redressés. La série calcaire du Trias accuse une puissance de 1 400 m dans le coeur du synclinal et la base de l'aquifère du Trias est située au contact des schistes du Permien supérieur. La totalité de la colonne sédimentaire est très épaisse : 8 000 m du Cambrien au Trias. Les principales roches carbonatées se situent dans le Cambrien supérieur et l'Ordovicien (1 500 m), le Permien inférieur (400 m) et le Trias inférieur (1 400 m). Les cavités étudiées se développent dans le Trias

qui est représenté par des calcaires sombres en bancs épais dans la partie inférieure et en bancs fins argileux dans la partie supérieure.

- Présentation spéléologique : Les cavités explorées sont situées dans trois zones distinctes du synclinal de Hefeng correspondant à trois systèmes karstiques différents : le système de Yanziping à l'ENE, le système du poljé de Taiping à l'extrémité SW du synclinal et le système de Shuishanping au nord de Hefeng. Nous avons concentré nos efforts sur le système de Yanziping où l'ébauche d'un énorme réseau souterrain commence à se dessiner avec notamment deux cavités majeures : le réseau de Zhaidong (8 400 m, - 552 m) et Donghe Hefeng (6 692 m, ± 366 m. En fin de séjour l'exploration d'une perte d'altitude, Datiankeng (1 464 m, - 333 m) — arrêté sur rien et déséquipement à la montre — nous a laissé entrevoir, tous près de la ville, une autre partie du synclinal aux nombreuses possibilités.

I. Le système de Yanziping

Ce système se développe dans la partie NE du synclinal et comprend une série de petits poljés qui s'étage en altitude et collecte les écoulements de crue au travers de vastes grottes-tunnels comme Donghe. En saison sèche, l'eau circule dans des réseaux de diaclases beaucoup plus profonds et d'origine plus récente ; l'un de ces réseaux, Zhaidong, constituait en 1992 la plus profonde cavité connue en Chine. L'évolution des réseaux a été déterminée par la surrection de toute la région au Néogène et l'enfoncement rapide du niveau de base régional qui s'en est suivi. Ce niveau est constitué par une vallée transversale au synclinal. Les cavités sont décrites ci-dessous de l'extrême amont vers l'aval symbolisé par la principale résurgence connue du système (Wanrendong) qui s'ouvre dans un profond canyon, lequel rejoint rapidement en rive gauche la Loushuihe tout près de Hefeng.

Photo 12 (à gauche) : Descente aérienne vers la perte géante de Donghe en compagnie de paysans tujias. Cliché R.M.

Descent in the blind canyon of Donghe with Tujias peasants. (left)

Photo 13 (à droite) : Vaste canyon souterrain à écoulement temporaire dans le réseau de Zhaidong. Cliché J.B.

Large underground canyon in Zhaidong cave. (right)



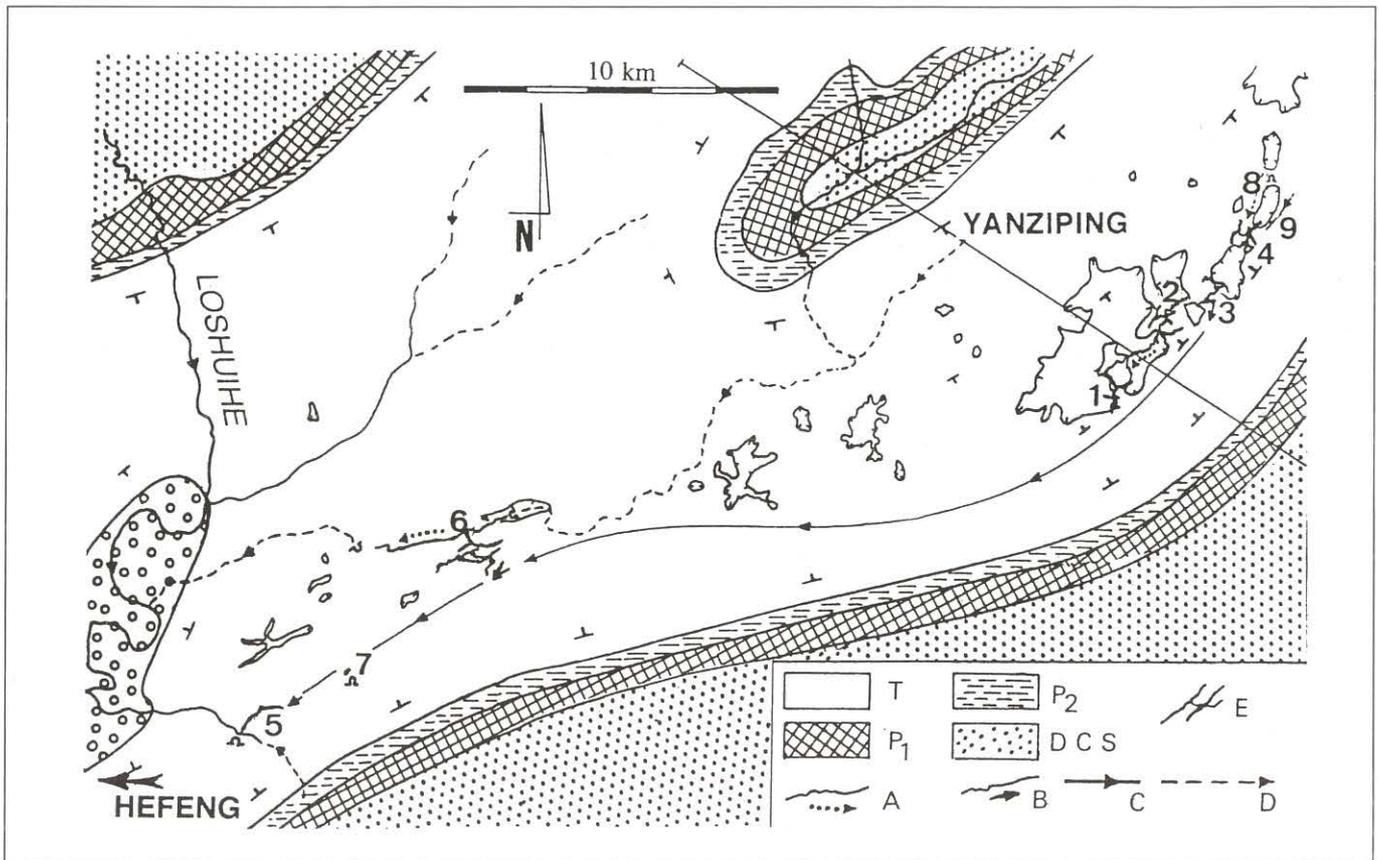
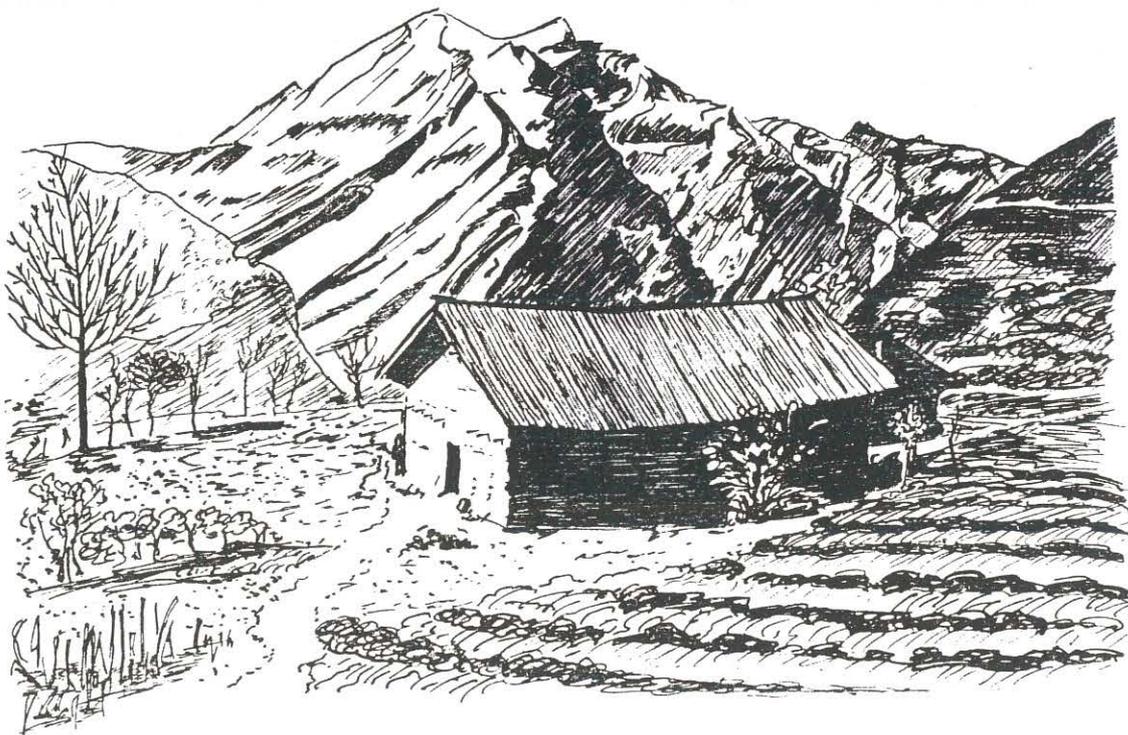


Figure 26 : Le système de Yanziping : carte hydrogéologique de la partie est du synclinal. 1 : Zhaidong, 2 : Gandong, 3 : Chushuidong, 4 : Mishuidong, 5 : Wanrendong, 6 : Donghe, 7 : Xiangshuidong, 8 : Shenshuidong, 9 : Yantazhixiandong. D-C : Dévonien et Carbonifère. P₁ : Permien inférieur. P₂ : Permien supérieur
 Hydrogeological map of the eastern part of the Yanziping syncline. 1 : Zhaidong, 2 : Gandong, 3 : Chushuidong, 4 : Mishuidong, 5 : Wanrendong, 6 : Donghe, 7 : Xiangshuidong, 8 : Shenshuidong, 9 : Yantazhixiandong. D-C : Devonian and Carboniferous. P₁ : Lower Permian. P₂ : Upper Permian



Ferme typique, aux alentours du synclinal perché de Bayiping (Wufeng Hubei)

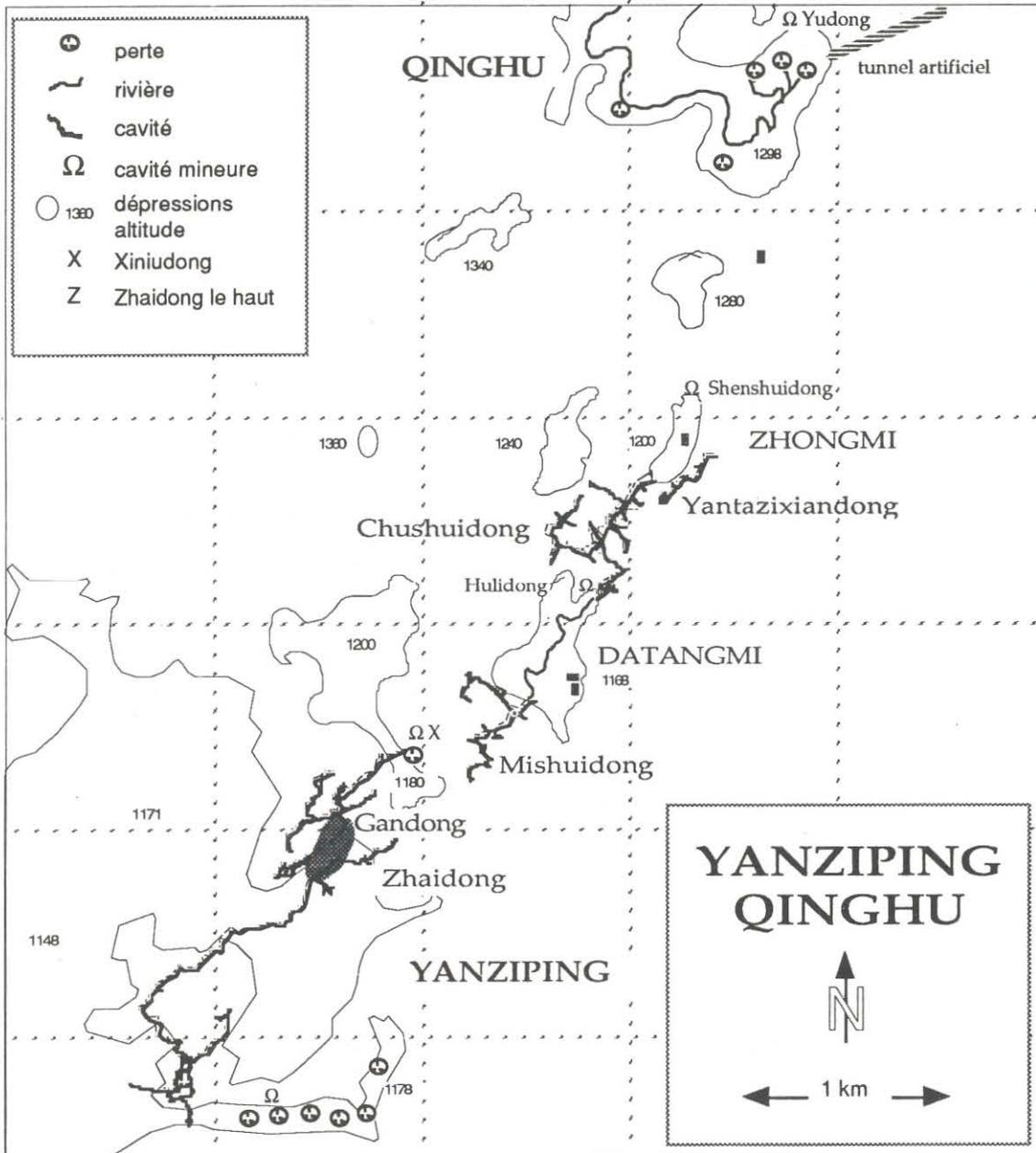
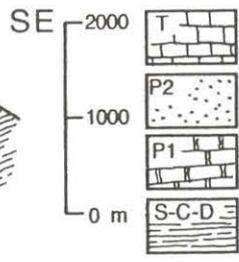
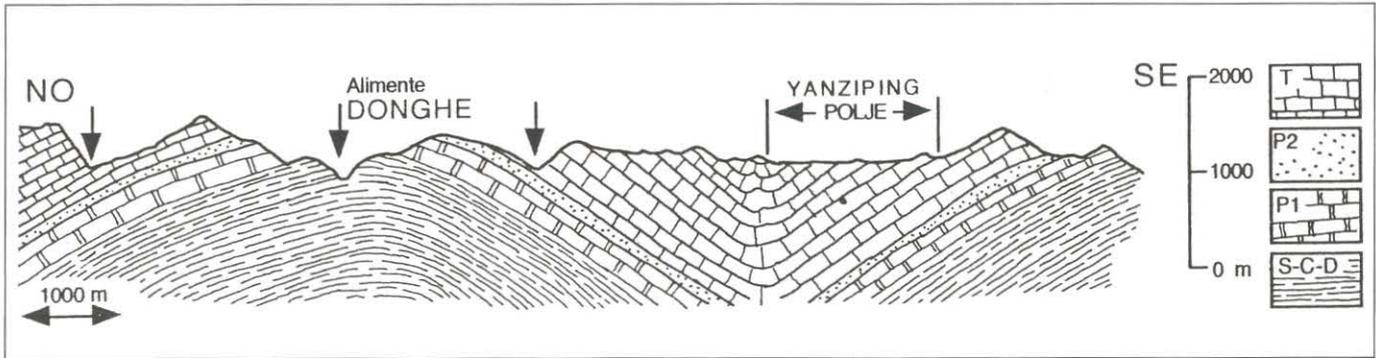
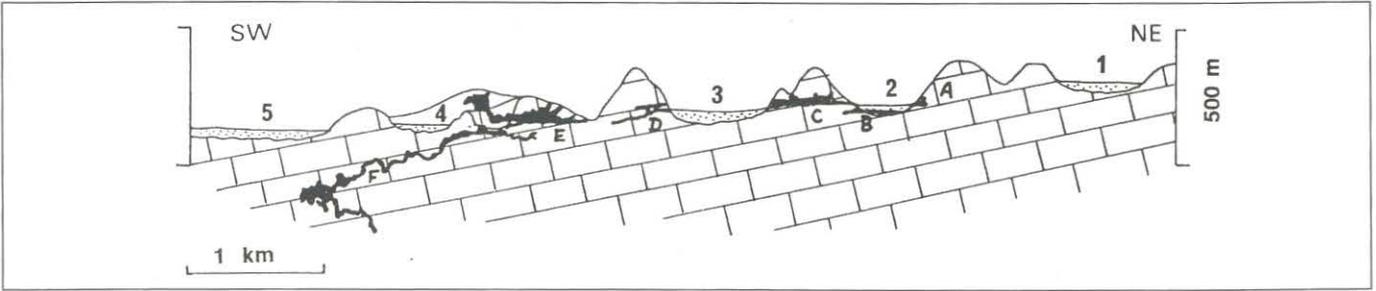


Figure 27 (ci-dessus) : Coupe géologique à travers le synclinal de Yanziping (le plan de coupe fig. 26).
UP-Geological section across the Yanziping syncline (cf fig. 26).

Figure 28 (gauche) : Système karstique du secteur de Yanziping-Qinghu
Left-The Yanziping-Qinghu system.

Figure 29 (ci-dessous): Les poljés et les grottes.
1 : Poljé de Qinghu.
2 : Poljé de Zhongmi.
3 : Poljé de Datangmi.
4 : Poljé supérieur de Yanziping.
5 : Poljé inférieur de Yanziping.
A : Shenshuidong
B : Yantazhixiandong
C : Chushuidong.
D : Mishuidong.
E : Gandong.
F : Zhaidong.
DOWN-Polje and caves.
POLJE: 1: Qinghu.
2: Zhongmi.
3: Datangmi.
4: Yanziping upper.
5: Yanziping lower.
CAVES:
A: Shenshuidong
B: Yantazhixiandong
C: Chushuidong.
D: Mishuidong.
E: Gandong.
F: Zhaidong.



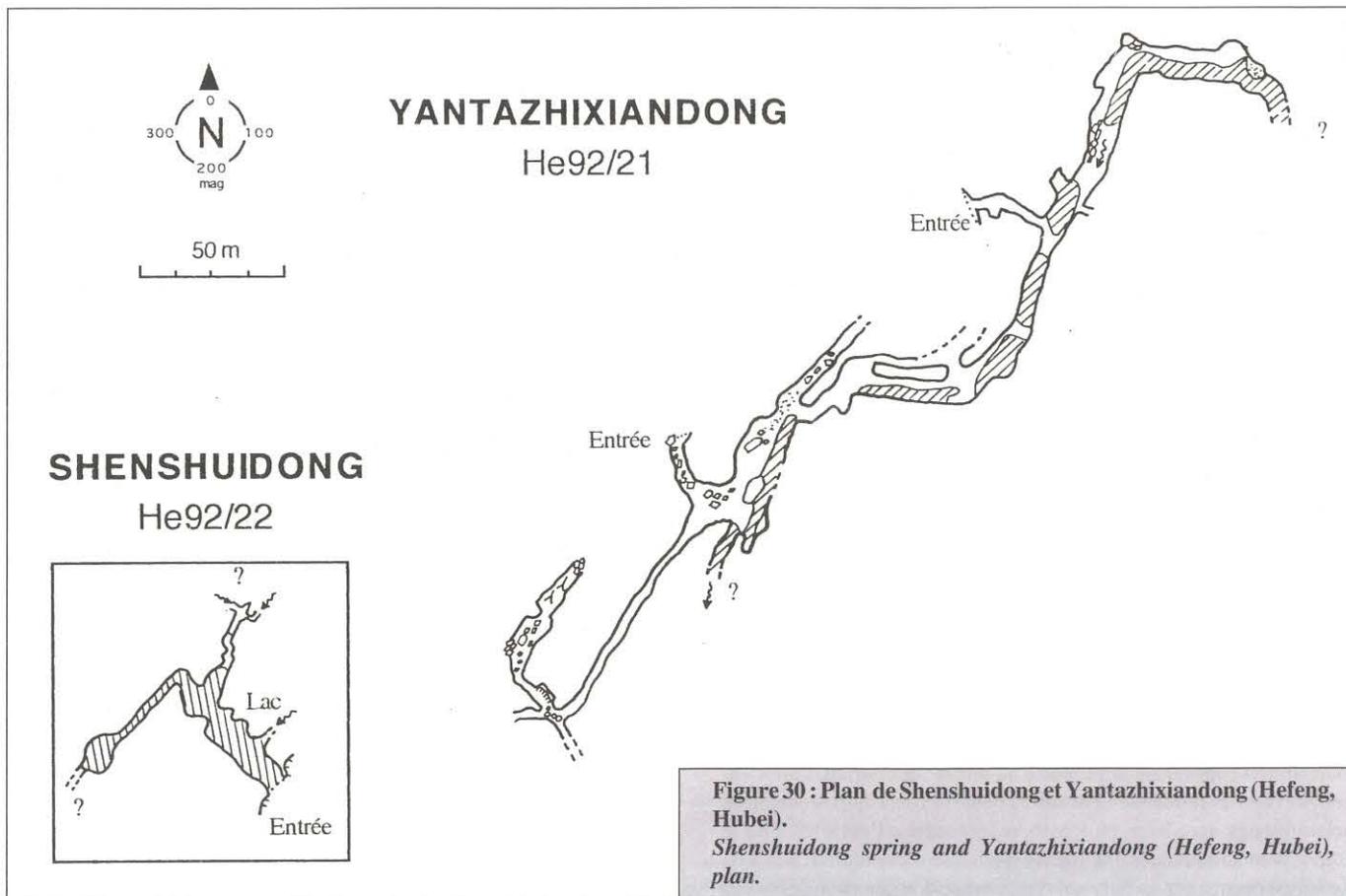


Figure 30 : Plan de Shenshuidong et Yantazhixiandong (Hefeng, Hubei).
Shenshuidong spring and Yantazhixiandong (Hefeng, Hubei), plan.

A. SHENSHUIDONG

«La Résurgence du poljé de Zhongmi» (He92/22)

Alt. 1 200 m Dév. 143 m Dén. + 3 m

La résurgence s'ouvre à l'extrémité nord du poljé de Zhongmi, au bout d'une petite reculée. Le porche d'entrée, de 9 m de large et 3 m de haut, donne dans un lac de 40 m de long qu'il faut passer en canot. En amont du lac, le réseau se compose de plusieurs diaclases verticales de 1 m de large dont le fond est occupé par l'eau. Au milieu du lac, un petit affluent arrive de l'est en cascadant par une fissure. Un courant d'air aspirant est sensible dans tout le réseau. D'après les paysans, cette grotte serait reliée à la rivière souterraine de Yantazhixiandong située de l'autre côté du poljé. Nous sommes rapidement arrêtés dans trois branches sur des laisses d'eau profondes. La suite n'est pas difficile, mais nous sommes littéralement congelés par l'argile glacée et nous jurons de ne pas y retourner avant l'été ! A l'est du porche, se trouvent deux grottes sèches sans aucun intérêt (Wushuixiandong). (Bernard et Sylvain).

B. YANTAZHIXIANDONG

«La rivière de Zhongmi» (He92/21)

Alt. 1 200 m Dév. 602 m Dén. 23 m

Les deux entrées, distantes de 100 m, se situent au pied du flanc SE du poljé de Zhongmi, à une heure et quart de marche de Yanziping par un bon sentier. La première est située à quelques mètres du chemin, à droite des ponors. La seconde est un peu plus loin, avant les maisons. Les deux conduits d'accès sont des diaclases verticales descendant sur quelques mètres et donnant accès rapidement à la rivière. Celle-ci coule sur des galets plats, dans une galerie confortable (8 m x 5 m) et bien ventilée (vers l'amont). La galerie de la rivière est parfois doublée par un passage semi-actif, situé plus haut en rive droite, qui constitue probablement l'ancien cours de la rivière. Nous butons à l'amont et à l'aval sur des plans d'eau où les pontonniers ne suffisent plus. Du côté aval, ce bassin est peut être évitable par la galerie supérieure qui conduit à une grande trémie où se perd à la fois l'eau de la rivière

souterraine et celle du poljé. A l'ouest de la trémie un puits de 10 m joliment sculpté par l'eau ramène à la rivière qui coule dans une galerie de 3 m de large. Nous sommes arrêtés dans ce tronçon par la violence du courant (cru).

-Hydrogéologie : Cette rivière souterraine draine le poljé de Zhongmi. Située sur le flanc méridional du synclinal de Yanziping, la grotte est creusée dans les calcaires en plaquettes du Trias inférieur qui ont plus de 500 m d'épaisseur. Ces calcaires sont légèrement argileux. Le poljé de Zhongmi fait partie du chapelet de poljés qui jalonnent ce synclinal. Il est situé près de 100 m en contrebas de celui de Qinghu qui n'est pourtant distant que de 1 km. En tant normal le poljé de Qinghu est drainé vers le nord; en haute eaux; il déborde au sud vers le chapelet de poljé de Yanziping

En basses eaux, le principal écoulement passe par la rivière souterraine de Yantazhixiandong. La résurgence située en amont du poljé ne débite que 2 l/s en décembre 92, eau qui se perd au fond du lit de la rivière traversant le poljé. En petite crue, le débit de la résurgence augmente fortement et rapidement : de 2 à 1 000 l/s quelques heures après une pluie de 16 mm le 26/12/92. L'eau s'engouffre alors dans une perte située au pied de l'entrée méridionale de Yantazhixiandong. En forte crue, le niveau doit monter encore de 2 m pour que l'eau se jette dans la perte de Chushuidong, située dans la partie SW du poljé. Par contre, le débit de la rivière souterraine augmente relativement peu — il est passé de 30 à 60 l/s lors de la crue du 26/12/92 et les mises en charge ne semblent pas dépasser 2 m — ce qui signifie que cette galerie reste en grande partie exondée, même quand le poljé est partiellement inondé.

Ce poljé a donc un fonctionnement hydrologique très particulier : un drain superficiel qui réagit très rapidement aux crues ; il est probablement alimenté par le poljé supérieur du système et une rivière souterraine qui draine un aquifère de fissures réagissant lentement aux précipitations. Comme à Chushuidong et à Mishuidong, le drain pérenne est situé plus bas et au SE du drain temporaire (ou fossile). L'ensemble des réseaux a donc tendance à se déplacer progressivement

vers le SE du synclinal. C'est d'autant plus curieux que le fond du synclinal se situe au NW de toutes ces cavités et que les strates auraient pu guider le creusement dans ce sens. (Bernard et Sylvain).

C. CHUSHUIDONG

«La grotte-résurgence» (He92/11)

Long. 110° 14,6' E Lat. 29° 58,2' Alt. 1 180 m

Dév. 2 940 m Dén. 57 m (- 3, + 54)

Il s'agit d'une grotte-tunnel semi-active faisant la jonction entre le poljé amont de Zhongmi et le poljé aval de Datangmi. Le porche amont abrite de vieilles habitations aujourd'hui désaffectées et qui ne servent plus que d'enclos à buffles et de zones de séchage pour les fanes de maïs. La galerie d'entrée, d'abord de modestes dimensions (15 m x 5 m), va en s'agrandissant pour atteindre 55 m à son endroit le plus large. Là, un premier départ sur la droite, la galerie des Hongboahua, est topographiée sur 220 m et continue : elle semble se diriger vers un petit bassin fermé situé à l'ouest du poljé de Zhongmi. 50 m plus loin nous explorons deux galeries sur la gauche ; si la première ne présente que peu d'intérêt, la seconde pourrait conduire à la rivière souterraine. La galerie principale se dirige vers le SW sur 250 m pour arriver à un nouveau croisement : à droite le réseau de l'Ouragan, à gauche la galerie principale.

Le réseau de l'Ouragan débute par une galerie de 20 m de large et autant de haut, qui se dirige droit vers l'ouest. Elle est ornée de grosses stalactites aux formes étranges. Au bout de 80 m, une grosse coulée stalagmitique semble être le terminus de cette branche, mais un fort ronflement attire notre attention : le courant d'air s'engouffre dans un rétrécissement entre coulée et paroi dans lequel nous nous glissons avec hâte, puis nous redescendons l'autre côté de la coulée pour aboutir dans une galerie spacieuse d'orientation NE-SW. Le sol est occupé par un puissant remplissage d'argile entaillé par des chenaux dont certains atteignent 3 m de profondeur. Plus loin, nous suivons le courant d'air dans une galerie perpendiculaire ; celui-ci remonte à la surface par un puits de 25 m dont le fond est encombré de troncs d'arbres et de branches. En revenant, nous remarquons que les épais remplissages renferment de multiples lits de charbons de bois ainsi que des tessons de poteries, témoignant ainsi de périodes de brûlis anthropiques et d'érosion des sols au cours des derniers siècles et millénaires. Après avoir franchi la zone de décantation, nous remontons une conduite forcée de 2 m de diamètre dont le fond est occupé par de nombreuses marmites. Nous nous arrêtons sur une marmite profonde : en face, la galerie continue et semble se diriger vers le petit poljé situé à l'ouest de celui de Zhongmi.

Revenons au croisement avec la galerie principale ; celle-ci change complètement de direction et de forme au contact avec une grande fracture orientée NW-SE qui est également visible dans la galerie de l'Ouragan. Nous progressons maintenant vers le SE dans une galerie haute de 40 m et large de 2 m. Dans cette portion un puits de surface d'une quarantaine de mètres crève le plafond en distillant quelques rayons de lumière. Ensuite la galerie reprend la même direction que les couches pour se diriger vers le SW jusqu'au magnifique porche aval (25 m x 20 m). Toute la partie d'entrée est doublée en rive gauche par un labyrinthe de diaclases qui mènent toutes à un grand plan d'eau calme que nous n'avons pas exploré. La rivière souterraine, invisible dans la grotte, réurge au niveau du porche d'entrée par un passage noyé. Au-dessus, l'un de nous grimpe jusqu'à un petit porche : il donne accès à la rivière souterraine par un puits d'une quinzaine de mètres non descendu. Cette résurgence est sans doute en relation avec la rivière souterraine de Zhongmi (Yantazhixiandong) qui n'a pas été terminée (supra). (Jean-Pierre)

D. HULIDONG

«Grotte du Renard» (He92/13)

Dév. 110 m Dén. 5 m (- 4, + 1)

150 m environ après la résurgence de Chushuidong, en rive droite de la rivière, le petit lit d'un ruisseau à sec mène au porche d'entrée. Il s'agit d'une cavité de petites dimensions servant d'exutoire en période

de pluie. Elle est constituée par un réseau de galeries soit sur fracture soit dans les joints de strates presque verticaux dans cette zone. Il y a peu d'espoir de continuation évidente. Une petite circulation d'eau est visible mais disparaît rapidement dans le fond de la "galerie principale". Ce jour là nous étions accompagnés par un paysan, Chen, Miss et un journaliste du West Hubei Daily qui pensait sans doute que nous allions aller d'abord dans les grandes galeries de Chushuidong et bien non !! Sympa il nous a suivi en mettant minable son costume cravate dans ce petit trou bien boueux. De quoi faire un article vivant ! (Jean-Pierre)



Photo 14 : Tunnel amont de Chushuidong, au fond sortie au niveau du poljé de Zhongmi. Cliché J.P.B.
Chushuidong cave in the upstream part (Zhongmi polje).

Photo 15 : Salle d'entrée du réseau fossile de Dazhaidong. Cliché J.P.B.
Entrance chamber of the Dazhaidong cave.

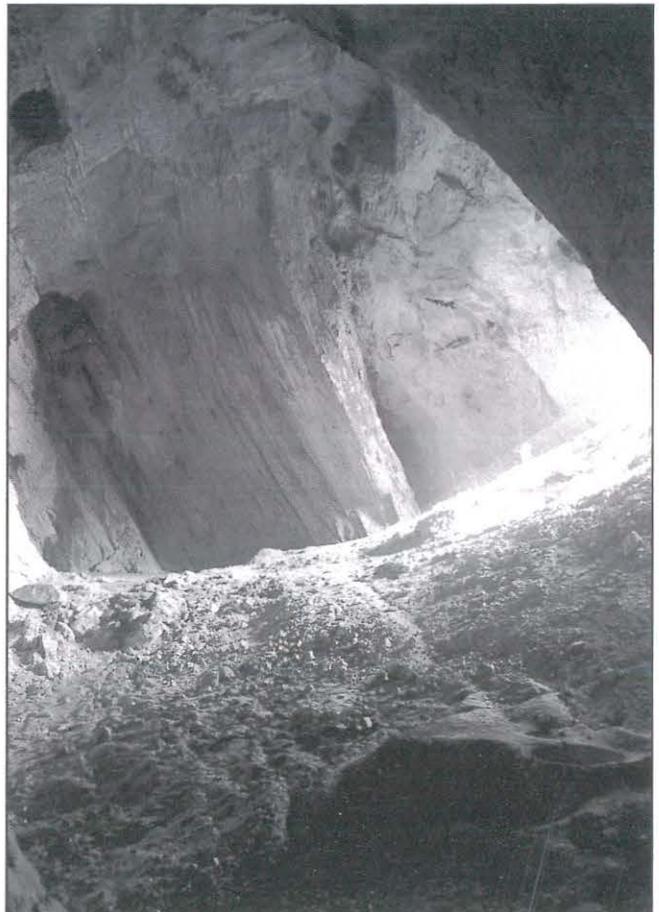
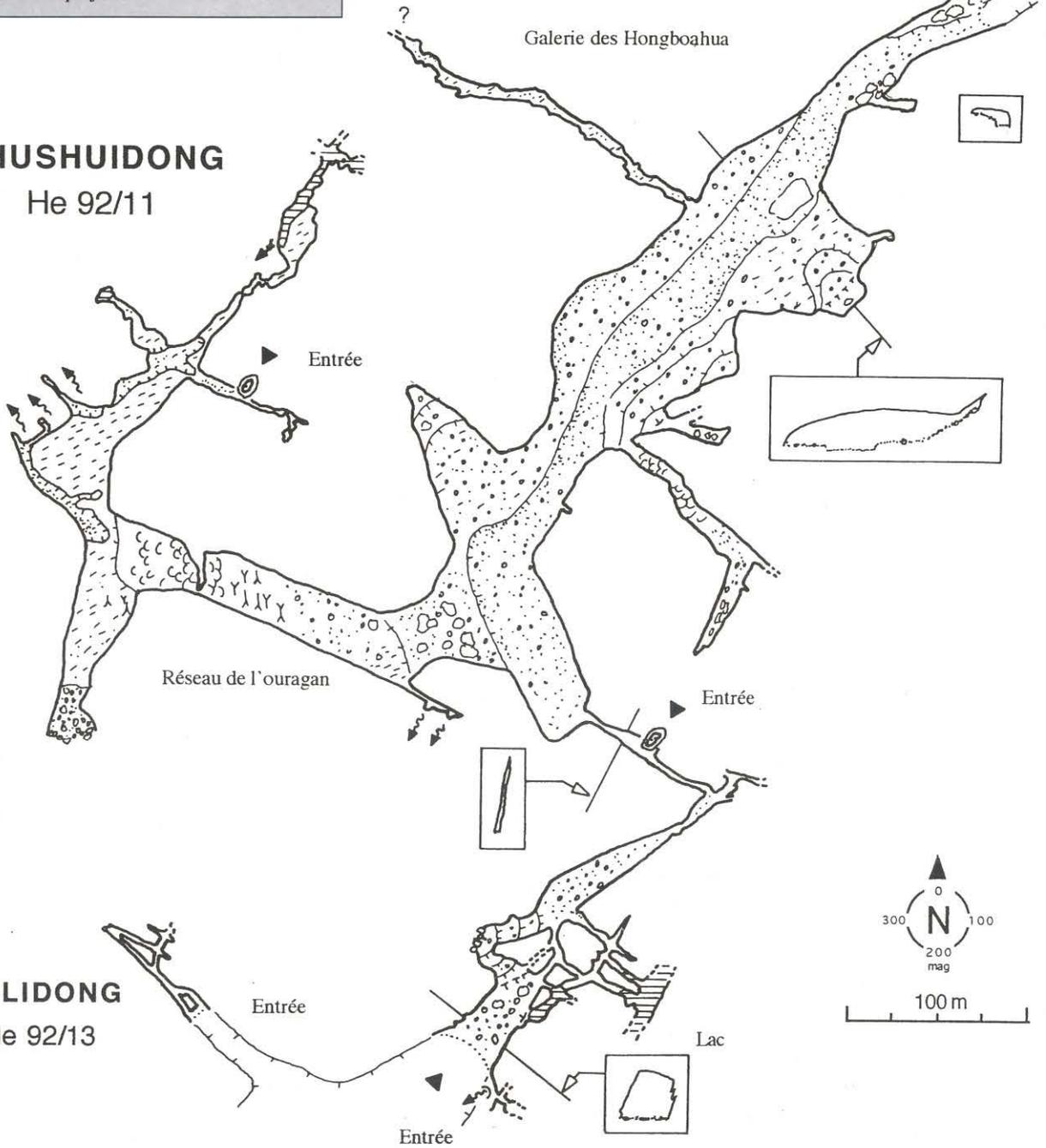


Figure 31 : Plan et coupe de la résurgence de Chushuidong et plan de La grotte de Hulidong (Hefeng, Hubei).
 Chushuidong spring and Hulidong cave (Hefeng, Hubei), plan and profile.

CHUSHUIDONG

He 92/11



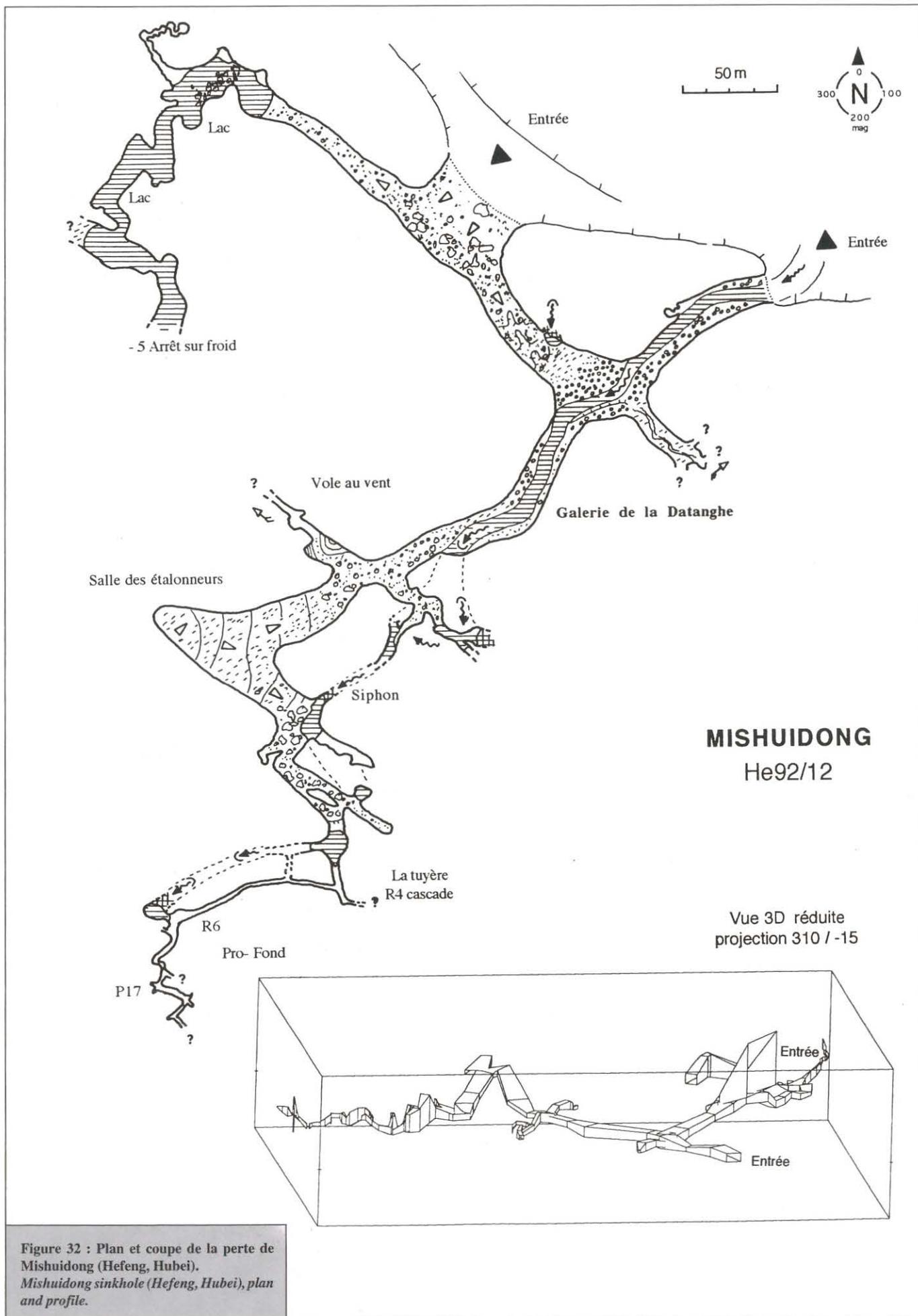


Figure 32 : Plan et coupe de la perte de Mishuidong (Hefeng, Hubei).
Mishuidong sinkhole (Hefeng, Hubei), plan and profile.

E. MISHUIDONG

«La perte» (He92/12)

Long. 110° 14',2 E Lat. 29° 58,2' N Alt. 1 175 m

Dév. 1 784 m Dén. 74 m (- 43, + 31)

La grotte de Mishuidong s'ouvre à l'extrémité méridionale du poljé de Datangmi et constitue la perte principale. On y accède en trois quarts d'heure de marche par un bon sentier qui remonte une vallée sèche à partir de Yanziping. Quelle belle galerie ! L'eau ruisselle avec un bruit cristallin sur des lits de petits galets et les reflets de la lumière du jour se voient jusqu'à 200 m de l'entrée. Malheureusement, la rivière siphonne assez rapidement et il faut alors la "shunter" par une série de conduits fossiles ou secs en saison hivernale. Plus on s'enfonce dans le réseau, plus il prend des allures "alpines". L'eau cascade et il faut éviter quelques marmites. Cela devient franchement impressionnant avec une cascade de 2 m que l'on passe entre flote et rocher. Plus bas, l'eau se jette dans un puits de 7 m que l'on peut éviter en suivant un jeu de diaclases (opposition un peu «hard»). La suite est du même «tonneau», et un tonneau serait d'ailleurs fort utile pour franchir le bassin sur lequel nous nous sommes arrêtés.

Au nord de l'entrée active, 30 m au-dessus du fond du poljé, s'ouvre un magnifique porche de 40 m x 20 m : c'est le réseau des Lacs. Il communique avec la galerie active par un large conduit encombré d'argile qui doit être une ancienne perte du poljé. Vers le nord, il donne sur un long conduit fossile (il pourrait s'agir également d'une ancienne perte). La progression est bloquée au bout de 100 m par un lac. A partir de là, on doit progresser à la nage ou en bateau dans de larges bassins d'eau claire, certains embarquements sont assez hasardeux. Cette partie de la cavité est parcourue par un fort courant d'air aspirant, ça continue mais le froid nous arrête... L'équipement individuel idéal est la néoprène pour le réseau nord (lacs) et la pontonnière pour le réseau sud. Dans ce dernier réseau, quelques escalades dans les diaclases méritent un équipement en cordes fixes.

- Hydrogéologie : La grotte est creusée dans les calcaires en plaquettes du Trias inférieur. Elle est située sur le flanc méridional du synclinal de Yanziping. La plupart des galeries les plus larges ont un plafond constitué par une strate un peu plus massive que les autres (pendage de 40 à 50° vers le NW). Mishuidong draine le poljé de Datangmi. Celui-ci fait partie d'un chapelet de poljés étagés entre 1 300 et 1 150 m d'altitude, entre Qinghu et Yanziping. Ils sont alignés parallèlement à l'axe du synclinal, sur sa partie méridionale (pendages vers le NW). Le porche inférieur absorbe aussi bien l'écoulement de basses eaux (de l'ordre de 100 l/s en décembre 92) que les crues. Nous avons assisté à une crue de l'ordre de 1 000 l/s après une pluie de 16 mm en décembre 1992. Après les orages de mousson, en été, les crues doivent atteindre plusieurs dizaines de m³ s. La perte se met alors en charge, ainsi que toutes les galeries principales. Il ne ferait pas bon traîner dans le trou à cette époque. Selon les paysans, certaines crues importantes inondent le poljé sur plus de 20 m de haut, ce qui doit occasionner pas mal de dégâts aux cultures et contribuer à l'érosion des terres. Toutes les fermes sont ainsi situées 25 m au-dessus de l'altitude de la perte.

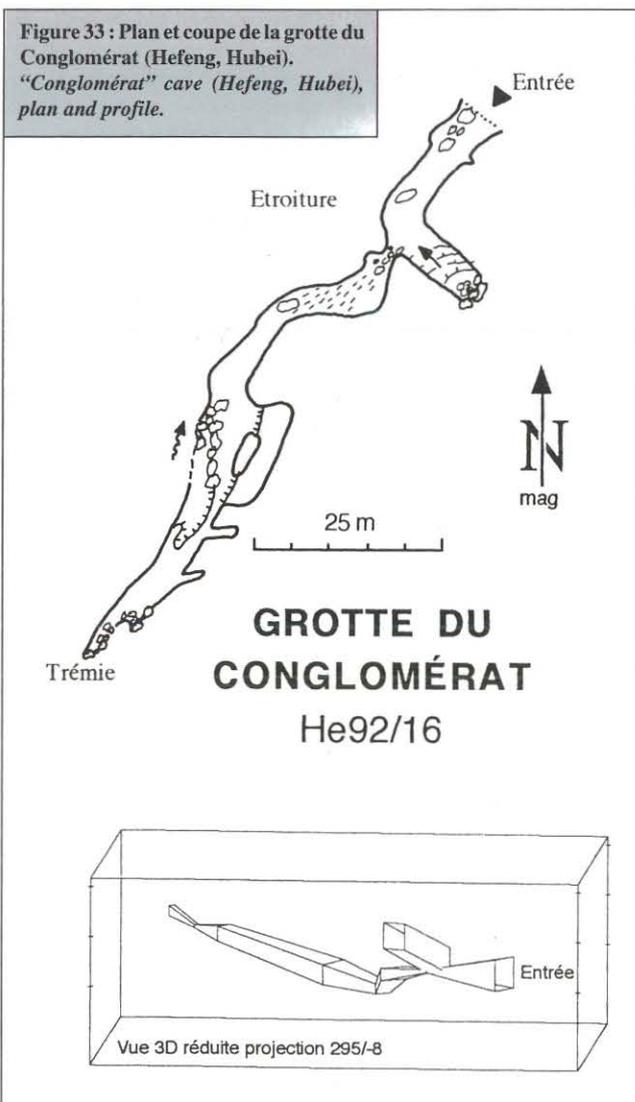
Le porche supérieur correspond vraisemblablement à une perte ancienne du poljé, quand le fond de celui-ci se situait 30 m plus haut. Elle est actuellement totalement inactive. Dans la galerie rejoignant la rivière, un petit affluent en rive gauche draine un petit aquifère situé dans le remplissage du poljé. Le réseau nord ne semble plus être parcouru par une rivière. Il se remplit simplement d'eau en saison des pluies et ne doit se vidanger que très lentement, car son fond est colmaté par des sédiments argileux décantés. Il est probable que la perte actuelle soit une capture de l'écoulement qui passait auparavant par le porche supérieur. Cela a provoqué une reprise d'érosion généralisée dans les sédiments du fond du poljé. Il est ainsi extrêmement vallonné (alors que les autres poljés de la région ont un fond très plat). Conséquence pour l'agriculture : aucune culture de riz n'est possible, par contre certaines parcelles sont plantées de thiers. (Bernard)

F. GROTTTE DU CONGLOMÉRAT

(He92/16)

Dév. 110 m Dén. 13 m (- 6, + 7)

Une fois arrivé au pied du col permettant d'accéder au poljé de Datangmi, on remonte vers le sud le lit d'un ruisseau à sec jusqu'au porche d'entrée. La galerie principale est rapidement bouchée par une trémie très consolidée et sans espoir de continuation. A 10 m de l'entrée, sur la droite, un petit passage dans les blocs nous mène à une galerie qui se termine au bout de quelques mètres sur une trémie sans courant d'air. De nombreux remplissages subsistent encore sur le flanc gauche de la galerie ainsi que dans des coupoles au plafond. Sur le flanc droit, le bruit d'un petit ruisseau remonte à travers les blocs. Nous ne pourrions l'atteindre. Cette circulation provient sans doute du sous écoulement du ravin et rejoint probablement la perte de Mishuidong par quelques diverticules. Nous notons la présence d'un nid de rat, conglomérat !!! Conglomératé : je remplis ma lampe au jus d'orange, le compteur du topofil enrhumé ne démarre pas à la première visée, Jean s'éclate un doigt en chatouillant d'un peu trop près la trémie, je perds une pellicule photo, évidemment avec les plus beaux portraits que j'avais faits la veille ! Jean, très en colère, se venge en visitant toutes les entrées situées sur le chemin du retour alors que je vagabonde sur le sentier. (Jean-Pierre)



G. LE RÉSEAU DE ZHAIDONG-GANDONG

«Grotte du village fortifié-Grotte sèche» (He 89/4)

Dév. 8 403 m Dén. 552 m

Ce réseau est actuellement le deuxième plus profond de Chine avec une dénivellation totale de 552 m. Il est constitué par trois cavités principales (Gandong, Niudong, Zhaidong) reliées au niveau d'une doline d'effondrement allongée correspondant à une ancienne salle. Située sur le bord nord du poljé de Yanziping, cette doline dissymétrique est visible de loin grâce à sa falaise orientée à l'est et à l'entrée béante de Gandong (amont) qui fait face à celle de Zhaidong (aval).

1. Gandong

«Grotte sèche» (He92/15)

Long. 110° 13,4' Lat. 29° 57,5' Alt. 1 170 m (entrée inférieure de la grotte-tunnel)

Située 500 m au nord du poljé de Yanziping, cette grotte-tunnel forme l'amont logique de l'ensemble du réseau. L'entrée inférieure est un superbe porche de 20 m de haut sur 10 m de large bien visible depuis le poljé. On y accède en descendant dans la doline par un raide sentier, puis en remontant sur une centaine de mètres le lit à sec (en cette période) d'une rivière temporaire. On parvient à un ressaut subvertical d'une douzaine de mètres que l'on peut escalader sur la droite (un peu délicat). L'entrée supérieure est d'un accès plus facile, mais plus éloignée (30 minutes de marche par un bon sentier). La galerie principale est un conduit régulier, pratiquement horizontal, de section confortable (100 à 200 m²) qui joint directement les entrées supérieure et inférieure. Ce tunnel fonctionne donc comme un tube à vent parfait, le fort courant d'air variant selon le vent extérieur et la saison. L'impact des gouttes d'eau tombant sur le sol dessine de belles rayures qui indiquent précisément la direction du courant d'air. On peut s'en servir comme d'une boussole souterraine. Dans les 300 m amont, les galets sont recouverts par une mince pellicule d'argile sèche, car le plancher légèrement à contre pente permet à l'eau de stagner et de décanter après les crues. En aval du point haut du lit, les galets sont propres, nettoyés par les crues. Le lit s'élargit sensiblement et une partie importante de l'eau arrive à cet endroit. La progression est aisée et les paysans empruntent parfois cette galerie pour traverser la colline, mais à l'extrémité aval, il y a cependant le ressaut de 12 m un peu délicat (pour nous) que les enfants qui nous accompagnent franchissent pourtant sans problème !

A 200 m de l'entrée inférieure, une galerie fossile supérieure large de 20 m et encombrée de blocs se dirige à l'ouest. Au bout d'une centaine de mètres, on parvient à une bifurcation peu évidente. Toujours à l'ouest et après un passage bas de plafond (brèche du Trias), on pénètre dans la galerie du Conglomérat qui se développe parallèlement au flanc NW de la doline. Elle est bloquée au bout de 200 m par des trémies ou des concrétions. Peut-être existe-t-il une jonction avec le réseau de Zhaidong "le haut" (Niudong) qui se situe à moins de 100 m, mais nous ne l'avons pas trouvée. En revenant à la bifurcation, les paysans qui nous accompagnent nous invitent (comme le sensible courant d'air d'ailleurs) à nous engager dans un dédale de petits conduits dont les parois et les voûtes sont couvertes de coupoles. Ce réseau des Coupoles est un ancien réseau noyé sans doute creusé à grande profondeur et ramené près de la surface par le jeu de la tectonique. Au début, nous ne comprenons pas pourquoi il nous font parcourir un tel dédale de boyaux avec des passages en opposition au-dessus de petits puits. Surprise, au bout de ce labyrinthe, se trouve une jolie salle inclinée de 80 m de long sur 25 m de large où ils exploitaient les nitrates en profitant d'un petit écoulement d'eau permanent pour lessiver les sédiments et dissoudre les nitrates. Nous la baptisons salle des Nitrates Perdus.

Par deux fois le réseau de Gandong communique avec la surface. Dans la partie aval, une lucarne d'effondrement située en rive gauche, au sommet d'un magnifique plan incliné haut de 30 m, donne un éclairage inattendu à la galerie principale. Au petit lac, une vire permet d'atteindre à l'est la galerie de l'Essentiel. Ce réseau remontant parcouru par un fort courant d'air se divise rapidement en

plusieurs galeries allant en se rétrécissant. L'une d'entre elles mène à une autre entrée supérieure. Celle-ci porte des traces évidentes d'aménagements anciens et de passage, elle est maintenant délaissée et camouflée derrière une végétation abondante. (Bernard et Richard)

-Hydrogéologie : La galerie principale de Gandong est parcourue par une rivière temporaire. Le débit doit atteindre plusieurs m³/s pendant les crues d'été, mais il était nul lors de cette exploration (l'argile recouvrant les galets était complètement desséchée par le fort courant d'air qui balaya la grotte). Gandong est l'exutoire de trop-plein du petit poljé situé immédiatement au nord. En saison sèche, toute l'eau se perd dans le talweg avant d'atteindre Gandong. Quand le débit est un peu plus fort, les eaux pénètrent par l'entrée supérieure avant de s'engouffrer dans une petite perte située 100 m plus au sud. Par contre, quand le débit dépasse la capacité d'absorption de cette perte, les eaux s'engouffrent dans Gandong, balaient toute la galerie principale avant de se jeter dans la doline d'entrée de Zhaidong. Lors de la crue du 25 décembre 1992, le débit du poljé (environ 20 l/s) se perdait dans le ponor avant l'entrée de Gandong, mais une résurgence donnait un débit du même ordre de grandeur à l'intérieur de la cavité, au niveau de l'élargissement de la galerie principale.

Lors des fortes crues, il est probable que beaucoup d'eau jaillisse à cet endroit et se mêle à celle qui vient du petit poljé et de Xiniudong (la grotte du Rhinocéros) par l'entrée supérieure. Il est possible, mais non prouvé, que ces écoulements de forte crue correspondent à la perte de Mishuidong. En saison sèche, il subsiste quelques petits écoulements qui étaient précieusement recueillis dans de petits bassins à l'époque glorieuse des fours à nitrates. L'eau servait alors au lessivage de la terre imprégnée de salpêtre. Dans la salle des Nitrates Perdus, il existe même un réseau de petits canaux entre les bassins pour distribuer l'eau précieuse. (Bernard)

2. Niudong

«Grotte du Boeuf» (He92/29)

Cette branche, la plus haute du réseau, se développe dans la butte qui domine la doline d'effondrement. Ce jour là, nous sommes accompagnés par des paysans du village et notre objectif est de faire la jonction avec la doline. L'entrée normale se situe à 15 minutes de marche sur le versant ouest : elle n'est pas grande (4 m x 2 m). Nous topographions d'abord un vieux réseau qui débouche à deux reprises sur le sommet de la colline, puis une galerie orientée vers le NE (complexe O.R.L.) nous conduit à deux porches suspendus. L'un d'eux, appelé porche du Sinus, se présente d'abord par un puits incliné d'une vingtaine de mètres qui débouche dans la paroi. Un fractionnement installé plein vide permet de descendre comme une araignée sur le sommet du talus de la doline (P40). De l'autre côté de la doline, Chen contemple cette fourmi rouge au bout du fil. Au-dessus, Daniel ronge son frein, car la vraie jonction n'est toujours pas faite. Enfin, au retour, nous trouvons un conduit descendant à l'ouest qui débouche rapidement sur un puits d'une quinzaine de mètres que nous équipons en hâte avec des anneaux de sangles. En bas, on retrouve un petit tas de fil topo blanc : la jonction ! Désormais l'ensemble du réseau dépasse 500 m de profondeur. La galerie dite de l'Essentiel est donc là et non dans Gandong, n'est-ce pas La Rouille ! (Richard et Daniel)

3. Zhaidong

Alt. 1 140 m

Le gouffre de Zhaidong constitue la partie aval de l'ensemble du réseau et c'est aussi, et de loin, le plus difficile. Il débute par un porche de 10 m de large sur 7 m de haut dans lequel la rivière provenant de Gandong vient se perdre en période de crue. La galerie de 8 m x 8 m, d'abord rectiligne sur une centaine de mètres, aboutit à un puits de 7 m donnant sur une première marmite : c'est l'arrêt de l'explo 89 lors de notre expédition Gebihe. Nous n'avions alors passé que quelques jours dans le comté de Hefeng. La suite n'est pas du gâteau ! Une série infernale de marmites, tantôt vides, tantôt pleines, nécessite souvent des équipements pénibles : escalades en «artif» et ruses en tous genres car évidemment le plus dur n'est pas de descendre dans ces marmites, mais d'en sortir !

Photo 16 : Doline d'effondrement de Zhaidong avec le porche de Gandong (au fond) et celui de Niudong (à gauche).
Cliché J.B.

Collapse doline of Zhaidong with the porchs of Gandong (background) and Niudong (left).

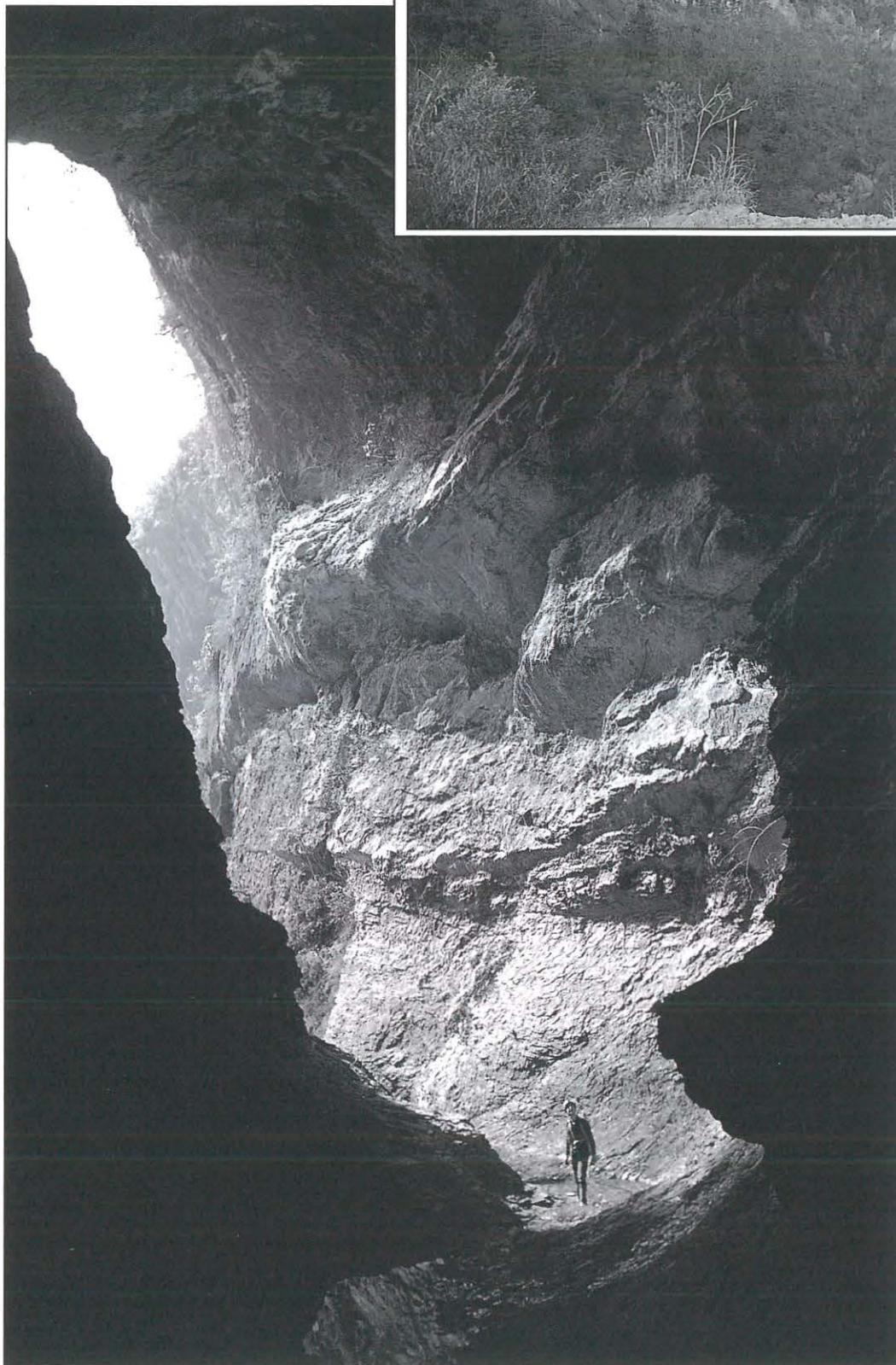
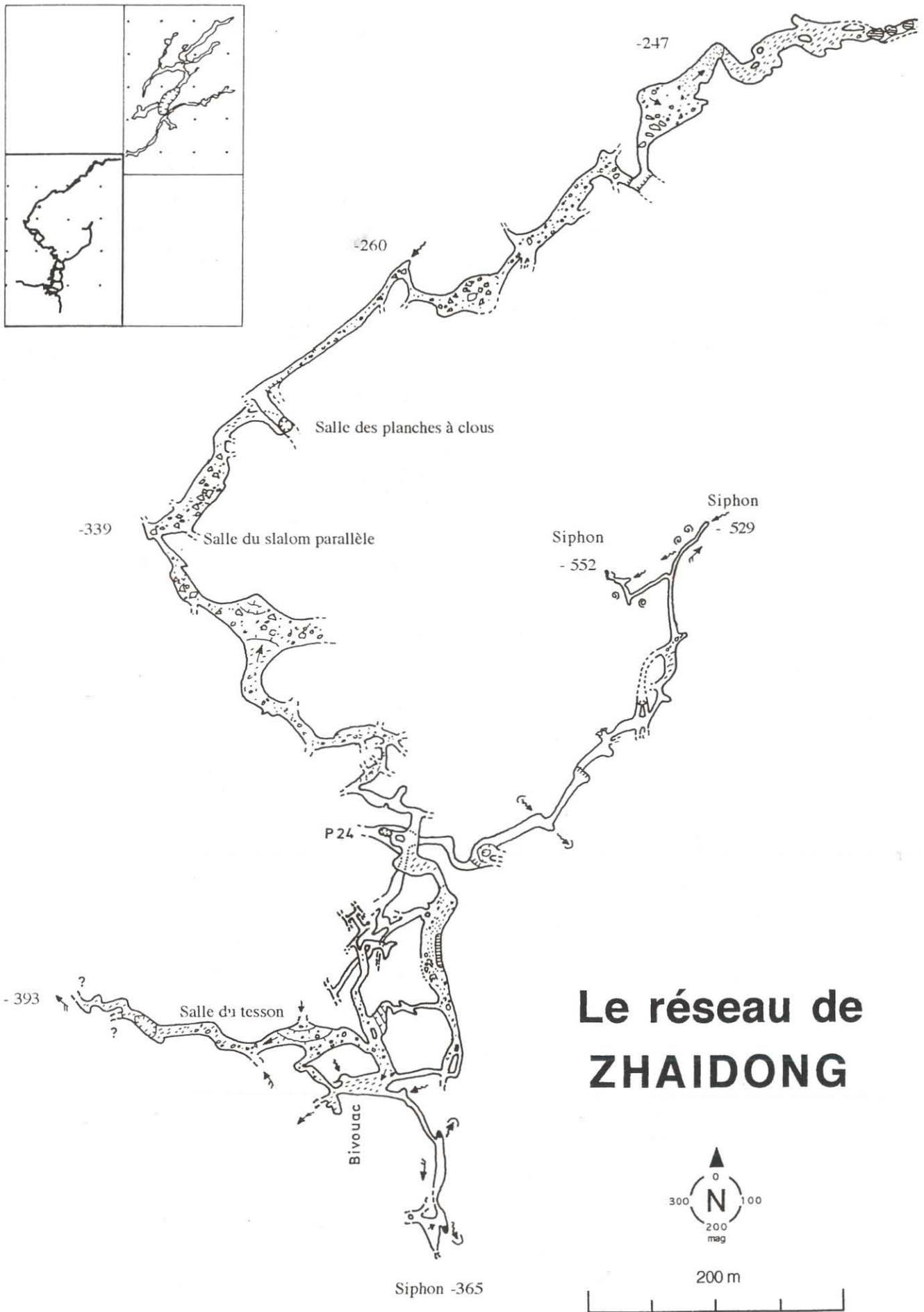


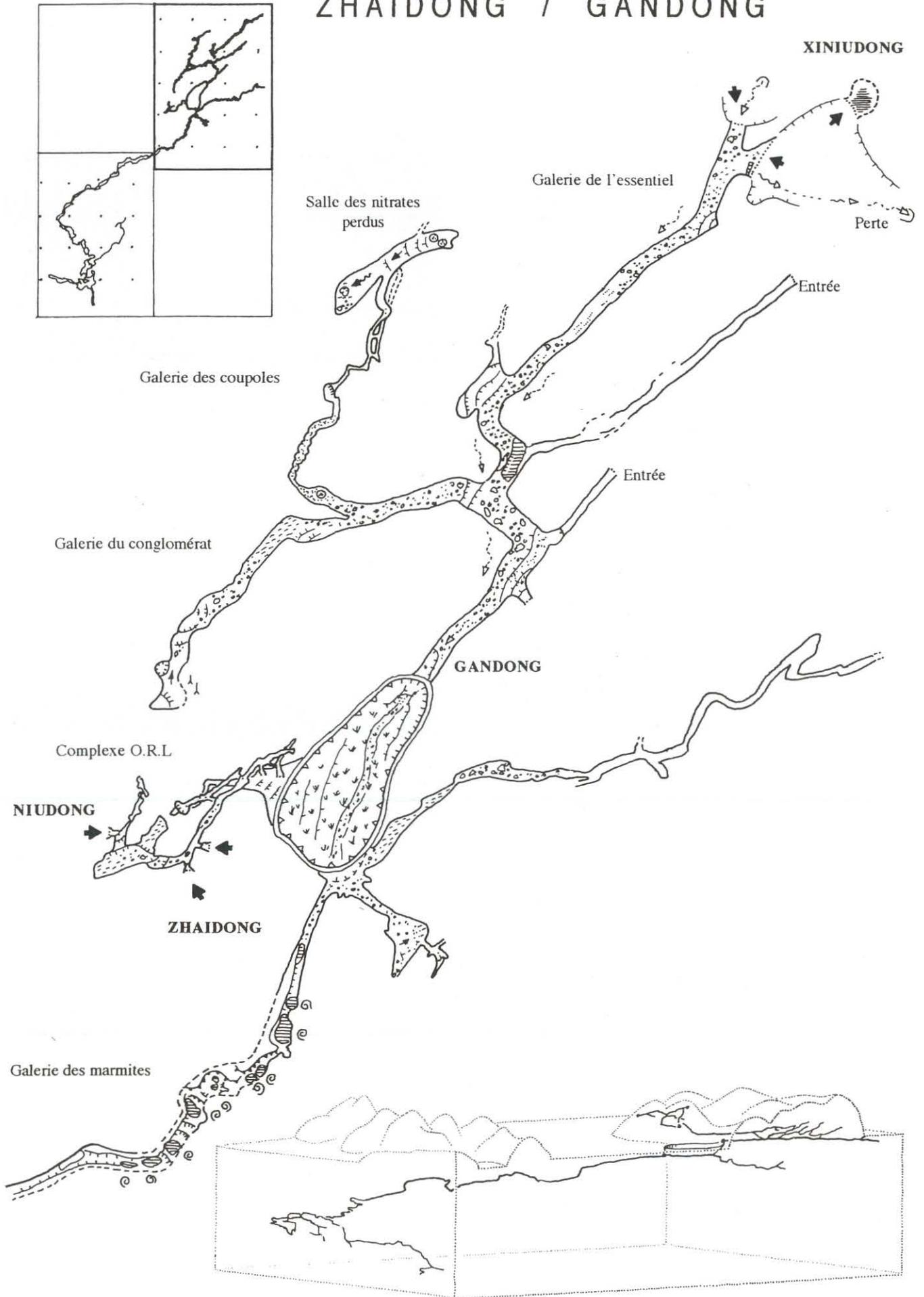
Photo 17 : Le porche aval de la grotte-tunnel de Gandong. Lors de la saison des pluies, cette cavité est parcourue par un torrent qui se perd ensuite dans le porche de Zhaidong (cf. photo 18, p. 56). Cliché R.M.
The downstream porch of Gandong. During the rainy season, a river crosses the tunnel-cave and penetrates in the Zhaidong porch (cf. photo 18, p. 56).



Le réseau de ZHAIDONG

Figure 34 : Plan et coupe du réseau de Zhaidong (Hefeng, Hubei).
 Zhaidong system (Hefeng, Hubei), plan and profile.

ZHAIDONG / GANDONG



A - 100, la cavité change de style. Un passage horizontal, qui doit siphonner en saison des pluies, mène à une grande remontée couverte de graviers jusqu'à une salle d'effondrement que l'on traverse pour descendre et remonter jusqu'au sommet d'un beau toboggan creusé dans le pendage. En bas, on parcourt une galerie longue de 100 m dont le plancher est jonché d'éboulis, puis on arrive dans une salle inclinée vers l'ouest jusqu'à une zone de décantation. Il faut alors remonter presque en escalade pour atteindre une galerie de 6 m de large agrémentée de quelques coulées stalagmitiques. Après une nouvelle descente, on parvient au sommet d'un puits de 17 m ; revenant sous nos pas, on trouve la salle des Planches à Clous. Plus loin le réseau marque un coude à 90° et l'on arrive dans une grosse salle que l'on doit remonter sur une pente d'argile très raide ; la partie orientale de cette salle n'a pas été explorée. Nous suivons le courant d'air qui part au sud ; le conduit se rétrécit jusqu'à une section de 2 m x 2 m, puis on franchit deux ressauts en désescalade. La galerie s'élargit, puis se resserre, puis s'élargit à nouveau avant d'atteindre une zone de fractures verticales où l'on a un choix cornélien : descendre un méandre étroit ou grimper et franchir une étroiture. Dans les deux cas, on se retrouve dans une zone déchiquetée où l'on remarque un siphon dans un point bas.

Après avoir franchi une marmite en escalade et un petit puits de 8 m, la galerie reprend une taille humaine : 15 m x 15 m ! Dans une salle au sol "planche à clous" démarre sur la droite le réseau vers le futur fond de - 552. Nous descendons dans une galerie en interstrate très inclinée dont le fond est occupé par un lac ; derrière elle remonte en se rétrécissant. Nous trouvons un passage en hauteur, sur la droite, par lequel s'engouffre le courant d'air. La zone, devenue très labyrinthique, débute par une «oppo» très large au-dessus de deux marmites où s'ébattent des niphargus ou peut-être des crevettes blanches. La galerie descend, nous franchissons un passage bas et remontons jusqu'à un carrefour. A droite, la salle du Tesson est dominée par un énorme puits remontant : 100 m, voire plus ! C'est au pied de ce puits que nous avons retrouvé un morceau de poterie dont l'état de conservation (cassures très anguleuses) prouve qu'il est arrivé ici par une voie très directe et qu'il n'a pas été roulé par l'eau. La salle est prolongée par une galerie rectiligne amenant au pied d'un ressaut de 5 m. Au sommet de celui-ci, la galerie redescend jusqu'à un ressaut de 8 m que nous n'avons pas remonté ; le courant d'air aspirant est toujours présent et en haut la galerie continue.

A gauche du précédent carrefour, une galerie argileuse mène vers l'ouest au Bivouac et à nouveau dans la salle du Tesson. Vers l'est, un puits incliné et orientée sur une fracture, conduit à un petit actif de 1 l/s environ. L'aval siphonne rapidement à la côte - 365 et des escalades successives permettent d'atteindre un siphon amont. Une escalade dans un puits incliné, à proximité de ce siphon, donne accès à un complexe de galeries non topographiées avec courant d'air aspirant et arrêt sur rien : nous sommes à l'extrémité sud du réseau ! La suite démarre par un labyrinthe de galeries de 2 m de diamètre qui est suivi par un puits de 10 m. La galerie se rétrécit, puis nous arrivons à un puits de 30 m. 10 m sous la lèvres du puits, un pendule permet de prendre pied dans une belle galerie (15 m x 15 m) que nous n'avons pas eu le temps d'explorer : c'est sans doute une continuation importante du réseau. Le puits de 30 m est descendu ; il donne dans une salle que l'on remonte par une pente très glissante. Nous parvenons à une sorte de balcon donnant dans une nouvelle salle dont le plafond est crevé par un gros puits. En «slalomant» entre les sucoirs de soutirage, on atteint un superbe tube de 5 m de diamètre qui franchit une première fracture et bute sur une seconde par un puits de 12 m. Après une zone toujours fracturée, mais rendue glissante par les sédiments, on prend pied dans une salle inclinée que l'on descend «en luge» dans la boue avec le topofil qui chauffe. La remontée sera moins marrante. Au fond de la salle, derrière des blocs, un petit conduit de 2 m de diamètre descend dans l'interstrate d'abord inclinée à 45°, puis s'infléchissant. Il se divise ensuite : à droite arrêt au bout de 30 m sur un siphon, à gauche une galerie de même style (marmites) descend en interstrate jusqu'à un élargissement de 5 m x 5 m dont le fond est occupé par une grosse marmite que nous n'avons

pas franchie. Le courant d'air est toujours présent et la galerie continue : nous sommes au point bas du réseau à la cote - 400 depuis le porche de Zhaidong et - 552 depuis l'entrée supérieure de Niudong. (Jean et Cyriaque)

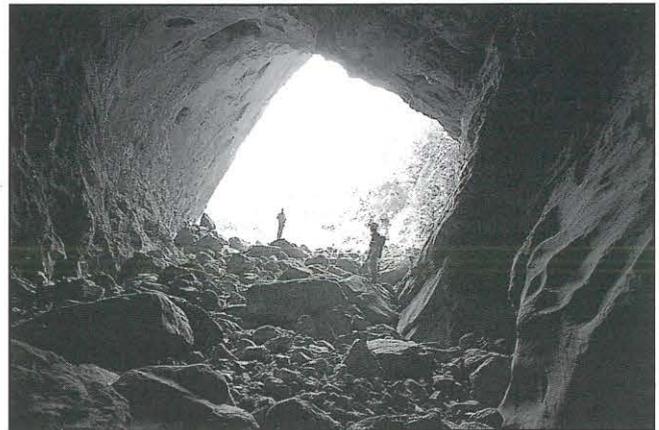
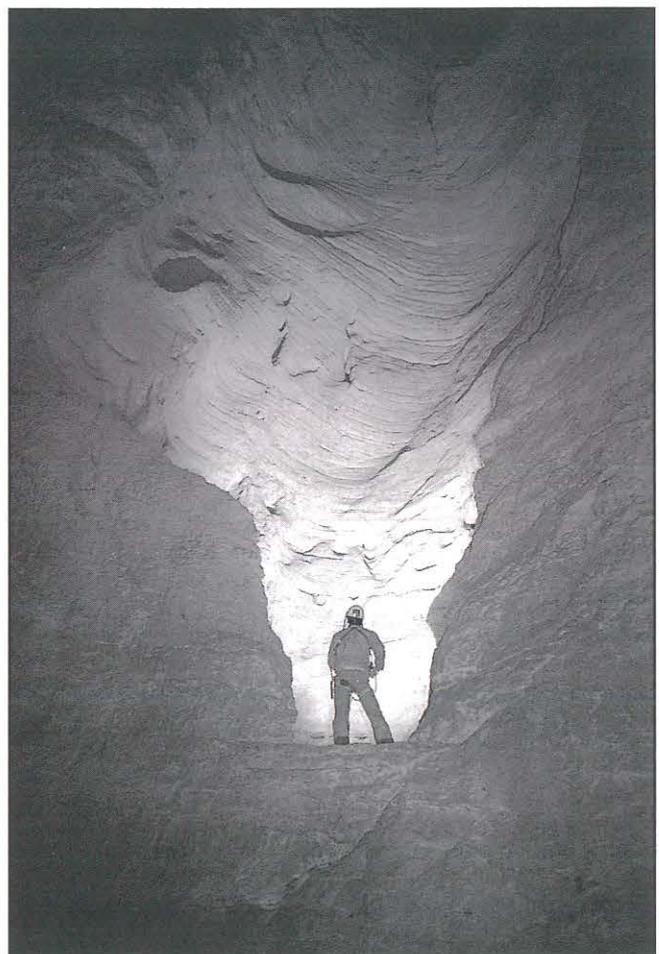


Photo 18 : La galerie d'entrée de Zhaidong est parcourue par un puissant torrent lors des crues de mousson d'été. Cliché J.B.
The entrance gallery of Zhaidong cave.

Photo 19 : Puits lustré par l'érosion mécanique des eaux courantes dans le réseau de Zhaidong. Cliché J.B.
Mechanical erosion by running waters, Zhaidong cave.



H. XIANGSHUIDONG (ou NOSEDONG)

«Grotte de la voie de l'eau»

(He92/10)

Long. 110° 05,6' Lat. 29° 54,7'

Alt. 1 040 m Dév. 453 m Dén.

159 m (- 158, + 1)

Xiangshuidong s'ouvre à quelques pas au sud de la route qui mène de Hefeng à Yanziping, une dizaine de km à l'est de Hefeng, près du village de Hongyuxi. C'est une perte active à laquelle on accède par un petit sentier à travers champs. La galerie active présente une succession de marmites d'érosion et de puits aux belles parois polies par l'eau chargée de sable. La progression est franchement aquatique et la néoprène est indispensable. Tous les ressauts doivent être équipés hors crue, donc très haut, en gardant bien à l'esprit que les crues sont très rapides dans ce réseau. Quelques branches haut perchées par rapport au cours d'eau indiquent d'ailleurs la violence des crues d'été. Pour nous mettre un peu au sec, nous laissons la rivière qui continue de cascader vers le sud et explorons la diaclase fossile. A la cote - 45 m, une petite galerie sèche part vers la droite. Au bout de 60 m, elle donne dans une diaclase subverticale. On y descend rapidement d'une centaine de mètres, en opposition sur des parois glissantes et pourries (vieilles concrétions corrodées). Un bon équipement en cordes fixes est indispensable. Un léger courant d'air est sensible, descendant dans les trente premiers mètres, il remonte ensuite. Où va-t-il ?

- **Hydrogéologie :** La cavité est creusée dans les calcaires massifs du Trias inférieur et draine une petite dépression et le karst environnant. Existe-t-

il une résurgence en amont de cette dépression ? Cela reste à voir. En basses eaux hivernales, le débit est de l'ordre de 5 l/s, mais il peut monter très rapidement à plus de 100 l/s comme lors de la crue du 26/12/92. La violence des cascades rend alors le gouffre très dangereux ! L'eau s'enfonce rapidement dans le réseau actif, sans mises en charge apparentes (galeries sèches à quelques mètres du réseau actif). Elle rejoint probablement Wanrendong, la plus grosse résurgence pérenne de la région située 500 m en contrebas, à 2 km au SW. (Bernard)

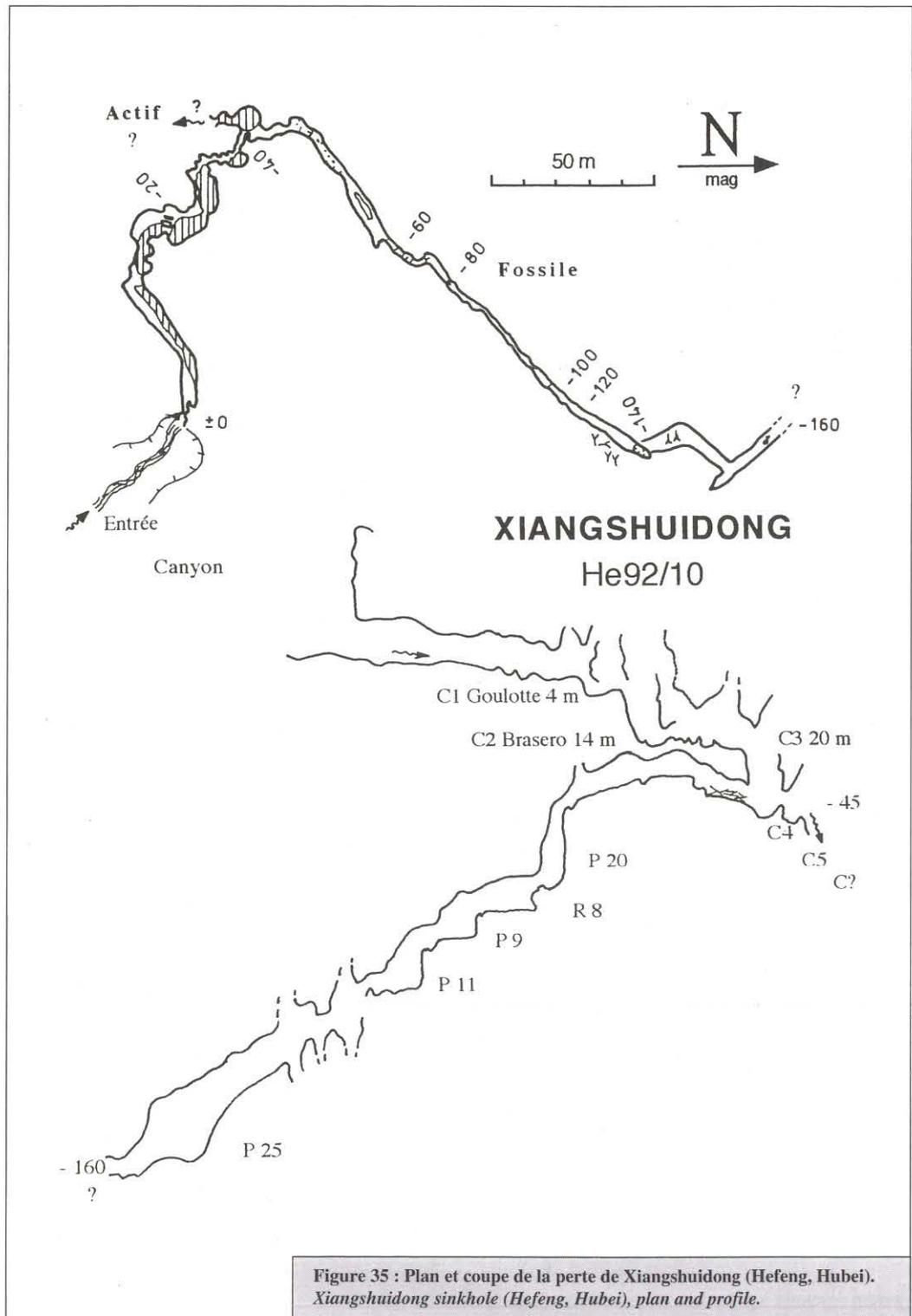


Figure 35 : Plan et coupe de la perte de Xiangshuidong (Hefeng, Hubei).
Xiangshuidong sinkhole (Hefeng, Hubei), plan and profile.

I. DONGHE

«La grotte rivière» (He92/14)

Long. 110° 05,8' Lat. 29° 49,5' Alt. 710 m

Dév. 6 692 m Dén. 366 m (- 128, + 238)

Donghe, c'est d'abord une formidable traversée, un canyon souterrain qui prolonge directement une vallée aveugle drainant un bassin-versant de 200 km². Du côté aval, l'accès est possible par une bonne piste qui conduit à 500 m de l'entrée inférieure (village de Tangjiapu) située à 5 km au NE de Hefeng. La progression de type spéléo commence en fait bien avant la grotte, quand il faut escalader ou se glisser sous les énormes blocs arrondis qui encombrant le lit du canyon. Par l'amont, l'accès est plus délicat car la rivière qui alimente la perte a creusé un canyon étroit, entrecoupé de vasques d'eau profonde et de ressauts verticaux. Nous mettons une demi-journée à trouver un itinéraire d'accès direct au porche pour éviter le canyon. Ce chemin longe le flanc sud du canyon aveugle profond de 160 m, à partir d'une petite maison perchée au bord du vide. Le sentier est vertigineux et quelques passages un peu raides méritent une corde, mais les paysans passent en courant sans s'arrêter. Deux échelles de bois et une liane (et oui !) facilitent la progression. Et que font les paysans sur un sentier aussi scabreux ? Ils descendent tout simplement au fond pour fabriquer du charbon de bois. Mais pour atteindre le porche, en partie cachée par un coude, il reste à franchir quelques vasques profondes (tronc en travers et escalades).

- *Le canyon souterrain* : Il débute par un porche colossal de 100 m de haut et de 30 à 40 m de large qui distille de la lumière jusqu'à 400 m à l'intérieur. La grotte-tunnel proprement dite traverse la montagne sur 2 200 m de développement en rejoignant la vallée de la Loushuihe. Rigoureusement alignée sur une grande faille (N75E), la galerie s'apparente à un canyon : lits de galets, empilements de gros blocs polis ou marmites aux formes douces et arrondies. La similitude n'est pas fortuite : comme un canyon, cette rivière souterraine évacue de très grandes quantités de sédiments détritiques qui polissent les parois (sables et graviers siliceux, galets calcaires ou quartzitiques du Dévonien).

- *Les grandes galeries fossiles* : Après avoir parcouru 600 m en aval de la perte, c'est le "Carrefour des trois feux", avec une grosse galerie remontante en rive gauche. Elle est inactive et encombrée de blocs, de quelques gros massifs stalagmitiques en pleine croissance et de vieilles concrétions. Plus loin, à la "Confluence de la fourchette", elle se divise en plusieurs branches, toutes de très grande taille (avec des sections de 200 à 1 000 m²). Il s'agit vraisemblablement d'un ancien lit de la rivière, abandonné à la suite de l'enfoncement du réseau. La branche SW est la plus longue. On y remonte de plusieurs dizaines de mètres, en escaladant un peu péniblement les blocs hérissés de petites pointes de calcite. Les faibles suintements qui tombent du plafond creusent dans le sol rocheux ou sur les blocs, des cratères aux parois hérissées de centaines d'épines. Leur fond rouge et leur bord noir donnent une certaine image de l'enfer. C'est la galerie des "mille bouches du diable" !

Au sommet de cette branche, le sol devient plat comme un terrain de tennis, à peine creusé par quelques petits cratères. La galerie a de très belles proportions (50 m de large sur 15 m de haut). Soudain, le sol se dérobe au regard et il reste un grand trou noir béant peu engageant. En fait, une petite rampe à main droite permet de descendre dans ce gouffre noir qui est en réalité une vaste salle (80 x 150 x 50 m) creusée au confluent de deux galeries, la salle du "Topo-Ropôt". On se rend compte que le sol de la galerie précédente n'était qu'un plancher de calcite de quelques décimètres, scellant plusieurs dizaines de mètres de sédiments (limons, sables, graviers). A main gauche, part la galerie qui mène à la rivière permanente (infra). Droit devant, on descend 50 m juste pour le plaisir de les remonter sur des sédiments sablonneux. 200 m plus loin, on bute sur un nouvel effondrement, un peu plus délicat à franchir. Il est possible de passer contre la paroi de gauche en désescalade, parmi des blocs instables et dangereux. La suite est un immense éboulis de blocs anguleux. Nous sommes arrêtés 120 m plus bas sur un fond de trémie apparemment impénétrable,

mais la topographie de la cavité suggère qu'il existe bien une suite à cette galerie, droit devant ou à main droite. Reste à explorer systématiquement cette trémie, ce qui n'est guère passionnant, mais nos collègues méridionaux ont décidé que c'était de la vulgaire grotologie ! Ce n'est pas notre avis : de la première comme ça, en France, on en redemande.

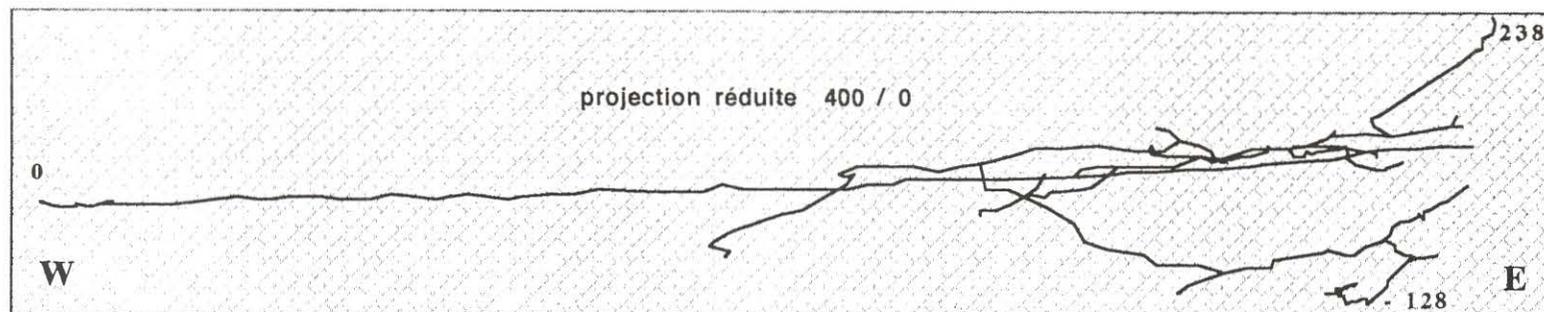
Une galerie reste à faire, c'est celle de la "Trémie". Elle démarre au début des "Mille bouches du diable" et se développe plein E sur une grande fracture. La progression est rendue pénible pour deux raisons : il faut d'abord monter et descendre des blocs cyclopéens coincés dans une galerie large de 4 à 10 m et haute de plusieurs dizaines de mètres ; ensuite il faut faire des acrobaties avec quelques bouts de sangles ! Finalement, au bout de 400 m de progression, nous nous arrêtons devant un puits magnifique que nous regardons furieux en contemplant notre sac démuné : voici le puits des "Voleurs de Cordes" (cf. Li Rouli).

- *La Rivière Sans Retour* : S'il vous reste du courage, à partir de la salle du "Topo-Ropôt", prenez la peine de descendre au fond de la salle poussiéreuse. Une galerie descend fortement vers le sud. Son sol est partiellement recouvert par un plancher de calcite déposé par une petite source qui jaillit comme par miracle au milieu des sédiments secs de la salle. Après quelques dizaines de mètres de dénivelé, l'argile devient humide et on entre dans une zone qui doit subir de régulières mises en charge. Elle est d'ailleurs située pratiquement à la même altitude que l'entrée supérieure du réseau actif. Encore 40 m à descendre sur des talus d'argile avant de buter sur un suçoïr infâme. Terminus ? Non. En face, un petit départ remontant serait passé inaperçu s'il n'était pas balayé par un fort courant d'air aspirant. Après 15 m à quatre pattes, on débouche dans un conduit aux proportions plus chinoises (5 m x 10 m) qui débouche dans une salle tellement brumeuse que nous n'avons pas vu ses dimensions (sa topo reste à faire). Bientôt le bruissement de la rivière se fait entendre. Et oui, ici, 120 m sous l'entrée inférieure de Donghe, coule une belle rivière permanente (200 l/s en décembre 92). Le sol de la salle porte encore les traces de crues récentes : cupules de corrosion, galets et roche recouverts d'une fine patine noire d'oxyde de fer et de manganèse. Par contre, l'absence totale de feuilles et de branchages suggère que cette rivière ne communique pas directement avec une perte concentrée.

Vers l'aval, on bute rapidement sur un premier siphon. On peut le shunter par le haut, mais c'est pour tomber sur un second que nous n'avons pas pu passer. Vers l'amont, même punition, même motif : siphon. Par contre, en longeant la paroi nord de la salle, on atteint un petit affluent remonté sur 200 m jusqu'à une salle encombrée d'argile. En haut, une galerie remontante est recouverte de vieilles coulées érodées. D'après la topo, nous saurons que le fameux puits des Voleurs de Cordes, non descendu (à cause des cordes séquestrées par La Rouille), débouche ici ! En bas, une autre galerie conduit vers un aval d'où remonte une rumeur intéressante ! Un beau puits de 30 m concrétionné est équipé fiévreusement sur amarrages naturels pendant que Bernard vaque à ses analyses d'eau. En bas, le grondement se fait plus net : encore deux ressauts déchiquetés que l'on passe en désescalade et nous voici dans la boue. 4 m au-dessus une lucarne permet d'accéder à une galerie sur diaclase. Le grondement devient de plus en plus envahissant, encore 10 m et nous rejoignons une galerie très inclinée parcourue par un torrent souterrain, avec de grandes cascades, dans le plus pur style vercorien !

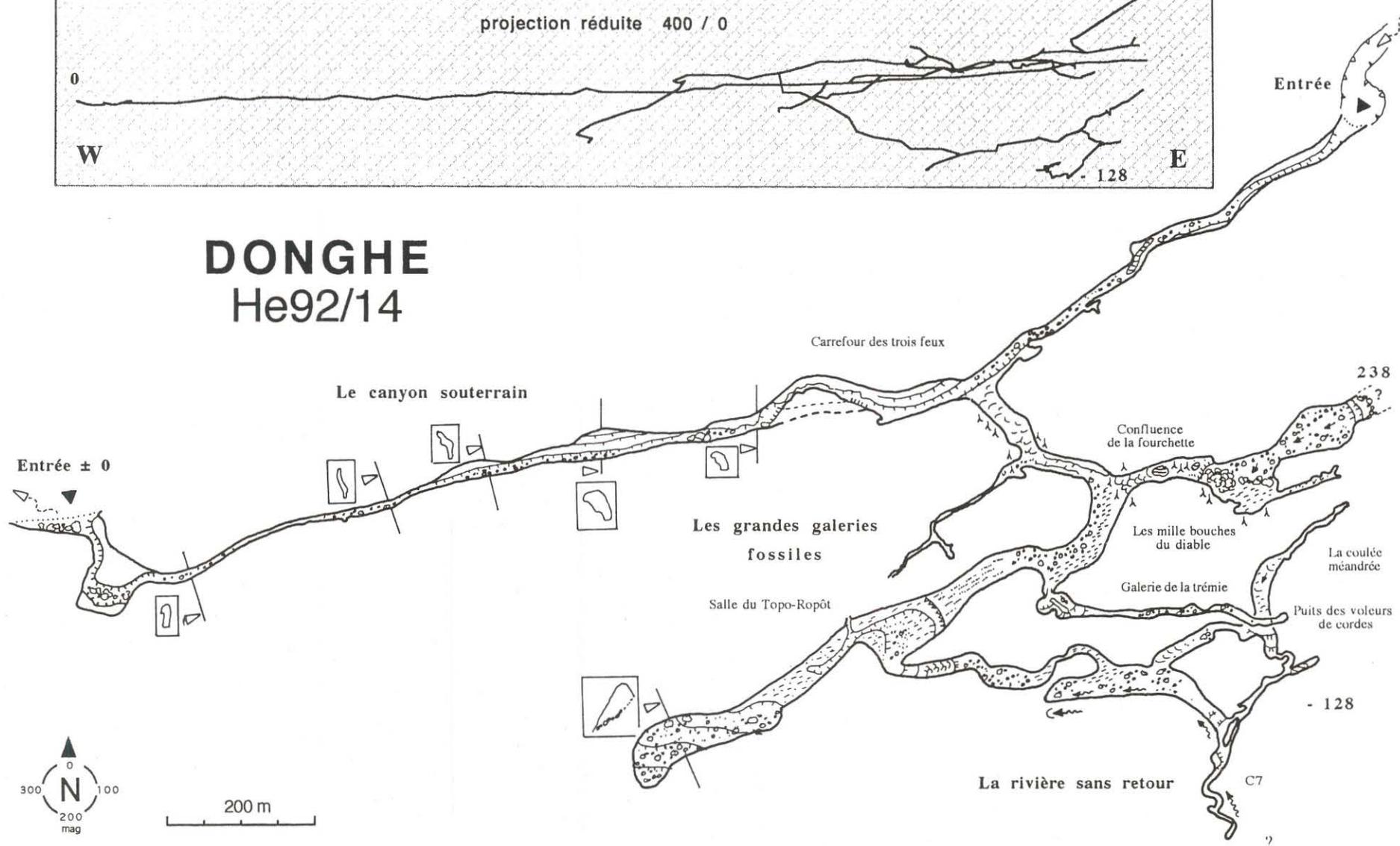
C'est notre dernière sortie dans le trou et il ne faut pas traîner. L'eau n'est pas très froide (14°C), mais nous préférons enfilez les pontonnières. Pour éviter les vasques profondes, nous escaladons les parois en profitant des milles cupules creusées dans la roche par la dissolution. Comme les parois sont en fait des planches à clous verticales, toute chute est interdite tant la roche est coupante. Il nous faut 2 h pour avancer de 200 m. Une belle cascade de 7 m nous barre maintenant le passage et, bien sûr, il est l'heure de rentrer ! On ne peut pas laisser un si bel obstacle : en rive gauche, il y a de magnifiques lunules creusées dans la roche, puis une diaclase. Quelques sangles

Figure 36 : Plan et coupe de la grotte de Donghe (Hefeng, Hubei).
Donghe cave (Hefeng, Hubei), plan and profile.



DONGHE

He92/14



bien placées nous permettent de remonter de 3 ou 4 m le long de la veine d'eau : quelle ambiance ! Un rétablissement dans la fissure et nous voilà en haut. Devant nous, un grand bassin profond et la rivière qui continue : un coup de topofil et de boussole et nous nous arrêtons faute de temps, la mort dans l'âme, mais avec le secret espoir de revenir un jour dans cette cavité exceptionnelle ! (Bernard et Richard)

- Hydrogéologie : Donghe est creusée dans les calcaires du Trias. Deux faciès se rencontrent : des calcaires gris en gros bancs massifs et des brèches à ciment calcitique jaune mêlant ces mêmes calcaires à des calcaires noirs ou rouges. Ce dernier faciès se rencontre souvent en Chine, mais son interprétation est sujette à débat : certains y voient une formation diagénétique (affaissement des bancs carbonatés lors de la dissolution des bancs de gypse interstratifiés), d'autres une brèche de faille de grande extension, ce qui semble beaucoup moins probable. La cavité est située sur le flanc méridional du synclinal de Yanziping. Les pendages sont forts (40 à 70°) mais ne semblent pas avoir guidé de manière prépondérante le creusement de la grotte. Le conduit actif principal suit plutôt une grande faille (N55°E). Donghe est située au bout d'une vallée aveugle d'une dizaine de km de long et elle draine un bassin-versant de plus de 200 km². Cela explique la taille énorme des conduits (1 000 m² de section en moyenne) et la beauté des formes d'érosion, semblables à celles des grands canyons calcaires. La perte ne fonctionne que lors des crues. L'eau traverse alors toute la grotte pour jaillir dans un canyon affluent de la Loushuihe. Quand le débit est plus faible, l'eau passe par des conduits inférieurs de plus petites dimensions, pour ressortir à une autre émergence située plus qu'il est probablement Wanrendong. (Bernard)

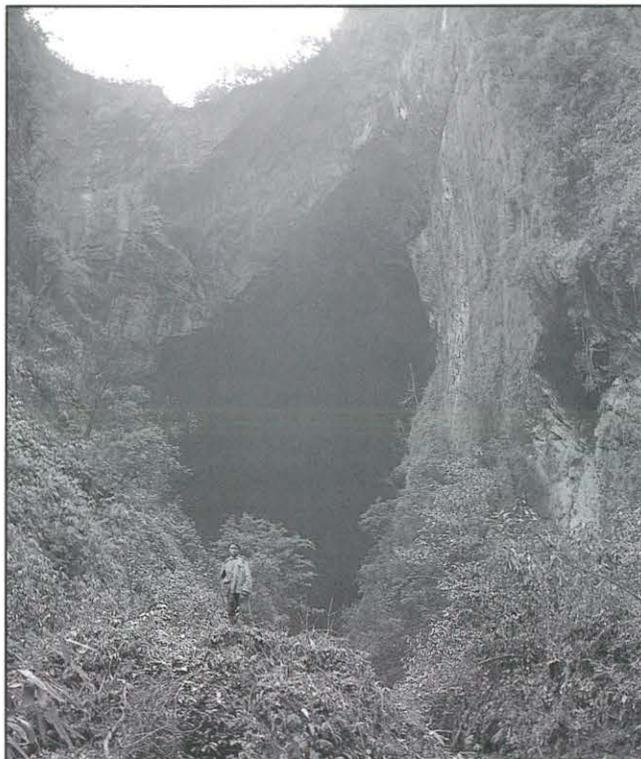


Photo 20 : L'immense porche de la perte de Donghe (> 100 m) s'ouvre au fond d'un canyon aveugle comme celui de Dadong. Cliché R.M.
The huge porch of Donghe (> 100 m) is situated at the end of a blind canyon.

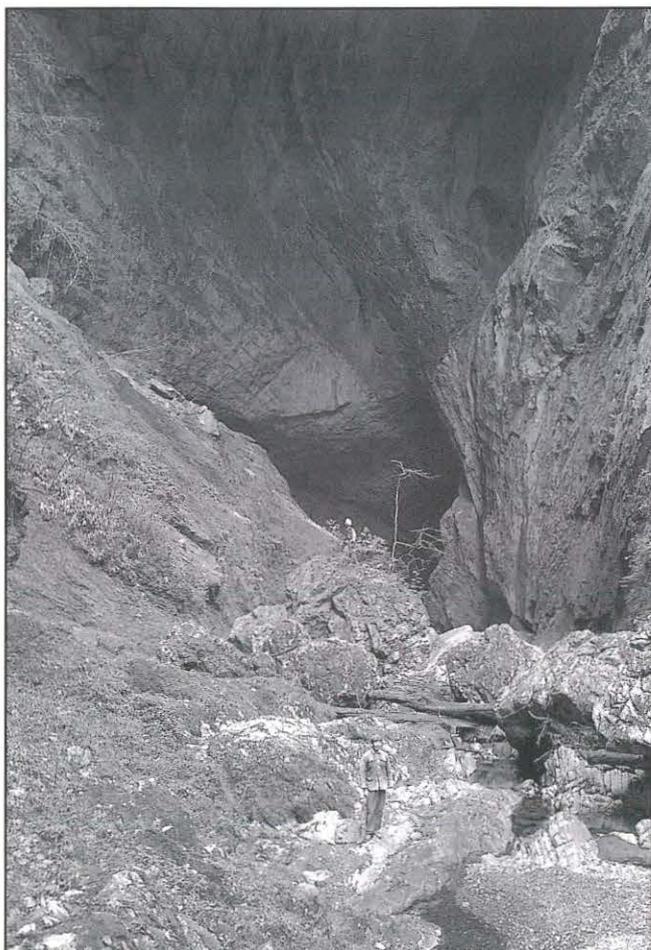


Photo 21 : Vue de l'intérieur de la perte temporaire de Donghe (personnages au premier plan et sur le bloc central). Cliché R.M.
Entrance gallery of Donghe.

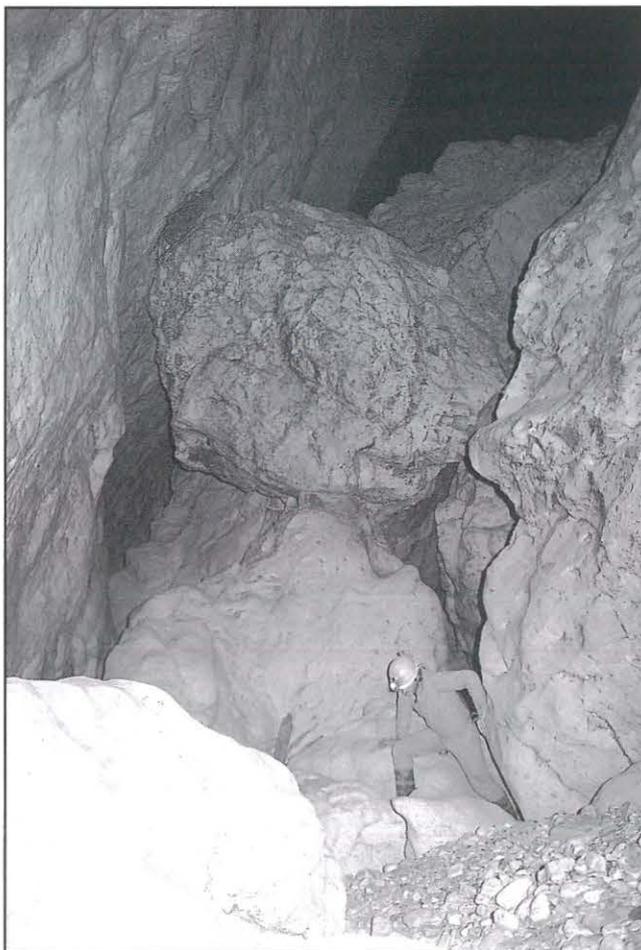


Photo 22 : Enormes blocs arrondis par le torrent lors des crues d'été dans la partie aval du tunnel de Donghe. Cliché J.P.B.
Huge blocks eroded by running waters in summer, downstream part of Donghe.

J. CHUANXINDONG

«La grotte des coeurs percés» (He92/19)

Alt. 1 040 m

Dév. 152 m Dén. 21 m (+ 21)

Il faut compter 45 mn de marche d'approche en passant par le chemin qui mène au porche amont de Donghe (lieu-dit Hahulu). Un peu après la ferme en bas du col, on laisse le chemin de Donghe et l'on descend directement dans le lit de la rivière, mais pas trop en aval car le canyon commence à s'enfoncer et deux cascades de 15 à 20 m rendent impossibles la traversée sur l'autre rive où se situe la cavité. Ensuite on remonte dans les broussailles par un petit sentier très pentu et abandonné depuis longtemps : ambiance jungle ! L'aide d'un petit gars du village est très utile pour nous guider dans cette végétation abondante. La cavité s'ouvre par deux porches perchés haut dans la falaise. De vieilles fortifications enfouies sous la végétation, ainsi qu'une vieille cuisine, témoignent d'une occupation humaine ancienne.

Dans le porche, on trouve aussi l'inévitable four à nitrate ainsi qu'un réservoir d'eau. Après la salle d'entrée, nous explorons un faisceau de diaclases remontant et de direction nord : nous nous arrêtons au sommet d'un petit puits et la cavité continue. Au passage, signalons la présence de chauves-souris et d'un animal étrange, une sorte de gros rat. (Jean-Pierre)

K. WANRENDONG

«Grotte des dix mille personnes» (He89/5)

Long. 110° 04' E Lat. 29° 54' N Alt. 570 m

Dév. 1 329 m Dén. 52 m (- 37, + 15)

La cavité est située quelques km à l'est de Hefeng au fond d'un canyon

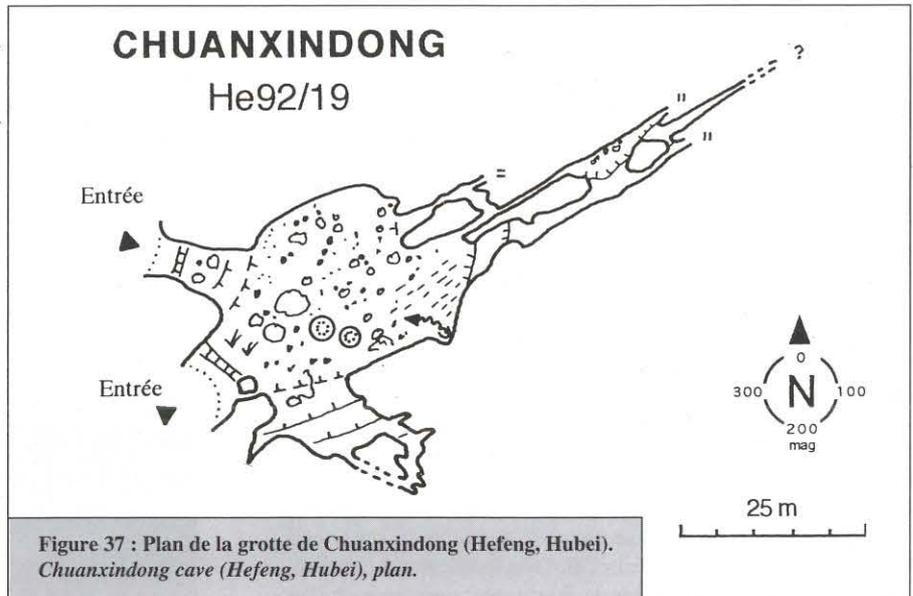
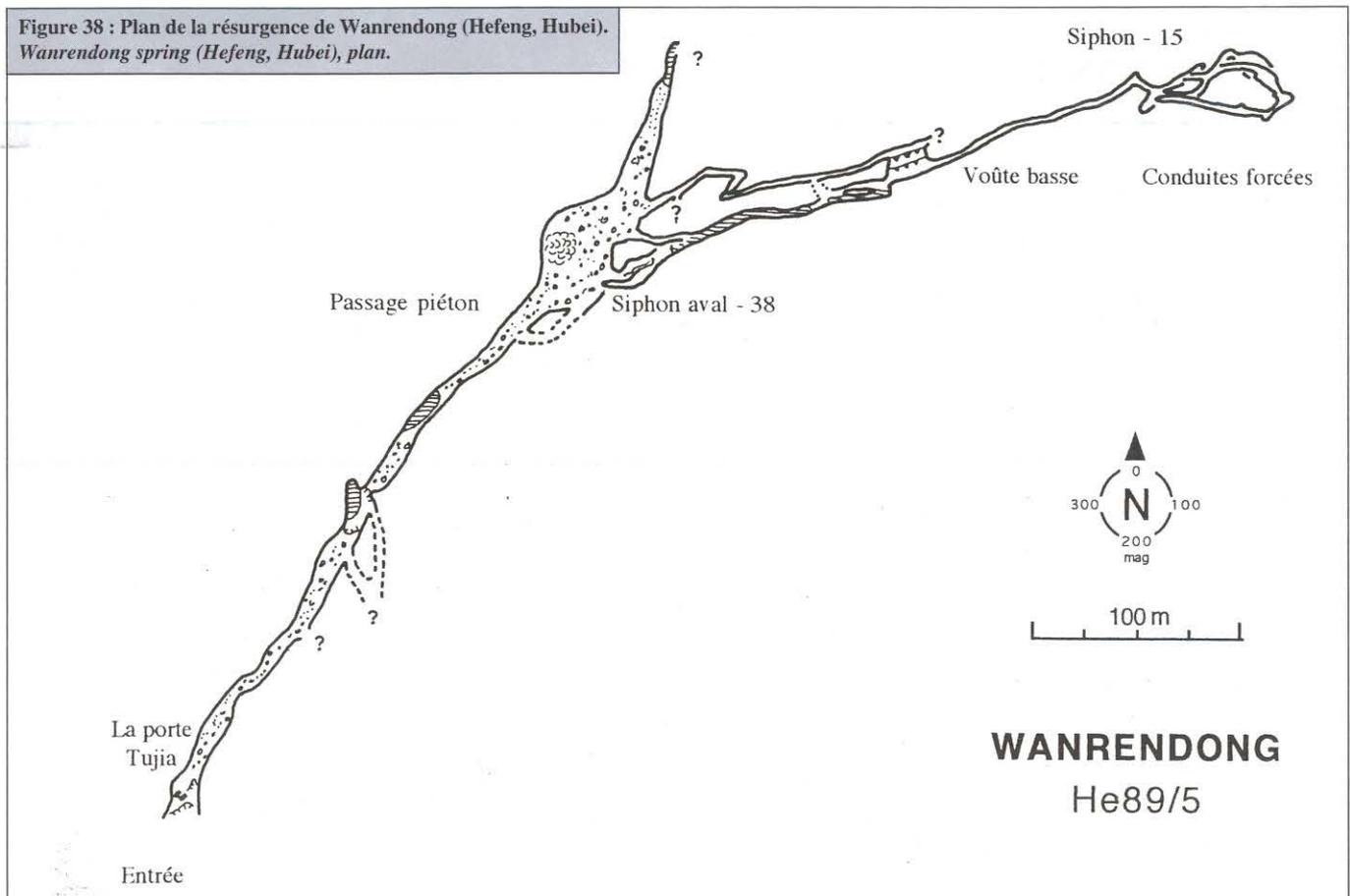


Figure 37 : Plan de la grotte de Chuansindong (Hefeng, Hubei).
Chuansindong cave (Hefeng, Hubei), plan.

caractéristique. A partir de la route, près du village de Yunnanzhuang, on descend par un sentier particulièrement dangereux surtout dans les deux tiers inférieurs du parcours ; la remontée est plus aisée. L'entrée porte encore des traces de fortification. La progression se fait dans une galerie fossile : après deux passages en vire au-dessus de deux bassins d'eau, on arrive dans une grande salle brumeuse. A cet endroit, on entend déjà assez nettement la rivière. Après une remontée sur des blocs, à gauche de cette grande salle, une petite désescalade nous permet d'atteindre la rivière. En aval, ça siphonne ; en amont, la progression nécessite l'utilisation des combinaisons néoprènes. La progression se fait généralement le long de la paroi, immergé aux deux tiers dans l'eau. Deux îlots opportunément placés au milieu de la rivière serviront de points topo. Ensuite, on quitte momentanément

Figure 38 : Plan de la résurgence de Wanrendong (Hefeng, Hubei).
Wanrendong spring (Hefeng, Hubei), plan.



l'eau pour s'enfiler dans une conduite forcée pour retrouver la rivière un peu plus loin. Nous la suivons sur environ 80 m, avec au milieu un passage sous une voûte basse (80 cm). Plus loin, des conduites forcées mènent presque toutes à des vasques siphonnantes. L'une d'entre elles nous amène légèrement au-dessus du niveau de l'eau et s'arrête sur un puits de 6 m donnant sur une nouvelle vasque.

- Hydrogéologie : Wanrendong est creusée dans les calcaires du Trias inférieur. Cette résurgence pérenne jaillit au point bas de l'affleurement des calcaires, c'est-à-dire à leur extrémité occidentale. La grotte se situe sur la rive droite d'une gorge profonde de 300 m. Il est d'ailleurs probable que ce soit l'incision de cette vallée qui ait provoqué la capture par Wanrendong des écoulements souterrains, en créant un nouveau niveau de base. Auparavant, les écoulements étaient concentrés dans des conduits situés nettement plus hauts, comme Donghe. Wanrendong est la résurgence principale permanente du synclinal de Yanziping. Son débit en décembre était de l'ordre de $1 \text{ m}^3/\text{s}$, malheureusement aucune étude n'existe, et seule une mesure à $6,5 \text{ m}^3/\text{s}$ a été effectuée en août 1977 par une équipe d'hydrogéologues. Elle est située vers 570 m d'altitude, soit au point bas de l'affleurement des calcaires du Trias inférieur qui sont recouverts plus en aval par les terrains détritiques peu perméables du Trias supérieur. En basses eaux, elle collecte donc probablement les eaux de la plupart des rivières souterraines que nous avons visitées : Mishuidong, Nosedong, Donghe, Zhaidong. Par contre, en période de crue, d'autres émergences doivent se mettre en charge. Il est notamment probable que Donghe soit alors la principale émergence de crue du synclinal. (José et Bernard)

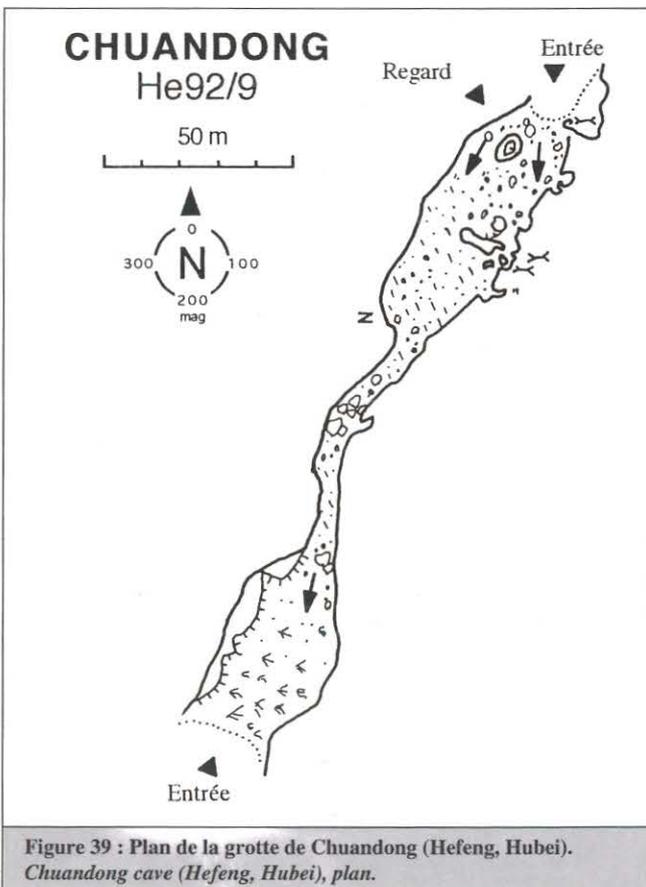
L. CHUANDONG

«La grotte tunnel» (He92/9)

Long. $110^\circ 04,1' \text{ E}$ Lat. $29^\circ 54,5' \text{ N}$ Alt. 740 m

Dév. 219 m Dén. 33 m

Cette grotte-tunnel fossile s'ouvre au bord de la route Hefeng-Yanziping à 8 km de Hefeng, non loin du village de Yunnanzhuang. Une grosse entrée envahie par la végétation permet d'accéder à une



unique galerie de fort belle taille très concrétionnée et pleine de remplissages divers. Elle débouche par un superbe porche de 40 m de haut dans les falaises du canyon de Wanrendong. Sa situation toute proche de la route en fait malheureusement un endroit idéal pour se débarrasser de quelques débris encombrants. Par exemple des dizaines de cartons de bouteilles contenant un produit chimique destiné au traitement des arbres, jonchaient le sol de la salle au pied du puits qui perce le plafond de la galerie. Comme en témoigne de nombreux indices sur les parois (coups de gouges, coupes de dissolution), cette cavité a dû servir pour la circulation des eaux du synclinal. Elle est depuis longtemps déconnectée du système actuel et de la résurgence qui se situe environ 200 m plus bas. (Jean-Pierre)

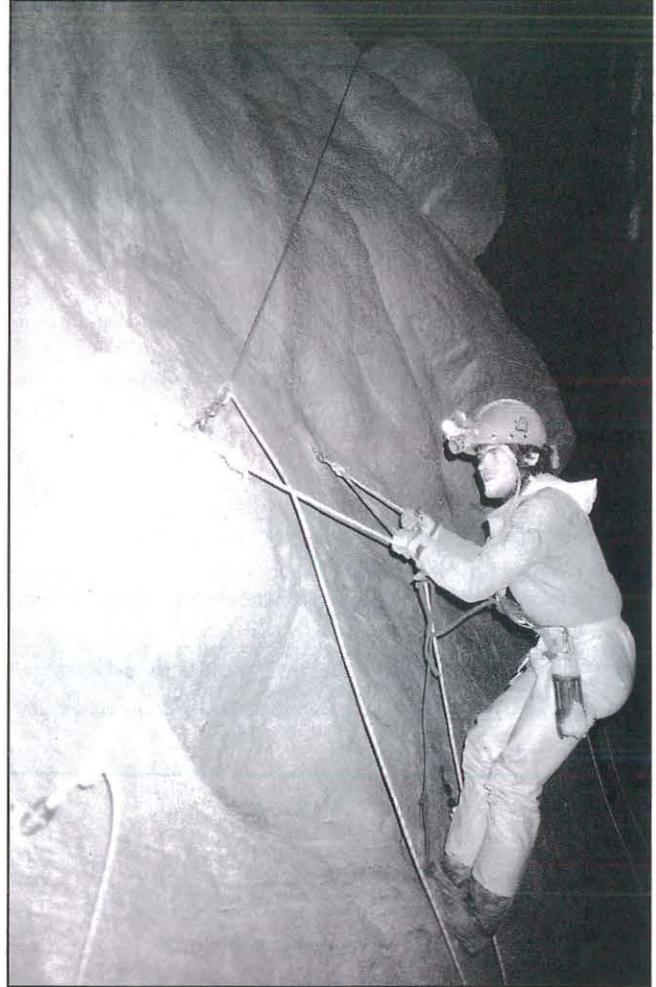


Photo 23 : Passage d'une marmite géante dans la perte de Datiankeng vers - 290 m. Cliché J.B et R.M.
Equipment of a giant pothole in Datiankeng near - 290 m.



II. Le système de Taiping

Ce système karstique draine le poljé de Taiping et ses environs, c'est-à-dire la branche SW du synclinal de Hefeng. Le poljé de Taiping, long de 5 km et large de 1 à 2 km (alt. 930 m), est encadré par des pitons massifs de 150 à 300 m de haut. Le système semble se développer principalement sur sa bordure SE, parallèlement au poljé. En 1989, nous avons exploré le ponor temporaire de Cedong (318 m, - 12 m), le ponor fossile de Qingtiandong (354 m, - 45 m / + 12 m) et la résurgence présumée du poljé de Taiping, Yinquandong (1 267 m, + 135 m), située au fond de la vallée de la Loushuihe. Fin 92, le manque de temps ne nous a pas permis d'explorer plus en détail ce système : une seule journée d'exploration, quelle pitié ! Trois petites cavités ont été visitées à l'ENE du poljé dans un secteur de karst conique et de vallées sèches : Wangjiapingtiankeng, Maozhishandong et Maozhishantiankeng. Une quatrième grotte plus importante, Xiaoshuidong, a été explorée au bord du poljé près du village de Xiaojiaping. Cette zone a l'avantage d'être très proche de la ville et reste un objectif prometteur pour toute nouvelle expédition.

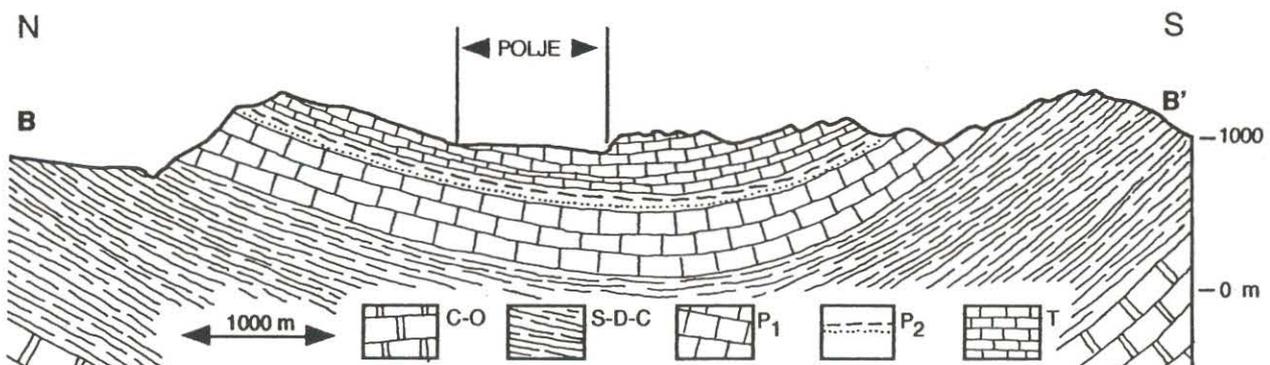
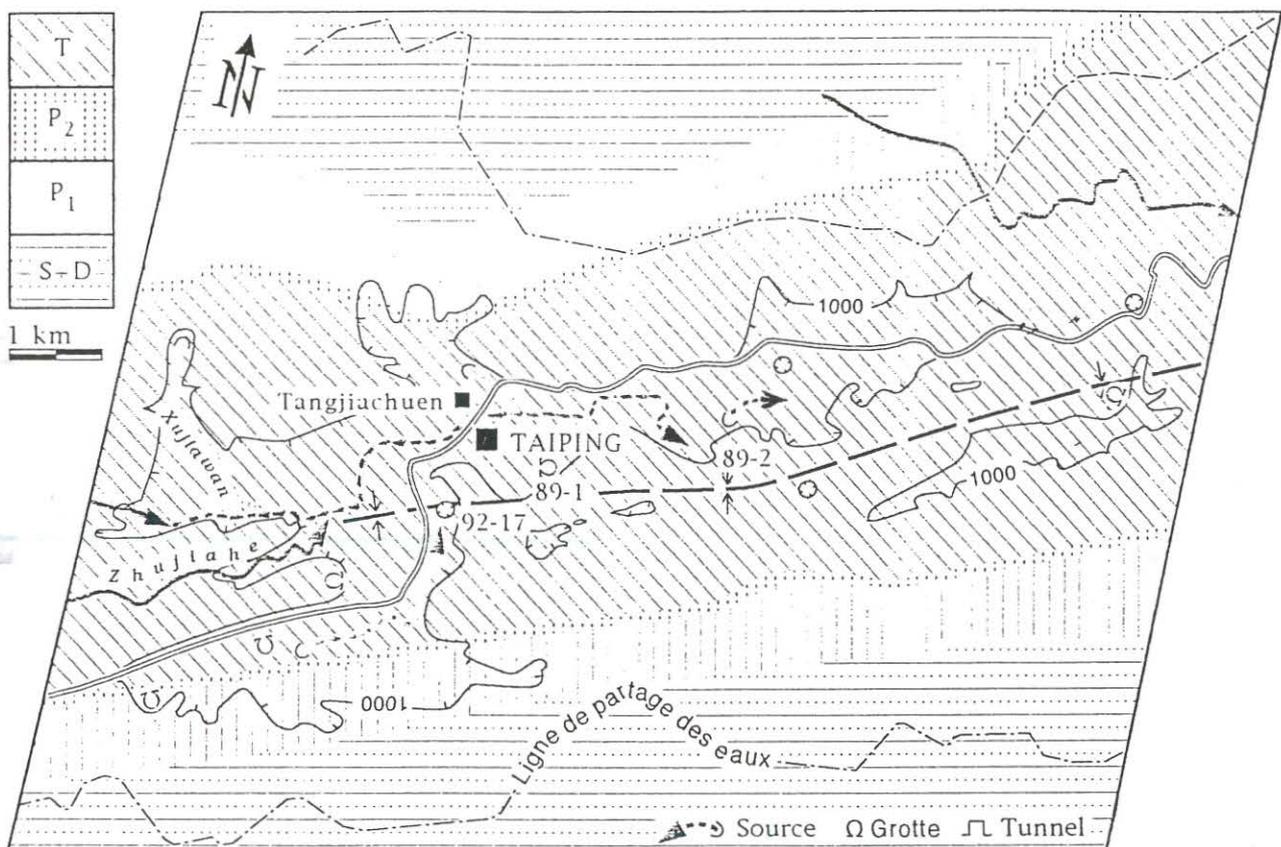
Figure 40 : Carte géologique de la partie ouest du synclinal de Yanziping, le grand poljé de Taiping (Hefeng, Hubei).

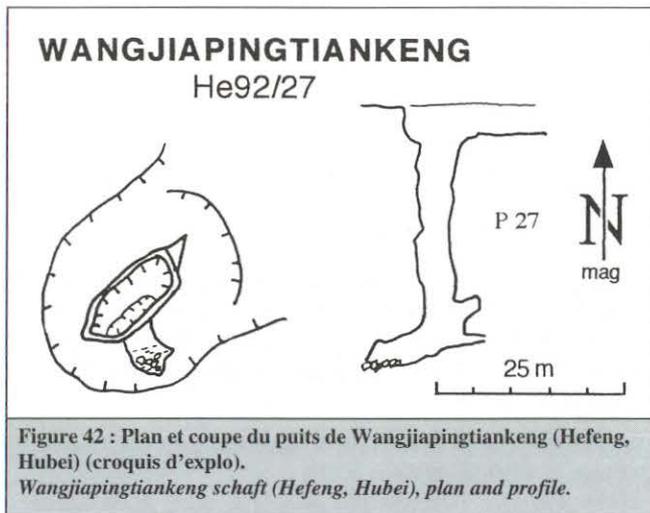
T : Trias ; P2 : Permien supérieur ; P1 : Permien inférieur ; S+D : Silurien Dévonien. Grottes majeures = 92.17 : Xiaoshuidong, 89.1 : Qingtiandong, 89.2 : Cedong.

Yanziping syncline: geological map of the western part, Taiping polje (Hefeng, Hubei). T : Trias ; P2 : Upper Permian ; P1 : Lower Permian ; S+D : Silurian Devonian. Main caves = 92.17 : Xiaoshuidong, 89.1 : Qingtiandong, 89.2 : Cedong.

Figure 41 : Coupe géologique à travers le poljé de Taiping (Etage géologique cf. fig. 3 p. 10).

Geological section across the Taiping syncline (Geological stage cf. fig. 3 p.10)





A. WANGJIAPINGTIANKENG

«Gouffre de Wangjiaping» (He92/27)

Long. 109° 58' E Lat. 29° 51,01' N Alt. 930m

Dév. 27 m Dén. - 27 m

Il s'agit d'un puits de 27 m s'ouvrant dans le fond d'une petite doline en entonnoir envahie par des bambous. Il se développe sur une fracture NE-SW. Au fond l'amorce d'une petite galerie est rapidement bouchée par les éboulis.

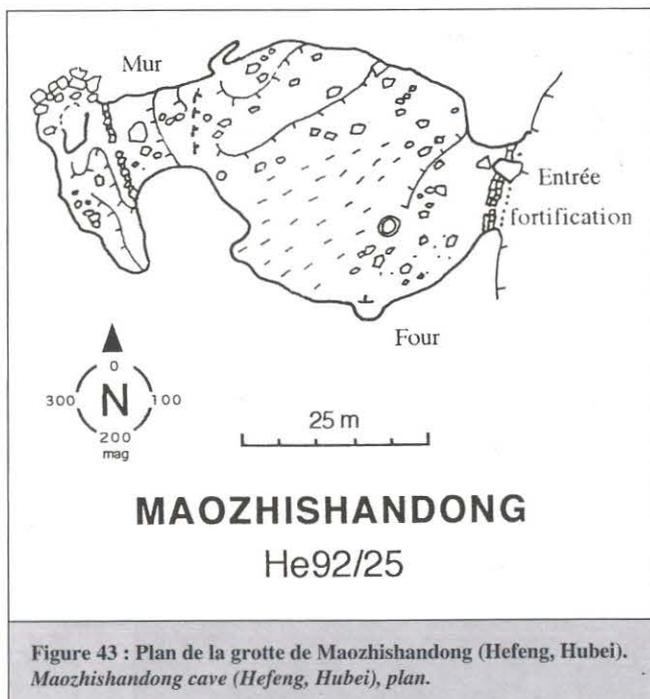
B. MAOZHISHANDONG

«Grotte du Chat des Montagnes» (He92/25)

Long. 110° 59,36' E Lat. 29° 51,11' N Alt. 940 m

Dév. 101 m Dén. - 20 m

L'entrée de cette cavité, tournée vers l'est, est bien cachée par une jungle récente. Elle se situe dans le petit recoin d'un vallon descendant



entre deux cônes vers le poljé. Le porche d'entrée, séparé en son milieu par un gros bloc, mesure 8 m de large pour 2 à 3 m de haut. Le mur qui le défendait devait être une véritable fortification comme en témoigne sa base imposante. Aujourd'hui, il ne reste que l'encadrement d'une petite porte ou d'une fenêtre à demi ensevelie sous les blocs. Dans la spacieuse salle principale, parmi les terrasses artificielles, se trouvent

plusieurs ruines de murs de pierres taillées ou de terre. Une exploitation de nitrate, presque toujours présente dans les grottes alentours, est représentée par un four de dessiccation bien préservé. La salle inférieure de dimensions bien plus réduites était séparée de la salle principale par un mur aujourd'hui démolli. Lors de notre exploration hivernale, nous observons une petite arrivée d'eau tombant du plafond. Comparée avec les autres cavités explorées dans le comté de Hefeng, cette grotte paraît bien pauvre au point de vue spéléologique, mais ce site semble très intéressant pour des recherches historiques, culturelles et archéologiques. (Daniel)

C. MAOZHISHAN TIANKENG

«Puits du Chat des Montagnes»

(He92/26)

Long. 110° 59,36' E Lat. 29° 51,11' N

Alt. 930 m

Dév. 14 m Dén. - 14 m

Cette cavité s'ouvre dans un maquis très dense à moins de 50 m de la grotte de Maozhishandong, 10 m en contrebas. Sa petite entrée, qui paraît-il fume épisodiquement, est suivie d'un unique puits de 14 m en deux paliers. A noter la présence de brèches et de petites concrétions.

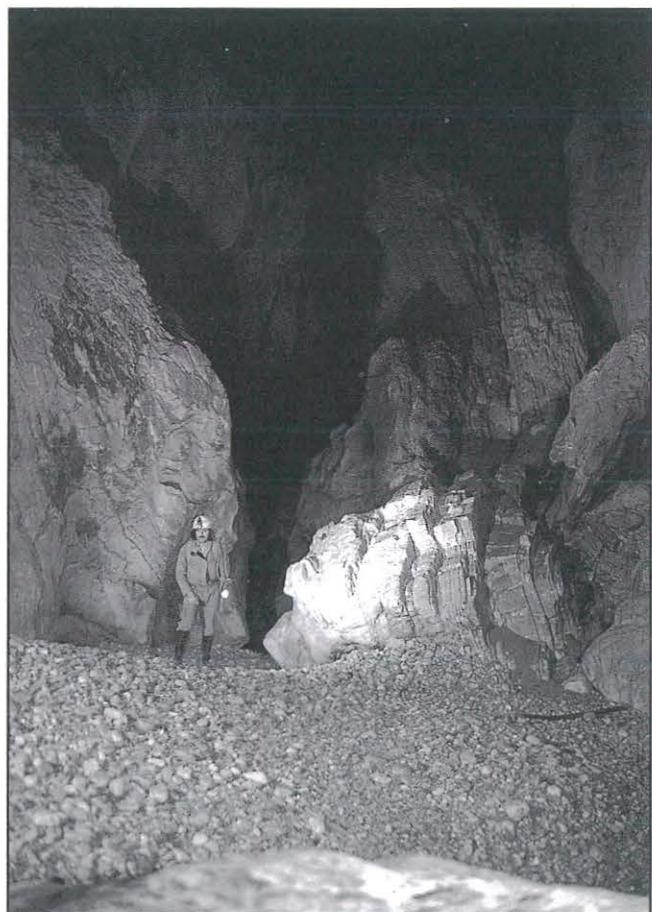
(Daniel)



Figure 44 : Coupe du puits de Maozhishan Tiankeng (Hefeng, Hubei).

Maozhishan Tiankeng schaft (Hefeng, Hubei), profile.

Photo 24 : Lit de galets dans le réseau de Donghe. Cliché J.P.B.
Bed of pebbles in Donghe cave.



D. XIAOSHUIDONG

«Grotte perte» (He92/17)

Long. 110° 55,9' E Lat. 29° 49,6' N

Alt. 920 m

Dév. 712 m Dén. - 27 m

Cette cavité est située dans le poljé de Taiping, tout près du village de Xiaojitaping, au pied de la falaise dénommée Mushan, c'est-à-dire «*la Montagne de la Mère*». Xiaoshuidong est la perte d'une des rivières qui draine le poljé de Taiping. Lors de l'exploration, le 18 décembre 92, elle était à sec. L'entrée principale, un porche double de 10 m de haut sur 3 m de large, a été agrandie par les habitants pour qu'il absorbe mieux les crues pendant la mousson. La galerie principale (de l'entrée vers le siphon) est longue de 250 m et fait 4 m de large et 10 m de haut en moyenne. C'est un conduit unique excepté au niveau de l'entrée où plusieurs galeries en conduites forcées doublent la galerie principale. A 100 m de l'entrée, après une escalade de 20 m dans un talus d'argile, on accède à un réseau supérieur fossile que l'on suit sur 100 m environ et qui se termine sur un petit siphon. Sur la droite un petit ressaut parcouru par un courant d'air aspirant n'a pas été descendu. On note la présence dans les plafonds de plusieurs grands rhinolophes. Le ruisseau qui coule dans la galerie principale débite à l'étiage quelques l/s. Au niveau du siphon de la galerie principale, arrive une rivière plus importante (environ 10 l/s). C'est un conduit unique que nous remontons sur une centaine de mètres. Arrêt, faute de pontonnière, après avoir franchi le dernier bief sur un pont de bois construit (en sifflant l'air de "Hello, le soleil brille, brille, brille") avec les débris apportés par les crues estivales. La galerie continue et le courant d'air et les troncs indiquent que cette rivière rentre dans la cavité par un orifice pénétrable. (Serge)

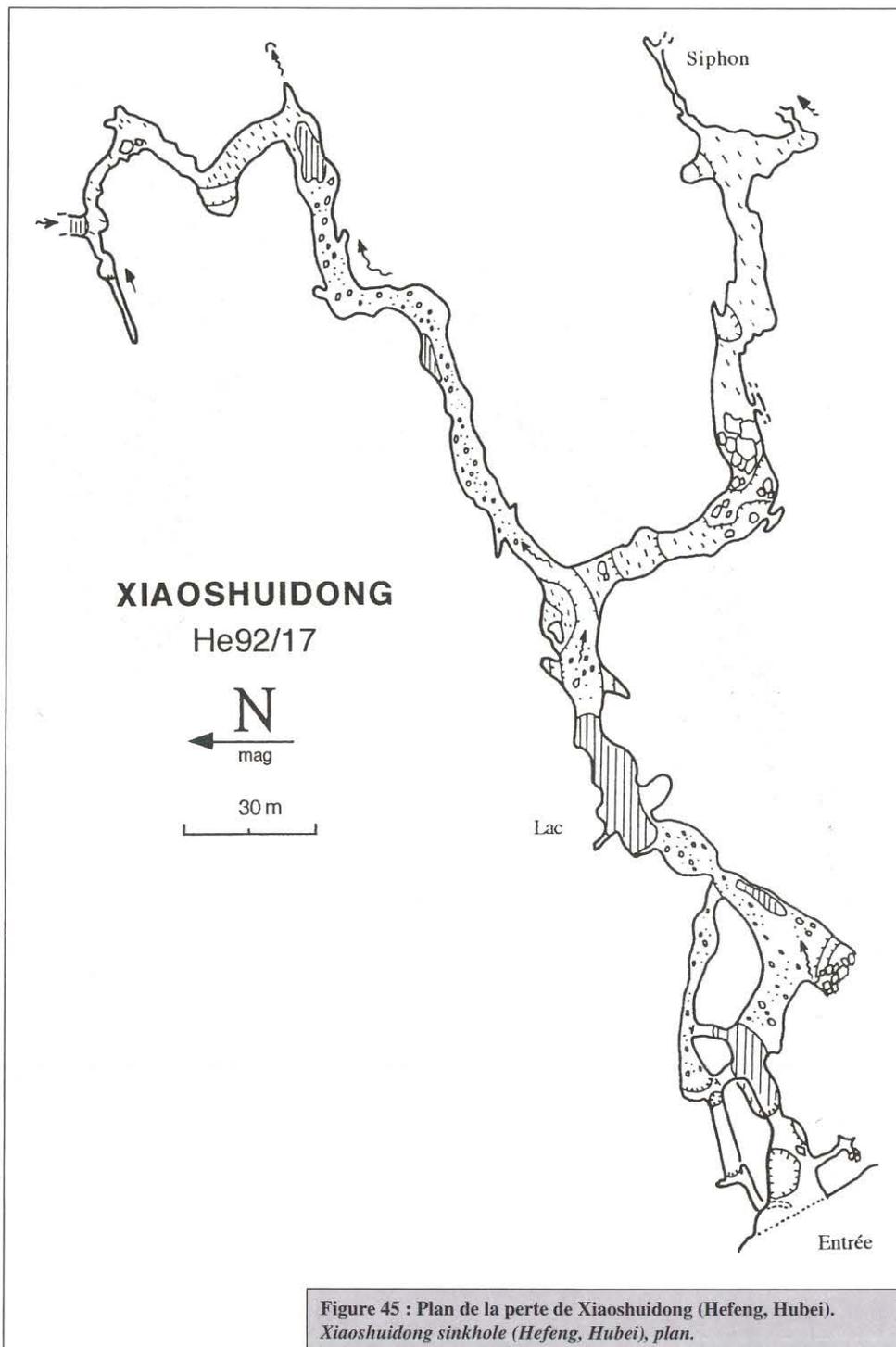


Figure 45 : Plan de la perte de Xiaoshuidong (Hefeng, Hubei). Xiaoshuidong sinkhole (Hefeng, Hubei), plan.

III. La zone de Shuishanping

Cette zone magnifique, située à 5 km au nord de Hefeng, a été abordée vers la fin de notre séjour. Il s'agit de la bordure septentrionale du synclinal qui présente un flanc redressé à plus de 50°. Derrière se développe un poljé remarquable encastré profondément dans la montagne : c'est celui de Shuishanping. Plusieurs cavités ont été explorées de part et d'autre de la crête principale, dont le superbe ponor de Datiankeng profond de plus de 333 m et qui continue !

- **Structure géologique** : Le poljé de Shuishanping n'est pas situé au fond d'un synclinal, comme les poljés de Yanziping ou de Taiping. La structure géologique locale est un monoclin de direction N40°E et de pendage 30° vers le SE. Il constitue le flanc nord du synclinal de Yanziping. Le poljé s'est formé sur les calcaires du Trias, en contrebas des schistes tendres du Permien. La zone karstique la plus intéressante de cette unité géologique est formée par 20 km² de

calcaires du Trias (étages T1 et T2j). L'épaisseur de ces calcaires atteint 1 400 m dans la région. Ce sont des calcaires sombres, en bancs épais dans les niveaux inférieurs, plus minces et argileux dans les niveaux supérieurs.

- **Hydrogéologie** : L'aquifère principal est constitué par les calcaires du Trias. Le substratum imperméable de l'aquifère (et sa limite NE) est constitué par les schistes du Permien supérieur (P2). Au SE, il est limité par les terrains détritiques du Trias moyen. Au NE, la limite hydrogéologique est probablement assez proche de la limite des bassins-versants (limite marquée sur la carte). Au SW, une vallée profondément entaillée constitue la zone de résurgence probable de la plus grande partie de l'aquifère. Il y a une multitude de griffons. Nous n'avons pas eu le temps de rechercher l'émergence principale. Les calcaires constituent ainsi une bande de 2,5 km de large et de 9 km de long. On voit sur la carte que cet affleurement peut être subdivisé en quatre parties :

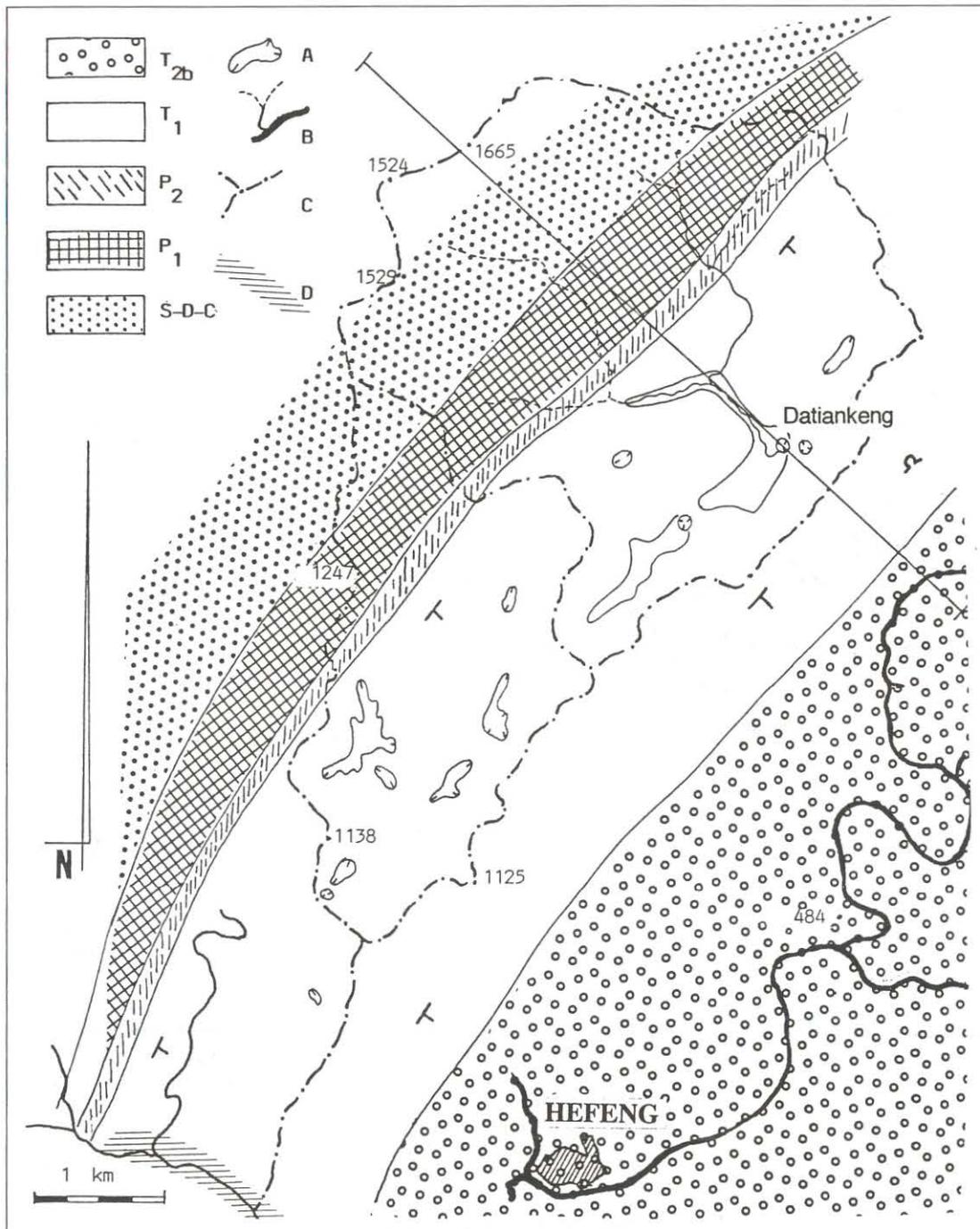


Figure 46 : Carte géologique de la zone de Shuishanping. A : dépression fermée. B : rivière. C : ligne de partage des eaux. D : zone de résurgence probable.

Geological map of the Shuishanping area.

A : closed depression.
B : river.
C : watershed.
D : spring area?

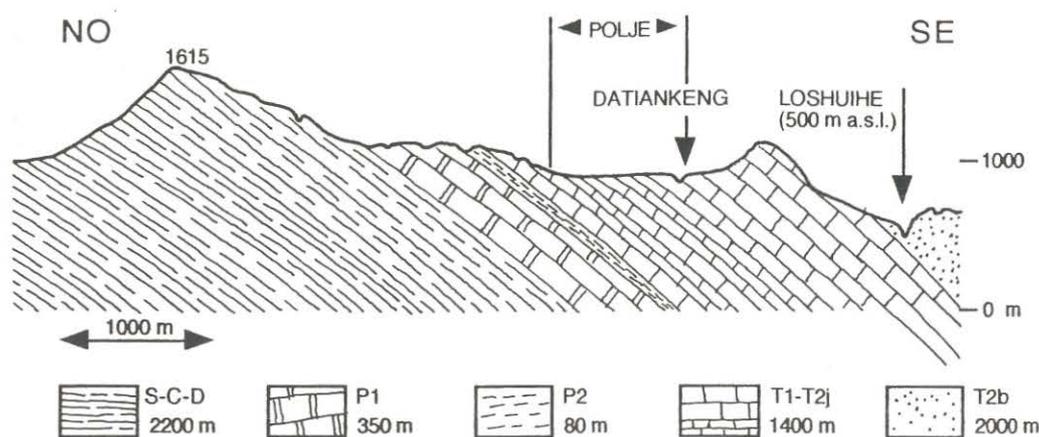


Figure 47 : Coupe géologique à travers la zone de Shuishanping.

S : Silurien
C : Carbonifère
D : Dévonien
P1 Permien inférieur
P2 : Permien supérieur
T1 : Trias
T2 : Trias supérieur

Geological section of the Shuishanping area.

S : Silurian
C : Carboniferous
D : Devonian
P1 Lower Permian
P2 : Upper Permian
T1 : Trias
T2 : Upper Trias

1) la zone du poljé de Datiankeng (13 km², dont 7 km² de calcaires et 6 km² de terrains peu perméables) ; le poljé est situé à 900 m d'altitude, soit 400 m au-dessus du niveau de base ; c'est une dépression fermée unique qui est drainée de manière souterraine, probablement vers l'affluent de la Loushuihe qui borde l'affleurement au sud-ouest ;

2) la zone de dépressions fermées multiples située plus au sud est drainée de la même manière, mais les pertes sont plus petites et il n'y a pas de véritable poljé ;

3) la zone située le long de la Loushuihe ne contient pas de grandes dépressions fermées ; elle est drainée par de petites vallées sèches qui sont vraisemblablement parsemées de petites pertes ;

4) la zone la plus basse est drainée par deux rivières superficielles ; elle ne contient pas de grande dépression.

La perte principale de la zone (Datiankeng) et le plus grand poljé sont situés sur celui des bassins-versants dont la plus large part n'est pas karstique. Ce n'est pas par hasard. Nous avons constaté le même phénomène ailleurs (Puits Est, Dongwan, Yanziping) : les plus grands poljés et les plus belles pertes sont situés en aval de versants non karstiques. Les éléments détritiques arrachés aux affleurements de roches clastiques (grès et schistes du Silurien, du Dévonien et du Permien) jouent un double rôle : colmater les dépressions, ce qui favorise l'aplanissement des poljés, et éroder mécaniquement la roche, même là où le potentiel d'érosion chimique est faible. C'est donc dans ces bassins-versants que l'on trouvera les gouffres les plus spectaculaires. Le creusement en profondeur des grands collecteurs est favorisé par un troisième facteur : la grande quantité d'eau non saturée par rapport à la calcite qui provient des parties schisteuses des bassins-versants. Le débit moyen annuel de l'ensemble de cet aquifère est évalué à 0,6 m³/s, pour une lame d'eau infiltrée de 1 000 mm/an et 20 km² d'affleurements calcaires.

A. SHUISHANPINGQUAN

«*Résurgence de Shuishanping*» (He92/24)

Long. 110° 02,03' E Lat. 29° 56,15' N Alt. 915 m

Dév. 107 m Dén. + 10 m

Cette petite résurgence se situe dans de la partie SW du poljé de Shuishanping, 10 m au-dessus du fond. A l'entrée, un petit barrage

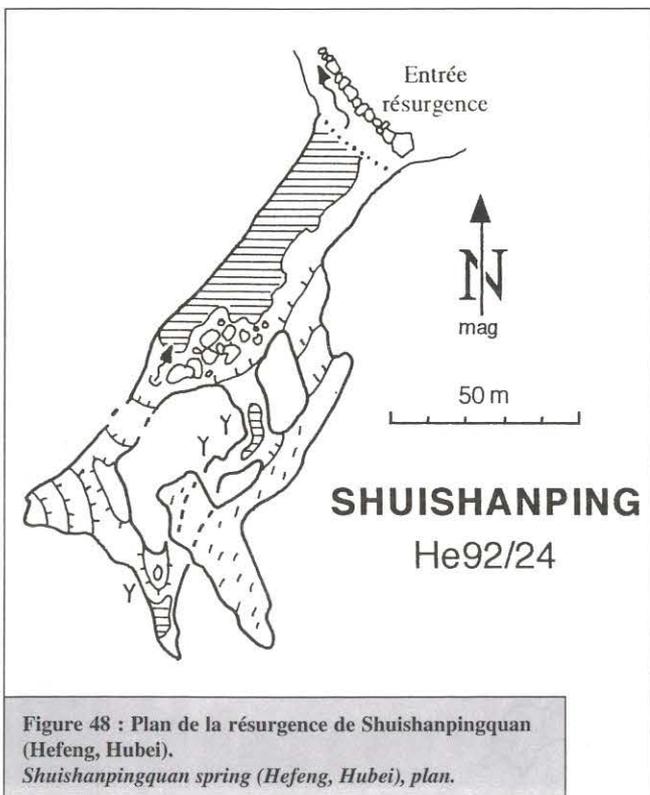


Figure 48 : Plan de la résurgence de Shuishanpingquan (Hefeng, Hubei).
Shuishanpingquan spring (Hefeng, Hubei), plan.

dévie le ruisseau vers un canal d'irrigation. La grotte est caractérisée par un petit lac peu profond résultant du barrage et par un développement linéaire coupé par des diaclases de direction SE. A 20 m de l'entrée, le ruisseau d'un débit 2 à 3 l/s émerge d'un éboulis situé au pied d'une concrétion massive. Vers le SE, une escalade de 5 m mène à un niveau supérieur formé de concrétions pourries. Cette micro-résurgence, bien sûr, n'est pas à l'origine du gouffre-perte de Datiankeng ! (Daniel)

B. DATIANKENG

«*Le grand gouffre*» (He92/23)

Long. 110° 03,5' E Lat. 29° 56,7' N Alt. 900 m

Dév. 1 464 m Dén. 333 m (- 247, + 86)

Pendant que nous explorons Donghe, notre ami Zhang Shouyue reconnaît les alentours. Il repère notamment une magnifique perte de montagne localisée vers 900 m d'altitude, près du village de Shuishanping, au fond du poljé du même nom. Le premier jour de l'exploration, nous empruntons un mauvais sentier grim pant directement vers le poljé à partir d'une route montant au NNE de Hefeng : plus trois quarts d'heure de marche à travers champs. Nous franchissons un petit col étroit : en face un talweg nous conduit vers un magnifique poljé. Une vallée venant du nord, parcouru en hiver par un petit ruisseau, échancre la bordure du poljé et alimente le gouffre perte de Datiankeng situé dans un angle dérobé à l'abri des convoitises. Voilà bien une perte d'altitude idéale : les parois sont sculptées et polies par l'érosion, avec de grands empilements de blocs rocheux arrondis. Elle est de la même famille que d'autres cavités explorées en 1992 : Donghe, Dongwan, Zhaidong. Le petit plus qui en fait un gouffre exceptionnel, c'est un magnifique puits de 190 m qui débouche dans la galerie vers - 80 m.

Le porche d'entrée est raisonnable : 25 m de haut sur 7 m de large. Mais les difficultés commencent dès le départ avec un empilement de blocs géants formant une verticale d'une dizaine de mètres. En l'absence de cordes, nous décidons de passer sous les blocs à la faveur d'étréouitures que nous ouvrons en remuant des galets coincés. Une nuée de gamins nous entourent et plusieurs nous suivent malgré nos recommandations. En bas, la galerie est couverte de galets secs et donne tout de suite dans une grande salle triangulaire de 100 m de côté, histoire de nous rappeler que nous sommes en Chine et non en Savoie ! Puis, la cavité se dirige vers l'ENE dans une galerie superbe constituée par une succession de marmites, heureusement vides, et de rampes inclinées à 50°. Lors de la deuxième expo, nous franchissons ces ressauts pratiquement sans équipement, Cyriaque jugeant les cordes inutiles et cela au grand dam de Daniel qui croit sa dernière venue lors de la descente et de la remontée d'une mauvaise rampe fort inclinée et dont la partie supérieure se passe en coincement et la partie inférieure en adhérence (nous l'équiperons par la suite).

Au bout de 200 m, le spectacle devient grandiose : la galerie large de 30 m est baignée par une lumière venue du ciel tel un faisceau lumineux éclairant le fond d'une cathédrale obscure. On débouche alors au pied d'un grand puits d'effondrement, aligné sur une faille, et dont nous connaissons bien entendu l'entrée puisqu'il forme un vaste et raide entonnoir de 110 m x 200 m que l'on contourne lors de la marche d'approche. Juste à la verticale du puits, un seuil à sec large de 10 m et parfaitement poli par l'eau donne une idée de la puissance des crues ! Il donne sur une verticale de 12 m qu'il faut équiper. La galerie, de 30 m de large et haute d'au moins 40 à 50 m, se dirige droit au NE sur une faille. Le topofil chauffe et les galets crissent sous les pas. A 200 m de distance, après avoir franchi une zone de grands blocs arrondis de calcaires et de conglomérats, on parvient à un coude de la galerie. D'un côté, on aperçoit encore la lumière blafarde du puits, de l'autre c'est l'inconnu avec un ressaut et... un bruit d'eau qui semble résonner dans un puits. Au bout de 20 m, une marmite presque vide sert de palier à un premier puits, très large, que nous ne pouvons que sonder en l'absence de corde (P40). Nous revenons le lendemain avec force munitions : trois fractionnements sont nécessaires pour atteindre une rampe arrosée et finalement une sorte de palier. Un quatrième

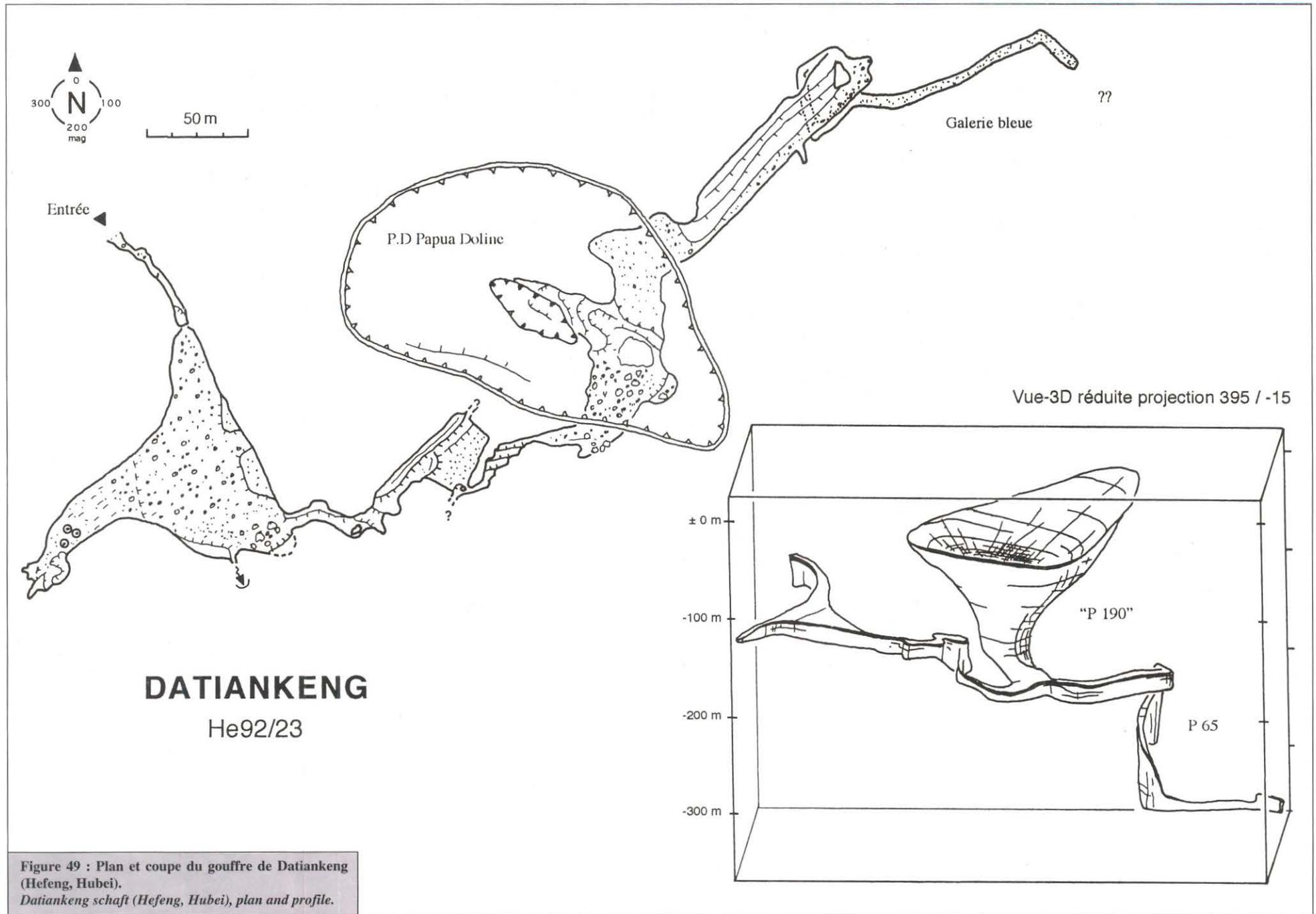


Figure 49 : Plan et coupe du gouffre de Datiankeng (Hefeng, Hubei).
Datiankeng schaft (Hefeng, Hubei), plan and profile.

fractionnement permet de descendre directement un puits de 8 m qui lui fait suite sur le côté. En bas, la galerie est encombrée de galets : d'un côté, elle est barré par un mur d'argile et de sables de 6 m de haut, de l'autre elle donne malheureusement dans une grosse marmite ! Comme à Zhaidong, il faut à nouveau faire des acrobaties. Aussi, pour l'éviter, nous exploitons d'abord une vire remontante qui se rétrécit vite à sa plus simple expression. Nous revenons le lendemain à quatre : deux descendent le puits de la Lumière. Nous passons dessous au moment où il commence à équiper le sommet de la verticale de 80 m. Après un salut sonore, nous fonçons vers le terminus en sachant que c'est notre dernière sortie dans le trou. Les descendeurs fument.

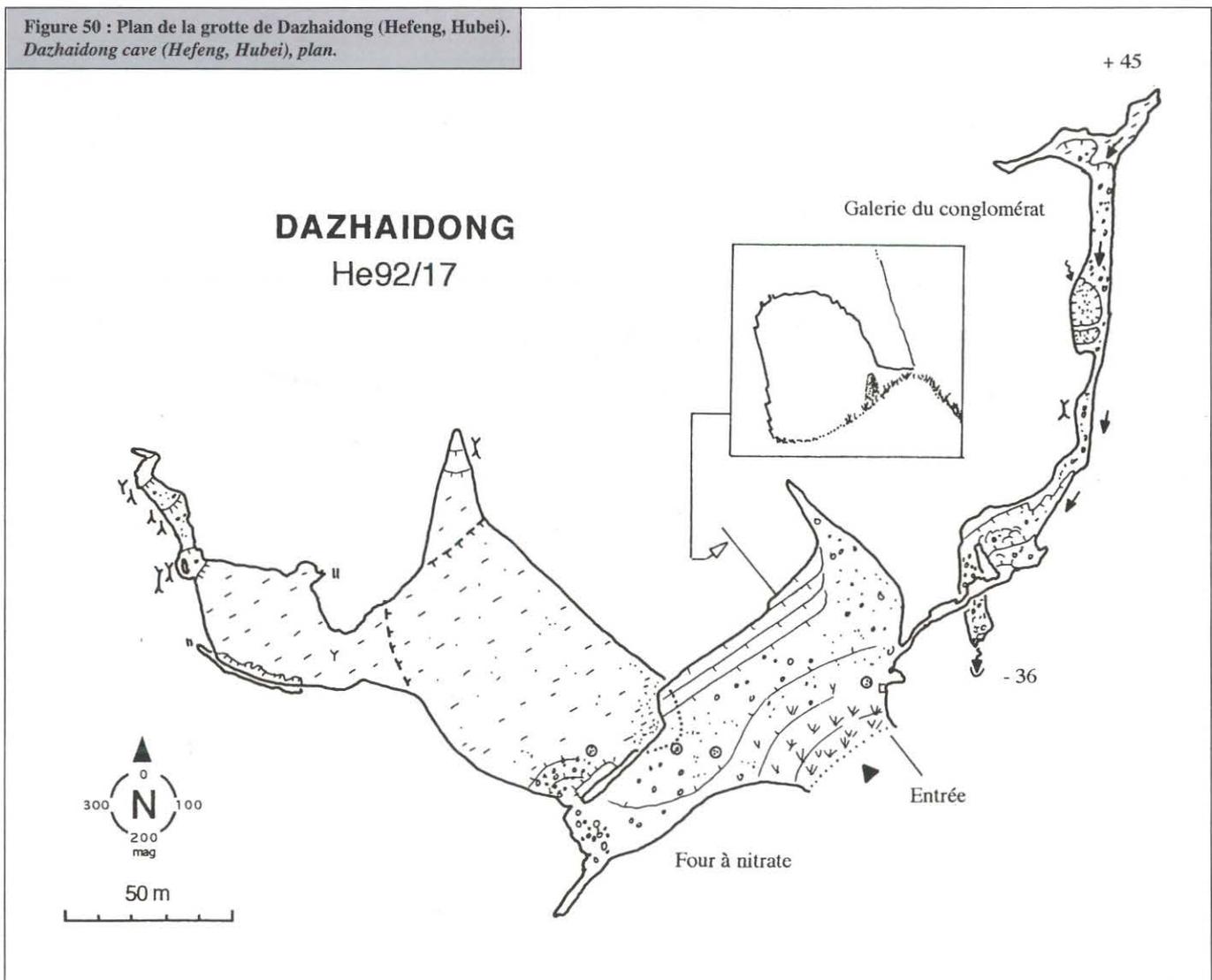
Au terminus, un lancer de corde sur un becquet situé au-dessus de la marmite permet de penduler et d'économiser des spits, donc du temps ! Derrière, un superbe puits (P65) est incliné à 70° dans le pendage et à 15 m du fond un pendule est à nouveau nécessaire pour éviter un lac. A cet endroit, la paroi est criblée d'impacts de chutes de galets et nous ne pouvons nous empêcher de penser à l'enfer que doit représenter une crue ici. La galerie continue et le courant d'air est très fort. Nous regardons nos montres : il est déjà tard, beaucoup trop tard à notre goût, car il reste tout le déséquipement. Allez, encore un petit quart d'heure ! Nous nous enfions en trombe dans une galerie taillée dans un magnifique calcaire bleuté. Elle est quasiment horizontale et il faut fréquemment éviter de petits lacs avec la boîte topo d'une main et le "baroudeur" de l'autre, histoire de ramener quelques clichés. C'est devant un lac plus profond que les autres que nous décidons de nous arrêter. Devant, dans un conduit large de 5 m et haut de 15 m, le

courant d'air aspirant continue son périple vers l'inconnu. Comme à Donghe, dans la rivière Sans Retour, c'est la mort dans l'âme que nous remontons. Il faudra percer le secret de cette si belle perte dans une future expédition ! (Bernard, Jean et Richard)

- Hydrogéologie : La cavité est creusée dans les calcaires du Trias inférieur. Il s'agit soit de calcaires gris en gros bancs compacts, soit de calcaires noirs en plaquettes beaucoup moins résistants. Datiankeng est la perte principale du poljé de Shuishanping. Elle se situe à son point le plus bas, dans le prolongement d'une vallée aveugle. La perte soutire petit à petit les sédiments déposés au fond du poljé et l'érosion grignote petit à petit les terres cultivables. D'après la morphologie du lit, en forte crue, le débit doit atteindre les 20 m³/s, pour un bassin-versant d'une quinzaine de km² principalement composé des calcaires du Trias. En basses eaux, par contre, le débit est très faible, de l'ordre de 10 l/s en décembre 92, malgré les pluies de la fin du mois. L'eau s'infiltré alors en amont du porche de la grotte et on ne la retrouve pas sous terre. Nous ne connaissons pas la résurgence qui doit se situer quelques km au SW. (Bernard)

- Équipement de la cavité : R3 (corde de 5), R2 et R2 (1 spit à planter, 1 coinqueur et corde de 10), R4 (corde de 10), P8 (sangle, 1 spit à planter, corde de 15), rampe de 25 m (corde de 30), P12 (corde de 25 m), P40 (1 sangle, 3 plaquettes et corde de 60), P8 (corde de 12 m), marmite (corde de 30 m), P65 (1 ou 2 fractionnements, corde de 80 m). Pontonniers ou néoprène pour la suite.

Figure 50 : Plan de la grotte de Dazhaidong (Hefeng, Hubei).
Dazhaidong cave (Hefeng, Hubei), plan.



C. DAZHAIDONG

«Grotte du grand village» (He92/18)

Long. 110° 02,6 E Lat. 29° 56,7 N Alt. 860 m

Dév. 895 m Dén. 81 m (- 36, + 45)

La grotte se situe au-dessus du village de Guanyinpo. C'est par une entrée de 20 m de large et 2 m de haut, bien cachée au pied d'une falaise de 50 m, que l'on accède à la majestueuse salle d'entrée, laquelle mesure 50 m de large pour 100 m de long et 30 m de haut. Malgré ces dimensions imposantes, la lumière du jour parvient à éclairer suffisamment toute la salle pour pouvoir profiter du spectacle. Les parois et le plafond où arrivent de nombreux puits et galeries sont de couleurs très variées, allant du noir au blanc et du jaune-clair au marron en passant par des teintes rouge-orangé très chaudes. Le sol et le bas des parois sont colonisés par une végétation de fougères et de mousses qui donnent à l'ensemble des teintes de vert complétant ainsi cette superbe palette de couleurs. Quelques cascates tombant en pluie du plafond rajoutent une agréable petite touche sonore.

Un petit conduit sur la droite de la salle d'entrée permet d'accéder en balcon à la galerie du Conglomérat. Celle-ci, presque totalement comblée par des remplissages, est actuellement en phase de recusement par un ruisseau provenant d'une petite conduite forcée débouchant en plafond. Par endroit, la hauteur des remplissages atteint plus de 10 m ; quelques ponts et vires précaires permettent d'atteindre la partie supérieure de la galerie en amont de l'arrivée d'eau. A partir de là, c'est sur des coulées stalagmitiques glissantes, recouvrant l'épaisse couche de remplissage, et très pentues que nous poursuivons notre progression jusqu'au point haut de la cavité : une salle bouchée de toutes parts sans espoir de continuation (présence de guano). Dans le coin E de la salle d'entrée, une superbe lucarne de 6 m de diamètre domine une grande galerie plate dont le sol est recouvert d'une épaisse couche d'argile de décantation attestant la présence d'un lac à la saison des pluies. Sur le bord de la galerie, quelques soutirages ne sont pas loin d'ouvrir de nouvelles possibilités d'explorations, mais cette galerie se termine malheureusement sur une très grosse coulée stalagmitique.

(Jean-Pierre)

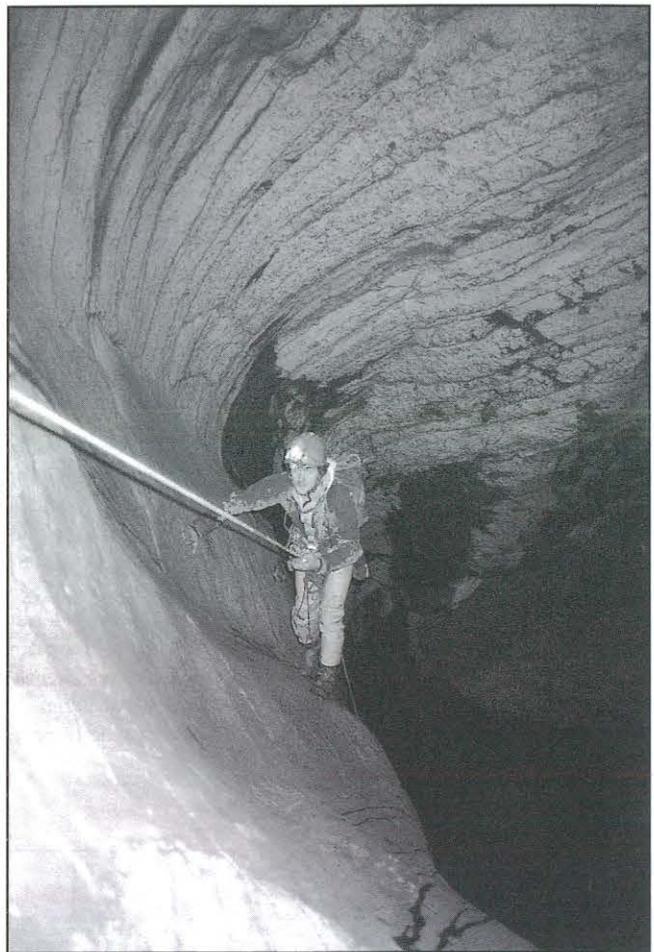


Photo 25 : Sommet du puits de 65 m au fond de Datiankeng. Il est interdit d'être là en saison des pluies ! (impacts de galets sur les parois à la base du puits). Cliché J.B. et R.M.

Top of the 65 m pit in Datiankeng near - 300 m, a forbidden place during the raining season !

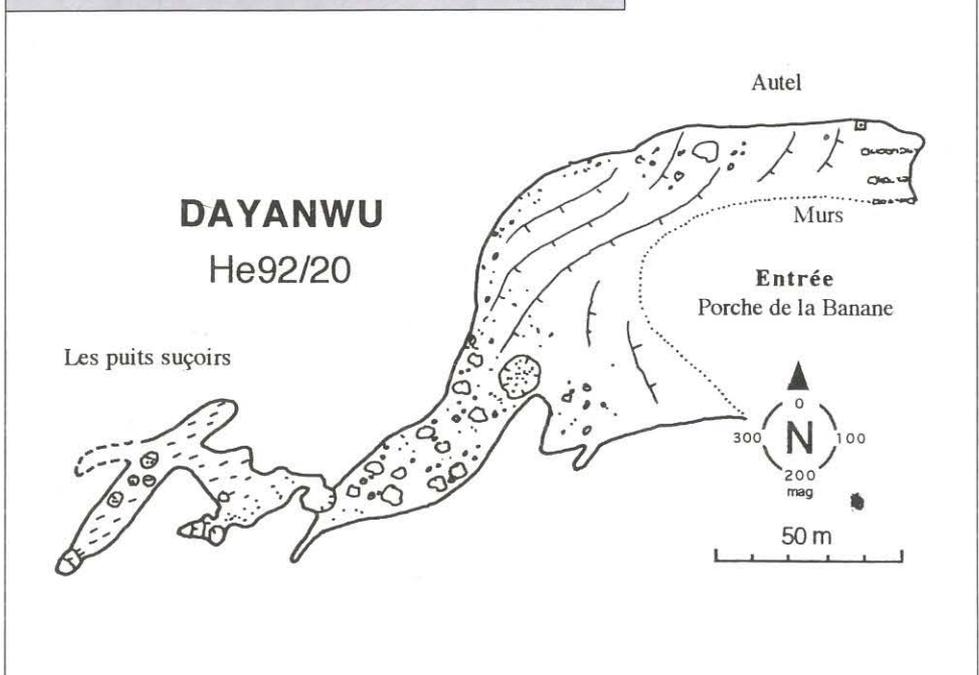
D. DAYANWU

«La grande niche» (He 92/20)

Dév. 407 m Dén. + 33 m Alt. 990 m

Cette cavité, visible de très loin, se situe également au-dessus du village de Guanyinpo en rive droite de la Loushuihe. Le porche immense, appelé aussi porche de la Banane, mesure 100 m de large sur 25 m de haut. On le voit très bien de l'autre côté du synclinal et nous l'avions déjà repéré lors de notre passage sur la route d'en face en 1989 ! On y accède en 20 minutes par un sentier partant de la route qui longe la rivière à mi-pente. Celui-ci devient franchement broussailleux vers le haut. Cette énorme entrée est le vestige d'une ancienne salle dont les trois quarts se sont effondrés à cause de l'érosion du versant. Au sud, une galerie encombrée de blocs rocheux donne accès, par une lucarne, à une petite galerie, puis à une salle dont le sol plat et argileux est percé d'une douzaine de puits de soutirage qui n'ont pas été visités. Aucune autre suite n'a été découverte. (Sylvain)

Figure 51 : Plan de la grotte de Dayanwu (Hefeng, Hubei). Dayanwu cave (Hefeng, Hubei), plan.



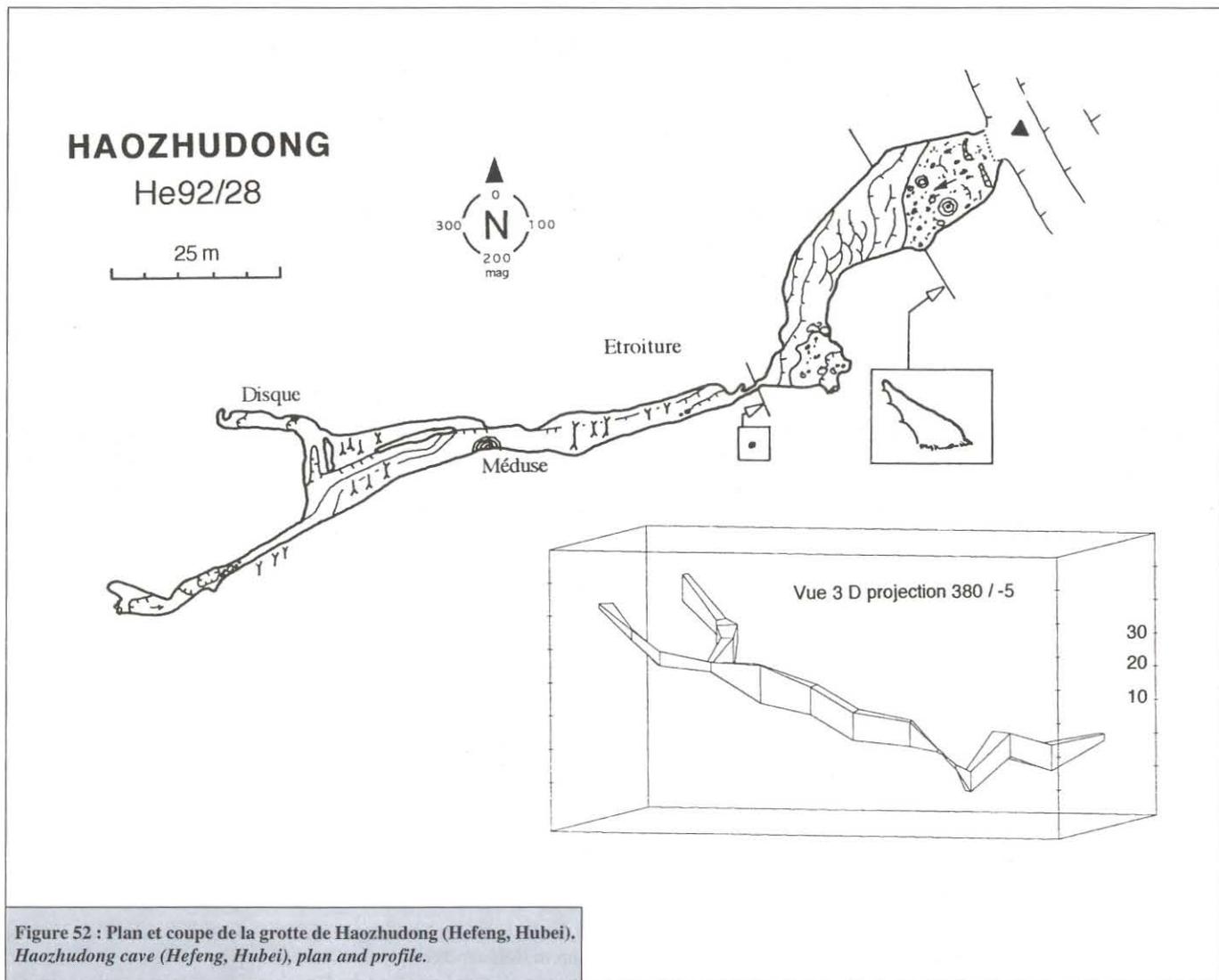


Figure 52 : Plan et coupe de la grotte de Haozhudong (Hefeng, Hubei).
Haozhudong cave (Hefeng, Hubei), plan and profile.

E. HAOZHUDONG

«Grotte du porc-épic» (He92/28)

Dév. 225 m Dén. 58 m (- 11, + 47) Alt. 1 000 m

Cette grotte se situe sur le flanc nord du synclinal de Hefeng, sous les crêtes dominant la vallée de la Loushuihe, une centaine de mètres au-dessus de Dazhaidong. On y accède par la route de l'émetteur TV jusqu'aux crêtes. A droite, un chemin conduit au-dessus du poljé de Shuishanping et il suffit de passer le col à main droite pour redescendre une trentaine de mètres sur un mauvais sentier, dans des pentes très raides. Un petit porche de 5 m x 2 m, bien camouflé par la végétation, donne accès à une première galerie descendante où l'on trouve deux fours à nitrate. Au bout, un petit conduit mène à une sévère étroiture remontante qui a probablement été débouchée lors de l'extraction des sédiments servant à alimenter la petite exploitation de nitrate. Elle permet de prendre pied dans une galerie remontante abondamment concrétionnée : disques, méduses, colonnes, excentriques. Elle se termine très rapidement sur plusieurs coulées de calcite. Malheureusement, même avec l'étroiture sévère défendant la cavité, quelques concrétions ont été victimes de leur beauté... (Sylvain, Jean-Pierre)

Conclusion :

Nous quittons ce comté avec la satisfaction d'avoir pu mener un travail suivi sur le système du synclinal de Yanziping, mais aussi avec des regrets : une seule incursion sur le poljé de Taiping reconnu en 89 et à 8 km seulement de la ville. Il attend donc toujours ses explorateurs ! Pas le temps non plus de visiter la fabuleuse zone montagneuse au NE

qui dépend du système de Wantan et descend vers la Province du Hunan, ni les zones W et SW du comté qui, d'après les autorités locales, sont extrêmement riches en cavités ! Et il reste des cavités superbes non terminées, en particulier le fond de Zhaidong, la rivière de Donghe, le fond de Datiankeng... En somme, de quoi motiver une nouvelle expédition dans un comté qui nous a particulièrement bien reçu au niveau de la population et des autorités locales ●

LES CAVITÉS DU COMTÉ DE XIANFENG

✓ L'équipe

RÉSUMÉ : Le comté de Xianfeng est moins spectaculaire que ceux de Hefeng ou de Wufeng au niveau des paysages karstiques, mais le potentiel en cavités est important. Les neuf cavités explorées (11,2 km de topographie), souvent de grandes dimensions, se développent pour l'essentiel dans la structure synclinale de Dajichang constituée de calcaires permien. Les cavités visitées sont de plusieurs types : perte active avec grand porche (Luoshuidong) et bassin-versant dans le Silurien imperméable, mégadoline d'effondrement (Hongshepan) recelant des habitations héritées des Ming, superbe perte temporaire de montagne avec successions de puits et de méandres (Dishuidong), gouffre fossile descendant dans le pendage (Yanxiaodong), rivière souterraine dans un volet synclinal perché au NW de Qingping (Changdong), enfin grotte-résurgence de poljé près de Baishuiba au N de Xianfeng (Bailongdong).

Mots-clés : *perte, doline d'effondrement, rivière souterraine, synclinal, Permien, Silurien, Xianfeng, Li Rouli.*

ABSTRACT: Caves of Xianfeng county. Due to the adjacent catchment area of impervious Silurian shales, Xianfeng county abounds in caves especially along the border to the large Dajichang syncline. Within a week, nine caves with galleries, pits and chambers were explored and mapped to an accumulated length of 11,2 km. Several caves are particularly interesting, e.g. the active sinkhole Luoshuidong, the collapse 'mega'-doline Hongshepan (200 m deep) with their old underground houses dating to the Ming period, the temporary mountain sinkhole Dishuidong, the dry sinkhole Yanxiaodong, the underground river Changdong which is situated in a perched syncline near Qingping, and a resurgence cave in Baishuiba polje (Bailongdong).

Keywords: *Sinkhole, cave, underground river, syncline, Permian, Silurian, Xianfeng, Li Rouli.*

ZUSAMMENFASSUNG: Die Höhlen des Bezirkes Xianfeng. Die Höhenlage des Bezirks von Xianfeng ist im Vergleich mit den Bezirken Hefeng und Wufeng nicht so spektakulär. Die Karstlandschaft mit ihren Höhlen und ihrem Höhlenpotential jedoch ist mehr als bemerkenswert. Die neun, auf insgesamt 11,2 km Gangstrecke vermessenen Höhlen sind großräumig dimensioniert und am Rand der Dajichang-Synklinale angelegt, wo die Wasser aus benachbarten Einzugsgebieten aus nicht-lösungsfähigem Gestein auf Kalke aus dem Perm treffen. Hier, an der Grenze zu silurischen Schiefen, befinden sich aktive Ponore mit gigantischen Schlucklöchern (Luoshuidong) und über 200 m tiefe 'Mega'-Einbruchsdolinen (Hongshepan) mit unter Tage errichteten Häusern aus der Ming Zeit. Hier finden sich im Bergland periodisch aktive Ponore die zu Abfolgen von gestuften und mäandrierenden Schluchten führen (Dishuidong), aber auch fossile Höhlen mit Verbindung zu rezenten Sammlern (Yanxiaodong) und, wie etwa im Nordwesten von Qingping, unterirdische Flüsse in einer hängenden Synklinale (Changdong), und schließlich Quellschloten, wie die Bailongdong in der Polje von Baishuiba.

Stichworte: *Ponor, Höhle, Flußhöhle, Höhlenfluß, Synklinale, Perm, Silur, Xianfeng, Li Rouli.*

第三章 咸丰县的洞穴

地质构造

研究区位于咸丰县城西部 10km, 为平缓、呈 NE40° 轴向的大集场向斜东南翼, 二叠纪灰岩倾向 SE, 倾角 30-40°。地质构造形成于侏罗纪与白垩纪间的燕山期造山运动。向斜的东南面为咸丰背斜, 出露寒武、奥陶纪灰岩与白云岩, 白龙洞位于背斜的东面翼。

水文地质

大集场向斜区域有三个岩溶层(下二叠统、三叠系及白垩系钙质砂岩), 各层均具岩溶现象(溶斗、落水洞、溶盆等)。

下二叠纪灰岩厚 700m, 许多地方, 该灰岩与志留纪页岩接触。不透水层分布区的集水消失于二叠纪灰岩上的封闭洼地中。大部分二叠系出露区具地下流域系统, 因时间所限, 我们未探究含水层出水口, 其可能位于西南部乌江支流大河深切河段二叠系露头处。在二叠纪灰岩中, 我们探查了宏石板洞、滴水洞、岩硝洞及老硝洞。三叠纪灰岩很厚, 超过 1000m, 其构造部位对形成地下流域不利, 因其近向斜中心, 高出基准面不多, 最多 400m, 此乃为何发育了穿越整个向斜的地表河的原因, 类似情况曾见于五峰渔关南部 15km 的向斜中。

白垩纪砂岩如果不是碳酸盐胶结的话是不应喀斯特化的。一般来说, 这类岩石无大的喀斯特现象, 因为侵蚀而松散的砂充填于所有岩石裂隙中。然而, 在图上有很好的具进水及出水口的地下系统, 在白垩系露头的中部, 因时间不足而未探查。

Introduction

En continuant notre périple nous nous enfonçons encore plus vers le SW de la province pour atteindre le comté de Xianfeng, aux confins des provinces du Hunan, du Hubei et du Guizhou.

- Présentation géographique : Ce comté montagneux et forestier (64 % de couverture forestière, ce qui est très important pour la Chine) s'étend sur 2 500 km². Son point haut culmine à 1 927 m alors que le point bas est à 434 m dans la partie sud près du grand bassin rouge de Laifeng. Les zones de montagnes (> 800 m d'altitude) représente 63 % de la superficie soit 1 602 km², les bassins 14 %, le reste étant constitué par des zones intermédiaires situées au-dessous de 800 m d'altitude.

Les deux cours d'eau principaux sont tributaires du bassin du Yangtse ; cependant ce comté est dans une zone de partage des eaux de deux de ses affluents majeurs : le Qingjiang et le Wujiang. En effet la rivière Zhongjianhe qui prend naissance au coeur du comté s'écoule vers le NE pour atteindre le Qingjiang dont le cours inférieur traverse la célèbre grotte de Tenglongdong. Celui-ci se jette ensuite dans le Yangtse en aval des Trois Gorges. Quant à la rivière Tangyan He, elle s'écoule dans la direction opposée (SW) pour rejoindre le Wujiang qui draine une grande partie du nord du Guizhou avant de rejoindre le Yangtse bien en amont des Trois Gorges.

Administrativement ce comté dépend de la préfecture autonome de Enshi. Il est peuplé de 334 000 habitants dont 70 % appartiennent aux ethnies Tujia (61 %) et Miao (9 %), et 30 % aux Hans. Sa densité de 133 hab./km² est presque deux fois supérieure à celle du comté de Hefeng. Ceci est dû en grande partie au relief un peu moins accidenté qui comporte de nombreux bassins intramontagnards, favorables aux cultures, comme celui de Xianfeng. 60% des ressources du comté proviennent de l'agriculture, notamment des cultures de tabac (4 000 tonnes ans dont la moitié est exportée), de thé, de riz et de maïs. L'industrie quant à elle représente 40 % : cigarettes, chimie légère, électricité, alcool, thé, alimentaire, matériaux de construction.

- Structure géologique : La zone d'étude est située sur le flanc NW d'un grand synclinal situé une dizaine de km à l'ouest de Xianfeng, le chef-lieu de comté. Son axe de direction N40°E est

pratiquement horizontal dans cette zone. Les pendages atteignent 30 à 40° au maximum, au niveau de l'affleurement des calcaires du Permien. Cette structure synclinale s'est formée pour l'essentiel entre le Jurassique et le Crétacé (orogénèse de Yanshan). Des dépôts continentaux postérieurs au Jurassique (Crétacé et Tertiaire) reposent en nette discordance sur le Trias. Ce synclinal est bordé sur son flanc SE par un anticlinal au coeur duquel affleurent les calcaires et dolomies du Cambro-Ordovicien dans lesquels est creusée Bailongdong.

- Hydrogéologie : L'un des caractères les plus intéressants de cette zone, c'est l'existence dans la série sédimentaire de trois niveaux karstifiés (Permien inférieur, Trias et grès post-jurassiques). Ceux-ci donnent lieu, tous les trois, à de beaux phénomènes karstiques : pertes, dolines, poljés. Les calcaires du Permien inférieur atteignent 700 m d'épaisseur. En de nombreux endroits, leur affleurement est situé en contrebas des schistes du Silurien. Les eaux qui coulent sur ces bassins-versants imperméables viennent alors se perdre dans les nombreuses dépressions fermées situées sur les calcaires du Permien. Pratiquement tous les affleurements de ces calcaires sont drainés de manière souterraine. Nous n'avons pas eu le temps de rechercher la résurgence de l'aquifère, mais elle est vraisemblablement située plus au SW, là où le Permien est recoupé par la rivière Dahe ou l'un des affluents de la Wujiang. C'est dans ce niveau que nous avons exploré Hongshepan, Dishuidong et Yanxiaodong.

Les calcaires du Trias sont épais de près de 1 000 m. Leur position au centre du synclinal, à moindre altitude au-dessus du niveau de base (400 m au maximum) est cependant moins favorable au drainage souterrain. Il existe donc un réseau hydrologique superficiel fonctionnel à travers tout le synclinal ; la même chose s'observe dans le synclinal situé 15 km au sud de Yuyangguan, dans le comté de Wufeng.

Les grès à ciment calcaire post-jurassiques, dans les sédiments du Crétacé-Eocène, forment le troisième système aquifère. Ce genre de formation n'est en général pas favorable à la karstification car il y a beaucoup trop d'éléments insolubles, et pourtant nous avons

**Tableau 6 : Spéléométrie des cavités explorées dans le comté de Xianfeng (Hubei).
Cave data, Xianfeng County (Hubei).**

Nom	N°	Village	Long. Est Lat. Nord	Alt. (m)	Dév. (m)	Dénivelé (m)	Stratigraphie	Note
DISHUIDONG Grotte des gouttes	Xi921	Maopo	109°06,7' 29°43,8'	980	2 239	233 (- 232, + 1)	Perm inf.	Continue
HONGSHEPAN/LUOSHUIDONG Grotte de la strate rouge	Xi922	Baiyanto		950	1 998	258 (- 66, + 192)	Perm inf.	
GROTTE FORTIFIEE	Xi923	Baiyanto			115	- 52	Perm inf.	
BAILONGDONG Grotte du dragon blanc	Xi924				1 647	11 (- 5, + 6)	Cambrien inférieur	
YANXIAODONG Grotte de Yanxiao	Xi925	Yanxiaoping		1 100	986	- 232	Perm inf.	Continue
LAOXIAODONG Grotte du vieux nitrate	Xi926	Duojiagai	109°06,5' 29°42,7'	1 140	1 095	154 (- 147, + 7)	Permien	Continue
YASHANWANDONG Grotte de la vallée	Xi927			840	310	- 42	Trias	
LANJIADONG Grotte de la famille Lan	Xi928	Langjiagou		800	64	- 24	Trias	
CHANGDONG Longue Grotte	Xi929			1 070	2 560	121 (- 29, + 92)	Permien	
QUINGSHUIPING Grotte de la Ville	Xi9210	Qingping		870	201	14 (- 11, + 3)	Trias	

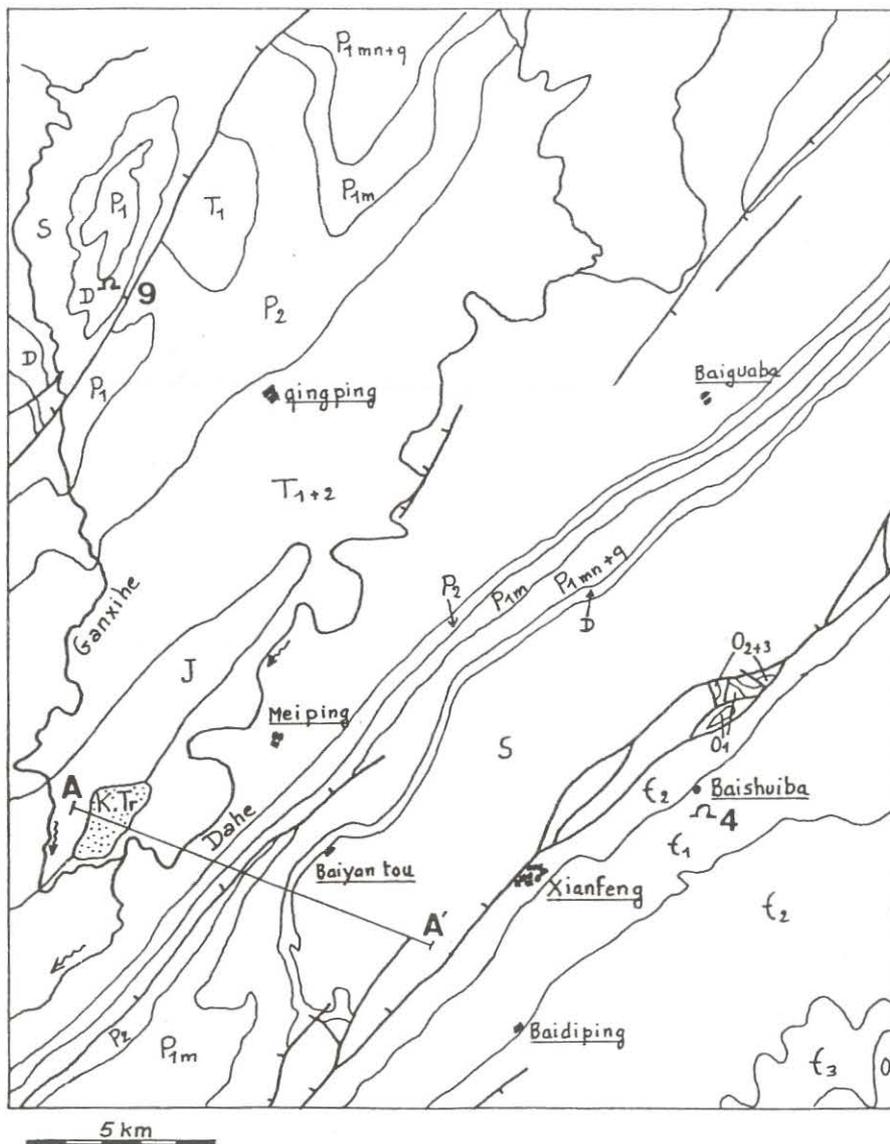
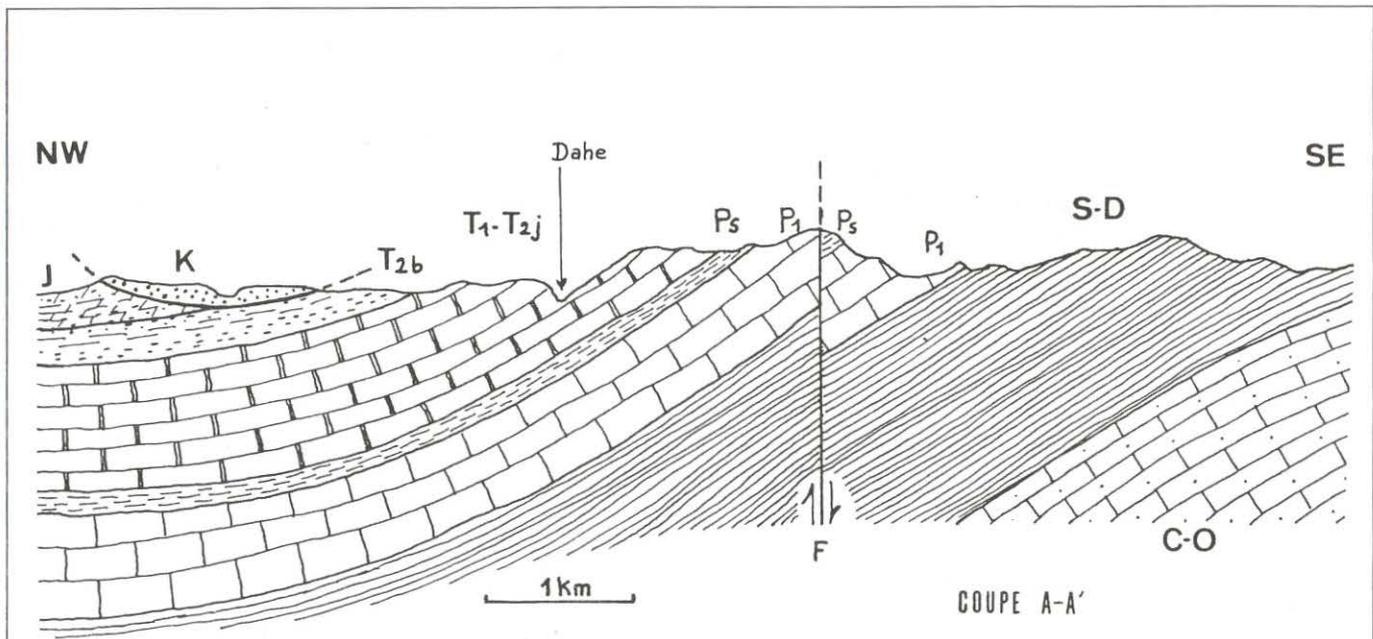


Figure 53 : Géologie de la zone de Xianfeng (Hubei) et situation des cavités. Etage géologique cf. fig. 4 p. 12

Geology of Xianfeng area (Hubei) and caves location. Geological stage cf. fig. 4 p. 12

repéré sur la carte un très beau système perte / résurgence en plein milieu de cet affleurement ; il est resté inexploré, faute de temps !

- **Présentation spéléologique :** Juste une petite reconnaissance (4 jours de terrain avec un temps épouvantable) pour s'apercevoir que ce comté est lui aussi très prometteur quant aux futures explorations, puisque nous avons topographié 11,2 km dans 9 cavités. Nous avons visité deux zones : l'une toute proche de la ville de Xianfeng où nous avons exploré de superbes cavités se développant dans les calcaires du Permien ; parmi elles on peut citer les gouffres de Hongshepan (1 997 m, ± 258 m) et Dishuidong (2 239 m, ± 233 m). L'autre zone un peu plus éloignée se situe à 15 km sur le flanc NW du synclinal. Les quatre cavités explorées se développent dans les calcaires du Permien et du Trias. Cette zone n'a reçu qu'une brève visite de deux jours par 4 membres de l'équipe qui a permis cependant de topographier la superbe cavité de Changdong (2 559 m, ± 121 m).

LE COMTÉ DE XIANFENG EN QUELQUES CHIFFRES

Capitale = Xianfeng
Superficie = 2 500 km²
Précipitations = 1 557 mm/an
Température moyenne = 14°C
Population = 334 800 hab.
Nationalité dominante = Tujia et Miao (60 %)
Densité = 133 hab./km²
Forêt = 64 % de la superficie du comté
Agriculture = Tabac, thé, riz, maïs

I. Les cavités du synclinal de Dajichang

Le synclinal de Dajichang se situe à quelques kilomètres au NW de Xianfeng et s'allonge selon un axe oblique SW-NE. Il s'agit d'un synclinal évasé, large de 15 à 20 km, dont le fond est drainé par la rivière Dahe. Le centre du synclinal est occupé par du Jurassique imperméable et un petit bassin rouge gréseux, 4 km à l'WSW de Meiping, dans lequel se développe un réseau souterrain qui n'a pas été exploré. Deux zones ont été visitées : le flanc SE, autour du village de Baiyantou, le plus riche en pertes et gouffres, et le flanc NW, près de Qingping, avec la belle grotte perchée de Changdong.

1. LE FLANC SE DU SYNCLINAL

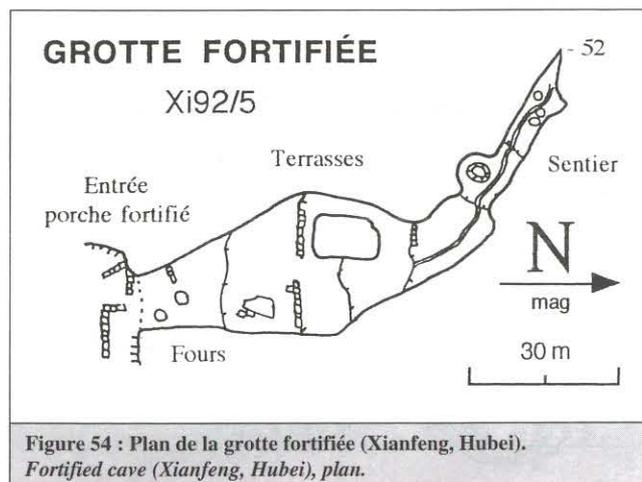
Plusieurs cavités importantes ont été explorées 5 km à l'W et au NW de Xianfeng, près des villages de Baiyantou et de Duojiagai sur le flanc SE du synclinal de Dajichang. Il s'agit d'abord de l'ensemble Hongshepan / Luoshuidong qui associe gouffre d'effondrement et grande perte sur près de 2 km de développement et 258 m de dénivellation ; puis de Dishuidong, une superbe perte temporaire d'altitude longue de plus de 2 km et profonde de 232 m ; de Laoxiaodong, gouffre de 154 m de profondeur pour de 1,1 km de développement ; enfin de Yanxiaodong, grotte-gouffre fossile longue de 1 km pour une profondeur de 232 m.

A. GROTTÉ FORTIFIÉE

(Xi92/3) Dév. 115 m Dén. - 52 m

Cette cavité se situe vers 800 m d'altitude au pied de falaises situées en rive gauche du ruisseau qui va se perdre dans le grand porche de Luoshuidong (décrit plus loin). L'entrée est marquée par une série de petits remparts. La galerie qui suit est en fait une vaste exploitation de

nitrate ; elle descend le long de la strate jusqu'au fond où une plateforme devait servir de bivouac ou de casse-croûte comme l'attestent de nombreuses traces de fumée de torches au plafond. Sortis de la grotte, nous continuons dans la même direction, puis nous remontons tout droit dans la falaise qui forme maintenant un escalier couvert par une multitude de ronces de toutes sortes. Au cours de cet



exploit d'une authentique inutilité, nous observons, au-dessus de la grotte fortifiée, une porte sur une vire en pleine paroi. Quelles richesses, quels secrets sont-ils à l'origine d'une construction aussi audacieuse ? Autant de questions qui resteront pour nous sans réponse. (Jean)

B. HONGSHEPAN / LUOSHUIDONG

«Grotte de la strate rouge, Grotte de la perte» (Xi92/2)

Dév. 1 998 m Dén. 258 m (- 66, + 192) Alt. 950 m

La perte de Luoshuidong et le gouffre d'effondrement de Hongshepan sont deux trous magnifiques et de grandes dimensions qui ont été jonctionnés au niveau d'une étroiture minuscule située à la base de la doline de Hongshepan.

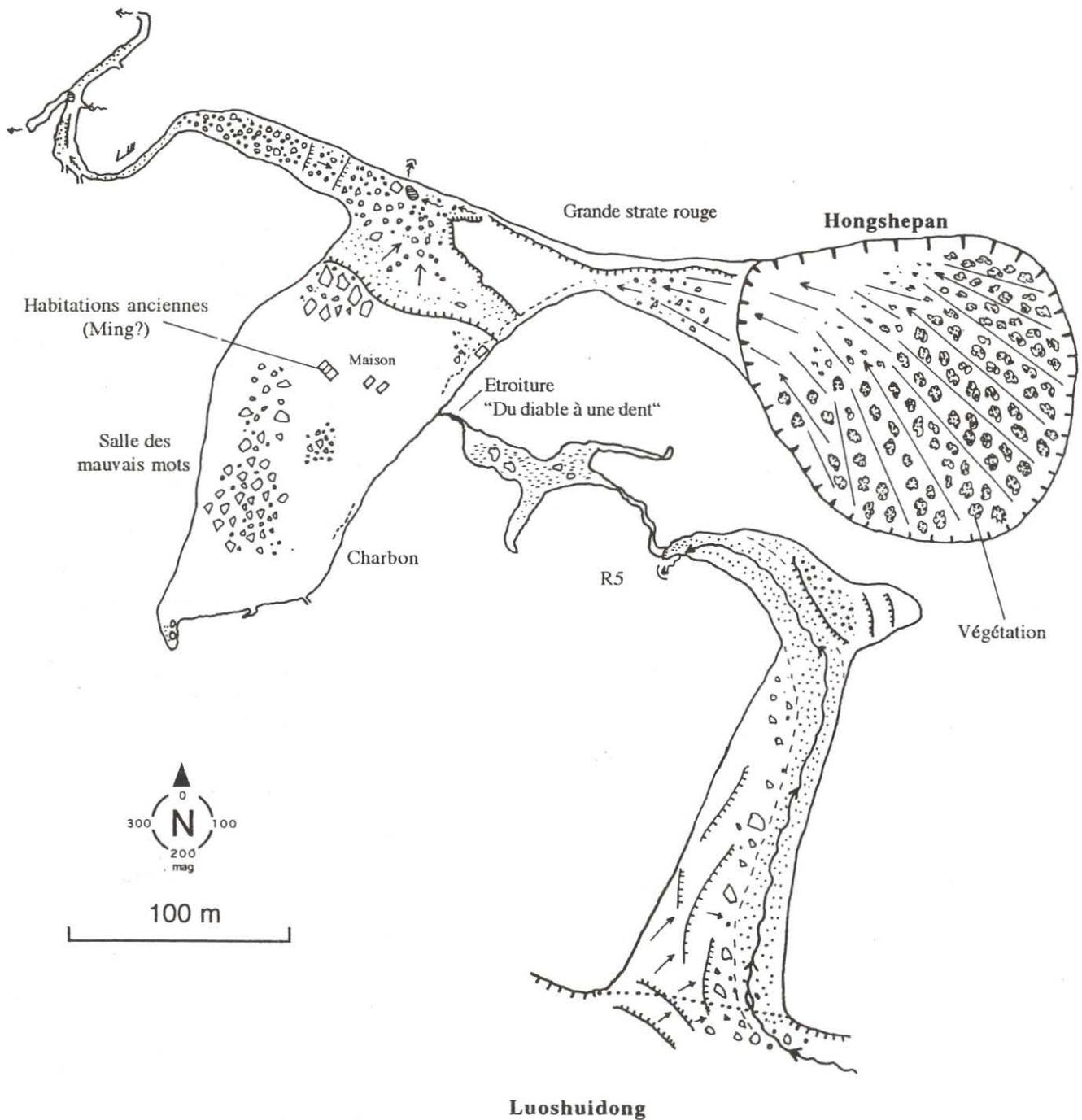
Hongshepan s'ouvre à 950 m d'altitude et à 200 m au nord de la route qui va vers l'ouest depuis Xianfeng, près du village de Baiyantou. Un petit chemin à travers champs mène aux lèvres de la doline large de plus de 200 m. Pour descendre, il faut emprunter un sentier minuscule ouvert dans la forêt ; rapidement, la pente devient très forte et il faut suivre la paroi de droite. Il s'agit en fait d'un vaste puits incliné qui s'enfonce obliquement à 45° dans la montagne sur une profondeur de 200 m environ. On parvient ainsi dans une vaste salle en partie éclairée par la lumière du jour. Il y a là d'anciens fours à nitrates, phénomène classique, mais surtout d'anciennes maisons actuellement abandonnées. Après renseignements, il s'agit d'habitations vieilles de plus de 400 ans et remontant à l'empire des Ming ! C'est dire à quel point les grottes et les gouffres cachés servaient de refuges pendant les périodes troublées. Après la salle et des blocs, on parvient dans une petite galerie de quelques mètres de large au maximum où coule un ruisseau de 5 l/s environ.

Pendant ce temps, deux autres équipes vont à Luoshuidong. Le karst a ici moins fière allure qu'autour de Hefeng ! Mais c'est en se rapprochant de l'objectif que la motivation reprend le dessus ; le sentier descend progressivement dans une vallée fermée et dévoile d'un seul coup une perte béante avec son porche majestueux de 50 m de large sur 60 m de haut. Nous fourbissons prestement nos armes habituelle de topo-marathon et filons dans une galerie parfaite : haute et large, sol nivelé par les alluvions, petite rivière serpentant au milieu. Courte illusion : deux visées plus loin, hauteur et largeur se trouvent engorgées de limons et la rivière se faufile dans un minuscule laminoir rempli de galets. Une escalade dans une petite conduite forcée nous amène dans une petite salle ébouleuse. Nous apprécions au moins l'atmosphère sèche et chaude des lieux qui, si elle nous rend pessimiste quant aux espoirs de continuation, contraste agréablement par

Figure 55 : Plan de la grotte de Hongshepan-Luoshuidong (Xianfeng, Hubei).
Hongshepan-Luoshuidong cave (Xianfeng, Hubei), plan.

HONGSHEPAN/LUOSHUIDONG

Xi 92/2



son confort avec les maudits hôtels où nous devons chaque soir manger et dormir.

Dans un coin, nous retrouvons une petite rivière. L'amont provient d'un bon vieux méandre que nous remontons jusqu'à un puits où pleut un affluent, l'actif principal provenant d'un siphon. Coté aval, siphon également ; un petit laminoir de galets permet de retrouver le passage principal qui s'arrête rapidement dans une petite salle. Tout est colmaté. Tout ? Non, car un minuscule laminoir laisse malicieusement passer un petit courant d'air. Heureux de pouvoir se sacrifier à des coutumes bien de chez nous, nous creusons, et passons. Et derrière, oh joie, une trémie ! juste assez stable pour nous laisser grimper entre ses blocs jusqu'au terminus. Mais là encore, il y a terminus et terminus : courant d'air, bruit de cascade résonnant sous de hautes voûtes... il n'en faut pas tant pour nous exciter. C'est là que le rêve tourne au cauchemar ! Non, rassurez-vous, la trémie ne s'est pas écroulée. Tout d'abord, la première se transforme subitement en seconde : des voies se font entendre derrière la trémie. Mais nous avons beau nous égosiller, elles s'éloignent progressivement : nous devons quand même franchir l'obstacle, au moins pour la jonction topo. Petit à petit, nous distinguons de la lumière derrière nos blocs. C'est là qu'intervient le diable aux cheveux roux qui nous suivait à distance avec Richard depuis le début de l'exploration, avec son carnet topo et son sale caractère :

«*Il faut qu'on passe le laminoir ?*» demande La Rouille, alias Li Rouli, d'une voix atone.

«*Si vous voulez, on est en train de désobstruer une trémie*»

«*C'est comment derrière ?*»

«*C'est grand, y'a de la lumière, ça va bientôt passer, on a entendu des voix, on aurait dit Sylvain*»

«*Vous avez fait la topo de la trémie ?*»

«*Non*»

«*Vous faites quoi ?*», demande Li Rouli d'un ton provoquant.

«*On finit de creuser, ça passe*»

«*Vous voulez faire quoi ?*», redemande Li Rouli, alias El Oxido, d'un ton méchant.

«*Ben, si vous passez le laminoir, on peut aller jonctionner avec les autres*»

A ces mots le démon entre dans une fureur fantastique et il devient impossible de rétablir un semblant de communication. Heureusement, la trémie franchie, nous n'entendons plus les bougonnements haineux et la beauté du site console nos âmes. Nous débouchons au plancher d'une vaste salle. Nous partons en direction de la lumière et arrivons au bas d'un gouffre incliné à 45° où nous retrouvons un point topo marqué par nos collègues : nous sommes en bas de la doline d'effondrement de Hongshepan, la jonction est faite ! Nous prenons au retour les mesures du tour de la salle, oubliant de laisser un message au point topo, ce qui aurait évité à Sylvain et Bernard de refaire ce travail. Et comme il avait été décidé de tout mal faire, nous refaisons derrière Richard et Monsieur Jacques Orsola la liaison trémie-étroiture.

Moralité : «*joie et bonne humeur sont les mamelles du plaisir et du travail bien fait*». Nous proposons donc de baptiser la salle du fond de Hongshepan : «*salle des mauvais mots*» ou «*le diable n'avait qu'une dent*». (Jean)

NDLR : pour être juste signalons que La Rouille et Richard se sont «*tartinés*» la topo pendant que Cyriaque et le Bozzo continental couraient devant. Ceci explique sans doute cela, à savoir la fureur du diable roux dont le tempérament provocateur est devenu légendaire !

- **Hydrogéologie** : Les deux cavités sont creusées dans les calcaires à silex du Permien. Ce sont des calcaires sombres qui se présentent souvent en minces bancs entrecoupés de lits de cherts noirs. Dans Hongshepan, ces calcaires comportent aussi un banc de schistes carbonneux de 30 cm d'épaisseur. Le gouffre d'effondrement est situé sur le flanc méridional d'un synclinal de direction N50°E. Les couches plongent de 40 à 45° vers le NW. L'eau peut circuler sous terre en suivant la direction des couches, vers les points bas de l'affleurement du Permien, 6 km au SW. La doline n'est pas une perte, mais un simple regard sur la rivière souterraine. Celle-ci a un débit de

basses eaux limité (5 à 10 l/s) et une section relativement modeste (5 à 20 m²) qui semblent bien faibles par rapport au bassin-versant estimé à 10 km². Il ne s'agit peut-être que d'un affluent de la rivière principale. (Bernard)

Luoshuidong est une perte alimentée par un petit bassin-versant de quelques km² se développant dans les terrains imperméables du Silurien et du Dévonien. Le ruisseau souterrain disparaît à l'extrémité de la grande galerie d'entrée et réapparaît dans le fond du gouffre de Hongshepan. Le petit réseau boueux de Luoshuidong qui permet d'établir la jonction avec le fond de la doline a été creusée essentiellement en condition noyée comme en témoignent les formes typiques de corrosion (parois coupolées) et les abondants dépôts argileux (varves). En hautes eaux, une partie de ce réseau s'enneoie (branches, argile humide). (Richard)

C. DISHUIDONG

«*Grotte des gouttes*» (Xi92/1)

Long. 109° 06,7' E Lat. 29° 43,8' N Alt. 980 m

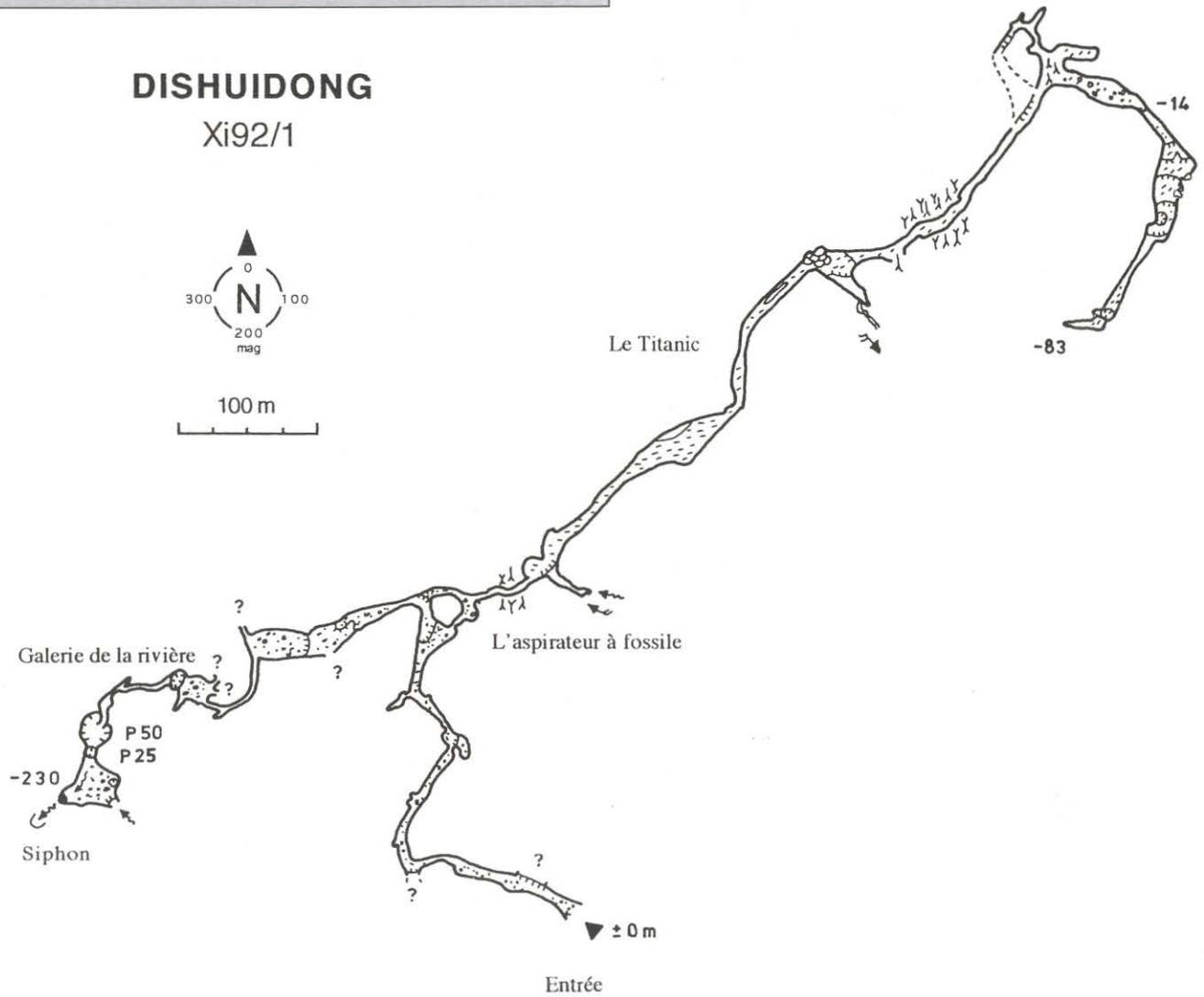
Dév. 2 239 m Dén. 233 m (- 232, + 1)

Cette magnifique perte de montagne s'ouvre au fond d'une petite vallée aveugle boisée et très encaissée, au pied d'une falaise de 50 m, à proximité du village de Maopo (à 5 km au NNW de Xianfeng). Elle est à sec lors de notre exploration, mais elle ne paraît pas absorber de débit très important même pendant la saison des pluies. Le porche d'entrée mesure 15 m de haut sur 15 m de large. Sur la droite, nous remontons une galerie fortifiée de belles dimensions sur environ 400 m ; on peut noter la présence d'une exploitation de nitrate et de belles fleurs de gypse. Faute de temps cette galerie n'est pas topographiée, mais évidemment elle continue ! Revenus à la galerie principale, nous progressons vers le NE sur une centaine de mètres. Après un affluent situé en rive gauche, la galerie bifurque vers le nord et reçoit un second affluent, encore en rive gauche. Parvenus à un carrefour, deux possibilités s'offrent à nous.

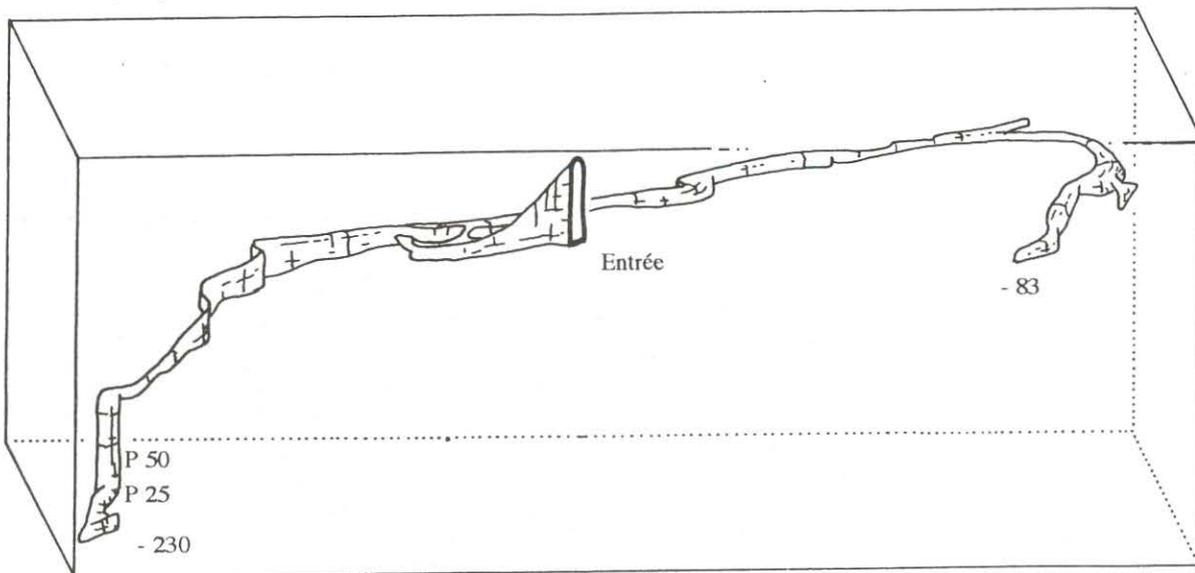
- **Le réseau de l'Aspirateur à Fossiles** : Au nord du croisement, après être passé sous un énorme bloc, nous débouchons dans une galerie très concrétionnée. Ensuite, une petite étroiture très ventilée, dénommée «*l'Aspirateur à Fossiles*», permet d'accéder en balcon à une salle dans laquelle une petite arrivée d'eau tombe du plafond. Nous laissons un départ à courant d'air sur la droite et poursuivons en remontant, en face, vers le NE. C'est dans cette partie de la galerie que nous observons des colonnettes, d'une densité très importante, constituées d'une cristallisation au reflet gris métallisé. Après avoir franchi un chaos de blocs qui nous amène juste sous le plafond de la galerie, nous débouchons (une bouteille de bordeaux, oh pardon !) dans la galerie du Titanic qui se dirige toujours vers le NE. Le sol d'argile est plat et nous sommes aux anges car pendant 350 m nous topographions avec de longues visées qui feraient frémir les puristes : difficulté nulle, juste à regarder, admirer et écouter le ronflement lancinant du topofil. Nous passons devant le Titanic : une énorme strate effondrée de 40 m de long qui émerge du sol comme la coque d'un navire retourné.

Fini de rêver, non ! Nous arrivons maintenant à un croisement où de nombreux gours actifs et concrétions de toutes sortes rendent les lieux magnifiques. Au SE, nous remontons un petit affluent parcouru par un minuscule filet d'eau ainsi que par un courant d'air aspirant : arrêt au pied d'un ressaut. En gardant la direction NE, on s'engage dans une galerie basse de plafond où de nombreuses colonnes forment un véritable labyrinthe : par chance le courant d'air nous sert de fil d'Ariane ! A partir de ce point, la progression devient plus accidentée. Le passage est toujours aussi concrétionnée, mais de nombreux blocs effondrés occupent parfois la totalité de la galerie. Nous passons un nouveau croisement où la galerie principale bifurque vers le SE et nous nous arrêtons 100 m plus loin sur un ressaut, à la cote - 14. La galerie commence à descendre, entrecoupée de plusieurs ressauts. Nous remarquons que le remplissage qui nous servait de plancher jusqu'à maintenant atteint par endroit une épaisseur de 10 à 20 m et peut être plus ! Un dernier puits et c'est le terminus : le remplissage ne

Figure 56 : Plan et coupe de la grotte de Dishuidong (Xianfeng, Hubei).
 Dishuidong cave (Xianfeng, Hubei), plan and profile.



Vue 3D projection 005/-10



passé plus et nous sommes visiblement dans une zone de décantation où toutes les parois sont recouvertes de boue séchée.

- **La galerie de la Rivière** : Revenus au carrefour, en aval du départ du réseau fossile, vers le SW, une galerie descend fortement ; deux petits ressauts se succèdent jusqu'à une salle où débouche une autre galerie venant du nord. A partir de ce point, la rivière, d'un débit quasi nul à cette époque, s'engage dans un magnifique méandre étroit et pentu creusé dans les calcaires sombres du Permien. Quelques marmites et ressauts mènent au premier puits de 25 m qui est légèrement arrosé et donne dans une petite salle où confluent quelques maigres arrivées d'eau. A l'opposé du P25, un nouveau méandre large de 2 m conduit en quelques dizaines de mètres à une succession de petits ressauts. Les parois sont soigneusement polies par l'eau. Quelques marmites, un peu d'oppo et on arrive en tête d'un grand vide noir ! La chute des pierres dure bien 4 secondes, l'écho de la voix se répercute très longtemps sur les parois et, au fond, on devine le bruit d'une cascade. En panne de cordes, nous rêvons longuement, face au vide, d'une immense galerie parcourue par une rivière. Le lendemain, nous voilà avec 150 m de cordes supplémentaires : le puits, magnifique, mesure 50 m et s'évase vers le bas dans une salle où confluent trois petits écoulements. Encore un beau puits de 25 m et l'eau se met à serpenter entre de hautes berges d'argile. Cela sent le siphon ; il est là, le bougre, au bout d'un infâme suçoïr de boue ! Un petit affluent se laisserait bien remonter, mais il est vraiment trop minuscule pour justifier une nouvelle explo. Au passage, nous remarquons quelques chauves-souris. (*Jean-Pierre et Bernard*)

D. LAOXIAODONG

«Grotte du vieux nitrate» (Xi92/6)

Long. 109° 06,5' E Lat. 29° 42,7' N Alt. 1 140m

Dév. 1 095 m Dén. 154 m (- 147, + 7)

La cavité se situe près du village de Duojiagai, entre Maopo et Baiyantou. Elle s'ouvre dans les calcaires détritiques du Permien et le plafond de la galerie d'entrée montre d'épais bancs de calcaires à cherts ; la partie inférieure est creusée dans des bancs fins où s'intercalent des lits de schistes charbonneux. Nous suivrons d'ailleurs ce «contact» jusqu'à notre terminus dans la branche active. Le porche d'entrée donne sur une magnifique rampe qui suit scrupuleusement le pendage (25°) de direction NW300°. A 100 m de l'entrée, nous explorons deux départs, un de chaque côté de la galerie. A droite, «la galerie noire» remonte sur une centaine de mètres, parallèlement

jusqu'à une trémie où un passage supérieur, dans le méandre de plafond, est sans doute possible. A gauche, une autre galerie remonte jusqu'à un puits de 16 m qui crève la surface : c'est par ce puits que s'échappe le violent courant d'air de cette branche. Peu après la base du puits, la galerie se scinde en deux : à gauche, un ressaut de + 2 m est suivi d'une galerie de 1 m x 2 m qui se termine au bout de 20 m sur une obstruction de concrétions ; à droite, la galerie de 2 m x 3 m se poursuit sur 70 m avant de buter définitivement sur des blocs.

En bas de la galerie d'entrée, nous empruntons vers le nord une très belle conduite forcée de 2 m de diamètre où s'engouffre un violent courant d'air. Elle est parcourue par un petit ruisseau qui débouche dans une salle de 60 m de long et de 20 m de large. Elle a bien sûr servi d'emplacement pour un traitement des nitrates. Au NE de la salle, nous explorons un petit affluent en méandre qui nous rappelle fortement certains coins des Alpes ! C'est étroit, humide et venté. Avec notre joyeuse équipe de villageois, la progression est épique. Daniel se fait du souci pour le fil topo, mais bien vite nous trouvons des assistants topographes de premier choix. Nous nous arrêtons sur une furieuse envie d'aller voir ailleurs, par exemple quelque chose qui nous conduirait plus bas dans le réseau !

De retour dans la salle, nous empruntons un méandre fossile étroit qui se dirige vers le NW en laissant au passage un départ remontant sur la droite. Parvenu à un croisement, nous retrouvons La Rouille qui débouche d'une galerie venant de la salle. A partir de cet endroit, la rivière toujours très pentue cascade de vasque en vasque. Plusieurs de nos compagnons d'explorations sont trempés jusqu'aux os suite à quelques chutes dans les vasques. Finalement, ils décideront de s'arrêter prudemment à une marmite trop technique en raison de l'eau froide : 8°C. Nous voici donc au sommet d'un puits de 15 m légèrement arrosé. Après un équipement écologique, nous le descendons et reconnaissons la galerie du bas sur 50 m. Mais il est tard, Messieurs, il faut qu'on rentre ! Comme à son habitude, la rivière continue son bonhomme de chemin sans nous... Encore une superbe cavité qui mériterait vraiment une nouvelle visite. Nous sortons ravis et dehors, comme de coutume, il fait un temps... écosse ! (*Jean-Pierre et La Rouille*)

E. YANXIAODONG

«Grotte de Yanxiao» (Xi92/5)

Alt. 1 100 m Dév. 986 m Dén. - 232 m Village de Yanxiaoping.

Comme pour Dishuidong, il faut prendre la nouvelle route de

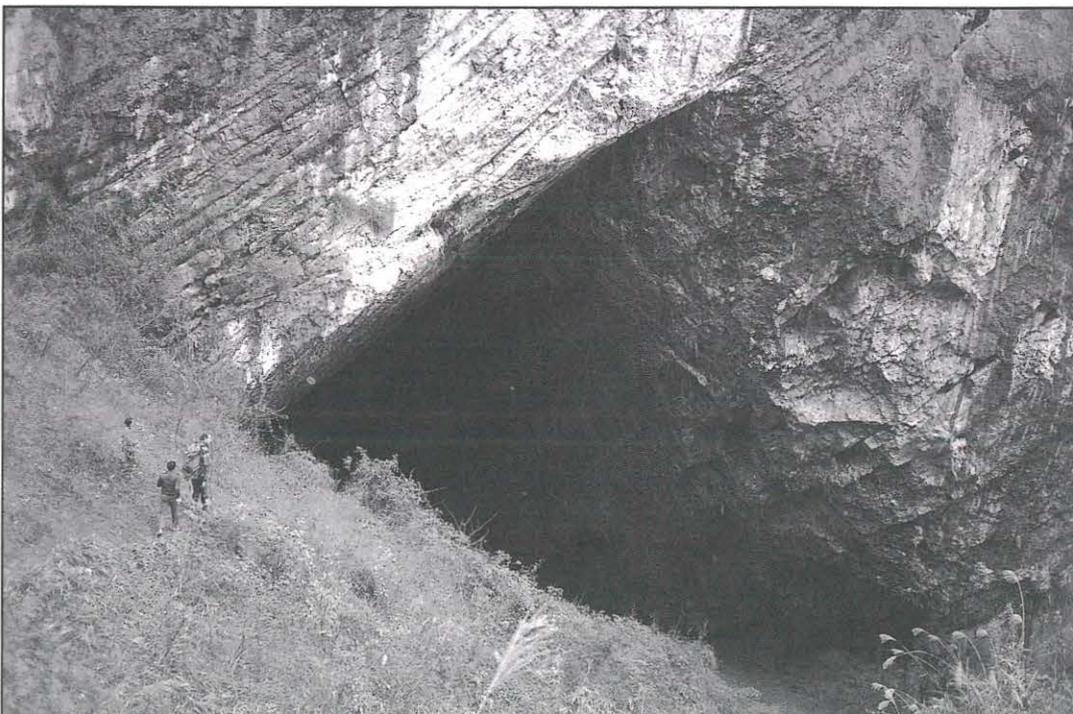
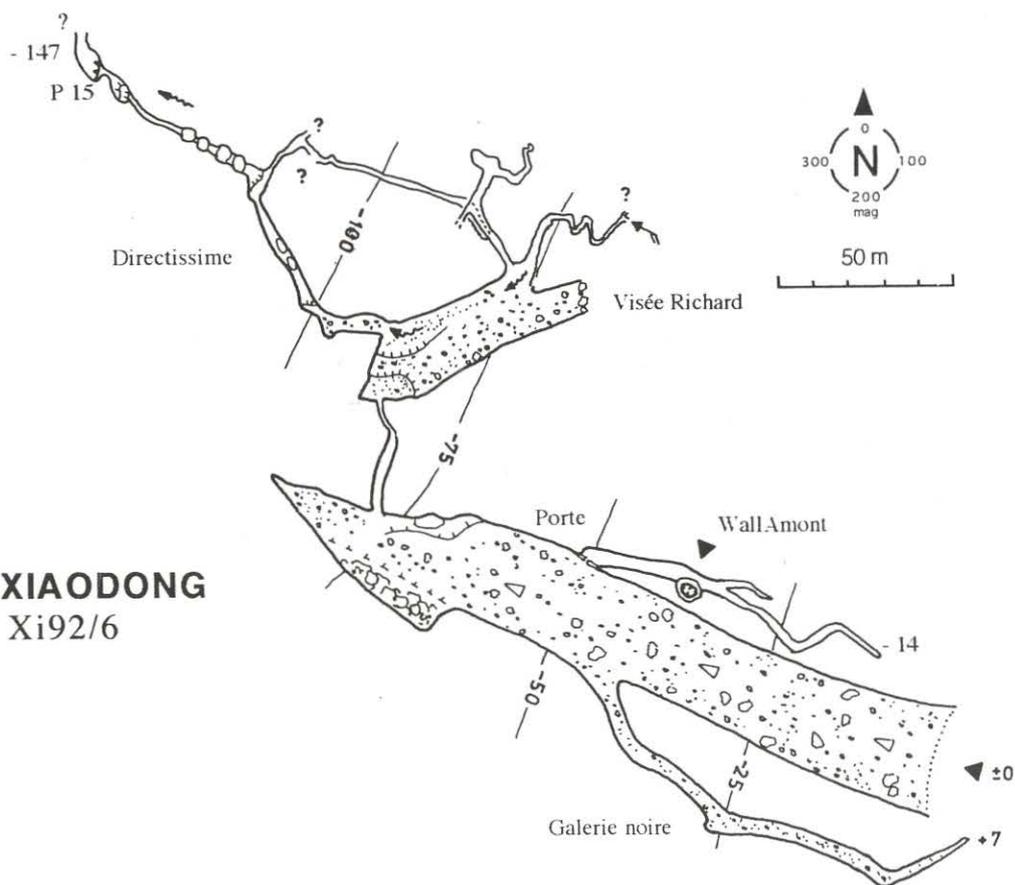


Photo 26 : Le vaste porche, haut de 60 m, de la perte de Luoshuidong. Cette cavité jonctionne avec le grand puits incliné de Hongshepan au niveau d'une étroiture baptisée "le diable n'avait qu'une dent". Cliché J.B.
Entrance of Luoshuidong sinkhole

LAOXIAODONG
Xi92/6



Vue 3D projection
75 / -20

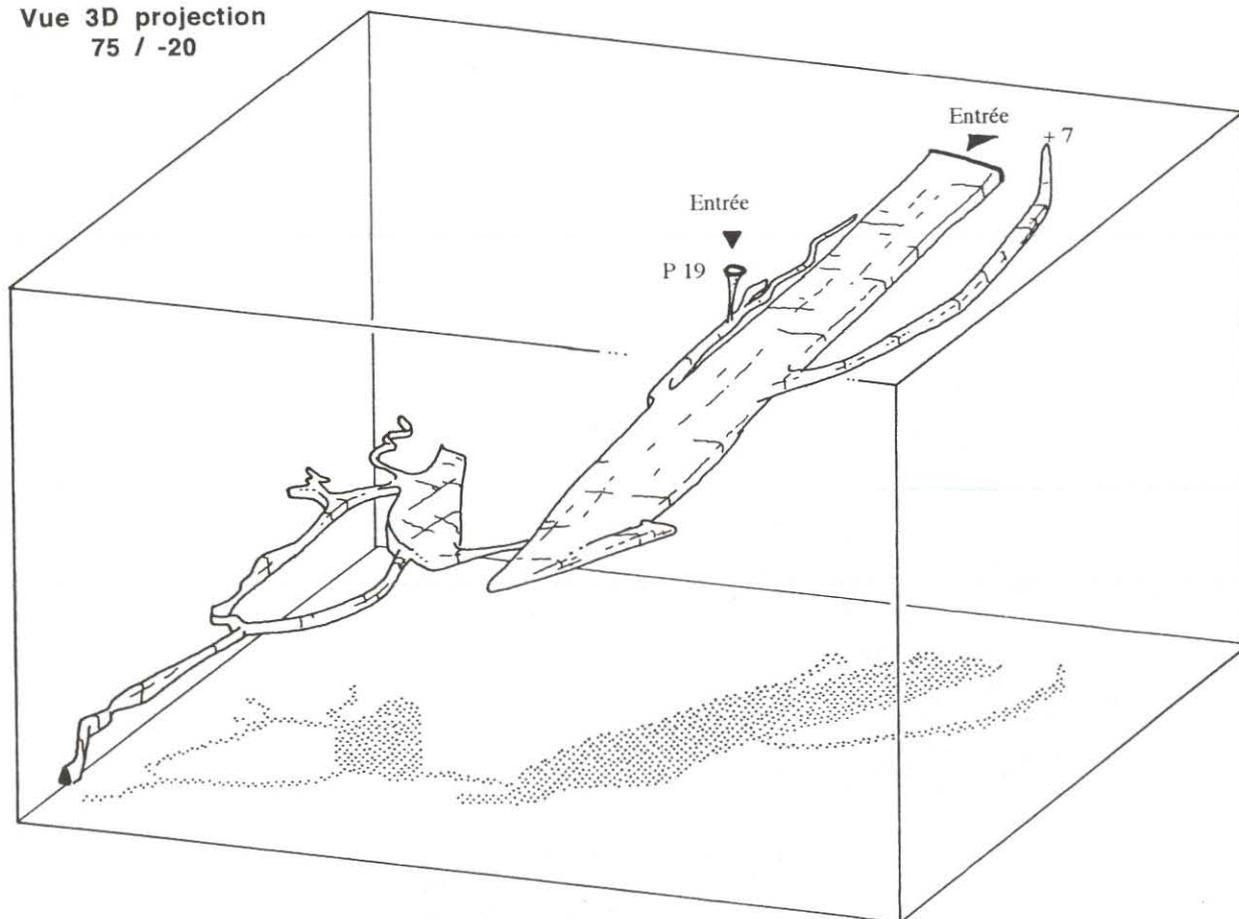
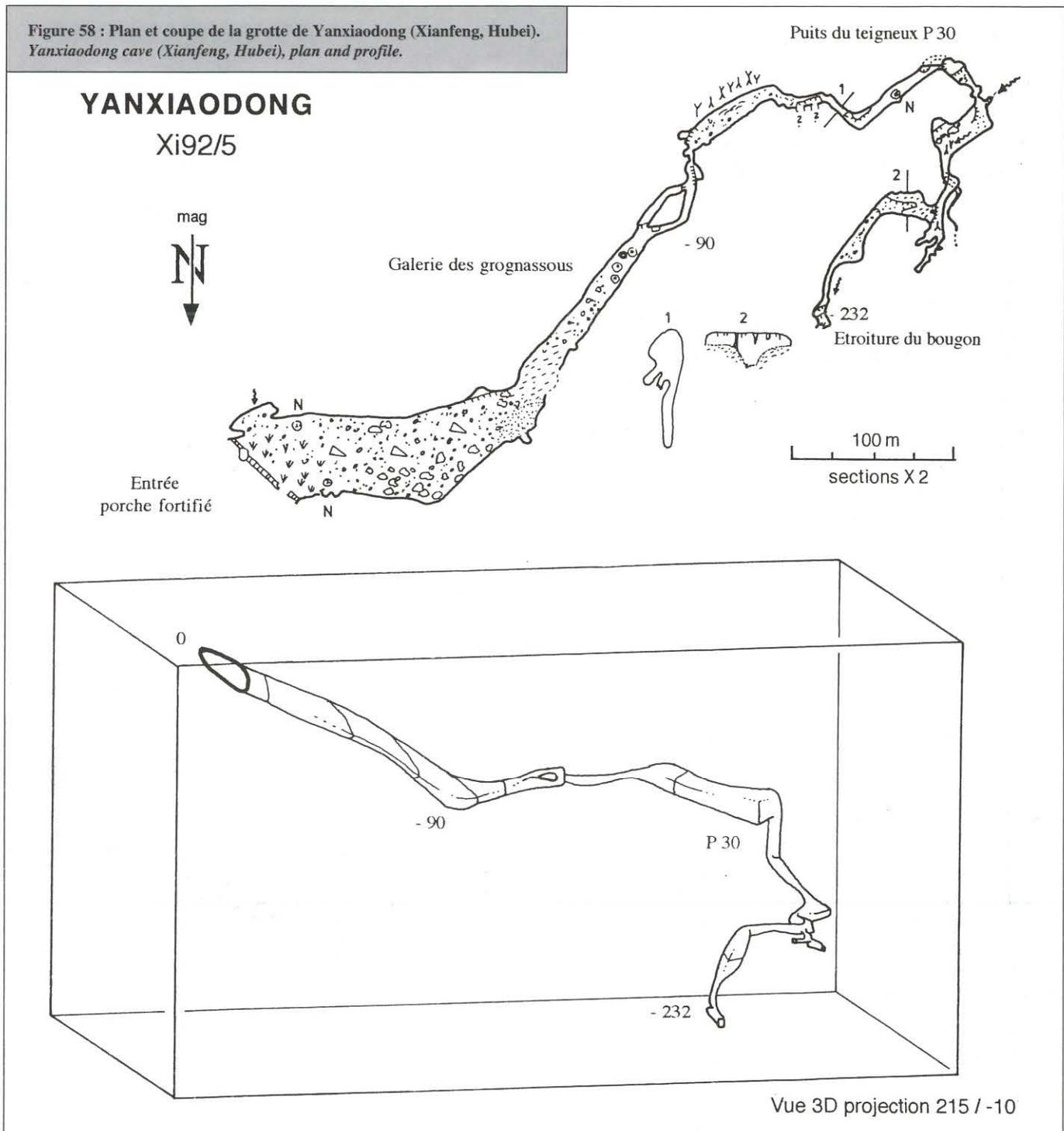


Figure 57 : Plan et coupe de la grotte de Laoxiaodong (Xianfeng, Hubei).
Laoxiaodong cave (Xianfeng, Hubei), plan & profile.

Figure 58 : Plan et coupe de la grotte de Yanxiaodong (Xianfeng, Hubei).
Yanxiaodong cave (Xianfeng, Hubei), plan and profile.



l'émetteur T.V.. A son terminus, on continue jusqu'à un petit col donnant sur une vallée aveugle, dont la superbe perte a été bétonnée pour en faire un réservoir. Du col, un sentier à droite traverse les pentes orientées au nord où l'on aperçoit le porche de Yanxiaodong situé au-dessus d'un grand champ très pentu. Un grand porche fortifié, de 50 m sur 20 m, donne sur une galerie d'effondrement descendant sur une centaine de mètres. Elle se poursuit horizontalement et l'on y trouve des vestiges d'exploitation de nitrate. Seuls un passage bas et une vire ralentissent un peu la progression. A 500 m de l'entrée, on parvient au sommet d'un puits de 30 m. Une fracture semble avoir barré la suite, mais une étroiture dégagée dans les concrétions permet de continuer. Les creusements deviennent complexes et la galerie très concrétionnée présente d'importants remplissages (allant du gros galet à l'argile) surcreusés par un petit actif. Tout cela se termine dans une petite salle descendante où l'on perd le peu de courant d'air restant. Nous nous arrêtons sur une galerie en interstrate très étroite. Cette cavité se

développe dans les calcaires du Permien qui sont ici affectés d'un pendage de 55° de direction NW310°. (Sylvain)

2. LE FLANC NW DU SYNCLINAL

Plusieurs grottes ont été explorées dans le district de Qingping, 15 à 20 km au NW de Xianfeng. Une cavité a été visitée dans la ville même de Qingping, deux autres au S, enfin au NW une belle grotte de 2,5 km de long (Changdong) dans un volet synclinal perché.

A. YASHANWANDONG

«Grotte de la vallée» (Xi92/7)

Dév. 310 m Dén. - 42 m Alt. 840 m

A 20 mn de marche au-dessus de Lanjiadong, au pied d'un piton, s'ouvre une grotte plus intéressante. Après une descente tranquille dans l'entrée, une escalade barre la route. Elle est équipée «à la

Chinoise», c'est-à-dire encombrée d'un tronc d'arbre glissant ! Cyriaque a tôt fait de nous installer une assurance. Tout de suite derrière, nous arrivons par un puits à une sorte de galerie fossile fortement remaniée par un chantier d'exploitation de nitrates. Une branche descend jusqu'à une trémie de petits blocs ; une autre remonte jusqu'à un nouveau puits. Après avoir vaguement posé un coin dans une belle draperie stalagmitique et encerclé un gros bloc pour contre-assurer, nous arrivons à une belle salle inclinée dans le pendage qui marque le terme de notre exploration. Sous l'oeil hilare du fantôme de Xu Xiake nous tentons désespérément d'escalader, de fouiner dans tous les sens à la recherche d'un prolongement. Cette cavité nous laisse une bonne première impression de cette nouvelle zone. (Jean)

B. LANJIADONG

«Grotte de la famille Lan» (Xi92/8)

Dév. 64 m Dén. - 24 m Alt. 800 m

Près du lieu-dit Langjiagou, qui veut dire petite vallée, et pour rendre encore plus fracassante l'humeur de Richard, nous explorons un très petit système composé d'une très petite résurgence au-dessus de laquelle nous trouvons un très petit puits (- 24 m, arrêt sur siphon et trémie) et une petite grotte (arrêt également sur siphon, étroiture). (Bozzo continental)

C. CHANGDONG

«Longue Grotte» (Xi92/9)

Dév. 2 560 m Dén. 121 m (- 29, + 92) Alt. 1 070 m

Après les déceptions de la veille, dans le très petit système de Lanjiadong, nous suivons avec suspicion notre guide. Mais nous commençons à savoir qu'il faut toujours passer au moins deux jours sur une zone ; Changdong en est la preuve. Cette vaste cavité,

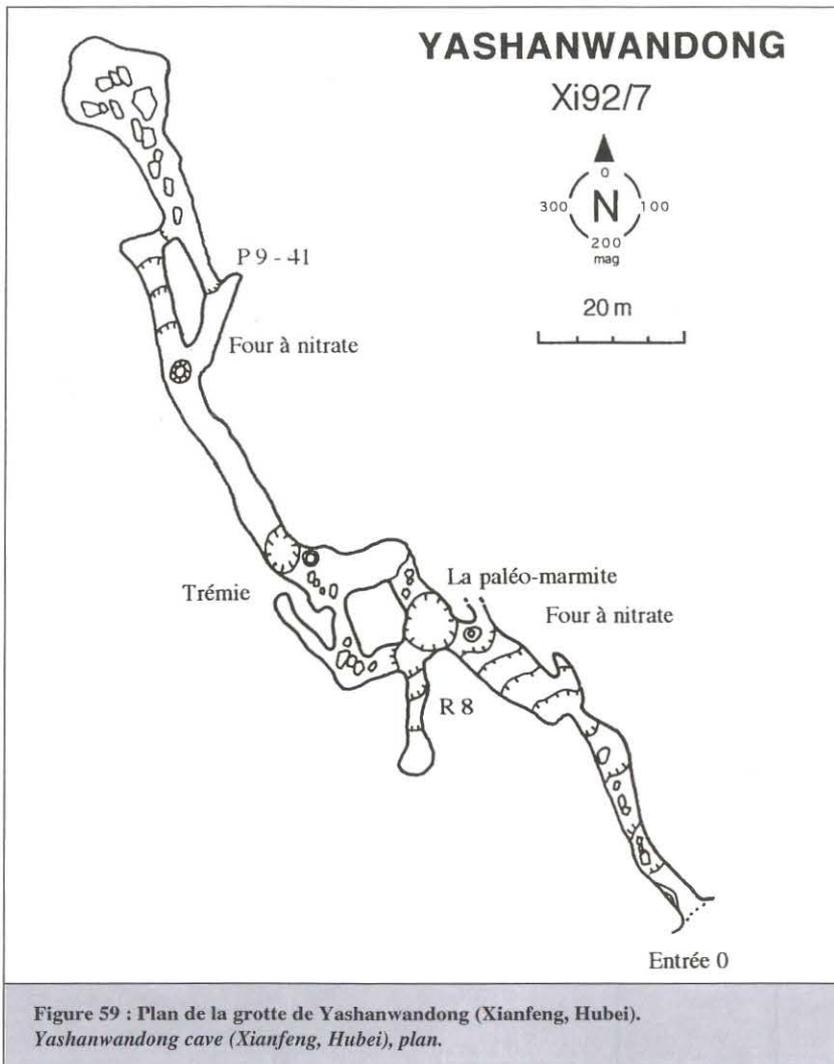
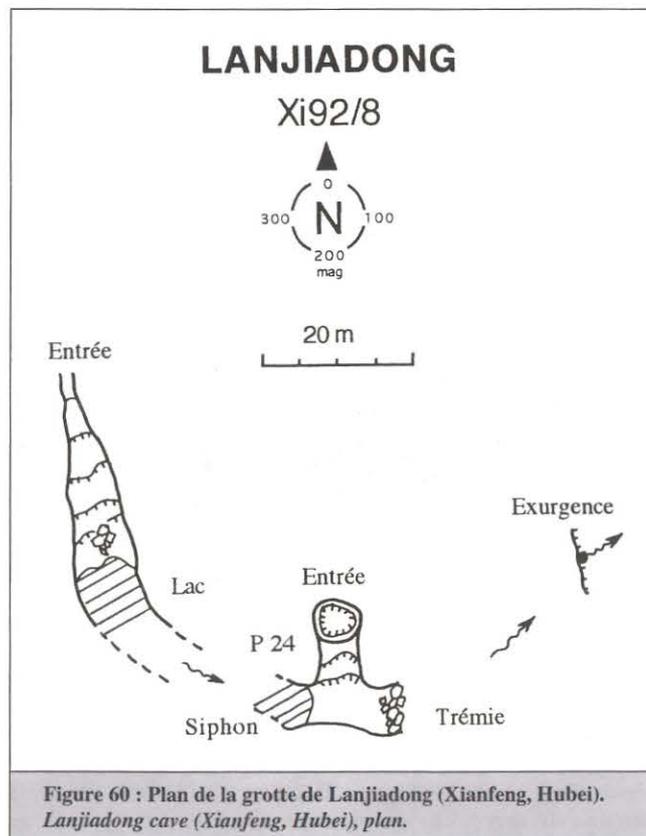


Photo 27 : Le porche de Bailongdong est occupée par une distillerie de maïs qui pollue très fortement la rivière. Cliché R.M.
The porch of Bailongdong is occupied by a maize distillery.



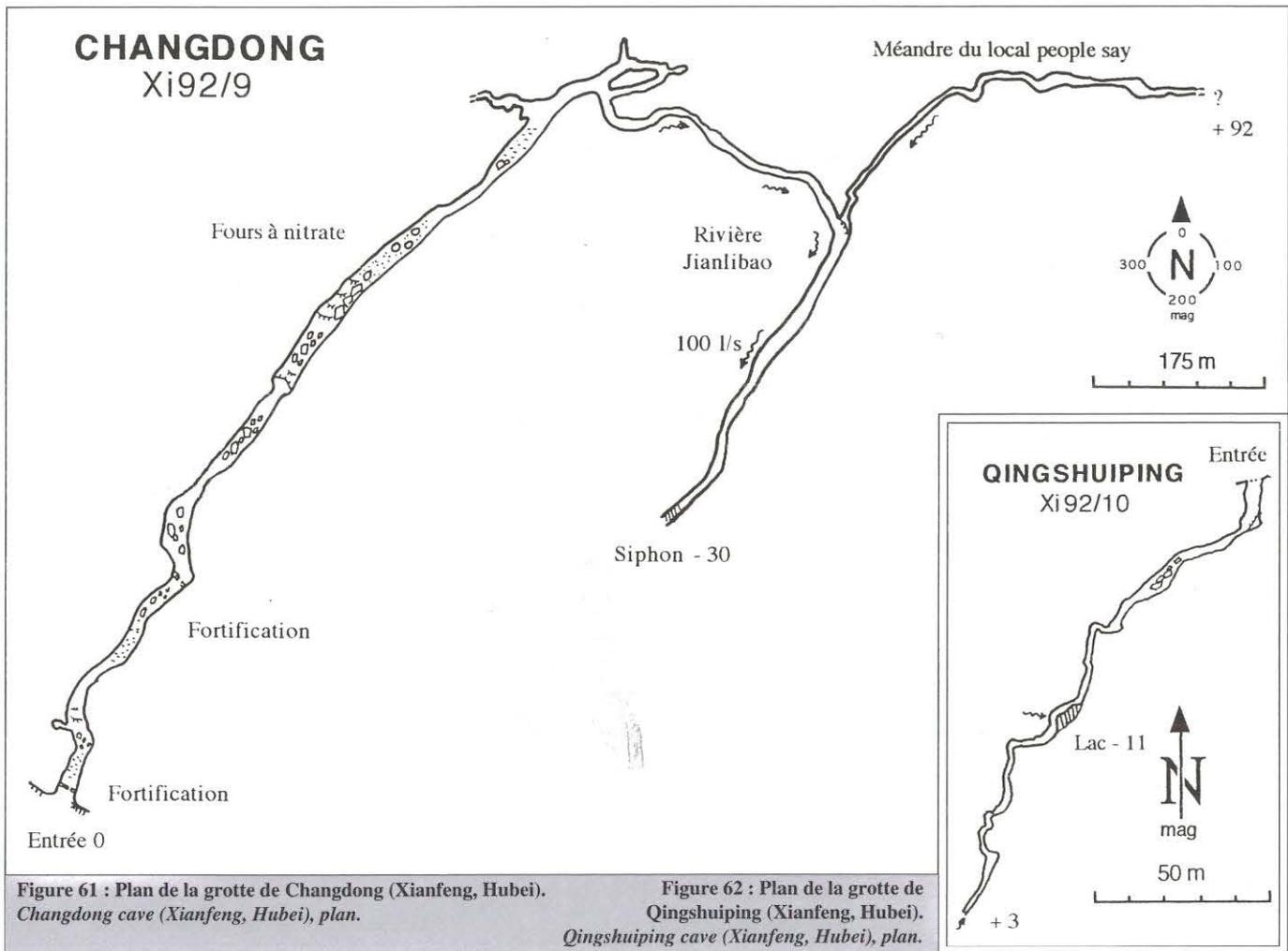


Figure 61 : Plan de la grotte de Changdong (Xianfeng, Hubei).
Changdong cave (Xianfeng, Hubei), plan.

Figure 62 : Plan de la grotte de Qingshuiping (Xianfeng, Hubei).
Qingshuiping cave (Xianfeng, Hubei), plan.

bien connue des paysans, s'ouvre au pied d'une falaise par un porche de 20 m de large et assez bas de plafond (3 m) qui est invisible du petit village situé 150 m en contrebas (15 mn de marche). Les deux cents premiers mètres de la galerie ont servi de grotte refuge comme l'atteste la présence de murs. Des bassins de lessivage pour les nitrates ont été construits à proximité des arrivées d'eau, aussi bien dans la grande galerie que dans de petits affluents aux accès pourtant peu évidents. La suite de la galerie, large de 15 à 20 m, est encombrée de blocs imposants.

A 1 km de l'entrée, nous entendons un bruit de rivière. Sur notre gauche, un petit torrent sortant des blocs emprunte un beau conduit descendant dont la section rectangulaire ou en fontis est soulignée par les bancs noirs et blancs du calcaire permien. Ce bel actif, alors en petite crue de janvier (100 l/s) — il fait un temps écossais à l'extérieur — se termine au bout de 600 m sur un siphon. Cet actif est baptisé «Rivière Jianlibao», du nom d'un célèbre jus d'orange gazeux chinois très sucré ! En rive gauche du Jianlibao, une jolie cascade de 3 m de 10 l/s fait impression ; elle sort d'un méandre, de style alpin, de 1,5 m à 2 m de large sur 6 à 8 m de haut. Nous le remontons rapidement en faisant fumer le topofil. Au bout de 500 m, la galerie s'élargit et donne sur une galerie d'effondrement cisailée par une belle faille normale, de direction N203, à jeu oblique. La galerie éboulue, large de 10 à 15 m, se termine sur une trémie dans laquelle nous n'avons pas insisté à cause de l'heure tardive ! Cette galerie, dite du «Local People Says», développe 600 m. (Richard)

D. QINGSHUIPING

«Grotte de la ville» (Xi92/10)

Dév. 201 m Dén. 14 m (- 11, + 3) Alt. 870 m

Cette petite grotte-méandre étroite et vaguement active ne mérite pas

d'autre description que celle de son accès ! Il faut se garer dans la rue principale, passer une porte cochère, longer un caniveau faisant fonction de basse cour, rentrer chez de braves gens et ressortir par la porte de derrière. Là, suivre un petit tuyau jusqu'à l'intérieur de la grotte (fig. 62). (Jean)

II. L'anticlinal de Xianfeng

Cette zone se situe à 4 km au NE de Xianfeng sur l'anticlinal du même nom, au niveau du poljé de Baishuiba. Une cavité assez importante (Bailongdong), bien protégée comme on le verra, se développe dans les calcaires du Cambrien. Il s'agit d'une grotte-émergence faisant partie d'un système perte-résurgence encore partiellement inconnu.

A. BAILONGDONG

«Grotte du dragon blanc» (Xi92/4)

Dév. 1 647 m Dén. 11 m (- 5, + 6)

L'entrée de Bailongdong, baptisée aussi grotte de la distillerie, ne paie pas de mine au premier abord : sous un tournant de la route, on y accède par de larges escaliers. L'entrée est totalement occupée par une fabrique d'alcool de maïs d'apparence lépreuse à cause des fumées. Une petite porte a été ménagée derrière un entrepôt et donne accès à une petite salle. Il y règne une atmosphère des plus désagréable, la chaleur et l'odeur nous donnent l'impression d'étouffer. Le sol et les parois sont entièrement recouverts d'un dépôt gras et on peut observer ça et là un «concrétionnement» d'une consistance douteuse.

La progression est vite arrêtée par un des obstacles les plus inquiétants qu'il nous ait été donné d'affronter : la rivière qui arrive tranquillement de la galerie forme une laisse d'eau où poussent, ou plutôt où vivent des corps gélatineux et informes du type Alien : «amas bactériens nourris par les effluents glucidiques de la

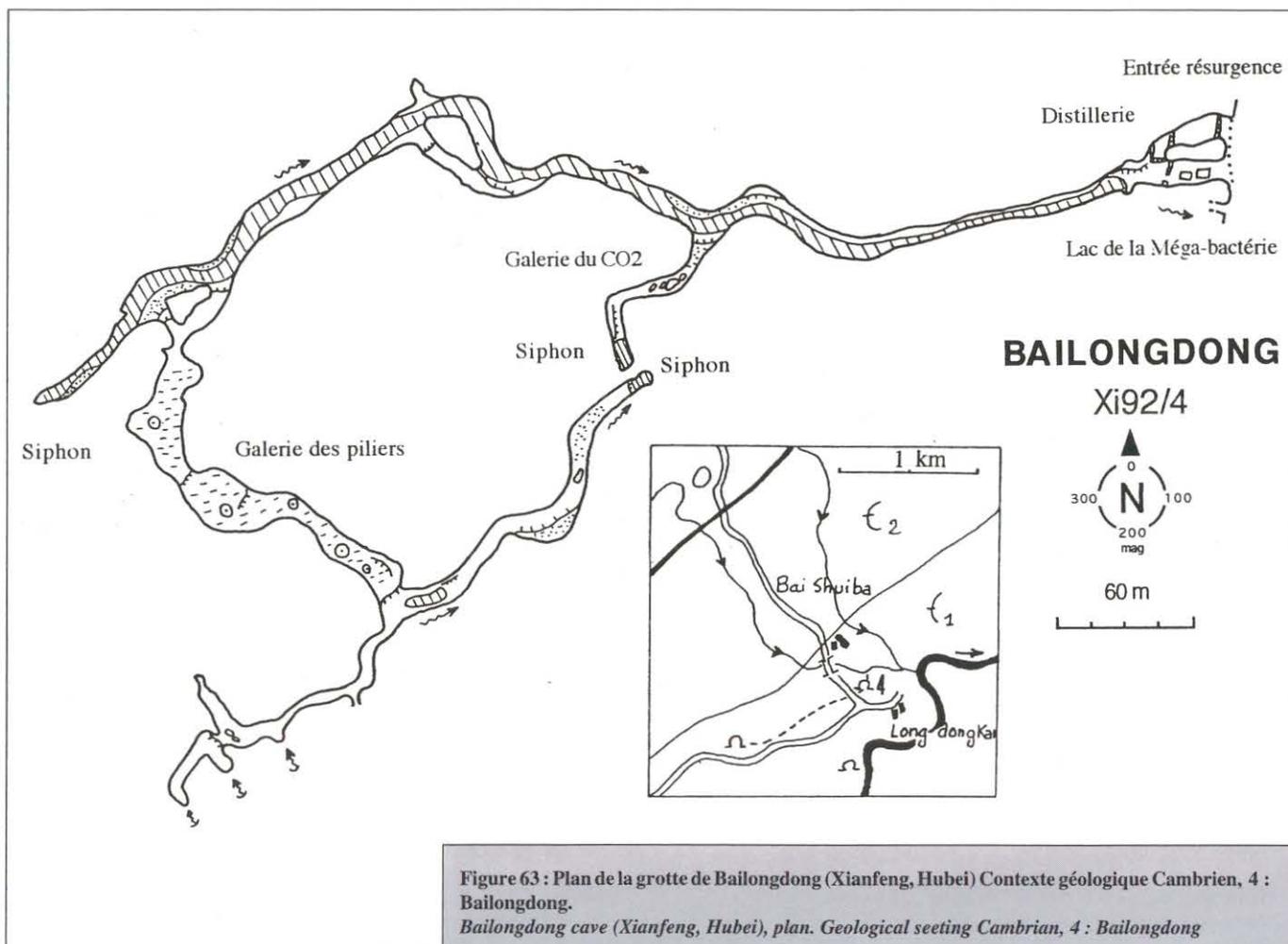


Figure 63 : Plan de la grotte de Bailongdong (Xianfeng, Hubei) Contexte géologique Cambrien, 4 : Bailongdong.
Bailongdong cave (Xianfeng, Hubei), plan. Geological setting Cambrian, 4 : Bailongdong

distillerie ! » suggère Richard qui a toujours le mot pour rire. Il faut dire que lui, le bougre, il a prévu une pontonnière. Et là, derrière, la galerie qui continue à perte de lumière... Pas question de me mouiller là dedans, je n'ai pas envie de faire le cobaye. Pendant que Richard fait une reconnaissance que j'espère infructueuse, avec un profond dégoût, je décolle les bottes des cailloux, rongés par je n'ose imaginer quoi, et les fait glisser lentement dans le liquide d'appellation non contrôlable. Surtout pas d'éclaboussure ! Et c'est toujours dans ces moments que l'on a envie de se gratter le nez ! A force de miracle et de motivation, j'arrive à rejoindre Richard, mais c'est au millimètre près que je garde les pieds au sec.

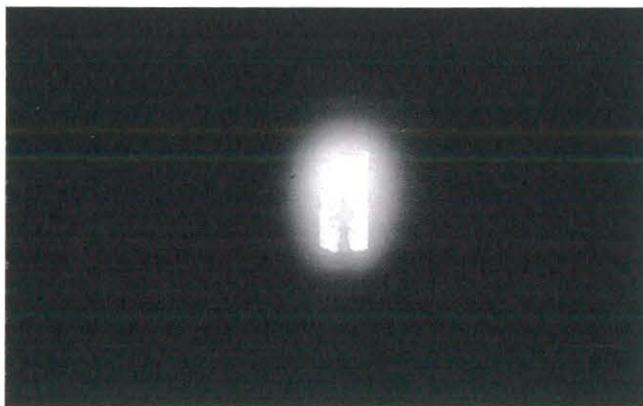
Cette folle prise de risque est récompensée : la rivière qui suit est très sympathique. Bien sûr, il faut souvent se mouiller au-dessus de la ceinture, mais comme nous allons vers l'amont, l'eau mérite de nouveau ce nom. La topo file bon train, les proportions de la galerie restent très avenantes. Assez rapidement, nous arrivons à un affluent signalé par les autochtones. Le parcours est moins aisé : les grandes laisses d'eau au fond plat laissent place à des petites escalades glissantes sur des blocs et des concrétions. Assez vite, un siphon met un terme à la galerie. La rivière principale poursuit son cours, puis la voûte s'abaisse progressivement, et c'est le siphon. Dommage, on allait atteindre 1 km de galerie. Au retour, par rigueur topographique, nous attaquons une boucle de méandre qui s'avère se poursuivre en galerie fossile pas très haute, mais large et concrétionnée. Nous arrivons alors en balcon dans un méandre. La branche de droite se divise en méandres et diaclases impénétrables. La branche de droite s'avère être un aval actif confortable ; mais assez rapidement, nous butons sur un siphon qui est probablement l'amont de l'affluent vu précédemment.

Cette résurgence nous aura finalement offert 1,6 km de galeries presque horizontales. Sa visite serait des plus agréables sans le danger bactériologique de l'entrée. (Jean)

Conclusion :

Ce comté très karstique, entrevu seulement pendant une semaine, nous a réservé de belles surprises avec des cavités de montagne de bonnes dimensions, dans une ambiance souterraine parfois alpine. Si la morphologie extérieure est moins spectaculaire qu'ailleurs, le potentiel endokarstique est important grâce aux nombreuses pertes actives ou fossiles qui jalonnent le contact entre le Permien calcaire et le Silurien schisteux. Comme ailleurs dans les autres karsts de Chine centrale, l'homme et la grotte constitue toujours un couple indissociable comme l'attestent aussi bien les anciennes habitations et fours à nitrates que les actuelles distilleries de maïs nichées dans les porches d'entrée des résurgences comme à Baishuiba ●

Photo 28 : Apparition fantomatique à Bozzo dans la grotte de la distillerie (Bailongdong). Cliché J.B.
Spectral apparition in Bailongdong cave !



LES CAVITÉS DU COMTÉ DE SANGZHI

✓ L'équipe

RÉSUMÉ : Le comté de Sangzhi, dans le nord du Hunan, est très riche en cavités karstiques. 10,6 km de topographie ont été réalisés en une semaine dans 7 cavités. Toutes se situent à quelques kilomètres au sud de la ville dans la terminaison SW du grand synclinal de Sangzhi. Il s'agit de grottes-tunnels chaudes et sèches développées dans les roches carbonatées du Trias inférieur et du Permien. Les grandes grottes fossiles de Shuangdong / Zhangjiadong (6 km) et Xiadong (1,1 km), séparées juste par une petite doline, forme le début d'un vaste système qui se dirige droit sur la rivière Lishuihe. Signalons l'existence de la grotte aménagée de Jiutiandong (5,7 km), dans les calcaires du Permien inférieur, qui est une des deux plus belles cavités aménagées de Chine.

Mots-clés : karst, grotte-tunnel, Trias, Permien, Hunan, Sangzhi, Shuangdong.

ABSTRACT: CAVES OF SANGZHI COUNTY (HUNAN). In the north of Hunan province, the Sangzhi area is rich in karst caves. To the south of the Sangzhi town, we have explored and mapped 10,6 km of passages in hot and dry fossil tunnel caves occurring in Triassic and Permian limestones between altitudes of 350 and 500 m a.s.l. At the right bank of Lishuihe river, the beginning of a vast underground network is compromised of the caves Shuangdong / Zhangjiadong (6 km) and Xiadong (1,1 km), which are separated only by an irrelevant doline. In the same area the beautiful show cave Jiutiandong (5,7 km long) is developed in Lower Permian limestones. It is one of the two most beautiful show-caves of China.
Keywords: Karst, tunnel-cave, Trias, Perm, Hunan, Sangzhi, Shuangdong.

ZUSAMMENFASSUNG: Die Höhlen des Bezirkes Sangzhi. Im Norden von Hunan liegt der höhlenreiche Bezirk Sangzhi. Innerhalb einer Woche wurden hier 10,6 km Gangstrecke in 7 Höhlen kartiert, die nur wenige Kilometer südlich der Stadt Sangzhi am südwestlichen Ende der gleichnamigen Synklinale liegen. Diese Höhlen sind fossil, trocken und warm, und haben sich in Kalken aus dem Unteren Trias und dem Perm entwickelt. Auf der rechten Seite des Lishuihe gelegen, bilden sie den Anfang eines unterirdischen Entwässerungssystems, das aus den Höhlen Shuangdong / Zhangjiadong (6 km) und Xiadong (1,1 km) besteht, welche lediglich durch eine Doline voneinander getrennt sind. Im selben Gebiet liegt in Kalken des Unteren Perm die 5,7 km lange Jiutiandong, die eine der beiden schönsten Schauhöhlen Chinas ist.

Stichworte: Karst, Durchgangshöhle, Trias, Perm, Hunan, Sangzhi, Shuangdong.

第四章 桑植县的洞穴

考察区位于桑植县城西南十余公里。在澧水河西侧，地质构造上属于复向斜中的桑植-官地坪向斜西南部翘起端，在向斜的南东翼。向斜核部为中三叠世巴东组碎屑岩。向斜轴向为 NEE，轴面略向南东倾斜，二翼倾角 30° 至 45°。所考察的洞穴绝大部分发育在早三叠世大冶组中，为厚度数百米的灰色薄层泥晶灰岩，夹厚层灰岩及白云岩。在下伏的晚二叠世碎屑岩不透水层下，早二叠世碳酸盐岩为另一个含水系统，发育了著名的九天洞。澧水河是区域排泄基准面。

向斜核部三叠纪红色碎屑岩组成海拔 300-400 米的丘陵，翼部呈条带状分布的二叠及三叠纪碳酸盐岩构成锥状喀斯特，即溶洼-丘峰山地景观，丘峰顶面海拔 600m 左右，溶洼表面海拔 400m 左右。分别代表了两个不同时期的剥蚀面。



Photo 29 : Le karst à buttes de Sangzhi après une petite chute de neige en janvier 93. Cliché J.P.B.

The Sangzhi cone karst in January 93 after a little snowfall.

Introduction

C'est dans ce vaste comté, s'étendant au nord de la province du Hunan, juste aux confins du Hubei, que nous avons terminé l'expédition. Notre reconnaissance spéléologique dans ce comté fait suite à une première expédition sino-belge en 1988 qui a visité Sangzhi, puis Wufeng et surtout Lichuan dans le nord du Hubei. Outre les zones que nous avons explorées à proximité de la ville (10,6 km de topographie, 7 cavités), entre 300 et 500 m d'altitude, nous avons repéré des secteurs montagneux intéressants dans le nord du comté, sur la route allant de Sangzhi à Hefeng. Cette région est bien desservie par les moyens de communication, notamment un express de canton et un aéroport à Dayun.

Mais cette région n'est pas uniquement karstique et nous avons pu visiter la fabuleuse forêt de pitons de Zhangjiajie, qui se développe dans les grès quartzitiques du Dévonien (photo 3 p.16). Cette zone est couverte par une abondante forêt ou sont recensés 850 espèces d'arbres dépendant de 96 familles et de 300 genres. Nous avons pu entre autre y admirer quelques spécimens de la flore chinoise et notamment un conifère, le *metasequoia glyptostroboïdes*, véritable fossile vivant puisqu'il se développait largement au Crétacé au niveau de l'actuelle zone arctique et a survécu jusqu'à nos jours. La faune recèle aussi quelques espèces rares ou en voie de disparition comme la salamandre géante, le léopard, l'ours. Ce parc national forestier a été classé héritage mondial par l'UNESCO.

- Géologie : Les zones explorées se situent dans la partie est de la terminaison sud du grand synclinal de Sangzhi. Les roches carbonatées sont représentées par le Trias inférieur et le Permien inférieur alors que les roches clastiques du Trias supérieur et du Crétacé occupent le cœur du synclinal. La rivière Lishuihe qui entaille son flanc sud forme le niveau de base des aquifères du Trias et du Permien.

- Présentation géographique : Ce vaste comté s'étend sur 3 500 km² au nord de la province du Hunan. Il est traversé par le cours supérieur de la rivière Lishuihe. Le point culminant (1 800 m) se situe dans les montagnes de Badagongshan aux confins du Hubei. La température moyenne annuelle se situe autour de 16 °C, les étés sont chauds avec des pointes jusqu'à 38°C et les températures hivernales peuvent descendre jusqu'à - 5 ou - 8°C. La population, de 420 000 habitants, se répartie selon une mosaïque de 18 ethnies. Elle compte seulement 14 % de Hans contre plus de 86 % de minorités nationales représentées par 17 ethnies, notamment les Tujia et les Bai.

- Présentation spéléologique : Finies les pertes d'altitude froides et humides, place aux grandes grottes-tunnels chaudes et

sèches, histoire de finir l'expédition au soleil ! Pourtant, c'est bien ici, à 300 m d'altitude, que nous avons marché dans la neige et erré à la nuit tombée à travers pitons et vallées sèches sous des déluges d'eau glacée ! Ici aussi nous avons travaillé très près de la ville et exploré 7 cavités qui développent au total 10,6 km. Les grandes grottes fossiles de Shuangdong-Zhangjiadong (6 km) et Xiadong (1 142 m), qui sont séparées juste par une petite doline, forme le début d'un système intéressant qui se dirige tout droit sur la rivière Lishuihe. Au cours de notre séjour, nous en avons aussi profité pour visiter la superbe grotte aménagée de Jiutiandong qui se développe dans les calcaires du Permien inférieur sur 5 726 m. Elle est sans doute, avec la grotte de Dajidong dans le Guizhou, une des deux plus belles cavités aménagées de Chine. Dans ce comté 1 000 cavités ont été recensées dont 464 ont fait l'objet de publication.

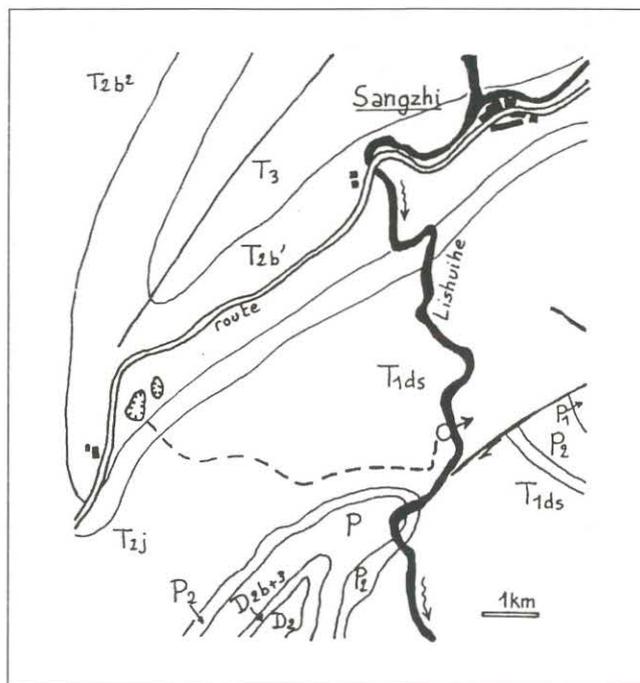


Figure 64 : Contexte géologique de la zone étudiée dans le comté de Sangzhi (Hunan). Etage géologique cf fig. 5 p.12.

Sangzhi County (Hunan): Geological map of studied area. (cf fig. 5 p.12.)

Tableau 7 : Spéléométrie des cavités explorées dans le comté de Sangzhi (Hunan).

Cave data, Sangzhi County (Hunan).

Nom	N°	Village	Long. Est Lat. Nord	Alt. (m)	Dév. (m)	Dénivelé (m)	Stratigraphie	Note
BANBIANQIU Grotte de la demi colline	SA922				60	- 60	Permien	Continue
XIAODONG 2 Grotte du nitrate n°2	SA924		110°06,4' 29°21,5'	440	147	- 12	Trias	
GUANYINDONG Grotte de Guanyin	SA921	Shuidong		515	617	33 (- 30, + 3)	Permien	
LIANGFENGDDONG Grotte du vent froid	SA923			380	1 913	86 (- 51, + 35)	Trias	
SHUANG+ZHANGJIADONG Grotte double/de la famille Zhang	SA925	Fengyanwu Zhangjiawan	110°06,8' 29°21,4'	390	6 643	167 (- 85, + 81)	Trias	
WUJIAWANDONG	SA926		110°07' 29°22'		250	- 50	Trias	
XIADONG Grotte inférieure	SA927	Zhangjiawan			1 412		Trias	Continue

LE COMTÉ DE SANGZHI EN QUELQUES CHIFFRES

Superficie = 3 500 km²
Altitudes extrêmes = 150 m, 1 800 m
Population = 420 000 hab.
Températures = 16°C
Précipitations = 1 412 mm/an
Densité = 120 hab./km²
Capitale = Sangzhi
Nationalité dominante = Tujia et Bai (17 minorités représentant 86,31 %)
Agriculture = maïs, riz, tabac, arachide
Ressources = Agriculture 60 %, industrie 40 %

I. Les cavités du Permien

Les cavités développées dans les calcaires du Permien se situent près du village de Shuidong, à 9 km au SSE de Sangzhi. Ce secteur se place en réalité à la limite entre la terminaison SW du synclinal de Sangzhi et la terminaison NE de l'anticlinal axé sur la vallée encaissée de la Kuzuhe au fond de laquelle affleurent les grès quartzitiques du Dévonien. La cavité la plus importante de ce secteur est la superbe grotte de Jiutiandong (alt. 380 m) aménagée pour le tourisme depuis 1988, longue de 5,7 km, qui présente de vastes galeries fossiles de plus de 50 m de large très concrétionnées ; au-dessous se développe un étage actif représenté par une petite rivière souterraine explorée sur près de 2 km en 1988 par une équipe spéléo sino-belge (MASSCHELEIN et ZHANG Shouyue, 1988). L'amont de cette rivière serait en relation avec un autre actif découvert par les spéléos belges à la base d'un magnifique puits de 124 m s'ouvrant à proximité de Jiutiandong (- 185 m, 435 m). Nous ne décrivons ci-dessous deux modestes cavités, Guanyindong et Banbianqiu, mais un important travail reste à faire dans ce secteur de Jiutiandong, y compris dans la grotte aménagée.

A. GUANYINDONG

«Grotte de Guanyin» (Sa92/1)

Dév. 617 m Dén. 33 m (- 30, + 3) Alt. 515 m

Cette cavité se situe à 1 km au sud de la grotte aménagée de Jiutiandong, près du village de Shuidong. A partir de Jiutiandong, il faut monter au SE le flanc de la colline, passer la crête, redescendre de l'autre côté et suivre à flanc la vallée encaissée de la Kuzuhe sur 500 m. La grotte est située sur le versant à 515 m d'altitude dans les calcaires à silex du Permien inférieur. Cette cavité avait déjà été visitée par les habitants jusque dans des recoins assez étroits. Le réseau se constitue d'une galerie principale, subhorizontale, de 20 à 100 m² de section.

Quelques départs latéraux se terminent assez vite sur des remplissages hermétiques. Les remplissages sont très abondants : planchers stalagmitiques, argiles, sables et graviers ; et les concrétions sont anciennes, ternes, souvent basculées. De nombreuses arrivées d'eau se font au plafond, par des cheminées verticales d'allure très alpine, qui perforent le plancher vers le fond de la cavité. Les eaux, érosives et corrosives, dégagent ainsi les sédiments et creusent de courts méandres où la roche est bien polie avant de se perdre dans des suçoirs ou de petits puits. Il doit y avoir quelques colonies de chauve-souris comme l'attestent des tas de guano, mais elles n'étaient pas visibles lors de cette exploration. La visite est possible sans cordes malgré quelques ressauts un peu raides : arrêt sur des étroitures sévères, sans courant d'air.

Comme l'entrée correspond au recouplement du réseau par le creusement de la vallée, on peut donc supposer que ce réseau subhorizontal, aujourd'hui perché plus de 300 m au-dessus de la rivière, est une grotte ancienne qui s'est formée à proximité du niveau de base, sans doute au cours du Tertiaire supérieur. (Bernard et Richard)

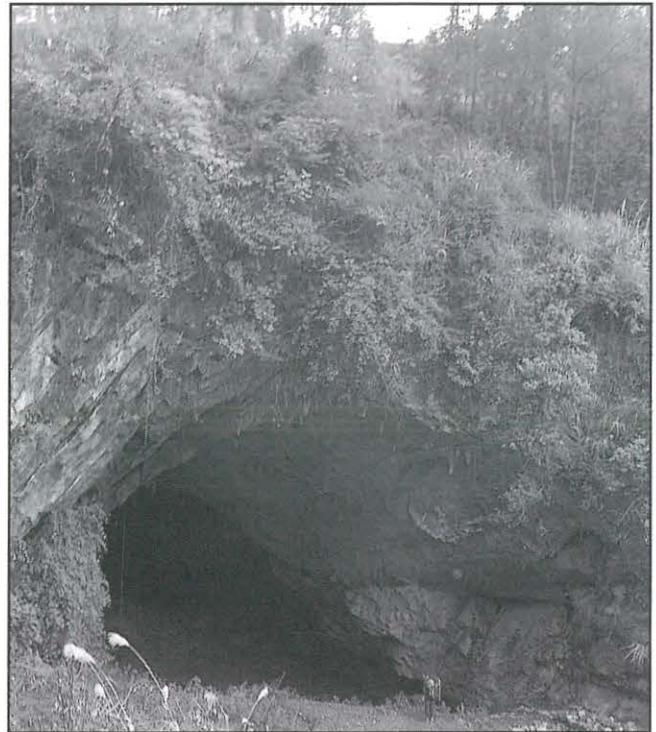


Photo 30 : L'entrée de Shuangdong est une ancienne doline d'effondrement qui donne accès au réseau Est. Cliché R.M.
The Shuangdong entrance is an old collapse doline.

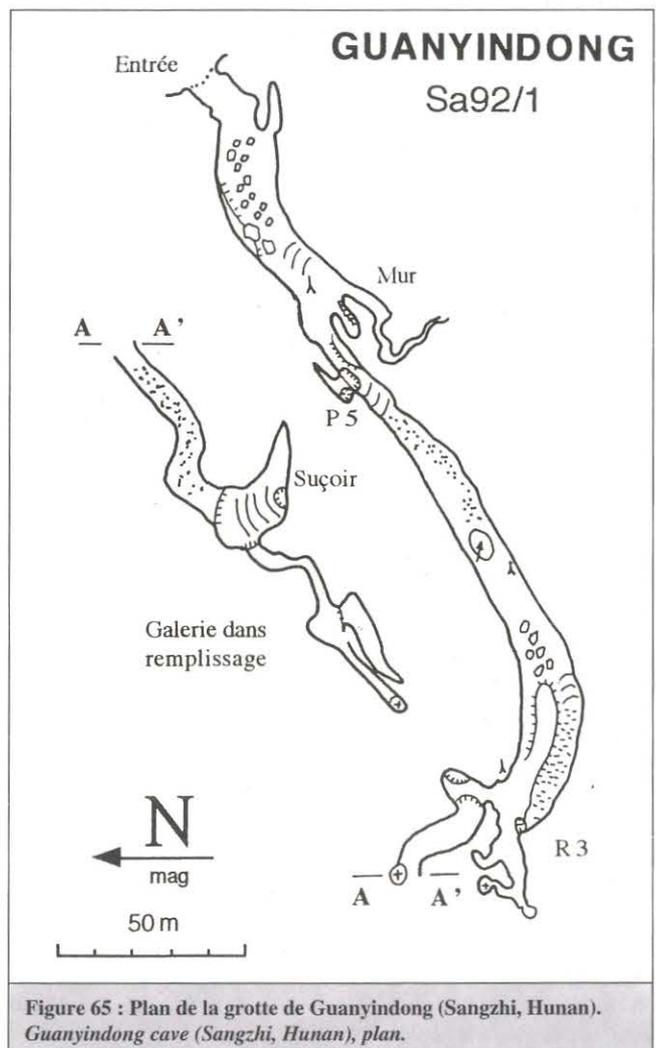


Figure 65 : Plan de la grotte de Guanyindong (Sangzhi, Hunan).
Guanyindong cave (Sangzhi, Hunan), plan.

B. BANBIANQIU

«Grotte de la demi colline» (Sa92/2)

Dév. 60 m Dén. - 60 m
Ce puits se situe au fond d'un talweg cultivé percé d'un chapelet de dolines alignées sur l'axe de la combe. L'une d'entre elle, un entonnoir de 10 à 15 m de diamètre, est cernée par la végétation et donne directement sur un puits. Celui-ci, dédoublé sur les 15 premiers mètres, est de belles dimensions : 15 m x 8 m. Par manque de corde nous nous arrêtons à - 60 sans atteindre le fond ; nous estimons sa profondeur à au moins 90 m. Ce gouffre ressemble au puits de 124 m exploré par nos collègues belges. Juste à côté existe un petit trou dans lequel les paysans du coin, ou «local people», nous ont fortement déconseillé d'entrer. D'après leurs explications, il s'agirait d'une ancienne mine dans laquelle la présence de gaz rend l'exploration dangereuse. (Sylvain)

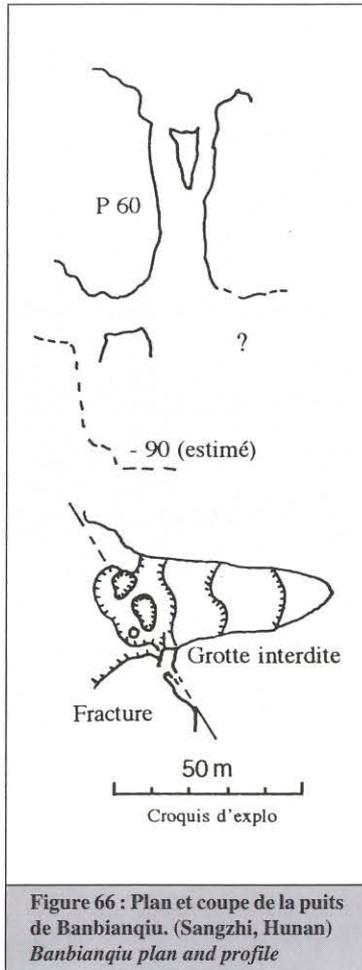


Figure 66 : Plan et coupe de la puits de Banbianqiu. (Sangzhi, Hunan) Banbianqiu plan and profile

II. Les cavités du Trias

Les cavités explorées dans le Trias se situent à environ 2 km au nord de la zone permienne de Shuidong que nous venons de visiter brièvement. Ce secteur est facilement accessible de Sangzhi en empruntant sur une dizaine de kilomètres la route qui se dirige au SW. 40 mn à 1 h 30 de marche sont cependant nécessaires pour atteindre la zone intéressante localisée vers 350-450 m d'altitude, sur la terminaison «en fond de bateau» du synclinal de Sangzhi. Les différentes grottes inactives topographiées font partie d'un ancien système, actuellement en grande partie déconnecté du système actif, qui est recoupé par l'érosion à cause du soulèvement de la région au Tertiaire supérieur et au Quaternaire. On observe ainsi de splendides porches fossiles perdus et cachés au milieu de la montagne, au fond de dolines aménagées pour les cultures ou sur les pentes, comme les entrées du superbe réseau de Shuangdong / Zhangjiadong ou encore l'entrée fumeuse de Xiadong, dite aussi grotte de la vapeur.

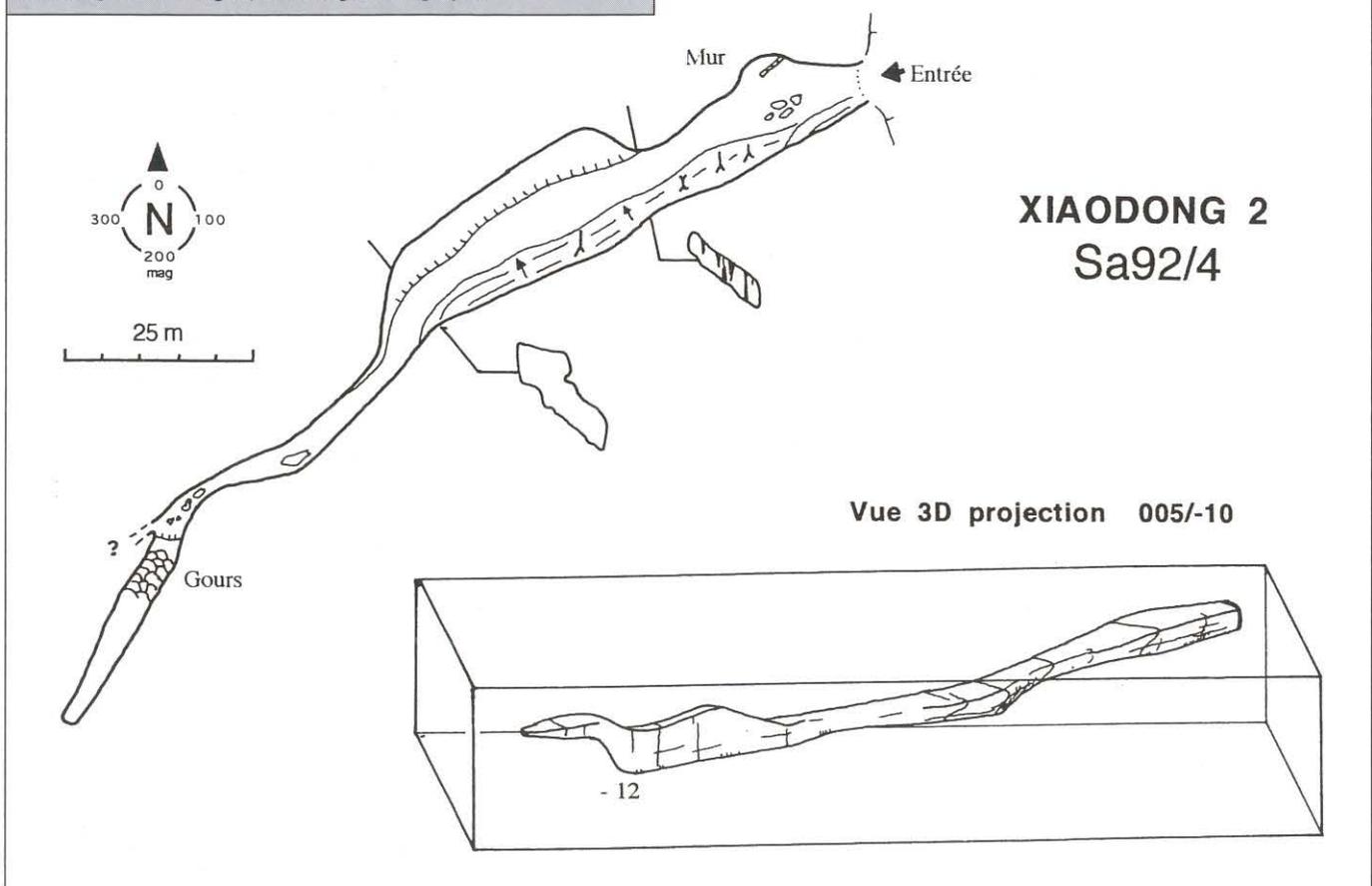
A. XIAODONG 2

«Grotte du nitrate 2» (Sa92/4)

Long. 110° 06,4' E Lat. 29° 21,5' N Alt. 441 m
Dév. 147 m Dén. - 12 m

Elle se situe non loin du petit village isolé de Fengyanwu. Depuis la grotte de Shuangdong que l'on atteint en 40 mn depuis la route, il faut remonter pendant 15 mn dans le grand axe de la doline jusqu'au premier replat important ; on remonte ensuite pleine pente jusqu'à un col. L'entrée est de petites dimensions — elle nous été indiquée par des paysans — et se trouve à gauche du col au pied d'une toute petite barre rocheuse. Il s'agit en fait d'une cavité fossile de 150 m de long qui se développe subhorizontalement dans la direction des couches, au SW, sans être influencée par le pendage qui atteint ici plus de 50°. Elle est ornée de vieilles concrétions très sèches et se termine sur une

Figure 67 : Plan et coupe de la grotte de Xiaodong 2 (Sangzhi, Hunan). Xiaodong 2 cave (Sangzhi, Hunan), plan and profile.



coulée stalagmitique agrémentée de gours à sec lors de notre exploration. Compte tenu de sa position haut perchée et de son caractère subhorizontal, il ne fait pas de doute que nous avons affaire à un très vieux drain d'âge tertiaire. (Jean-Pierre)

B. SHUANGDONG / ZHANGJIADONG

«Grotte double, Grotte de la famille Zhang» (Sa92/5)

Long. : 110° 06,18' E Lat. 29° 21,34' N Alt. 390 m (coord. de Shuangdong)

Dév. 6 243 m Dén. 166 m (- 81, + 85)

Il s'agit d'une vaste grotte-tunnel, de plus de 6 km de développement (5 entrées), subdivisée en deux parties au niveau d'une doline d'effondrement qui a recoupé la grotte (entrées de Shuangdong). On distingue ainsi un réseau ouest long de 1,4 km (3 entrées) et un réseau oriental de presque 5 km (2 entrées). La double entrée de Shuangdong, située non loin du village de Fengyanwu, se situe à 40 mn de la route et à 390 m d'altitude au fond d'une belle doline aménagée en terrasses de cultures circulaires. En réalité, on observe ici un complexe de quatre entrées : les deux de Shuangdong, et deux autres un peu plus hautes : Chengqiangdong (la grotte du mur) et la grotte de Xiaodong 1 (grotte du nitrate 1).

Le porche principal de Shuangdong permet d'accéder au réseau Est tandis qu'un deuxième porche, caché et dissimulé car bas de plafond, permet de rejoindre la partie ouest ; on peut également rejoindre le réseau ouest en passant directement par les entrées supérieures de la grotte du mur et de la grotte de Xiaodong 1 qui ont servi d'habitat refuge comme en témoignent les nombreux aménagements, murs et terrasses. La cinquième entrée du réseau se situe à l'est, au fond du hameau de Zhangjiawan : c'est la pittoresque grotte de Zhangjiadong qui constitue la sortie du réseau Est. Une petite doline la sépare de Xiaodong qui développe 1 143 m (voir infra).

- **Le réseau Ouest** est constitué par un vaste conduit de 20 à 40 m de large qui s'étire sur 1,4 km de développement vers l'WSW. La première partie est très rectiligne et la boîte topo fume ! Même que Bernard Collignon en serait jaloux puisque c'est là que la visée la plus longue de l'expédition a réellement lieu (136 m) et non sur un certain lac souterrain du comté de Wufeng (134 m). Après les blocs et les sédiments argileux des 250 premiers mètres, la galerie devient moins austère. On avance maintenant sur des cascades de gours à sec et de larges coulées stalagmitiques plus ou moins actives qui «éclairent» la progression ; et l'on peut découvrir çà et là de nombreuses perles des cavernes.

A 500 m de l'entrée, on remonte une puissante coulée sur plusieurs dizaines de mètres. Au-dessus de nous, la lumière de nos acétylènes est renvoyée sur ce qui semble être un plafond vaporeux parfaitement horizontal. Quelle est donc encore cette «chinoiserie» ? Encore quelques mètres et... d'un coup nos têtes émergent du plafond qui n'est autre qu'un véritable nuage de brouillard. La vision de cette surface blanche suspendue délicatement dans le silence minéral de la grotte est saisissante. Fuf tente une photo de cette vision fantomatique, mais nous ne verrons rien du résultat. Cette chose a-t-elle vraiment existé ? En fait, l'explication est simple : il s'agit d'une poche d'air chaud (reliquat de l'été) piégé au plafond de la galerie par l'aspiration d'un air plus frais ; au contact de l'air chaud, une nappe de brume s'est formée par condensation.

La suite du réseau est du même acabit : quelques blocs, parfois un peu d'argile de décantation dans les creux et surtout de multiples coulées où les bottes adhèrent parfaitement. La galerie «topoclassico» marque la fin du réseau ouest ; elle se termine sur un siphon d'argile dans la partie basse et au sommet par une énorme obstruction de 50 m de long sur 20 m de haut associant coulée de calcite, stalagmites et boue. D'après les indications d'un paysan, il existerait sur le plateau une petite entrée à fort courant d'air à peu près à l'aplomb de la zone terminale. (Richard)

- **Le réseau Est** est plus complexe que le réseau Ouest que nous venons de parcourir. Le porche principal de Shuangdong, large

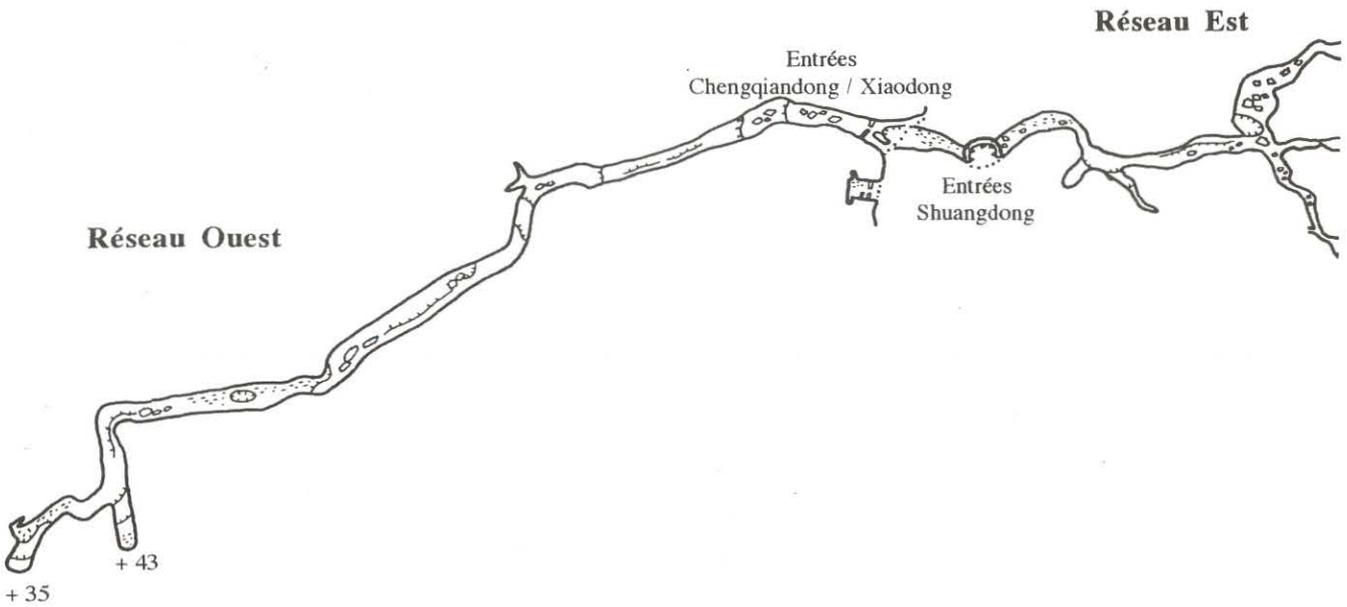
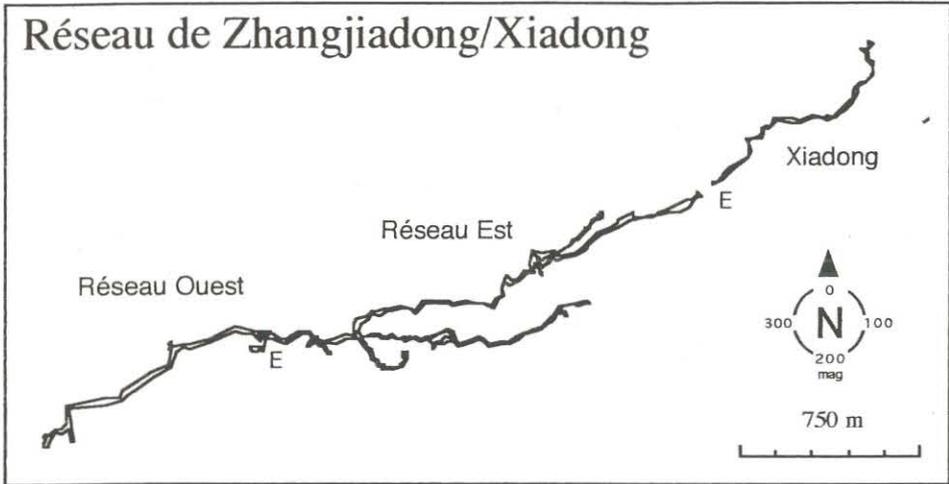
de 25 m sur 15 m de haut, donne dans une large galerie qui descend d'une quinzaine de mètres pour atteindre un fond plat argileux que l'on suit sur 80 m, puis la galerie devient rocailleuse avec des amas de blocs. A 330 m de l'entrée, le réseau se divise en trois galeries dont une est difficile à trouver, bien qu'elle se situe dans le prolongement : c'est la «galerie cachée» découverte par un fureteur des familles, j'ai nommé le Bozzo continental ! (voir infra). Mais ce premier jour, Bozzo et Cyriaque ne la voient pas ; ils n'ont d'yeux que pour cette galerie, large de 10 à 12 m, qui file au SE. Ils s'y enfoncent en faisant grincer le topofil. Le conduit se poursuit sur 400 m en formant un arc de cercle et prend une taille moyenne de 6 à 8 m de large, avec un plancher argileux dans la dernière partie. Arrêt sur une petite salle avec une étroiture dans un "appendice rétrosécal" !

Au carrefour, la deuxième équipe s'enfonce au nord dans une vaste galerie remontante pleine de blocs gros comme des maisons. En fait de deuxième équipe, je suis seul, mais la topo ne pose guère de problème : il suffit d'attacher le bout du fil et de faire des visées arrière. C'est ainsi que je m'enfonce dans l'inconnu après avoir gravi le talus de départ. Bien que je ne le sache pas encore, j'ai fait le bon choix, car je suis dans le passage de la future jonction avec Zhangjiadong. Pour l'instant les blocs défilent dans une galerie large d'au moins 30 m ; à 130 m du carrefour, j'oblique plein est. Je franchis rapidement un lac temporaire, à sec en cette période. Devant, une haute galerie en canyon, de 10 à 15 m de large sur plus de 30 m de haut, présente un fond plat sur lequel je progresse religieusement jusqu'à des gours d'argile ! Je regarde le compteur du topofil : déjà 530 m d'engranger — il faut au moins que je revienne avec une borne histoire de maintenir le rythme. A 700 m du carrefour, la galerie bifurque vers le NNE et commence à faire des montagnes russes un peu plus marquées ; elle monte et descend avec des gours secs et des coulées stalagmitiques, agrémentés de quelques escalades et désescalades faciles ; mais quand on est seul, on est toujours plus prudent. Après un ressaut de 5 m, je remonte un bombement constitué de gours secs magnifiques : les cristaux de calcite se brisent en criissant sous mes pieds devenus pourtant plus légers. Je me retrouve au sommet d'une jolie salle de 25 m de diamètre toute tapissée de gours : voilà près de 1 km que j'avance. Serais-je au bout de la galerie ? Non, celle-ci se rétrécit sur 6 m de large et descend au nord sur un toboggan de calcite où coule un filet d'eau. Je jette un caillou dans le noir par acquis de conscience : plouf ! La descente est facile et me voici devant un lac dont le fond est boueux. Pas question de le traverser seul : il faudra revenir. (Richard)

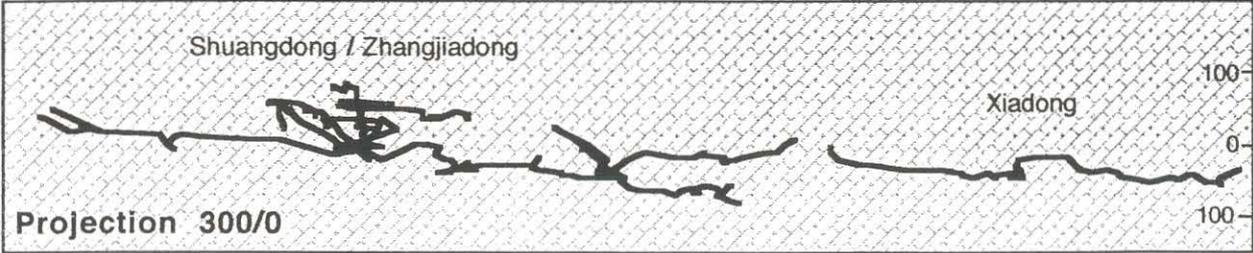
Le lendemain Bozzo et Cyriaque reviennent au carrefour et découvre la galerie cachée. Comme son nom l'indique, celle-ci n'est pas des plus faciles à trouver. Il faut fouiner entre les blocs du grand carrefour et emprunter un petit passage qui semble avoir été dissimulé. La galerie qui suit prend parfois des airs de mine, jonchée de petits cailloux parfois rangés en tas ou en murs. Au bout de 200 m, en haut d'une coulée de calcite, une étroiture forme comme un nouveau poste de garde ; on trouve tout de suite derrière deux sièges de pierres adossés à des colonnes. La galerie a alors meilleure figure, les gours et les concrétions sont abondants ainsi que les fours à nitrates. On trouve des flèches et des inscriptions qui semblent être des points topos d'un autre âge. Souvent, des petits puits de 2 à 3 m percent le plancher stalagmitique aux endroits où l'on s'y attend le moins, tels des pièges tendus aux topographes étourdis. De petits ressauts en concrétions diverses, la galerie file tranquillement jusqu'à son terminus, un puits de 5 m qu'il faut descendre et remonter à la force des bras sur quelques rataillons. Dans une petite lucarne en méandre, nous retrouvons la lampe d'un précédent visiteur, un morceau de bambou contenant encore un bout de chiffon vaguement imbibé de pétrole. Au retour, nous visitons quelques diverticules dont une grande salle inclinée remontant jusqu'à une galerie vite terminée sur un puits remontant. (Jean)

- La jonction par l'entrée de Zhangjiadong constitue une jolie et facile ballade souterraine. Mais en ce rude hiver de janvier 93, les rizières de Sangzhi sont sous la neige. Il fait un froid de canard. En face de nous, le trou de Xiaodong fume de l'air chaud comme un «steamboat».

Figure 68 : Plan du réseau de Shuangdong-Zhangjiadong-Xiadong (Sangzhi, Hunan).
 Shuangdong-Zhangjiadong-Xiadong cave (Sangzhi, Hunan), plan.

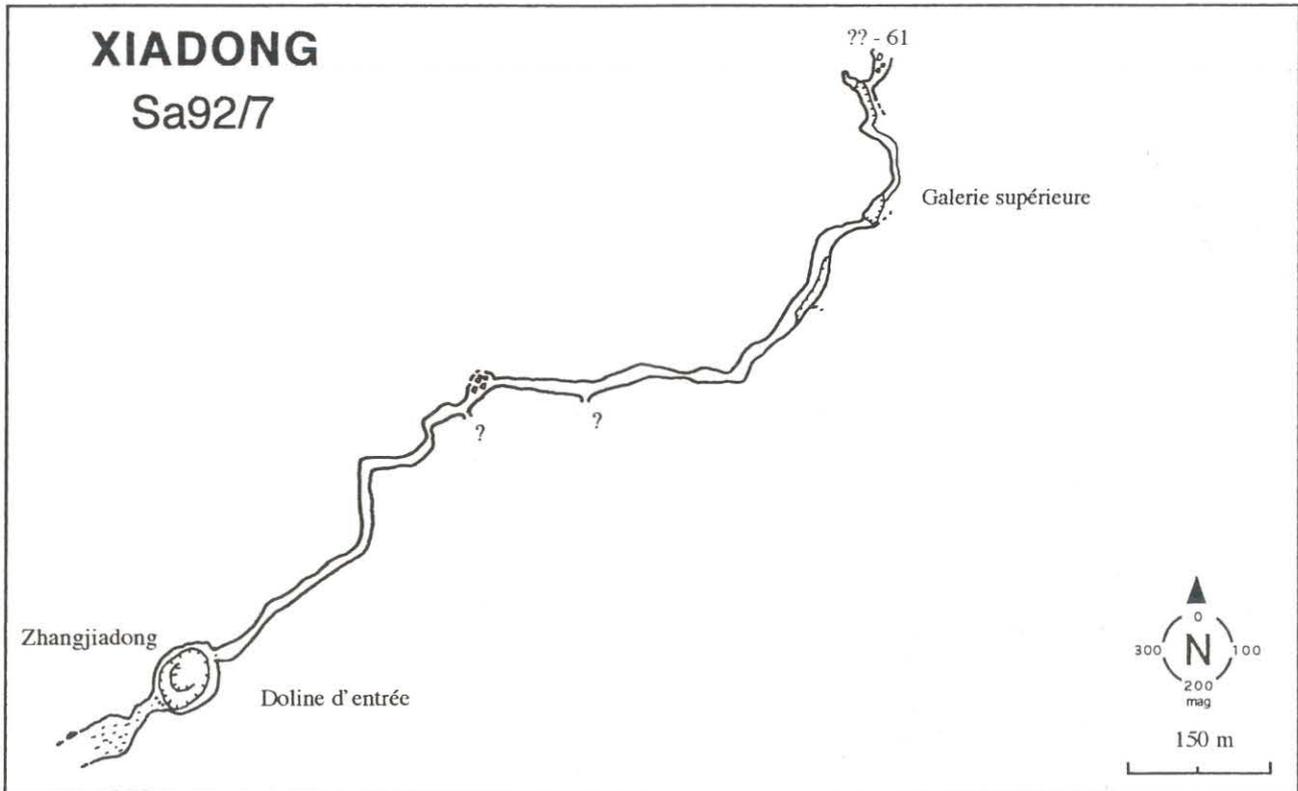
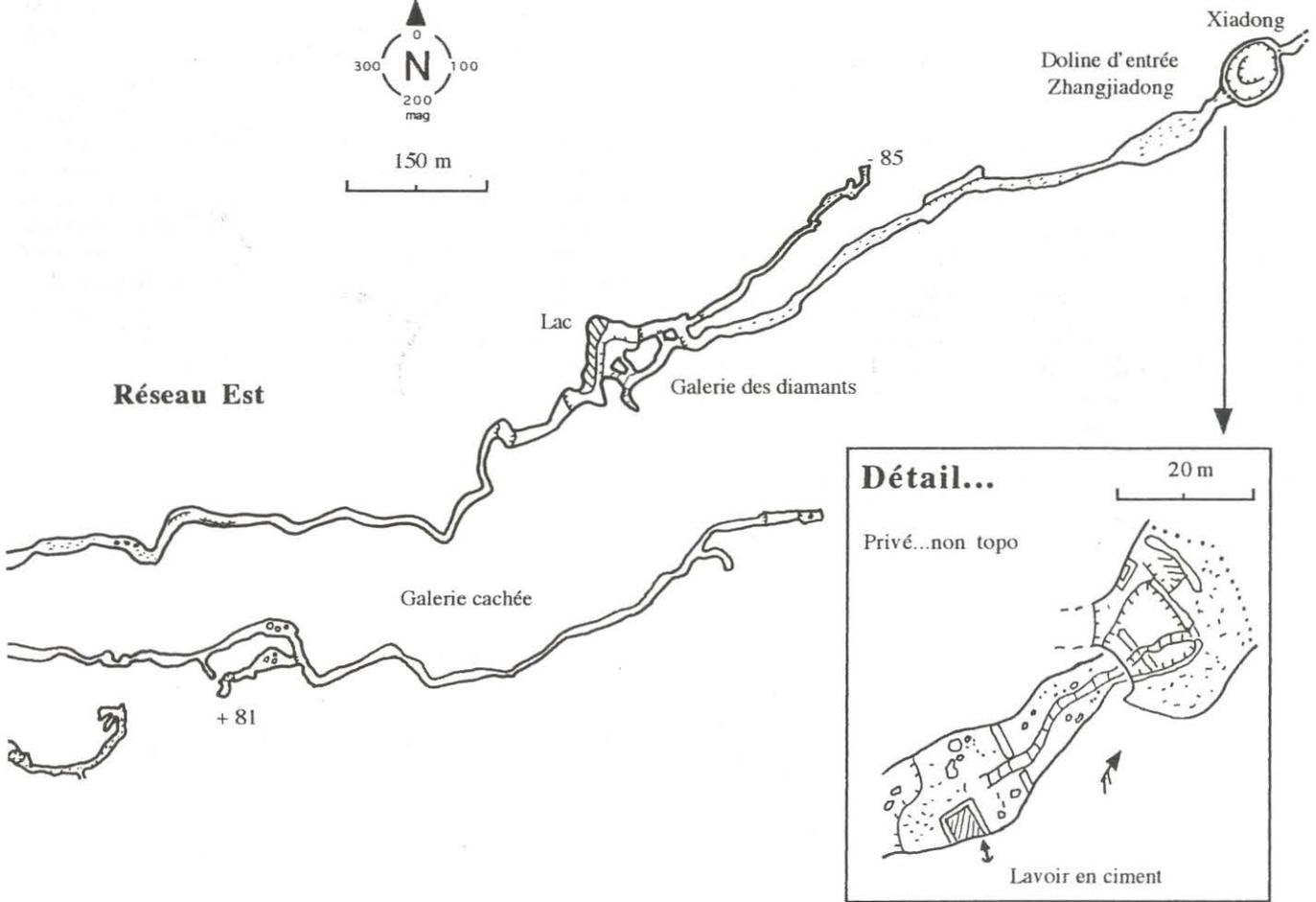
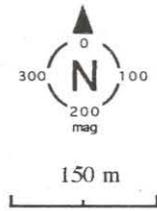


SHUANGDONG-ZHANGJIADONG
 Sa92/5



SHUANGDONG-ZHANGJIADONG

Sa92/5



Quant au porche de Zhangjiadong, il devient un havre de douceur, soufflant lui-aussi un air doux à 18°C tandis qu'il fait 15° de moins à 20 m de là ! On comprend pourquoi ce porche est actuellement habité, avec force bercails, porcs gras et canetons, et son micro-village dénommé Zhangjiawan. 15 m plus bas, il y a un lavoir où triment plusieurs femmes du village. Nous les croisons en les saluant tandis que le père Daniel, un mégot au lèvres, fait son office de grand topographe devant l'Éternel avec Jean-Pierre comme assistant, lui-aussi le cigarillos au bec. C'est une journée qui s'annonce bien. La topo défile dans une galerie descendante de bonne taille, puis les tronçons se succèdent, pratiquement rectilignes, vers l'WSW dans un conduit large de 10 à 20 m ; le plancher est tantôt argileux, tantôt rocailleux, agrémenté de quelques gours et coulées. Voilà 1 km de topo : il est l'heure de rentrer et Daniel est content.

Le lendemain, rebelote, avec les compères Richard et Sylvain et Daniel en moins. Nous reprenons la topo pour buter sur un lac au bout de 100 m à peine. Cà y est, c'est sans doute le lac en question, celui sur lequel le Richard s'est arrêté en solo. Celui-ci scrute les ténèbres, mais ne semble pas vraiment reconnaître les lieux. Il faut en avoir le coeur net, bon chien ! On gonfle alors le canot percé, et qui va prendre pied dans un tel esquif, à votre avis ? Le compère Richard bien-sûr puisque c'est lui qui connaît l'autre côté. Inutile de mouiller du monde pour rien. L'embarquement à la Bozzo, en se jetant dedans, n'arrange rien. Au milieu du bief, le canot est au trois quarts dégonflés et prend de la gîte. Le spectacle est magnifique et Richard décide de mettre pied en pleine eau : pas question de continuer un tel cirque dans un canot aussi pourri. «Çà y est, je reconnais mon terminus». La jonction avec Shuangdong est réalisée ! Au retour, une galerie longue de 300 m, parallèle à la galerie principale, est topographiée. Une escalade aérienne assez facile est réalisée en libre sur une quarantaine de mètres et permet de découvrir en balcon, au-dessus du lac de la jonction, la galerie des diamants. Dans ce recoin protégé du réseau scintillent des coulées et des gours secs étincelants, certains gris-acier, d'autres brillants comme des diamants. (Jean-Pierre et Richard)

C. XIADONG

«Grotte inférieure» (Sa92/7), appelée aussi Grotte de la vapeur ou «Steamboat»

Dév. 1 143 m Dén. - 50 m

Le même jour de la jonction Zhangjiadong / Shuangdong, une équipe se jette dans la fameuse cavité fumante située juste en face de Zhangjiadong (voir supra). A l'entrée de la grotte, un mur retient la terre de la doline et un petit canal a été aménagé pour laisser se perdre les eaux de pluie. Le nuage de vapeur qui sort par temps froid du porche est dû à un phénomène de convection limité à l'entrée : l'air froid descend la pente très raide, se réchauffe dans la vaste galerie horizontale qui lui fait suite, et ressort en longeant la voûte.

La galerie est un vaste corridor caractérisé par de longs sols plats ; parfois, des éboulis ou des concrétions transforment ce billard en montagnes russes, mais le parcours reste agréable. A 1 km environ de l'entrée, les coulées stalagmitiques semblent gagner leur long combat contre le vide ; mais déjà, un surcreusement leur vole la victoire. Après une longue vire, suivit d'imposantes colonnes de calcite, un puits barre le passage. Sur la droite, par des escalades et des vires, La Rouille poursuit la galerie jusqu'aux limites du raisonnable : le passage est trop exposé et il faut nous résoudre à descendre le puits. Il est interdit de rire : j'avais depuis longtemps misé sur la régularité de la galerie pour abandonner lâchement cordes et équipement, ce qui me vaut un footing de 1 km. La Rouille nous équipe le puits en un clin d'oeil et encore moins de spits ! Tant mieux, on n'a pas que ça à faire : c'est notre dernière journée d'exploration. En bas, le passage nous paraît bien maigrichon, mais ça passe. Tout à coup, au-dessus de nos têtes, nous retrouvons la galerie, mais elle reste inaccessible. Nous sommes arrêtés par un petit ressaut. Arrêtés ? Non, car des marches discrètement taillées par un prédécesseur nous sauvent la mise. Ces

traces sont les premières que nous remarquons dans cette grotte qui est en fait très peu visitée. Après s'être fourvoyé dans un lami noir sans intérêt, nous finissons par trouver le passage qui nous reconduit à la galerie. Et c'est sur une belle stalagmite blanche, au milieu d'une galerie de 15 m de large, que nous laissons notre dernier point topo. Nous repartons vers la sortie au pas de charge : l'équipe sortie de Zhangjiadong risque de nous attendre. (Jean)

En effet, dehors l'équipe attend ! Il fait déjà entre chien et loup quand nous démarrons, mais au bout de 30 minutes de marche forcé, nous devons admettre que nous sommes peut-être dans la mauvaise direction. Il fait une nuit d'encre et nous commençons à tourner en rond dans la neige, les murets, les rizières, la boue... Mais où aller sans carte ? Heureusement nous savons deux choses : le réseau est orienté E-W et la ville de Sangzhi est forcément vers le nord. Nous décidons de sortir lâchement la boussole Sisteco qui nous sauve la mise puisque nous constatons que nous nous dirigeons à l'opposé, c'est-à-dire vers la rivière Lishuihe. Le retour se fait au pas de charge, droit dans la montagne, puis dans les rizières détrempées.

D. WUJIWANDONG

(Sa92/6) Long. : 110°07' E Lat. 29°22' N

Dév. 250 m Dén. - 50 m

Cette cavité fort connue des habitants est un remarquable exemple de l'utilisation des grottes dans la vie des paysans chinois. En cette zone de qiufeng où ne coule aucun ruisseau et aucune source, elle sert depuis des temps immémoriaux de point d'eau pour les fermes alentours. L'entrée, une belle doline d'effondrement, est suivie d'une galerie en forte pente, encombrée de blocs. Un petit sentier aménagé pour les lourdes charges des porteurs d'eau serpente dans la descente. Dans cette galerie, haute de 20 m, le concrétionnement abonde et de grosses coulées actives ou inactives obstruent parfois la totalité du passage. En bas un petit ruisseau s'écoule entre les blocs et les obstructions de calcite ; et des bassins artificiels ont été creusés pour pouvoir mettre un seau. Nous perdons la rivière dans un minuscule siphon et poursuivons la galerie jusqu'à une salle de belles dimensions. En remontant un peu, nous sommes arrêtés au sommet d'un ressaut de 5 m. Malheureusement, nous n'avons pas de cordes avec nous ce jour là ; en bas seul un coin d'ombre échappe à notre vision, la suite est peut être là ! (Jean-Pierre)

E. LIANGFENG DONG

«Grotte du vent froid» (Sa92/3)

Dév. 1 913 m Dén. - 86 m Alt. 380 m

On accède à la galerie de la rivière par le puits caractéristique qui perce le plancher de la galerie fossile. Il ne nécessite pas de corde et se poursuit par une galerie déclive aux nombreux petits départs ventilés et non vus. Peu après un carrefour permet soit de descendre à droite sur une quinzaine de mètres jusqu'à une laisse d'eau profonde qui nous a arrêté malgré un très bon courant d'air ; soit de franchir à gauche un passage agrandi à l'explosif, puis de descendre 10 m plus loin un ressaut de 7 m (corde de 15) donnant accès à la rivière (5l/s). Nous sommes alors dans une grosse galerie sur fracture que la rivière n'emprunte pas mais traverse de part en part. L'aval se poursuit un instant grâce à trois petits regards puis siphonne irrémédiablement. On continue vers l'amont en «traversant» la paroi de droite qui n'est en fait qu'un barrage artificiel (tentative de captage d'eau) percé d'un petit tunnel. La galerie prend alors de bonnes dimensions (10x10) et on marche dans d'imposants dépôts d'argiles, sans doute dus au barrage, jusqu'à une zone qui semble siphonner. Un affluent rive gauche se termine sur trémie. A noter que nous avons été rejoints pratiquement au terminus par trois enfants de 8 à 10 ans armés de lampes de poche, le tout à presque deux kilomètres de l'entrée, derrière un ressaut vertical de 7 m et dans la boue jusqu'aux genoux...

Sacrés explorateurs !

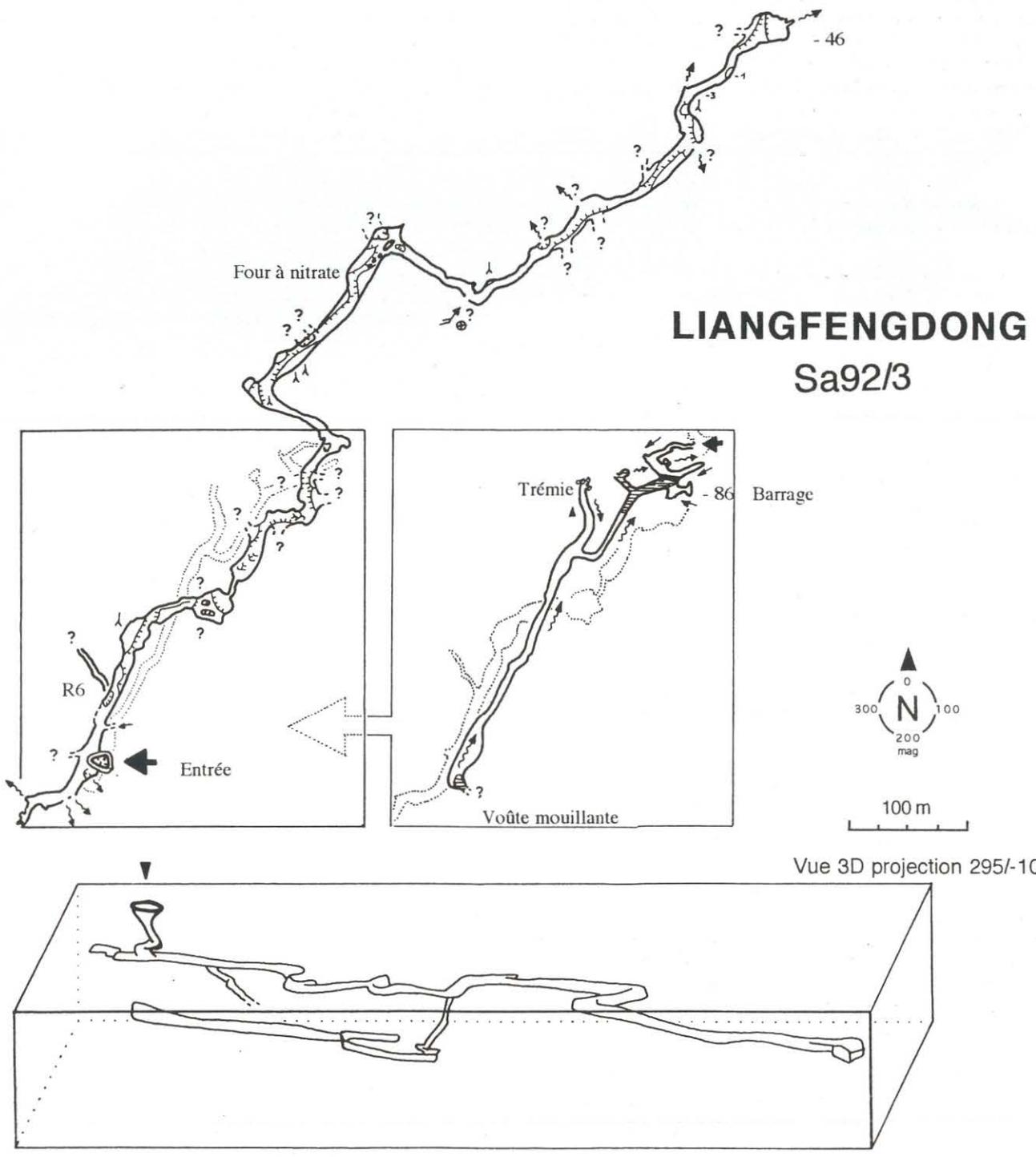


Figure 69-70 : Plan et coupe de la grotte de Liangfengdong (Sangzhi, Hunan).
Liangfengdong cave (Sangzhi, Hunan), plan & profil.



Photo 31 : La vaste galerie d'entrée de la grotte fossile de Shuangdong (réseau Est). Cliché R.M.
The large entrance gallery of Shuangdong (East branch).



Photo 32 : Le porche de Zhangjiadong, encore utilisée comme abri, constitue l'entrée inférieure du réseau de Shuangdong. Cliché J.P.B.

The Zhangjiadong porch (actually used as shelter) is the lower entrance of Shuangdong tunnel cave.

ÉVOLUTION DES KARSTS DE MONTAGNE DE CHINE CENTRALE

Chapitre 5 par Bernard Collignon et Jin Yuzhang

QUALITÉ DES EAUX KARSTIQUES

Chapitre 6 par Simon Pomel et Richard Maire

**RELATION ENTRE LES REMPLISSAGES SOUTERRAINS ET
LA DÉSTABILISATION DE L'ENVIRONNEMENT**

Chapitre 7 par Richard Maire

CLIMAT, MORPHOLOGIE ET GENÈSE DES CAVITÉS

Chapitre 8 par Simon Pomel et Richard Maire

**FORMATION D'UN KARST CONIQUE À PARTIR DE LA
COUVERTURE DE FLYSCH**

Chapitre 9 par Richard Maire et Simon Pomel

ÉVOLUTION MORPHOLOGIQUE DES KARSTS DU HUBEI

QUALITÉ DES EAUX KARSTIQUES

✓ Bernard COLLIGNON et JIN Yuzhang

RÉSUMÉ : Les régions montagneuses de Chine centrale sont très peuplées. Quelle est la qualité de l'eau dans une région aussi peuplée ? Trois catégories de pollution par l'homme ont été envisagées au cours de cette étude : l'agriculture, les eaux usées et les rejets industriels. La pollution nitratée d'origine agricole est faible, parce que les paysans chinois utilisent peu d'engrais chimiques. La pollution bactérienne est très forte, car la population est très dispersée, y compris sur tous les affleurements karstiques. Même les sources de montagne contiennent des bactéries d'origine fécale. Il y a encore peu de grosses unités industrielles dans la région, ce qui limite le niveau de la pollution chimique. Mais le développement actuel de l'industrie privée est potentiellement dangereux, car il manque une autorité réellement chargée de la protection de l'environnement. On en a un bon exemple avec les nombreuses petites mines de charbon qui se sont ouvertes depuis 15 ans et qui produisent une forte pollution par les métaux lourds.

Mots-clés : karst, qualité de l'eau, Chine, agriculture, nitrates, bactéries coliformes, mines de charbon, métaux lourds.

ABSTRACT : QUALITY OF KARST WATERS. The mountainous karstic regions in central China are very populated. What is the quality of the water in such a crowded region ? During the speleological expeditions GEBIHE 89 and DONGHE 92, three kinds of pollution by man were investigated : agriculture, waste waters, industry. The well known agricultural pollution by nitrates is very weak, because the Chinese farmers use very few chemical fertilizers. The bacteriological pollution by waste waters is very strong, because the population is widely scattered in the mountains. Even the small springs contain faecal bacteria. There are few big industrial plants in these regions, and for this reason the level of chemical pollution is not so high. But the present development of private small industry is very hazardous because of the lack of environmental authority. The numerous small coal mines show this hazard : they bring a very high level of heavy metals pollution in the waters.

Keys-words : karst, water quality, China, agriculture, nitrate, coliform bacteria, coal mine, heavy metals

ZUSAMMENFASSUNG: Die Berggebiete Zentralchinas sind mit 200 Einwohnern/km² dicht besiedelt und es stellt sich die Frage, wie die Wasserqualität in einer Gegend aussieht, die so dicht besiedelt ist. Im Verlauf dieser Studie sind diejenigen drei Kategorien von Abwässern in Betracht berücksichtigt, die von Landwirtschaft, Haushaltung und Industrie herrühren. Die Nitratbelastung landwirtschaftlicher Herkunft ist gering, weil chinesische Bauern wenig chemische Düngemittel verwenden. Die bakterielle Belastung dagegen ist stark weil die Bevölkerung verstreut wohnt. Selbst kleinste Zuflüsse sind belastet und auch Quellen Gebirge enthalten Bakterien fäkaler Herkunft. Weil nennenswerte Industrie in diesen Gegenden sehr selten vorkommt, ist die chemische Gewässerbelastung begrenzt. Der gegenwärtige Aufschwung privater Industrie bildet aber eine potentielle Gefahr, weil eine wirksame Autorität zur Durchsetzung umweltschützerischer Belange fehlt. Ein gutes Beispiel sind die zahlreichen kleinen Kohlegruben, die in den letzten fünfzehn Jahren aufgefahren wurden und eine starke Schwermetallbelastung bewirken.

Stichworte: Karst, Wasserqualität, China, Landwirtschaft, Nitrat, coliforme Bakterien, Kohlengrube, Schwermetalle.

第五章 喀斯特水水质及地下水文网的功能

通过二次中一法洞穴考察,在人口密集的喀斯特山区,水质主要受到生活废水及废物的细菌污染。农业及工业的污染不严重。逐渐发展起来的小型工业因缺乏环境意识而具灾难性,大量的小煤窑致使水受到严重的重金属污染。随着工业及农业现代化的迅速发展,这一地区在廿一世纪初可能被严重地污染。水文地质学家必须获取更多的水质及污染机制的信息,以帮助地方当局确定对该地区最优开发方案并保护其水资源。

I. Qualité chimique et bactériologique des eaux karstiques

Au cours de l'hiver 92/93, nous avons analysé une centaine d'échantillons d'eau dans les régions karstiques de Chine centrale (Provinces du Hubei et du Hunan). Le but de ces analyses était d'évaluer l'impact de l'homme sur la qualité des eaux. En effet, bien qu'il s'agisse de régions rurales assez reculées, toutes ces zones sont très peuplées (100 à 200 hab/km²). Leurs eaux souterraines sont d'autant plus vulnérables à la pollution qu'il s'agit de régions karstiques, où l'infiltration comme les transits souterrains sont très rapides. La qualité des eaux ne fait l'objet d'aucune surveillance, ce qui augmente encore les risques pour l'homme.

A. DES EAUX TYPIQUEMENT KARSTIQUES

Le faciès chimique des eaux que nous avons analysées est tout à fait typique du karst : les bicarbonates de calcium et de magnésium représentent plus de 80 % de la minéralisation dans tous les cas (à l'exception de 2 échantillons d'eaux sulfatées, liées à des couches de charbon, et dont nous reparlerons ci-dessous).

Le ratio magnésium / calcium est évidemment plus élevé dans les aquifères dolomitiques. Ceux-ci sont un peu plus fréquents dans les séries du Cambro-Ordovicien que dans le Permien et le Trias. C'est une situation assez fréquente en Chine (ZHANG SHOUYUE, 1987). Il ne faut cependant pas en faire une règle générale. En 1989, nous avons visité des aquifères dolomitiques dans le Trias du Guizhou.

B. LES ÉQUILIBRES CALCO-CARBONIQUES

Dans toutes les cavités où nous l'avons dosé, le gaz carbonique est très peu abondant (0,5 à 0,06 % dans plus de 80 % des cas). Cette observation rejoint celles que nous avons faites en 1989 et celles qui avaient été faites par Camille EK lors des expéditions belgo-chinoises. Dans de nombreux autres karsts du monde, on a observé une baisse des teneurs en CO₂ atmosphérique durant l'hiver, quand l'activité biologique des sols est minimale. Mais les teneurs observées dans le Hubei nous semblent particulièrement faibles. Nous pensons que ces faibles teneurs sont liées à la composition des sols, particulièrement pauvres en matière organique et donc peu propices à une activité biologique, une fois que les récoltes ont été coupées.

Tableau 8 : Caractéristiques moyennes des eaux de diverses formations géologiques (toutes les concentrations sont exprimées en mg/l).
Medium composition of ground waters in different geological settings (all concentrations are in ppm).

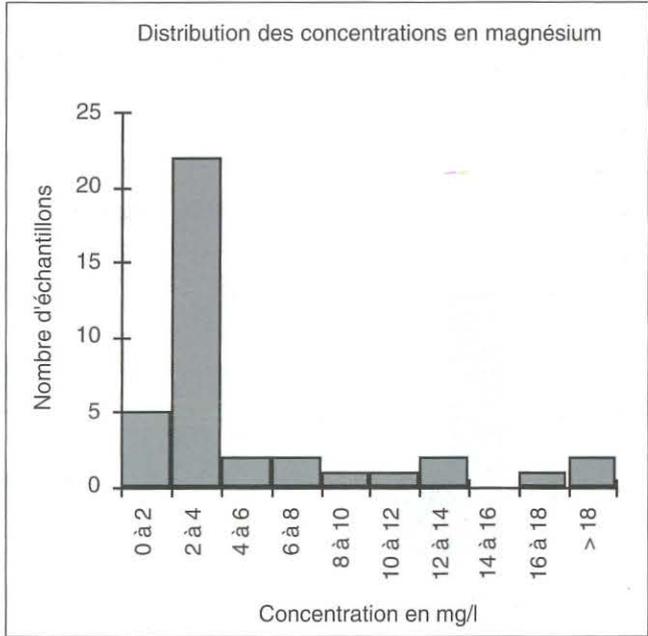
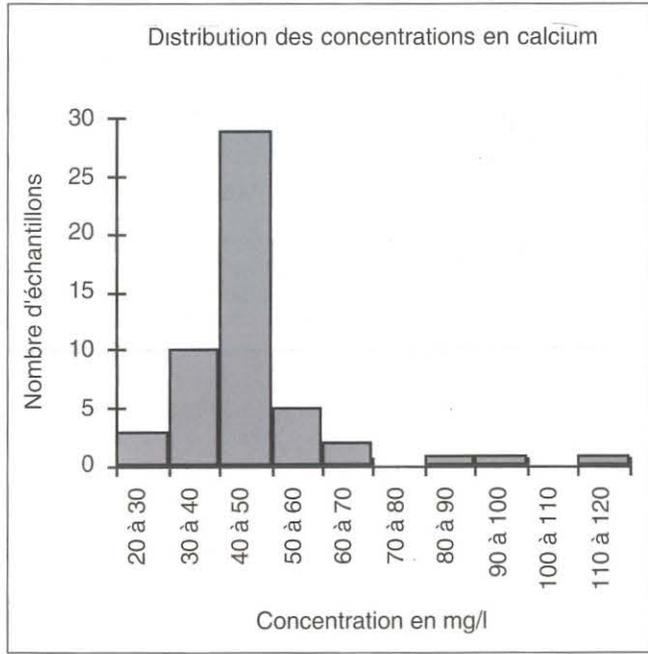


Figure 71a, 71b : Distribution des teneurs en calcium et magnésium dans les eaux des karsts de Chine Centrale.
Calcium and Magnesium in the karstic waters of Central China.



Caractéristiques moyennes des eaux de diverses formations géologiques

	pH	NO3	HCO3	SO4	Cl	Na	K	Ca	Mg	Sr	Fe
CAMBRO-ORDOVICIEN											
moyenne	8,27	5,80	160	9,2	1,74	2	2,09	42	8,17	0,23	
écart-type	0,17	4,40	9,9	9,6	2,09	1,05	0,55	10,8	4,96	0,19	
rappel analyses 1989			145	16	5	3	2	53	4		0,8
PERMIEN											
moyenne	8,4	4,1	147	47	0,89	1,92	1,65	54	5,3	0,29	
écart-type	0,1	2,1	11,6	89	0,37	0,47	0,7	23	6,43	0,24	
TRIAS											
moyenne	8	3	147	9,3	0,9	1,63	1,91	47	5,2	0,38	
écart-type	0,5	2	25	4	0,81	0,94	1,07	7,3	5,4	0,21	
rappel analyses 1989	8,2		123	55	4	2,3	1,7	55	6,5		0,9

En hiver, les eaux souterraines sont donc pauvres en CO_2 . Leurs pH sont assez élevés (8 à 8,4 en moyenne), bien qu'elles ne soient pas très chargées, ni en calcium (30 à 60 mg/l), ni en bicarbonates (140 à 160 mg/l).

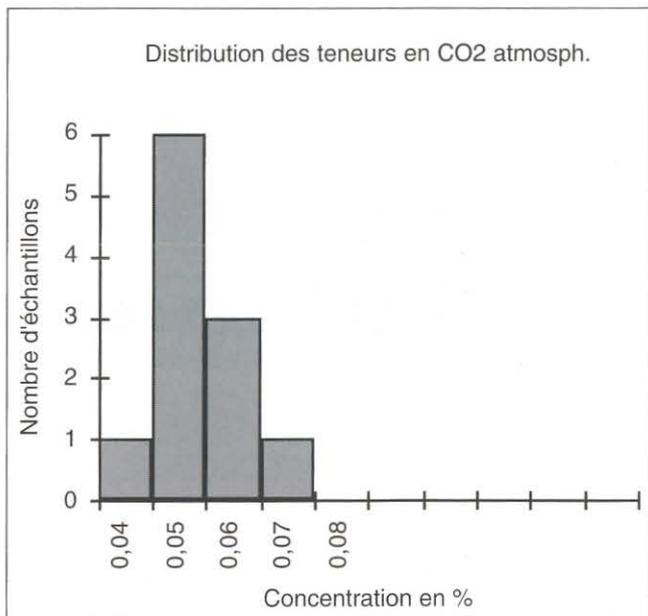


Figure 72 : Distribution des teneurs en CO_2 atmosphérique. En hiver, l'atmosphère souterraine des grottes du Hubei est très pauvre en CO_2 .
During winter, the caves air doesn't contains much CO_2 .

C. CHLORURES, SODIUM ET POTASSIUM

Dans toutes les eaux que nous avons analysées, les chlorures, le sodium et le potassium sont très peu abondants. Le cas des chlorures est intéressant, car les concentrations mesurées sont toujours très faibles : de 0,1 à 3 mg/l dans tous les échantillons d'eau de source, et 0,3 à 0,6 mg/l dans la pluie. Il est vrai que les sources de chlorures sont plutôt rares. Les 3 sources classiques dans les karsts européens font ici défaut : la mer (dont les embruns chargent l'atmosphère) est éloignée de plus de 1 000 km, les évaporites (gypse et sel gemme) sont peu abondantes et le salage des routes est inexistant.



Photo 33 : L'atmosphère des villes de Chine centrale (ici Hefeng) est polluée en hiver par les fumées de combustion du charbon sulfureux, ce qui explique l'importante acidité des eaux de pluies en zone urbaine. Cliché S.P.

The atmosphere in the urban milieu is polluted in winter by the combustion of the sulphurous coal.

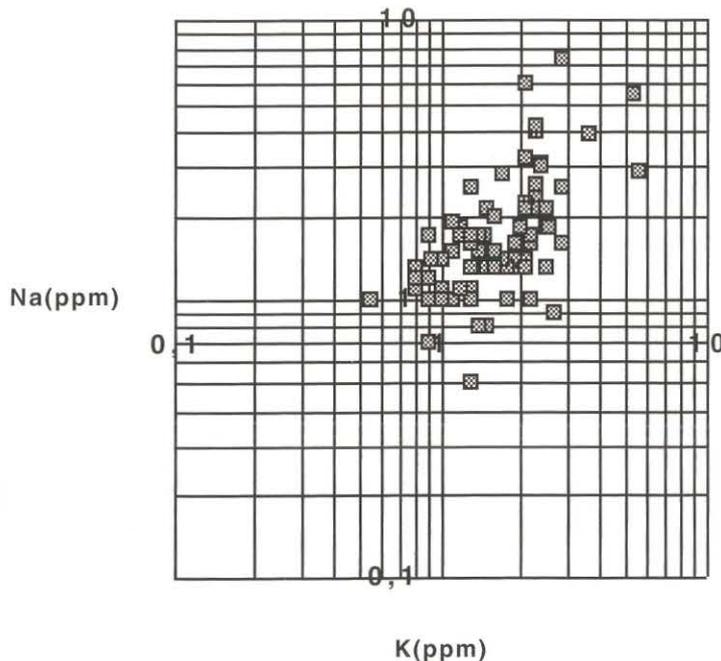


Figure 73 : Il existe une corrélation assez forte entre les teneurs en sodium et potassium, ce qui suggère une origine commune.
The strong link between sodium and potassium concentrations suggests a common origin.

Les teneurs en sodium et en potassium sont également assez faibles, tant dans les pluies que dans les eaux du karst. Elles sont cependant sensiblement plus fortes que celles de chlore ($\text{Na} + \text{K} / \text{Cl}$ varie de 3 à 4 selon les étages géologiques). Les teneurs en Na et K sont nettement corrélées entre elles, ce qui suggère une origine commune.

D. LES SULFATES ET LES MINES DE CHARBON

Les sulfates sont peu abondants (moins de 10 mg/l en moyenne), sauf en aval d'affleurements de roches détritiques du Permien (schistes). Dans ce dernier cas, ils peuvent atteindre des teneurs assez élevées (jusque 300 mg/l).

Nous avons étudié soigneusement l'origine de ces sulfates lors de l'expédition GEBIHE 89. Nous avons alors analysé des eaux

qui contenaient jusqu'à 1 000 mg/l de sulfate, ces fortes teneurs étant systématiquement liées à des eaux acides (avec des acidités mesurées jusque pH = 3 !) et riches en fer. L'origine de ces minéralisations assez étonnantes pour une région karstique se trouve en amont du karst, dans les schistes permien, qui contiennent des bancs épais de charbon, riches en sulfures métalliques (pyrite de fer). A Hefeng, l'un des échantillons les plus riches en sulfates (n° 3) correspond d'ailleurs à une source sortant d'une ancienne galerie de mine de charbon.

Notons, à titre de curiosité hydrochimique, l'eau de percolation qui coule dans une salle de Yanzidong, tapissée de fleurs de gypse. Elle est évidemment très chargée en sulfates (1 320 mg/l), mais pas en chlorures (4 mg/l). Cette eau a vraisemblablement lessivé un niveau de gypse dans le Cambro-Ordovicien.

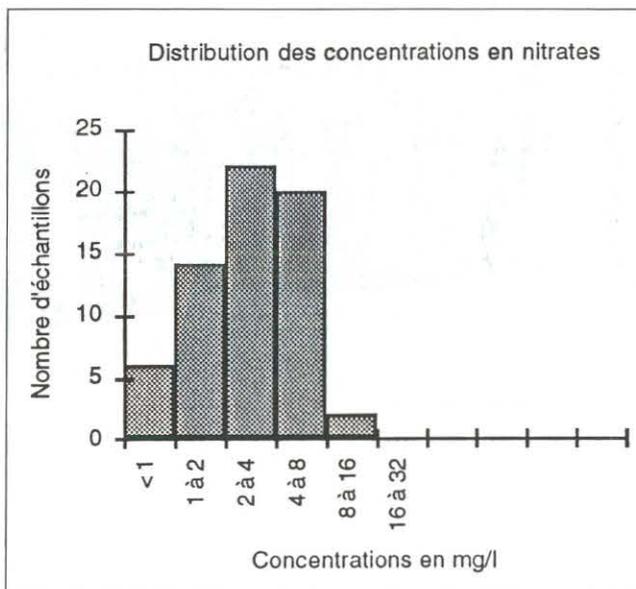
E. UNE AGRICULTURE SANS NITRATES

La plupart des eaux que nous avons analysées en 1993 contiennent très peu de nitrates. 97 % des eaux échantillonnées en contiennent moins de 8 mg/l. Le maximum observé est de 15,6 mg/l, loin des concentrations observées dans les régions karstiques agricoles d'Europe et loin des normes de potabilité de l'O.M.S. (< 45 mg/l). Ceci nous a un peu surpris, car nous pensions trouver plus de nitrates dans une telle région agricole, ainsi que nous en trouvons dans les régions similaires d'Europe ou d'Amérique du Nord.

L'explication est assez simple : les paysans chinois utilisent très peu d'engrais chimiques (qui sont trop coûteux). A leur place, ils utilisent des engrais organiques (dont une bonne part d'origine humaine, car il y a relativement peu de gros bétail). Ils utilisent ces engrais avec beaucoup de parcimonie, en suivant un calendrier agricole précis. Il n'y a ainsi pratiquement pas de pertes par infiltration vers les aquifères. Le cycle de l'azote est pratiquement fermé. Ainsi, avec leur agriculture très intensive, les paysans du Hubei maintiennent des rendements stables de plus de 4 tonnes à l'hectare, sans polluer les eaux souterraines.

L'échantillon le plus riche en nitrates (n° 35 : 15,6 mg/l) correspond effectivement à une rivière exceptionnellement polluée. Il s'agit d'une résurgence située en aval d'une petite distillerie qui a été installée dans le porche d'une grotte (Bailongdong). Il n'y a aucune épuration et les eaux brutes sont directement rejetées dans le milieu naturel. L'eau a une odeur nauséabonde et elle transporte beaucoup de déchets organiques. C'est un bon exemple du niveau élevé de pollution qu'entraînent en Chine de toutes petites exploitations industrielles.

Figure 74 : Les eaux souterraines des karsts de Chine Centrale contiennent peu de nitrates.
In Central China, karstic ground waters don't bear much nitrates



F. POLLUTION BACTÉRIENNE PAR LES EAUX USÉES

Nous avons étudié la pollution bactérienne des eaux souterraines. L'indicateur utilisé était le nombre de bactéries de type coliforme ou streptocoque. Le prélèvement est effectué en filtrant 100 ml d'eau à travers un filtre à 0,5 micron et en cultivant les germes sur des milieux nutritifs sélectifs, à 37°C.

La plupart des eaux du karst, même les petites sources de montagne, sont très polluées. Elles contiennent beaucoup de bactéries coliformes et de streptocoques (10 à 100 bactéries par 100 ml dans deux tiers des échantillons). Ceci signifie que la plupart de ces eaux ne sont pas potables, selon les normes courantes (qui prévoient 0 coliformes et 0 streptocoques par 100 ml).

Les paysans chinois sont parfaitement conscients des risques sanitaires de l'eau de boisson, et ils ont coutume de faire bouillir l'eau avant de la boire. Il est cependant alarmant de constater que l'eau distribuée en ville n'est pas meilleure, y compris parfois celle qui est servie dans des thermos et qui est censée avoir été bouillie.



Photo 34 : La pollution des eaux karstiques en nitrates est faible car les paysans n'utilisent pas d'engrais artificiels (poljé de Yanziping, Hefeng).
Cliché B.C.

The pollution of karstic waters by nitrate is not important because peasants do not use chemical fertilizers.

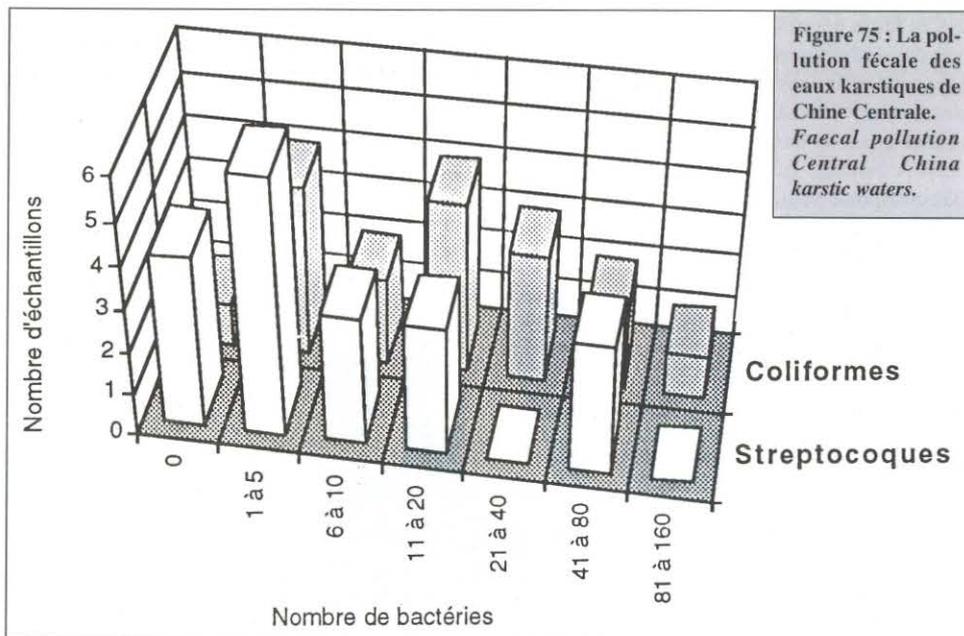


Figure 75 : La pollution fécale des eaux karstiques de Chine Centrale. *Faecal pollution Central China karstic waters.*

rurales du Tiers Monde, pour autant que la population y soit dense et qu'elle utilise des combustibles riches en soufre. Les eaux de pluie échantillonnées contiennent aussi parfois des nitrates (jusqu'à 4 mg/l), mais très peu de chlorures (< 1 mg/l). Ces nitrates sont probablement liés aussi à une pollution domestique et industrielle (combustibles contenant de l'azote).

Gardons-nous cependant de généraliser trop rapidement. Ces mesures n'ont qu'une valeur purement indicative. Il s'agit de quelques épisodes pluvieux, au milieu de la saison sèche. De plus, tous les échantillons ont été prélevés en ville, où la pollution atmosphérique est la plus forte. Elles ne sont pas représentatives du flux annuel de sulfates, ni des précipitations sur les karsts situés à l'écart des villes.

Ce haut niveau de pollution est à mettre en rapport avec la dispersion de la population sur toutes les montagnes, pour mettre en culture la moindre parcelle de terre. Il est très difficile de traiter toutes ces eaux usées dispersées et il est à craindre que cette situation ne s'améliore guère dans les années à venir. Pour ce qui concerne les spéléologues en expédition, la plus grande prudence s'impose (ne boire que de l'eau bouillie et ne pas hésiter à la chlorer, surtout en été).

G. LES PLUIES ACIDES

Celui qui a visité la Chine connaît bien l'odeur âcre et piquante qui plane sur toutes les villes. Elle vient de la fumée dégagée lors de la combustion du charbon. Cette fumée est chargée de dioxyde de soufre (SO₂). Ce gaz est produit par l'oxydation des sulfures contenus dans le charbon (pyrite).

Nous avons voulu savoir si ce soufre se retrouvait dans les eaux de pluie et pouvait constituer une source de sulfates importante pour les eaux souterraines. 7 échantillons ont été prélevés en décembre 1992, dans les villes où nous logions. Nous avons profité pour ces prélèvements d'un hiver exceptionnellement pluvieux (en 1989, nous aurions eu beaucoup de mal à recueillir des échantillons de pluie).

Toutes les eaux analysées contiennent effectivement des sulfates, parfois en quantités importantes (jusqu'à 109 mg/l !). C'est bien plus que ce que l'on trouve dans la plupart des eaux du karst (96 % des échantillons d'eau souterraine analysés en 1992 à Hefeng contiennent moins de 8 mg/l). Cela signifie que la pluie constitue une source de sulfates non négligeable pour le système hydrologique. Mais la conclusion la plus importante concerne la pollution atmosphérique. On assimile trop souvent la pollution atmosphérique avec celle de l'industrie, et particulièrement celle des pays fortement industrialisés. L'exemple de la Chine Centrale nous montre que la pollution atmosphérique peut atteindre des niveaux préoccupants dans des régions

CONCLUSION

Les campagnes de mesures hydrochimiques que nous avons menées en 1989 et 1992 donnent deux images instantanées de la chimie des eaux karstiques de Chine centrale. Ces résultats sont très intéressants, car ces régions font partie des karsts les plus peuplés de la planète. Les principales conclusions que l'on peut tirer de ces études sont les suivantes :

- actuellement, le niveau global de pollution chimique est faible, comparé à ce que l'on trouve dans les régions karstiques d'Europe et du pourtour méditerranéen ; ce fut pour nous une bonne surprise, car nous pensions trouver plus de pollution dans une région aussi peuplée ;
- ce niveau assez bas de pollution est lié à un faible niveau de développement industriel et à un usage très économe des engrais (et ceux-ci sont principalement d'origine organique) ;
- le développement rapide de l'industrie et de la consommation n'est pas régulé par des contraintes environnementales et les pollutions chimiques locales sont souvent graves, qu'elles soient provoquées par l'industrie, les mines ou le simple chauffage des maisons ;
- avec un développement accéléré de l'industrie et de l'agriculture moderne (utilisant des engrais chimiques et des pesticides), ces régions seront probablement très polluées dans les prochaines décennies, comme les régions industrielles d'Europe orientales ; les hydrogéologues devront fournir plus d'informations à propos de la qualité de l'eau et des mécanismes de pollution pour aider les autorités locales à décider du meilleur moyen de développer ces régions en préservant leurs ressources en eau •

Tableau 9 : Composition chimique de la pluie au-dessus des villes du Hubei, durant l'hiver 92/93.

Chemical composition of the rain, in the Hubei Cities, during 92/93 winter.

n°	Ville	échantillon	temp. °C	pH	NO3 ppm	HCO3 ppm	SO4 ppm	Cl ppm	Na ppm	K ppm	Ca ppm	Mg ppm	Sr ppm	F ppm
30	YUGUANG	pluie du 5/12/92							0,93	1,4	14,8	0,42	0,3	
57	XIANFENG	pluie du 2/1/93	8	7,5	3,84	41	109	0,67	2,9	7,3	45,5	1,08	0,4	0,09
58	XIANFENG	pluie du 3/1/93	5,6	7,25	2,2	44	68	0,41	2,1	6	30	0,71	0,3	0,08
37	SANGZHI	pluie du 5/1/1993			< 0,01		0,16	< 0,01	1,3	1,7	11,2	0,58	0,1	< 0,05
45	YUGUANG	pluie du 8/12/92							1,7	2,8	25	0,9	< 0,1	
51B		pluie			< 0,01		0,1	0,05	1,3	0,5	4,35	0,08	< 0,1	< 0,05
12B	WUFENG	pluie			0,07		0,15	0,62	0,55	1	0	0,03	< 0,01	< 0,05

RELATIONS ENTRE LES REMPLISSAGES SOUTERRAINS ET LA DÉSTABILISATION DE L'ENVIRONNEMENT

✓ Simon POMEL et Richard MAIRE

RÉSUMÉ : Les remplissages détritiques sont abondants dans les cavités actives et fossiles. La signification de ces dépôts, formés d'éléments exogènes comme les sols, repose sur le concept de rupture climatique ; ils traduisent directement les modifications de l'environnement bioclimatique. Deux types de remplissages sont étudiés : les remplissages anciens traduisant une rupture paléoclimatique très nette et les remplissages récents répondant à un déséquilibre anthropique de l'environnement. Dans le réseau de Dadong (Wufeng), deux coupes remarquables ont été étudiées. La coupe ancienne est un dépôt stratifié de 25 m qui a enregistré un changement hydroclimatique important remontant peut-être au Quaternaire ancien. Après cette période fraîche à saisons contrastées, le climat a changé et des eaux sulfatées ont permis un développement des sulfato-bactéries et une oxydation des produits ferrugineux. La coupe récente montre une séquence de limons marrons, épaisse de 25-30 m, dont la base est datée par un tronc fossilisé (C^{14} : $18\,590 \pm 160$ ans BP). Dans la coupe on observe un changement important dans le rythme saisonnier des lamines qui indique l'apparition vers le sommet d'une saison de mousson d'été plus active. Ces dépôts montrent que les karsts subtropicaux de moyenne montagne du Hubei ont été une zone favorable pour enregistrer les changements climatiques. Ils représentent des indicateurs remarquables des rythmes saisonniers enregistrés dans les varves. Il existe aussi des remplissages souterrains riches en charbons de bois (Yanziping, Hefeng) qui attestent, comme les remplissages de poljés, de l'influence de l'homme dans la destruction de la couverture forestière et l'érosion des sols au cours des derniers millénaires. Certains correspondent à une grande période de déstabilisation liée à l'exploitation des forêts pour la métallurgie de l'acier avant 1958. D'autres sont contemporains des grandes mises en cultures de la période maoïste ou de la guerre sino-japonaise.

Mots-clés : endokarst, remplissages, varves, datations, environnement, paléoclimat, déforestation, érosion, sol.

ABSTRACT : KARST INFILLINGS AND ENVIRONMENT DESTABILISATION. In the mountainous subtropical karsts of Hubei and Hunan, detritic fillings are abundant in almost active and fossil caves. These sediments are formed from allogenic elements like soils. They are related to climatic breaking. We studied two kinds of fillings : old and thick fillings showing an ancient sharp climatic breaking and more recent fillings linked with human impact on environment. In the giant Dadong cave (Wufeng county), two sections were studied. The older one is 25 m thick and is located in an old fossil gallery, 100 m above the sinkhole. The sedimentologic and stratigraphic study of this deposit shows an important hydroclimatic change which could be older than Quaternary. The other deposit is younger : a fossil wood (C^{14} : $18\,590 \pm 160$ y BP) lies on the bottom of 20 to 30 m of brown laminated deposits. In this section an important change of seasonary rythm of laminated loams was observed. It indicates the appearance of a more active monsoon season towards the summit. These deposits shows that these subtropical karsts, especially at medium altitude, are very good recorders of the climatic evolution since the end of Tertiary. In-situ neoformations certify the role of sulfo-bacteries and algae in the biosedimentation and registration of paleoclimate under the soil surface. Moreover, some cave fillings contain charcoal (Yanziping syncline, Wufeng county). These pieces of coal, like the polje fillings, are the proof of the destruction of the forests by man during the last millenaries. These deposits are subactual (beginning of the 20th century and before 1950 by C^{14}). Some are corresponding to a long period of destabilisation due to forest exploitation for metallurgy of steel. Others are witnesses of extensive cultivation of the Mao era.

Keywords : endokarst, infillings, varves, datings, environment, paleoclimate, deforestation, soil erosion.

ZUSAMMENFASSUNG: In den subtropischen Karsten der zentralchinesischen Berge sind Karstsedimente in aktiven und fossilen Höhlen im Überfluss vorhanden. Diese Ablagerungen bestehen aus exogenen Elementen wie z.B. Böden. Die Signifikanz dieser Ablagerungen beruht auf einem klimatischen Bruch in ihrer Entstehungsgeschichte. Die Karstsedimente geben also die Modifikation des Bioklimas wieder. In dieser Studie wurden zwei Typen von Karstsedimenten untersucht: ältere, mächtige Ablagerungen, die einen sehr klaren paleoklimatischen Bruch wiedergeben und jüngere, welche auf ein ökologisches Ungleichgewicht menschlichen Ursprungs hinweisen. Im riesigen Höhlensystem Dadongs (Grafschaft Wufeng) wurden zwei bemerkenswerte Profile untersucht. Das ältere Profil, 25 m mächtig, befindet sich in einem grossen fossilen Ast ca. 100 m über dem Eingang. Die stratigraphische und sedimentologische Studie zeigt, dass diese geschichtete Ablagerung einen wichtigen hydroklimatischen Wechsel (Verlagerung roter Böden, Hochwässer) aufgezeichnet hat, der auf das Quaternär zurückgehen könnte. Nach einer kühlen Witterungsperiode mit sehr abwechslungsreichen Jahreszeiten hat sich das Höhlenklima verändert und sulfatreiches Wasser begünstigte die Entwicklung von Sulfat-Bakterien und eine Oxidation der eisenhaltigen Stoffe (Umwandlung von Goethid zu Hematid). Das jüngere Profil, im Saal der braunen laminaren Ablagerungen (20-30 m), weist eine mächtige Lehmsequenz auf. Die Altersbestimmung ihrer Basis erfolgte durch einen fossilisierten Baumstamm (^{14}C : $18\,590 \pm 160$ Jahre BP). Im Profil kann man einen jahreszeitlichen Wechsel der Lamellen erkennen, welcher das

Auftreten einer aktiveren Monsun-Periode zum Gipfel hin anzeigt. Diese Ablagerungen zeigen, dass in subtropischen Karsten, besonders in der montanen Stufe, eine Aufzeichnung klimatischer Veränderungen seit dem Tertiär bis heute stattfand. Sie sind wichtige Indikatoren für die Saisonalität, die in den Microsequenzen der jährlichen laminaren Ablagerung aufgezeichnet wurde. In-situ Neuformationen bestätigen die Rolle der Sulfatbakterien und der Algen bei der Biosedimentation und der Aufzeichnung des unterirdischen Paleoklimas. Ausserdem findet man holzkohlenreiche unterirdische Karstsedimente (Yanziping, Grafschaft Hefeng), die wie die Polje-Füllungen, den Einfluss des Menschen bei der Entwaldung und Bodenerosion während der letzten 1000 Jahre verdeutlichen. Diese Ablagerungen sind Anfang des XX. Jahrhunderts und vor 1950 (C14) entstanden. Einige stehen für die Periode der Destabilisierung durch die Ausbeutung der Wälder für die Stahlverhüttung vor 1958. Andere sind Zeitzeugen ausgedehnter landwirtschaftlicher Bewirtschaftung unter Mao.

Stichworte: Endokarst, Sedimente, gebänderte Ablagerungen, Datierung, Umwelt, Paläo-klima, Entwaldung, Bodenabtragung.

第六章 洞穴流水机械沉积物与环境变化关系

在华中的亚热带山区喀斯特，几乎在发育的及遗留的所有洞穴中都有丰富的碎屑充填物。这些沉积物形成来自外源物质如土壤，与气候间断有关。我们研究了二类充填物：表明一次古老而明显的气候间断的老的、巨厚的充填物以及与人类对环境影响有关的现代充填物。在五峰县大洞研究了二条洞穴充填物剖面。最老的剖面沉积物厚达 25m，位于一条高于洞穴进水口 100m 古老的遗留廊道内。该剖面沉积学与地层学研究表明一次重要的可能早于第四纪的水文气候间断。另一剖面的沉积物较年青，具¹⁴C 年龄 18 590 年的木化石产于 20 到 30m 厚的褐色纹泥底部。这些沉积物表明亚热带喀斯特，特别在中山地区，是第三纪末以来气候演变的最好记录。此外，某些洞穴充填物中含有木炭（燕子坪向斜）。这些溶盆充填物中的炭屑是一千年来森林为人类所破坏的证据。

MICROMORPHOLOGIE DES CONCRÉTIONS

Les lamines des concrétions ont enregistré les climats passé :

Elles enregistrent annuellement un bilan en gaz carbonique qui est en relation avec l'activité saisonnière de la végétation et des sols. La régularité de ces rythmes est liée au régime des saisons et à des équilibres locaux ; elle traduit donc un équilibre bioclimatique. Ainsi certains spéléothèmes ont enregistré les saisons dans un système climatique passé, très régulier, en régime froid et sec, dont nous n'avons aucune idée aujourd'hui car il est antérieur à la formation de la barrière himalayenne ; or, cette dernière a joué un rôle capital dans le déplacement des masses d'air, donc dans la dynamique et l'arrivée de la mousson tropicale en Chine centrale (photo 35).

Les concrétions (ou spéléothèmes) enregistrent aussi des séquences évolutives des anciennes périodes de déstabilisation du milieu comme dans le réseau de Liangfengdong (Sangzhi, Hunan) où les remplissages gardent en mémoire des déstabilisations du système hydrique et du niveau de base, en même temps que de certains paramètres du climat. Certains spéléothèmes fixent en abondance la matière organique sous forme turbide ; ils représentent des fonctionnements bioclimatiques très différents des modèles actuels (photo 36). (clichés et analyses des lames minces S. Pomel).

Photo 35 : Système de lamines régulières à doublets (hiver-été) attestant une grande régularité des saisons dans un régime probablement sans mousson d'été (froid et sec) dans les planchers d'une paléo-cavité au-dessus de Donghe (Wufeng, Hubei). Ech. 27/6D1, lum. pol. non analysée, obj. 2,5 x 3,2, échelle 1 cm = 523µ

Regular laminae in a flowstone of a paleocave, above Donghe (Wufeng, Hubei).

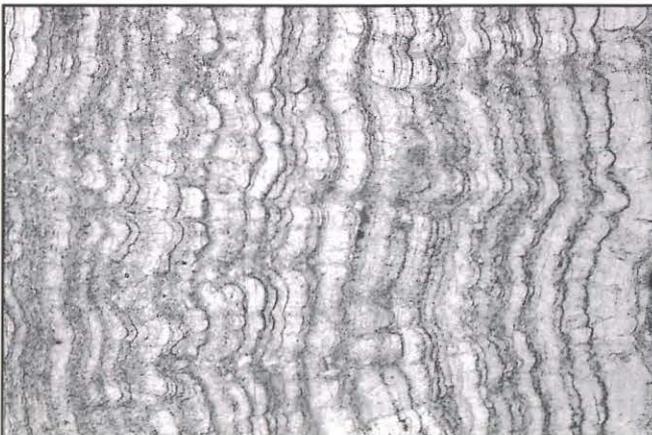
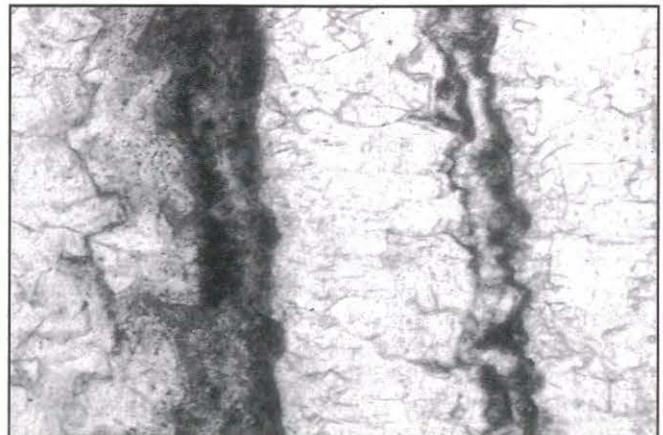


Photo 36 : Doublets de lamines condensées organiques (bactériennes ?) marquant des périodes évaporatoires et chaudes alternées à des lamines de calcite pure de saison froide. Concrétion de Liangfengdong (Sangzhi, Hunan). Ech. 7/9, lum. pol. analysée, obj. 2,5 x 6,3, échelle 1 cm = 266µ

Thin organic laminae (bacterian ?) in a speleothem of Liangfengdong (Sangzhi, Hunan).



Introduction

Les remplissages détritiques souterrains proviennent en grande partie du soutirage d'éléments exogènes et dépendent des modifications de l'environnement bioclimatique. Dans les karsts subtropicaux de montagne de Chine centrale, les remplissages détritiques sont abondants dans les cavités actives et fossiles. Deux types de remplissages sont étudiés ici :

1) les remplissages ferrugineux rouges anciens épais traduisant une rupture paléoclimatique très nette ;

2) les remplissages humifères et charbonneux marrons récents traduisant un déséquilibre anthropique de l'environnement dans un contexte climatique particulier en raison de saisons pluviométriques et thermiques très contrastées.

I. Les remplissages ferrugineux rouges anciens liés à une rupture paléoclimatique

Le concept de rupture climatique est très important en paléoclimatologie, en particulier en milieu intertropical où justement les changements climatiques ont été apparemment peu prononcés, même au Plio-Quaternaire. En revanche, il semble que la zone subtropicale, surtout en moyenne montagne, ait été une zone favorable pour enregistrer les modifications de l'environnement au cours des changements climatiques à la fin du Tertiaire et au début du Quaternaire, en raison de l'influence plus marquée des masses d'air polaires.

Pour l'instant, nous ne savons pas s'il existe dans les vrais karsts intertropicaux (en particulier dans la zone équatoriale) des remplissages détritiques anciens de grande ampleur en relation avec un changement climatique important. QUINIF (1992) donne quelques éléments à propos des karsts du Bas Zaïre qui tendraient à prouver que ces karsts tropicaux ont bien enregistré des changements climatiques nets. Les découvertes faites dans les karsts subtropicaux de montagne de Chine centrale, en particulier du Hubei, attestent des changements importants de l'environnement à des époques dont certaines ne sont pas encore précisées. Il n'est pas exclu qu'un de ces changements puisse se situer au Quaternaire ancien en fonction des arguments géomorphologiques.

A. LES REMPLISSAGES DES PALÉOCAVITÉS : INDICATEURS DES VARIATIONS SAISONNIÈRES DEPUIS LE MIOCÈNE

Les vieilles cavités, recoupées sur le flanc des vallées ou des cônes karstiques, sont remplies en totalité ou en partie par des dépôts argileux colorés et des concrétionnements souvent altérés. Ces séquences anciennes, la plupart d'âge tertiaire, ont une signification hydroclimatique précise car elles ont enregistré fidèlement les rythmes saisonniers et leurs variations. Trois exemples de grottes ont été choisis pour montrer la complexité de ces dépôts, mais aussi la richesse d'informations qu'ils contiennent.

Les deux premiers exemples sont représentés par une paléocavité située au-dessus de la résurgence de Donghe (Wufeng) et par la grotte-tunnel fossile perchée de Chuandong au-dessus de la résurgence de Wanrendong (Hefeng). Ces deux cavités tertiaires renferment des séquences de remplissages qui donnent des indications sur le contexte hydroclimatique du Tertiaire supérieur. Le troisième exemple, constitué par la grotte de Liangfengdong (Sangzhi, Hunan), est caractéristique d'une grotte de la fin du Tertiaire qui renferme des séquences moins anciennes, allant sans doute du Quaternaire ancien à l'actuel, avec notamment un ensemble de varves rouges du même type que celui de la grande coupe des varves rouges de Dadong (cf. § II).

1. Exemple de paléocavité au-dessus de Donghe (Wufeng)

Au-dessus de la reculée où réurge Donghe (Wufeng), on observe au niveau de la route des cavités anciennes recoupées par l'enfoncement de la vallée. L'une d'elle, située vers 370 m d'altitude dans les calcaires dolomitiques de l'Ordovicien, présente une série de remplissages et de spéléothèmes. Cette cavité a d'abord fonctionné en régime noyé avec un dépôt de silts vadoses, avant d'être dénoyée. Au contact avec des faciès recimentés de calcaires sparitiques gris du Cambrien (éch. 27/E1), on observe des silts composés d'éléments de sols rouges très concrétionnés. Induration et dépôts de planchers attestent ensuite un régime d'assèchement. Sur lame mince (éch. 27/E2) le plancher stalagmitique intercalé dans les silts présente des laminations avec un assemblage à microsparite rouge et grise et des joints intercrystallins fortement pollués par l'érosion des sols. La porosité de dissolution, de 10 à 20 %, est marquée par une sparite claire. On observe de nombreux éléments noirs de matière organique mélanisée qui représente des incendies naturels (ou des feux de chasse ?).

Le réseau a ensuite fonctionné en régime d'écoulement libre avec dépôts de terrasses avant d'être occupé par des chasseurs et de fonctionner en régime épinoyé. L'enfoncement du réseau s'est produit en plusieurs étapes et les spéléothèmes de trois générations attestent au moins trois grandes périodes favorables au concrétionnement.

La première période est marquée par des planchers contaminés en débris de roche-mère, en silts fins à moyen quartzeux et en éléments de sols rouges. Sur lame mince (éch. 27/I) on observe un faciès laminé microstalagmitique à forte porosité avec deux ciments (micrite grise et sparite ou microsparite claire). Le système saisonnier est remarquable avec une alternance de lamines condensées polluées et de lamines claires et 6 microséquences marquant des variations dans le régime interannuel. Le plancher (éch. 27/D1) est encore plus remarquable avec plus de 700 doublets sur 3 cm. On observe des cycles de 40 ans de séquences condensées et polluées représentant sans doute une diminution des suintements dans le réseau et donc des phases de sécheresse (**photo 35**). Le plancher (éch. 27/D2) est plus mince et marqué par des séquences condensées à micrite et microsparite marquant des épisodes plus secs et des séquences à calcite palissadique attestant des épisodes mieux alimentés en eau.

Des remplissages fluviaux indurés, avec des microbrèches de dissolution, sont scellés par des planchers pollués par des argiles (lame 27/C). Un remplissage induré contient des ossements. Sur lame mince, il présente un faciès poreux et une alternance de plancher et de remplissage (lame 27/B2). On observe un ciment phréatique épitaxique (autour des grains de squelette) ou microstalagmitique emballant des éléments de plancher. Des éléments de remplissage sont corrodés par la circulation phréatique et recimentés. On distingue des nodules pédologiques à coiffes, des pelotes microlitées carbonatées et des microremplissages lités. La sédimentation turbide dénote à la base de fortes teneurs en micro-coiffes (érosion de sols gelés) et de fortes teneurs en carbonates au sommet.

Un autre faciès plus compact (lame 27/B1) montre le contact du plancher sur un remplissage micro-conglomératique. Le remplissage est formé d'éléments roulés, avec de gros éléments de sols soutirés, de pelotes zonées avec des auréoles liées au concrétionnement phréatique ou épiphréatique et de rares éléments de micro-grès. On observe deux types de ciment : le premier à micrite grise, le second à microsparite ou sparite claire. Le ciment épitaxique, autour des grains de squelette, est zoné et les éléments schisto-phylliteux altérés sont abondants. On observe des grains de sols schisteux avec des cutanes d'argiles et des microcoiffes ou des coiffes de silts entourant les grains qui témoignent d'un environnement froid.

La séquence supérieure, formée par des planchers intercalés dans un remplissage, est fossilisée par des nitrates. Le plancher stalagmitique supérieur (lame 27/A1) montre des micro-lamines avec pollution argileuse. On observe trois types de cristaux : une grande calcite palissadique ou une calcite bourgeonnante microlitée, une micrite fine grise à ocre polluée, enfin une microsparite claire dans les

niveaux non pollués. La séquence saisonnière annuelle montre le passage d'une micro-lamine polluée à micrite grise condensée (hiver) à une lamine de calcite claire en faisceau plus ou moins bourgeonnant (printemps), puis à une micrite zonée polluée (été-automne). Nous sommes probablement dans un régime froid avec une mousson d'été modeste ou inexistante.

2. Exemple de la grotte-tunnel perchée de Chuandong (Hefeng)

La grotte-tunnel fossile de Chuandong (fig.76) est située vers 750 m d'altitude au-dessus de la résurgence de Wanrendong. Il s'agit d'un tronçon de grotte long de 250 m, d'âge tertiaire, qui a été décapité par l'érosion ; il est actuellement totalement sec, hormis quelques suintements, et ne possède aucun lien avec le système karstique de Yanziping qui résurge à Wanrendong. Une étude précise des remplissages met en évidence plusieurs phases qui résument assez bien le fonctionnement hydroclimatique régional depuis la surrection néogène. Cette phase d'épirogenèse a porté en altitude une multitude de grottes dont le creusement initial, en régime noyé ou épinoyé, s'est effectué à une époque où ces cavités se développaient à proximité du niveau de base. Pendant la phase initiale, la cavité se forme sans doute en régime noyé

ou semi-noyé (vagues et cloches de corrosion). Il pourrait s'agir d'un élément de l'ancien système karstique de Yanziping dont les parties amont ont en grande partie disparu.

La première phase de sédimentation reconnue (I) correspond à un dépôt de silts rouges dont il reste aujourd'hui des témoins indurés. Ce remplissage lité s'est déposé en régime de décantation, donc lorsque la cavité était noyée ou fonctionnait en lac. Au contact avec la paroi, on observe une forte corrosion de la roche (lame 48/1D), un remplissage rouge et une alternance de lits de micrite et de lits noirs riches en matière organique et en pyrite. La pétrographie (lame 48/1A) montre un ancien remplissage induré et altéré (porosité = 30 %) présentant des pores remplis de sparite. Le réseau se dénoie, avec fluctuation du niveau de l'eau (régime battant), permettant la formation d'accumulations zonées bactériennes de fer et de manganèse dans la partie supérieure.

Les carbonates, complexes (calcite claire, calcite jaune biréfringente en touffe et sidérite), cimentent des éléments du remplissage. On observe (lame 48/E) les microséquences suivantes : (1) plancher à calcite peloteuse et éléments de remplissage ocre-rouge ; (2) 7 niveaux gris condensés avec débris de remplissage rouge alternant avec de la calcite claire ; (3) remplissage carbonaté micritique très riche en gros éléments de remplissage rouge ; (4) microremplissage

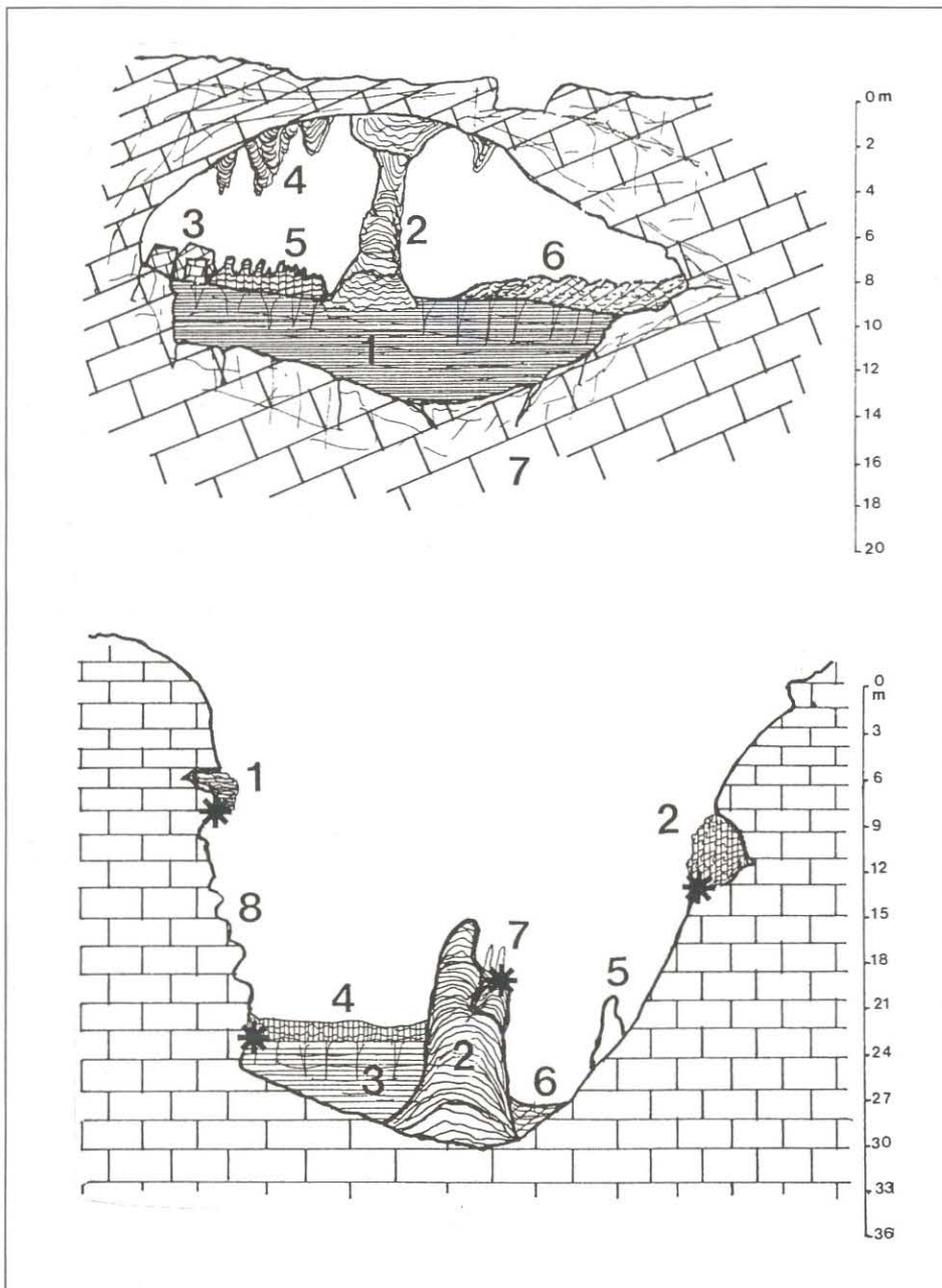


Figure 76 : Coupes des remplissages dans la grotte-tunnel de Chuandong vers 750 m (Hefeng).

Sections of karst deposits in the tunnel-cave of Chuandong (Hefeng).

- En haut, stratigraphie de l'entrée (aven). 1 : remplissage argileux ocre-rouge. 2 : piliers de spéléothèmes corrodés. 3 : blocs. 4 : 2^{ème} et 3^{ème} génération de spéléothèmes. 5 : concrétionnement de planchers. 6 : dépotoir. 7 : calcaires micritiques à pâte fine du Trias moyen / inférieur avec infiltration de Trias rouge; pendage 35°, N320-330° mesuré vers 690 m ; à l'amont, 2^{ème} niveau de crypto-lapiès entre 740 et 750 m.

- En bas, coupe schématisée des remplissages souterrains. 1 : silts entaillés par l'écoulement phréatique (éch. 48/1D-1A et 48/E-F). 2 : vieux plancher suspendu et spéléothèmes corrodés (éch. 48/1B-1C et 48/2A-2B). 3 : remplissage argileux ocre. 4 : plancher (éch. 48/3-4). 5 : autre génération de spéléothèmes (éch. 48/2-7). 6 : varves récentes. 7 : concrétions. 8 : parois calcaires avec vagues d'érosion (ancienne cavité noyée).

silto-argileux rouge ± lité ; (5) microbrèches supérieures. On observe une reprise des éléments roulés du remplissage (lame 48/F) et de nombreux éléments silto-squelettiques rouge roulés pris dans le plancher. On note quatre séquences rythmées qui attestent des changements dans un régime saisonnier à deux saisons très contrastées.

- Durant la phase (II), la cavité fonctionne en régime totalement dénoyé et des planchers se développent. Ces derniers sont corrodés et montrent une séquence initiale à calcite jaunâtre avec des pores de dissolution à recristallisation de sparite, puis un plancher noir bactérien attestant des eaux chargées en matière organique (lame 48/1B). La genèse des ferrobactéries est jalonnée par des concentrations de niveaux ferrugineux et elle a initié la croissance cristalline de sidérite en présence de pyrite et en milieu oxydo-réducteur.

Dans un autre exemple (lame 48/1C), on observe à la base une microsparite ocre biréfringente (calcite magnésienne prouvant une forte turbidité des eaux). Le sommet est formé de lits alternés de calcite blanche, de micrite bactérienne très blanche, de niveaux avec pigments bactériens noirs, matière organique et pyrite et enfin des niveaux plus argileux. Dans la partie supérieure les lamines annuelles sont organisées en triplets saisonniers : argiles condensées (automne-hiver), pelotes de biomicrorite (printemps), argiles carbonatées peloteuses avec développement de fer bactérien (début d'été) et enfin des argiles carbonatées riches en débris de sol (été). Nous sommes probablement en présence d'un régime de mousson d'été modeste et débutant tardivement.

- La phase (III) est attestée par un remplissage argileux ocre-rouge scellé par une deuxième génération de spéléothèmes et de planchers marquant la phase (IV). Le contact entre le remplissage ocre et les planchers supérieurs montre à la base trois types d'argilisation successive : argiles jaunes, argiles organiques grises et argiles rouges dans des cutanes (lame 48/3-4). On note des fragments d'os et de nombreux niveaux d'incendies, avec des particules de matière organique mélanisée et de charbon de bois, des pellets de sols jaunes et rouges. Dans la partie supérieure le plancher à sparite est très argileux et contient des quartz fins. En surface on observe une pellicule algale ocre et le développement d'un petit phytokarst.

- La phase (V) est symbolisée par des argiles et limons marrons, résultant de l'érosion des sols, qui sont scellés par des concrétions qui terminent la mégaséquence : phases (VI) et (VII). Le contact entre des planchers anciens et des concrétions branchues (lame 48/2-7) permet de définir dans la partie terminale six microséquences sur un plancher corrodé : (1) sparite claire ; (2) boue grise bactérienne ; (3) micrite et microsparite claires ; (4) boue grise bactérienne ; (5) micrite claire pigmentée ; (6) algues ocre-jaune. C'est un exemple typique du rôle fixateur des associations algales et bactériennes ; cependant, comme dans le développement des spéléothèmes, la cristallogénèse interrompt le développement de la bactériogénèse (CASTANIER, 1987).

Il est certain que le fonctionnement initial de cette grotte-tunnel est antérieur à la période d'enfoncement majeur du réseau hydrographique et au soulèvement tectonique régional que les arguments morphologiques situent au cours du Tertiaire supérieur, probablement à la fin du Miocène. Les remplissages ocre-rouge et marrons sont corrélables à ceux du réseau de Dadong.

3. Les remplissages de Liangfengdong (Sangzhi, Hunan)

Dans la cavité de Liangfengdong, un suivi topographique des remplissages a permis d'établir une stratigraphie complète (fig. 77). La cavité est développée dans des turbidites calcaires à pélites correspondant à une micrite fine avec des moules de gastéropodes et de diatomées et des microlitages (éch. 5). On distingue trois séquences détritiques, dont une unité principale de varves rouges, et plusieurs générations de spéléothèmes.

La première séquence démarre par un dépôt rouge de silts très indurés. Sur lame mince (éch. 7/4) la masse de fond est formée de micrite colorée par des pigments organiques noyant un squelette silteux composé de grains d'argiles et de matière organique sédimentée.

Les pores de dissolution sont remplis de microsparite. On n'observe pas de systèmes de lamines bien individualisées du fait du reconcrétionnement. Cependant on note des lamines très frustes surtout carbonatées, ce qui indique un régime régulier avec des sols épais et des éléments turbides régulièrement filtrés (absence de quartz). Cette formation est scellée par de vieux spéléothèmes corrodés.

Un second remplissage de varves, de 5 à 10 m d'épaisseur, forme l'unité principale ; il est composé d'argiles rouges avec des os de rennes (?) pris dans la masse. Sur lame mince (base éch. 7/11), il s'agit de varves silto-quartzeuses contenant des débris de sols, bauxite, microgrès et des minéraux altérés. Dans les silts homogènes de base, on observe quelques fissures carbonatées. Les silts, laminés et homométriques, sont typiques d'un régime de décantation avec un dépôt de lamines saisonnières.

Plusieurs épisodes d'incision sont jalonnés par des systèmes de petites terrasses et des planchers de gours. Sur lame mince (éch. 7/11) les terrasses les plus anciennes sont composées de brèches fluviales à ciment carbonaté scellant des varves silto-quartzeuses homogènes à la base. Le ciment carbonaté, zoné, contient des argiles, des débris organiques et des grains de sols. A la base il remplit des fissures de dessiccation de l'ensemble principal. Le ciment est microsparitique à sparitique avec des cristaux engrenés de calcite magnésienne fortement biréfringents. Dans la masse de fond les éléments roulés et altérés sont formés de sables fins et de silts. On observe dans le squelette des éléments de charbon ligniteux, des débris de sols, de bauxite, de microgrès, de calcaires. On observe les microséquences suivantes dans l'unité principale : (1) silts microgréseux de période froide ; (2) conglomérat à ciment calcitique très biréfringent ; (3) éléments roulés de sols ; (4) argiles ferrugineuses rouges ; (5) calcite biréfringente zonée.

Sur lame mince (éch. 7/7) le plancher de gour est formé de boues micritiques avec présence de rares gastéropodes. La séquence s'organise depuis la base avec un niveau poreux, un niveau condensé, des microlamines à calcite bourgeonnante avec des touffes carbonatées biodétritiques, à nouveau un niveau poreux. On distingue plusieurs séquences de pollution argileuses et pédologiques et au moins 3 périodes de forte turbidité avec des apports fins (globules d'argiles et débris de sols). Le début de la déstabilisation de l'environnement est donc enregistré dans ces microséquences saisonnières. Dans les microlamines centrales à boues carbonatées on observe les séquences suivantes : (1) calcite microsparite ; (2) micrite ocre bourgeonnante ; (3) lamine condensée ; (4) micrite claire bourgeonnante ; (5) boues carbonatées ocre avec érosion des sols.

On distingue une troisième séquence détritique avec un remplissage argileux ocre à blocs emballant des nombreux os de cervidés remaniés. Il semble qu'une occupation par une population de chasseurs se soit produite entre les remplissages rouges et les remplissages ocres.

Enfin des planchers, spéléothèmes et perles de gours de plusieurs générations scellent ce troisième ensemble détritique ocre. La première génération de stalagmite (éch. 7/6) scellant une terrasse montre sur lame mince des intraclastes centraux, avec une zonation de calcite palissadique et de niveaux argileux (7/6-1). On observe bien le système de lamines saisonnières : calcite palissadique de saison chaude s'achevant par des pollutions turbides avec des quartz et des débris de sols et lamine condensée de saison froide. A la base on observe un système de cristaux de calcite flottante (7/6-2). Le système de lamine est marqué par un doublet de calcite palissadique et de lamines condensées argileuses. Les microlaminations attestent des pollutions turbides dans la masse carbonatée avec des séquences alternées d'apports d'argiles et de matière organique (7/6-3). La saisonnalité est bien enregistrée et suggère un soutirage de sols durant la saison chaude et pluvieuse et durant la période de faible croissance carbonatée. On observe le système de lamines successives suivantes : 1) calcite palissadique de printemps ; 2) calcite en touffes avec pollution turbide et système bactérien d'été ; 3) arrêt du concrétionnement ; 4) redémarrage avec de la calcite palissadique

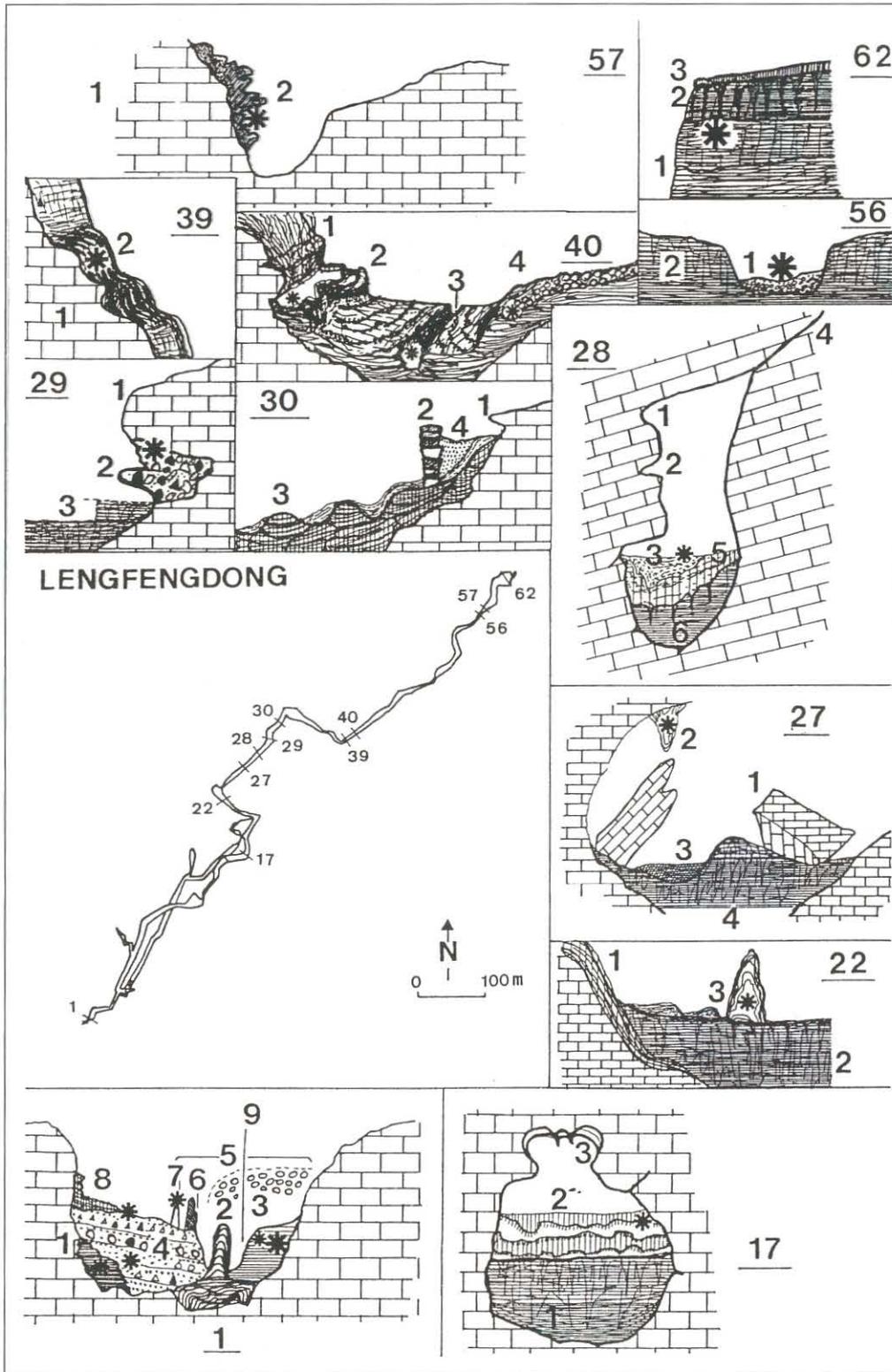


Figure 77 : Coupes schématiques des remplissages étudiés à Liangfengdong et plan de localisation des prélèvements. Sections of karst deposits studied in Liangfengdong and situation of samples. Coupe 1 - paléo-remplissage inférieur induré (éch. 7/4) et stratigraphie. 1 : paléoremplissage. 2 : vieux spéléothème corrodé. 3 : ensemble principal de varves argileuses (éch. 7/3) avec os de rennes (éch. 7/5). 4 : ensemble intermédiaire de remplissage argilo-détritique ocre à blocs emballés, éléments de l'ensemble principal et bois de cervidés remaniés (éch. 7/2). 5 : localement, terrasses fluviatiles ravinant l'ensemble principal. 6 : gros spéléothèmes scellant les terrasses anciennes et le remplissage ocre. 7 : petits spéléothèmes scellant une terrasse qui ravine l'ensemble principal (éch. 7/6). 8 : perles de cavernes et plancher (éch. 7/1). 9 : ravinement actuel (éch. 7/17). Coupe 17 - 1 : remplissage rouge. 2 : plancher de gour scellant le remplissage rouge principal (éch. 7/7). 3 : cavité noyée et cloche. Coupe 22 - 1 : coulée pariétale ancienne. 2 : ensemble argileux principal. 3 : spéléothème et gour récents, en particulier plancher de gour scellant l'ensemble principal argileux rouge (éch. 7/8). Coupe 27 - 1 : blocs. 2 : stalactite cassée postérieure au détachement de blocs du plafond (éch. 7/9). 3 : remplissage argileux subactuel. 4 : remplissage principal. Coupe 28 - 1 : 1er niveau d'érosion. 2 : 2ème niveau d'érosion. 3 : reprise d'érosion avec remplissage de sols rouges et d'argiles brunes (éch. 7/10). 4 : fracture. 5 : remplissage ocre. rouge. 6 : remplissage principal. Coupe 29 - 1 : calcaires. 2 : brèches et conglomérat fluviatile (éch. 7/11). 3 : remplissage principal. Coupe 30 - 1 : vasque. 2 : muret. 3 : captage des écoulements de saison des pluies et gours aménagés. 4 : remplissage carbonaté. Coupe 39 - 1 : calcaires. 2 : microformes de dissolution sur paroi et phytokarst (éch. 7/12). Coupe 40 - 1 : cascade. 2 : gour (éch. 7/13) fonctionnant en saison des pluies (dépôts ferrugineux et pédologiques rouges, éch. 7/13). 3 : ruissellement subactuel. 4 : perle de caverne (éch. 7/13). Coupe 56 - 1 : graviers (éch. 7/15). 2 : remplissage principal. Coupe 57 - 1 : paroi calcaire. 2 : phytokarst (éch. 7/14). Coupe 62 - grande salle des varves. 1 : remplissage principal des varves rouges. 2 : fentes de dessiccation dans les varves (éch. 7/16). 3 : croûte calcaire.

claire. Indubitablement nous sommes dans un système où la mousson d'hiver est modeste.

La deuxième génération de plancher de gour (éch. 7/8) montre sur lame mince plusieurs micro-séquences : à la base des perles à nucléus et une alternance de micro-séquences à lamines argileuses condensées et de séquences à calcite palissadique, avec au sommet des nucléi carbonatés en choux fleurs. La séquence type de la partie supérieure montre sept micro-séquences successives : 1) calcite palissadique microzonée ; 2) lamine condensée ocre +/- argileuse ; 3) microsparite ; 4) lamine condensée ; 5) lamines ocre avec pollution pédologique ; 6) lamines condensées ; 7) calcite palissadique zonée.

La troisième génération est représentée sur lame par une stalactite postérieure au détachement de blocs du plafond (éch. 7/9). La séquence est complexe et on observe plusieurs niveaux de pollution turbide ± charbonneux. La micro-séquence centrale est assez caractéristique avec successivement (photo 36) : 1) des pigments organiques ; 2) une lamine carbonatée ; 3) une lamine argileuse grise condensée ; 4) des micrites grises ; 5) une lamine grise condensée ; 6) une micro-séquence à calcite palissadique à cristaux zonés, encadrée par deux niveaux pollués argileux. Il s'agit de l'enregistrement saisonnier successif de plusieurs années (3), les lamines condensées (3-5) marquant les périodes évaporatoires et les printemps sont

marqués par les séquences (1-2, 4 et 6). Il semblerait qu'une forte irrégularité interannuelle se manifeste et que la saisonnalité n'est pas encore très marquée par la mousson d'été (Dryas ou plus ancien ?). Une autre séquence-type est remarquable, avec : 1) des pigments organiques ; 2) des calcites palissadiques ; 3) des lamines condensées avec pelotes de micrites grises ; 4) des calcites plus claires ; 5) des micrites grises peloteuses ; 6) un niveau ferrugineux rouge enrichi en sulfates bactériens ; 7) une unité à calcite palissadique.

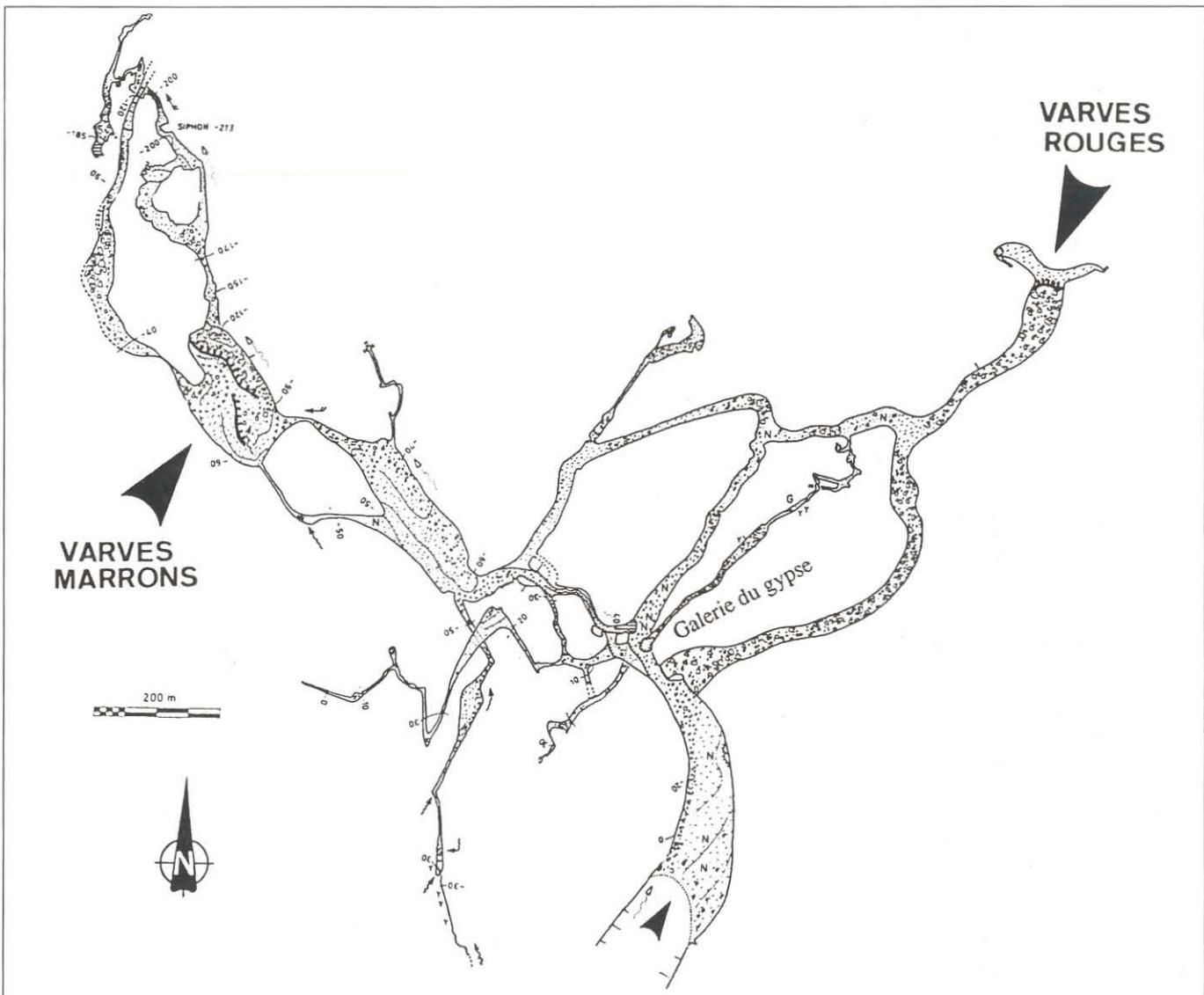
La quatrième génération est plus récente et l'enregistrement du système saisonnier est remarquable dans les perles de caverne. Sur lame mince (éch. 7/1 A), les microséquences carbonatées et détritiques avec quartz quelquefois grossiers, débris de remplissages roulés et grains de sols et de roches (microquartzites et quartz) sont enregistrées, avec une alternance de niveaux plus ou moins limoneux ou argileux jaunes ou de masses argileuses fortement biréfringentes. On observe une alternance de phases condensées et de phases à boues carbonatées, voire une alternance de limons jaunes et de limons carbonatés. Les lamines carbonatées marquent l'activité végétative de printemps et les lamines détritiques les saisons pluvieuses. Il semble que ce concrétionnement représente un régime avec une mousson d'été très active. On observe dans le détail un système de doublets (microsparite claire-pellicule condensée / microsparite ocre avec argile et débris de sols) ou de triplets (pellicule condensée / microsparite ocre avec argiles / microsparite claire).

Sur une autre lame (éch. 7/1B), on observe un plancher très détritique, avec des éléments de roche-mère et des bioorganisations de carbonates condensés et de carbonates en bourgeons. Deux types de

carbonates : microsparites de calcite et cristaux fins d'aragonite. Dans le détail on observe la succession suivante : 1) lamine à gros quartz et nodules d'argiles ; 2) lamine condensée grise (hiver) ; 3) lamine carbonatée avec argiles ocres (début de la mousson) ; 4) lamine condensée riche en oxydes de fer et de manganèse et développement bactérien ; 5) lamine carbonatée à microsparite avec débris de sol, quartz et nodules d'argiles (pluies de mousson) ; 6) lamines très condensées avec oxydes de fer, manganèse. Là encore le système de mousson d'hiver semble modéré ou quasi-inexistant.

Nous n'avons pas de calage radiométrique de ce système de remplissage, mais il est possible de corrélérer l'ensemble principal de varves rouges à une période froide du Quaternaire responsable de l'érosion des sols rouges (type varves rouges de Dadong), période antérieure à une occupation humaine du site. L'ensemble ocre serait à mettre en rapport avec une autre séquence froide plus récente avec occupation du site par une population de chasseurs. Les concrétionnements et les remplissages plus récents se situeraient dans l'Holocène.

Figure 78 : Situation des deux grandes coupes étudiées dans le réseau de Dadong (Wufeng, Hubei) : coupe des varves rouges à l'extrémité de la galerie des Belges (amont fossile) et coupe des varves marrons dans l'aval semi-actif.
Situation of "varves rouges" and "varves marrons" deposits in Dadong cave (Wufeng, Hubei).



B. LA COUPE DES VARVES ROUGES : RÉSEAU FOSSILE DE DADONG (WUFENG)

La coupe se situe à l'extrémité NE du réseau de Dadong, dans une grosse branche fossile, perchée une centaine de mètres par rapport à l'entrée. Une étude préliminaire a été faite dans le rapport **Gebihe 89 (MAIRE, 1991, p. 146-149)**. Le dépôt est constitué par un remplissage détritique rythmé remarquable par ses dimensions : 50 m de large sur 25 m de haut (**fig. 78**).

1. Description litho-stratigraphique de la coupe

On observe 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.

- **L'ensemble inférieur** 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 (certains éboulés du plafond) 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. L'ensemble inférieur est riche en graviers, certains cimentés, avec de nombreux chenaux de chasse d'eau. Vers la base de la formation, on observe des blocs cimentés dans les varves et surtout un niveau caractéristique avec des débris de spéléothèmes remaniés.

- **L'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 (**photo 37**). De nombreux niveaux d'oxydo-réduction sont visibles, surtout dans la partie inférieure plus grossière. On observe quatre sous-ensembles que l'on décrit en partant du haut dans le sens du levé de la coupe :

(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). Cette séquence est cimentée dans sa partie supérieure avec des blocs éboulés des parois.

(2) Une séquence de 0 à 6 m de profondeur 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. Ces lits représentent des chasses d'eau et leur morphologie est typique de ravinements occasionnés pendant le dépôt. Dans certains cas, on observe une cimentation phréatique des lits dans les niveaux plus poreux et qui serait postérieure au dépôt.

(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. Cette séquence homogène est caractérisée par des processus d'oxydo-réduction. Dans cette séquence ont été prélevées en 1992 quatre carottes, représentant en continu plusieurs mètres de varves fines homogènes. L'étude micropéetrographique des lamines est en cours et devrait permettre des conclusions importantes sur le régime saisonnier, le type de lamines et le rythme de la sédimentation dans la cavité.

(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 d'épaisseur) ont une matrice teintée en rouge. En revanche, les couches de varves (15 à 40 cm d'épaisseur) sont presque uniquement grises entre 13 et 20 m. (**fig. 79**)

2. Analyse séquentielle, granulométrie et étude micromorphologique

Un échantillonnage a été réalisé en 1989 sur l'ensemble de la coupe et un prélèvement en continu a été fait dans la partie centrale de l'ensemble principal en 1992. On dispose ainsi d'un nombre important de lames minces qui permettent d'avoir une bonne idée de la micromorphologie des microséquences varvées, des sous-ensembles stratifiés et des niveaux de graviers. L'étude micropéetrographique et les analyses granulométriques et pédologiques permettent les observations et les conclusions suivantes en partant de la base de la coupe :

- Vers 2 050 cm (lame WU 491/2), les sédiments au contact avec les blocs de base montrent des graviers cimentés avec infiltration d'argiles ferrugineuses qui corrodent le ciment et les graviers (11,2 % de ballast). Ensuite les lits sont composés de silts quartzeux fins (54,5 %) avec de la matière organique particulière qui s'organise en lamines avec des alternances de films plasmiques argileux condensés (24,5 % d'argiles micacées orientées dans le sens planaire) avec des tâches d'oxydation. Il s'agit de niveaux saisonniers de décantation avec des unités annuelles régulières de 180 à 112 µm d'épaisseur, ce qui représenterait si la série était régulière sur 20,50 m, entre 114 000 et 182 000 ans de décantation.

- Vers 1 870 cm (lame WU 491/3), des graviers (53,2 % de ballast) à matrice rouge et noire, situés 1 m au-dessus des blocs, montrent un microconglomérat à matrice silto-squelettique quartzueuse et micro-quartzitique avec des argiles micacées très pauvres en CaCO₃ (0,6 %) et à graviers calcaires du Permien (1,3 % de CaCO₃ pour l'ensemble de l'échantillon). On observe des auréoles de fer autour des graviers et une deuxième génération de ciment ferrugineux corrodant également le ciment fin. Cette corrosion in situ s'observe dans tous les niveaux à graviers et atteste la circulation d'eaux acides.

- Vers 1 845 cm (lames WU 491/4a et 491/4b), un niveau rouge et gris varvé prélevé pour le paléomagnétisme (éch. WU 491/4bis) montre à la base des varves silto-squelettiques granoclassées sédimentaires vers le bas de la séquence avec des lits d'argiles biréfringentes (varves grises), puis des varves rouges plus argileuses avec des niveaux de décantation. Les lamines rouges sont riches en particules de sols, en éléments de roches ferrugineuses (Trias ou Ordovicien ferrugineux) et en sablons calcaires ocre roulés.

- Vers 1 630 cm (éch. WU 491/5bis), les niveaux de varves grises ont été prélevés pour le paléomagnétisme.

- Vers 1 610 cm, on observe une alternance de varves grises et rouges. Les varves grises (lame 491/5b) sont homogènes, silto-quartzueuses (27 % d'argiles, 57 % de limons fins, 11,2 % de limons grossiers) et le ballast est très faible (0,8 %). Elles sont granoclassées avec des lits argileux planaires et des éléments noirs (matière organique ?). Les varves rouges (lame WU 491/5a) sont moins argileuses (17,5 %) avec des limons grossiers plus abondants (15,1 %) et un peu de ballast (2,5 %) et sables plus notables (8,2 % contre 2,8 %). Elles sont très peu granoclassées et montrent des niveaux de décantation avec des sablons carbonatés et des films argileux avec des motifs de biréfringence faible et à tendance dispersée. On observe quelques particules noires dans la masse de fond et un squelette de quartz, avec des grains de calcaires permien. La séquence passe vers le haut à des graviers avec ciment silto-squelettique ayant subi une dissolution et une infiltration de fer bactérien.

- Vers 1 275 cm (lame WU 491/6), on retrouve un lit de graviers à matrice rouge. Là encore, on observe la forte dissolution des graviers post-dépôt et liée à la néoformation de fer bactérien. La dissolution affecte aussi le ciment silto-squelettique. La microséquence évolutive est la suivante : 1) cimentation silto-squelettique ; 2) dissolution ; 3) néoformation de fer plasmique cryptocristallin. Certains tests siliceux montrent même des épigénies par le fer.

- Vers 875 cm (éch. WU 491/7), des lentilles rouges avec auréoles de fer et manganèse noir sont marquées par des teneurs en argiles de 34,4 %, 51,6 % de limons, 11,3 % de sables et 7,6 % de ballast.

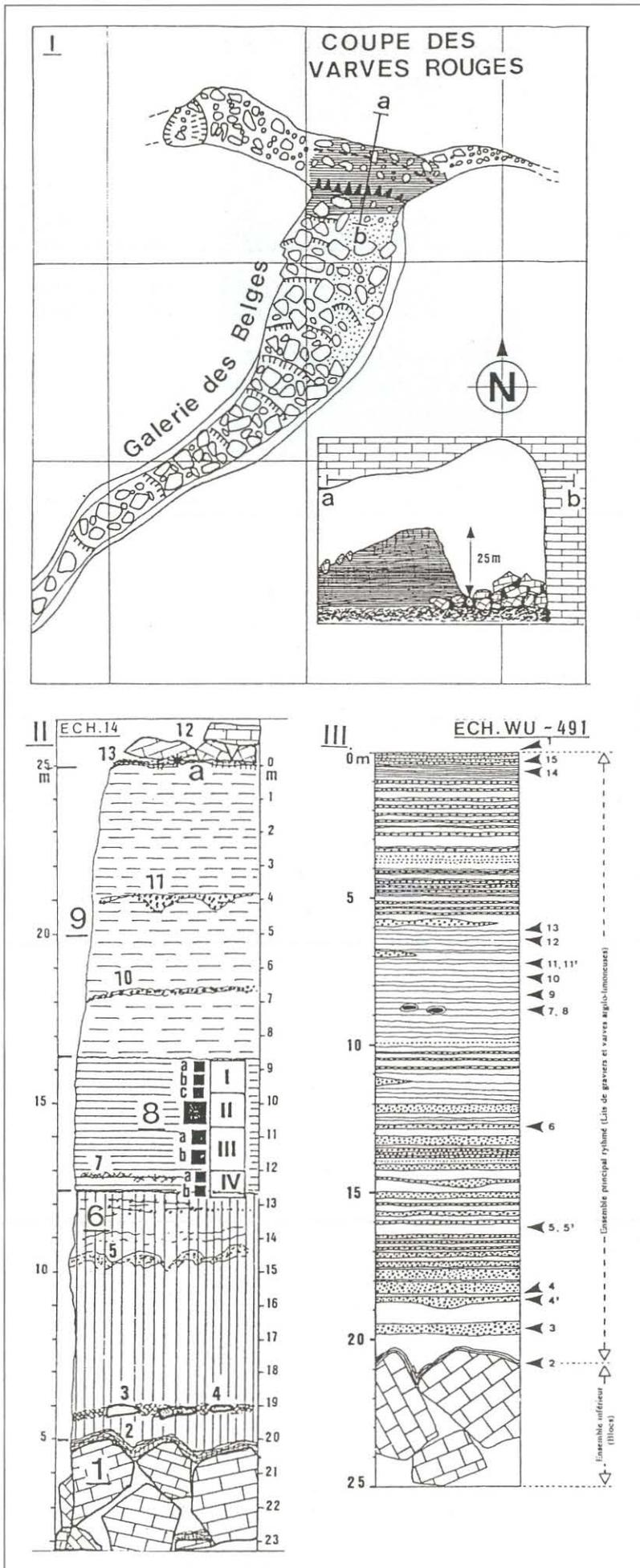


Figure 79 : Coupe des varves rouges de Dadong.
Section of "varves rouges" deposit in Dadong.

I. Situation de la coupe dans la galerie des Belges.

II. Coupe schématique des figures sédimentaires et localisation des prélèvements de 1992.

- 1 : ensemble inférieur avec blocs.
- 2 : plancher.
- 3 : blocs cimentés dans les varves de l'ensemble principal (unité inf.).
- 4 : niveaux cimentés et ravinement de spéléothèmes.
- 5 : chenaux à gravillons ± cimentés.
- 6 : ensemble principal (unité inf.) à niveaux plus graveleux.
- 7 : ensemble principal (unité inf.) à figures d'oxydo-réduction.
- 8 : ensemble principal (unité intermédiaire) à varves (éch. 14/1 a-b-c, 14/2, 14/III a-b et 14/IV a-b).
- 9 : ensemble principal (unité sup.).
- 10 : cimentation des lits de graviers post-dépôt.
- 11 : principaux ravinements (type chasses d'eau).
- 12 : blocs cimentés.
- 13 : ciment (éch. 14 a).

III. Stratigraphie de la coupe levée en 1989 et localisation des échantillons et des lames minces étudiées.

MICROMORPHOLOGIE DES VARVES ROUGES DE DADONG

L'érosion et le soutirage des sols dans les réseaux souterrains s'effectuent sous l'action du climat et/ou de l'homme :

Afin de comprendre la part respective des déstabilisations du milieu, on étudie des remplissages de cavités avant l'action de l'homme et pendant. Ainsi la séquence des varves rouges de Dadong atteste un changement climatique à la fin d'un contexte froid et antérieur aux actions anthropiques. La séquence des varves marrons se situe dans un contexte climatique comparable, mais les produits des feux (sans doute d'origine humaine) sont très marqués dans le dépôt.

La séquence des varves rouges a enregistré les alternances de décharges détritiques grossières et des périodes de décantation riches en particules fines. Elle traduit un fonctionnement de période froide avec en fin de séquence le dérèglement provoqué par l'arrivée de la mousson d'été et l'apport de contaminations volcaniques distales. Après le dépôt, le climat s'est réchauffé et des eaux chargées en sulfates ont circulé dans la grotte permettant la fabrication d'oxygène par des sulfato-bactéries. (clichés et analyses des lames minces S. Pomel).

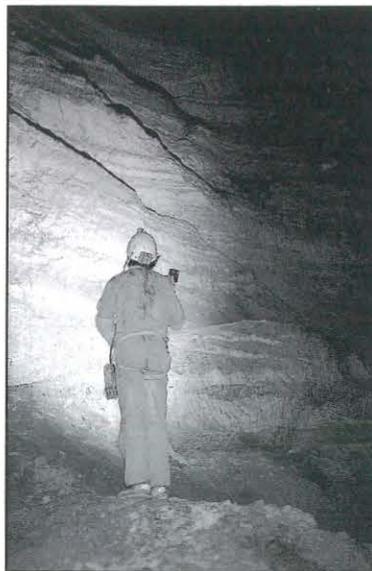


Photo 37 : Coupe des varves rouges montrant l'alternance des décharges de graviers (en sombre) et des dépôts fins de décantation (en clair). Cliché J.B.
The "varves rouges" (red varves) deposit.



Photo 38 : Système de doublets de décantation avec granoclassement attestant un fonctionnement de saisons froides : lamines rouges argileuses bio-organiques et ferrugineuses (en sombre) et lamines grises détritiques à quartz éoliens (en clair) vers - 43 cm. Ech. WU 491-14, lum. pol. non analysée, obj. 2,5 x 3,2. échelle 1cm = 523 μ
Laminae couple of decantation showing a bio-organic lamina (dark) and a detritic lamina (clear).



Photo 39 : Détail des micro-lamines de silts fins vers - 615 cm montrant un doublet annuel : à gauche, lamine à sables avec une pellicule condensée qui atteste un assèchement et une décantation ; à droite, lamine granoclassée vers le plus grossier. Ech. WU 491-13, lum. pol. non analysée, obj. 10 x 3,2. échelle 1cm = 131 μ
Detail of micro-laminae near - 615 cm showing a year couple (varves).

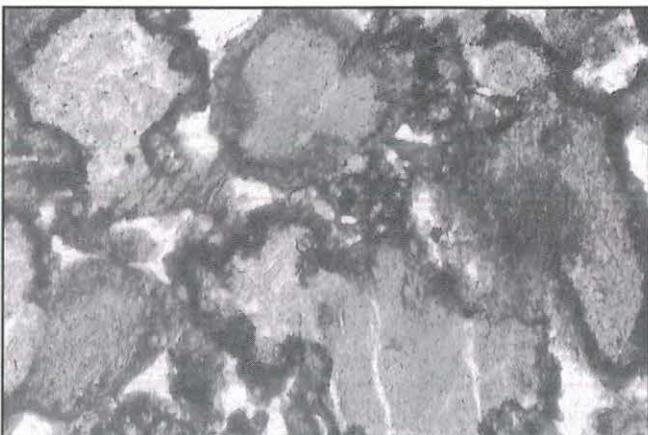


Photo 40 : Lit grossier vers - 650 cm montrant des graviers altérés de schistes ordoviciens et de microgrès, cimentés par des revêtements ferrugineux, l'ensemble ayant subi une dissolution postérieure. Ech. WU 491 - 12b, lum. pol. non analysée, obj. 10 x 3,2. Altered gravels in a coarse layer near - 650 cm. échelle 1cm = 131 μ



Photo 41 : Détail des colonies de sulfato-bactéries vers - 730 cm, avec remplacement de goéthite en hématite (pseudomorphose) dans les niveaux de varves riches en matière organique. Ech. WU 491-10a, lum. pol. non analysée, obj. 10 x 3,2. échelle 1cm = 131 μ
Detail of sulfate-bacteria near - 730 cm, with pseudomorphosis (substitution of goethite in hematite).

- Vers 860 cm (éch. WU 491/8), une séquence de varves grises et rouges est organisée en lamines. La teneur en ballast est nulle et les teneurs en limons dominant (70 %, surtout des limons fins 57 %). On distingue des lamines à granoclassement inverse qui se terminent par des silts très fins de quartz pur (lame WU 491/8a) et un film argileux, puis un plasma argileux et détritique plus grossier avec des sablons carbonatés et des pelotes d'argiles de fer et de manganèse. La lame (WU 491/8b) permet de définir 5 microséquences annuelles : à la base une lamine rouge argileuse, puis 4 doublets (lamine à sablons calcaires et néoformation de fer / lamine condensée), enfin au sommet des lamines grises granoclassées. Cette microséquence atteste un fonctionnement saisonnier avec dominance d'un régime d'hiver.

- Vers 750 cm (éch. WU 491/9), on observe des lentilles ferrugineuses rouges.

- A partir de 730 cm, le type de sédimentation change légèrement, les courbes de classement des sables qui étaient bimodales, avec des médianes comprises entre 0,6 et 0,4 mm, s'amenuisent entre 0,2 et 0,1 mm, avec pour deux exceptions les niveaux vers 630 cm (0,4 mm) et vers 15 cm (0,9 mm). L'indice de classement (So) passe de 3,2-2,3 à 1,4-2,4, et le Q de Phi baisse, ce qui indique une augmentation notable de l'énergie hydrique. Sur lame (WU 491/10a), on observe un niveau de lentilles rouges composé d'un amas de colonies ferrobactériennes qui ont participé à l'oxydation des argiles ocre (goéthite à motifs striés de biréfringence) et à leur transformation en argiles plasmiques sans motifs de biréfringence (hématite). Ces colonies vermiculaires ou en amas globuleux sont sans doute des sulfatobactéries (photo 41). Les niveaux de varves grises (éch. WU 491/10b) sont très faiblement argileuses (5 %) et très sableuses (35,1 %).

- Vers 710 cm (éch. WU 491/11), l'alternance de varves grises et rouges se poursuit et vers 700 cm on observe sur lame (WU 491/11bis) une alternance classique avec un granoclassement à éléments carbonatés arrondis dans certains niveaux et la composition inchangée (quartz, micas, fins débris noirs mélanisés ?) dans un plasma silto-argilo-squelettique (75 % de limons, 17 % d'argiles, 5,6 % de sables et 0 % de ballast). La teneur en CaCO₃ est notable (1,5 %). On observe des passées de quartz détritiques altérés, des éléments de schistes altérés. Les lamines d'argiles biréfringentes sont rares.

- Vers 630 cm, des varves grises à la base (lame WU 491/12a) montrent un beau granoclassement avec une médiane forte (0,985 mm) et plus de 15 % de sables grossiers. (éch. WU 491/10a-b). Le squelette est composé de paillettes de micas, de quartz et de carbonates rares. On observe des particules de matière organique mélanisée et des tests végétaux. La microséquence type montre une faible activité carbonatée et un système de doublet constitué par une lamine de saison favorable avec des sablons et une lamine silto-détritique fine séparée par une pellicule condensée, signe d'assèchement. Quatre années sont enregistrées sur 7,8 mm soit 1,95 mm/an. Sur la base d'un remplissage de 630 cm, cela donnerait 3 230 ans pour la sédimentation restante. Sur la base d'une sédimentation de 2 050 cm, cela donne 10 500 ans pour la durée totale du remplissage (lame WU 491/12b). Au-dessus, les varves rouges (lame WU 491/12b) sont plus argileuses, moins riches en limons et en sables et un peu plus carbonatées (1 %). Quelques passées de graviers (schistes ordoviciens, microgrès et quartzites altérés) montrent des revêtements de ciment ferro-manganésifère avec des ponts d'hématite entre les grains, période de circulation d'eaux agressives post-dépôt et sans doute de remontée d'eau dans la cavité. (photo 40)

- Vers 615 cm, des lentilles rouges dans des varves grises (lame WU 491/13) montrent des microlamines de silts fins clairs alternés à des microlamines de silts à pelotes argileuses rouges. Le granoclassement est très fin avec quelques rares quartz plus grossiers. La séquence-type montre successivement un doublet annuel : lamine à sablons avec une pellicule condensée qui atteste un assèchement et une décantation et lamine granoclassée vers le plus grossier (photo 39). Cinq années sont sédimentées sur 7,2 mm, soit 1,44 mm/an, soit 4 270 ans pour les 615 cm restant et 14 200 ans pour l'ensemble du remplissage de 2 050 cm.

- Vers 43 cm, on observe des passées plus grossières (8,5 % de ballast) enrichies en limons grossiers (46 %) (éch. WU 491/14). Sur lame, l'alternance de varves rouges et grises est marquée par le granoclassement des lamines claires avec des quartz fins hydroéoliens, de nombreux micas et des grains de fer et des lamines rouges plus riches en argiles, avec des amas ferrugineux, des micas argilisés, des quartz rares (photo 38). Le système atteste surtout un fonctionnement de saison froide, avec 5 à 6 ans sur 7,2 mm, soit 1,2 à 1,44 mm/an, soit entre 17 000 et 14 200 ans pour la sédimentation des 2 050 cm. La microséquence-type montre un doublet : lamine avec augmentation de la granulométrie durant la saison froide et lamine condensée avec assèchement et développement bactériens avec consommation de la matière organique dans le film organique durant la saison fraîche.

- Vers 15 cm, un niveau de graviers à matrice grise (éch. WU 491/15) est très riche en ballast (59,9 %), en sables grossiers (65,4 %), très pauvre en limons (6,5 %) et totalement dépourvu de carbone organique et de matière organique.

- Dans la partie supérieure (éch. WU 491/16), un niveau sableux rythmé est marqué par des sables hydrauliques moyens et fins (11,3 et 26,1 %), très bien classés (So = 1,4). Un chaos de blocs éboulés des parois est recimenté par une concrétion récente (lame 14/A) à faciès microstalagmitique grise et bourgeons de calcite qui atteste des eaux turbides, riches en matière organique.

- La partie superficielle est constituée d'une poudre blanche de sables et limons carbonatés (éch. WU 491/1) et de limons fins de nitrates (éch. WU 491/1-a) liés à l'exploitation des fours à chaux.

3. Ages U/Th, paléomagnétisme et tephrochronologie

- 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). Les deux échantillons ont été pris dans le coeur des stalagmites. Il s'agit d'une calcite blanche, microstratifiée et très compacte. La teneur en uranium est élevée (6 à 9 ppm). Les deux âges calculés, de 12 600 ans (+ 400, - 300) et 16 300 ans (± 1 100), sont fiables en raison de la pureté des échantillons.

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. En effet, le remplissage a enregistré à la fois une séquence détritique de période froide, puis une immobilisation du dépôt avec un changement climatique chaud. Il s'agit aussi d'une formation dont la position géomorphologique exclu un âge pléistocène moyen ou supérieur. En l'état actuel des travaux en cours (paléomagnétisme), nous attribuons à la séquence froide / chaude enregistrée, un âge se situant entre le Pliocène et le Pléistocène inférieur.

- Des poussières volcaniques, sous forme de minéraux aciculaires ou automorphes (en particulier augite aegyrienne), sont piégés dans les lamines grises de saison clémente à carbonates et quartz éoliens dans les niveaux supérieurs à varves grises vers - 43 cm (lame WU 491-14). Il pourrait s'agir de contaminations atmosphériques distales liées aux apports de la mousson malaise durant une période où elle commençait à s'installer. Les grandes calderas des Philippines ou d'Indonésie sont à mettre en cause, mais dans l'état actuel de nos connaissances, il n'est pas possible de préciser un âge, tant est grand l'éventail d'attribution et incertaine la chronologie initiale des arcs volcaniques insulaires.

Il est cependant à noter que lors de l'éruption du Pinatubo (près de Manille), le 7 juin 1991 et surtout le 14 juin 1991 à 23 h 30, des retombées sont parvenues en Chine. Il y a là un domaine de recherche prometteur : ces traceurs dans l'endokarst doivent permettre de préciser à la fois les effets atmosphériques et dynamiques des grandes éruptions sur la climatogenèse des régions de mousson et d'évaluer des zones de dispersion et les saisons précises de fonctionnement des grands appareils volcaniques.

4. Interprétation paléoclimatique

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.

- **Le soutirage des sols rouges** 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 brutal enregistré par l'ensemble de la séquence qui représente une période de 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 (cf. chap. 8). 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). 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 et s'est produite dans un contexte froid.

- **La signification hydroclimatique** de la séquence de Dadong est clairement illustrée par 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. 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 lamine grise / lamine rouge mesure 5 cm à 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 58 décharges de graviers correspondent à chaque fois à une seule grande crue. 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 décennaires. 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. 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. Les argiles ferrugineuses à goéthite sont issues des dépôts turbides et de l'érosion des sols pendant une période de découverte végétale, avec une saisonnalité contrastée à dominance hivernale froide et des crues d'hiver. Après cette période froide, à saisons très contrastées, le climat a changé à l'extérieur et dans la grotte : les conditions thermiques sont devenues plus chaudes.

La couverture végétale a pu se reconstituer et des marécages ont envahi les karsts, fournissant des eaux sulfatées. En effet, la présence d'eaux sulfatées pourrait avoir pour origine une remise en charge des aquifères allogènes du Permien ou du Trias, puisque les calcaires du Cambrien et de l'Ordovicien contiennent de très faibles teneurs en SO_4 (1,6 %) contre 5,47 % et 40,2 % respectivement pour le Trias et le Permien (cf. Gebihe 89). Il semble plus probable que c'est le développement d'une végétation tropicale humide de type marécageuse à l'amont qui a fourni les sulfates. Cet environnement correspond également à une fourniture de matière organique dans les

eaux qui est à l'origine d'un développement des sulfato-bactéries et une oxydation des produits ferrugineux, c'est-à-dire une transformation de la goéthite en hématite par la fourniture d'oxygène en milieu non photosynthétique. La circulation d'eaux riches en humates de fer a engendré dans l'ensemble du profil des processus d'oxydo-réduction et le dépôt de manganèse et de complexes humo-ferrugineux durant une période à pluviométrie abondante avec une saisonnalité d'été de type mousson. Ce résultat est remarquablement bien enregistré dans les néogènes qui affectent le dépôt.

Enfin l'agressivité des eaux a repris son fonctionnement de saison froide, permettant l'induration et le concrétionnement partout où la porosité le permettait, ce qui représente le début d'un autre cycle froid. Dans ce cas, il faudrait placer la formation de cette grande séquence au moins dans le Quaternaire ancien en raison de ces arguments micropétrographiques. Des travaux plus précis sur la séquence de lamines de 4 m prélevée en continu en 1992 permettront peut-être d'affiner ces résultats préliminaires, en particulier le comptage des lamines et la définition des rythmes séculaires, ainsi que la représentation précise des cycles de micro-assèchements de la grotte attestés par les films condensés.

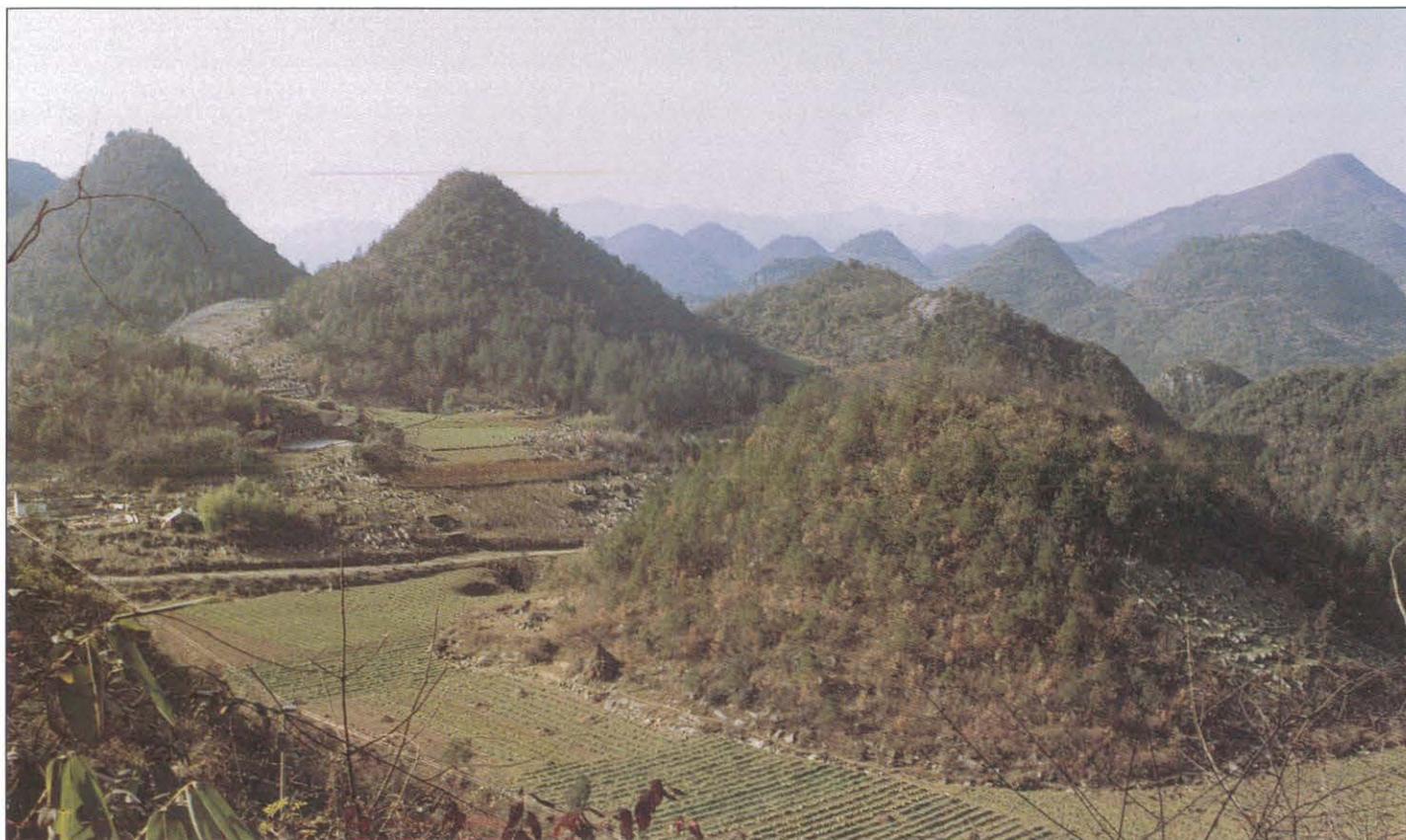
C. LES DÉPÔTS À OSSEMENTS DE TIANKENGCAO (WUFENG)

Le début du réseau de Tiankengcao est riche en remplissages détritiques fins et grossiers, en particulier des masses de graviers et de galets dont certains sont consolidés.

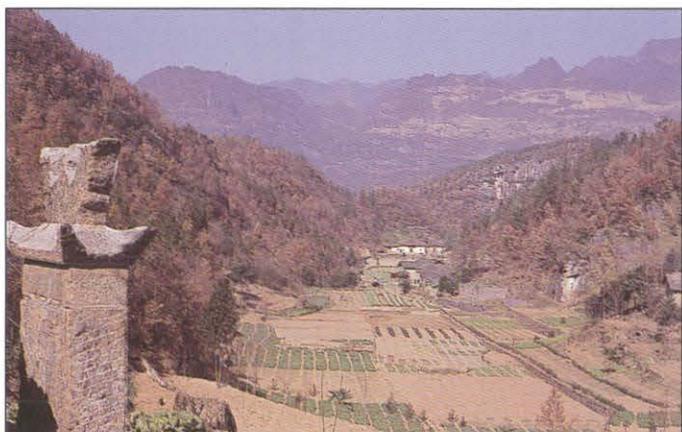
- **Litho-stratigraphie et sédimentologie** : Au fond de la grande galerie fossile, à 250 m de l'entrée, on observe un dépôt de galets plus ou moins consolidé d'une dizaine de mètres d'épaisseur. Il est raviné et recouvert dans sa partie basse par une séquence de varves grises. Au sommet du remplissage grossier et dans sa masse, on observe la présence d'ossements très altérés. Les dépôts de galets varient en dimension en raison de la variation de la géométrie des parois. Dans les parties plus étroites, on constate que le remplissage, actuellement raviné, montait jusqu'au sommet de la galerie. D'autres coupes, situées au début de la grande galerie fossile, montrent que le dépôt est organisé et correspond à des décharges successives de galets séparés par de minces horizons de varves gris-bleu.

- **Interprétation** : A première vue, il s'agit d'animaux de grande taille, de type cervidés et rennes, dont les squelettes ont été brisés, puis transportés par des crues importantes charriant des galets dans une matrice sablo-limoneuse. A cette époque, l'entrée du trou fonctionnait en perte de vallon. Aujourd'hui, la morphologie externe a complètement changé puisque l'on se situe dans la partie haute du karst, dans un champ de cônes et d'ouvalas, sans réseau fluvio-karstique apparent. Les vallons semi-actifs se situent maintenant 150 à 200 m plus bas au niveau du Puits E / Puits W. La présence d'éléments de flysch (grès) dans ces remplissages indique que la couverture de flysch du Silurien n'avait pas encore totalement disparu dans ce secteur alors qu'elle est encore présente 6 à 10 km à l'ouest. Ces arguments géomorphologiques montrent que le remplissage souterrain à ossements est relativement ancien et pourrait remonter au Pléistocène inférieur. Ce gisement est comparable à celui étudié dans le réseau de Liangfengdong dans le comté de Sangzhi (Hunan) ou de celui de la partie supérieure de la poche à l'amont de Donghe (Wufeng Hubei).

La nature du remplissage, qui s'apparente à des laves torrentielles ("debris flow"), témoignent d'une rupture climatique nette, avec érosion des sols et crues massives qui ont obstrué partiellement ou totalement les conduits selon la géométrie du réseau, d'où la présence de terrasses dans les parties les plus larges et de bouchons dans les parties les plus étroites. Des crues ultérieures ont recreusé ces remplissages. Il s'agit donc bien d'une succession de grandes crues de période froide, séparées par de petits épisodes lacustres en relation avec le régime d'écoulement et l'obstruction momentanée des conduits. La détermination des espèces ou des genres d'après les ossements retrouvés pourrait permettre de préciser le paléoenvironnement.



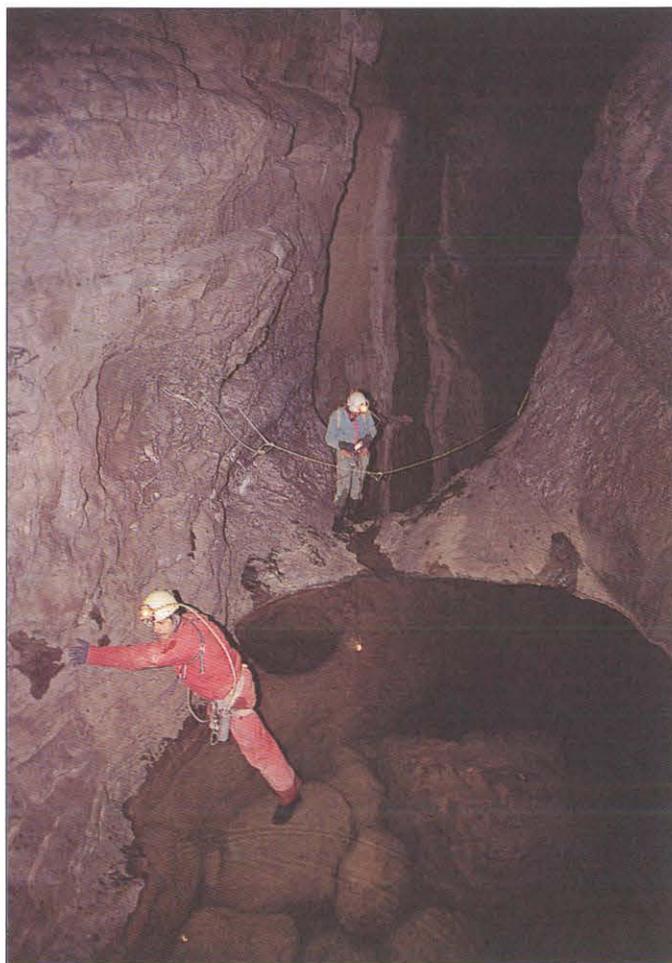
1. Karst à cônes dissymétriques près de Yanziping (Hefeng). Cliché J.W.B.



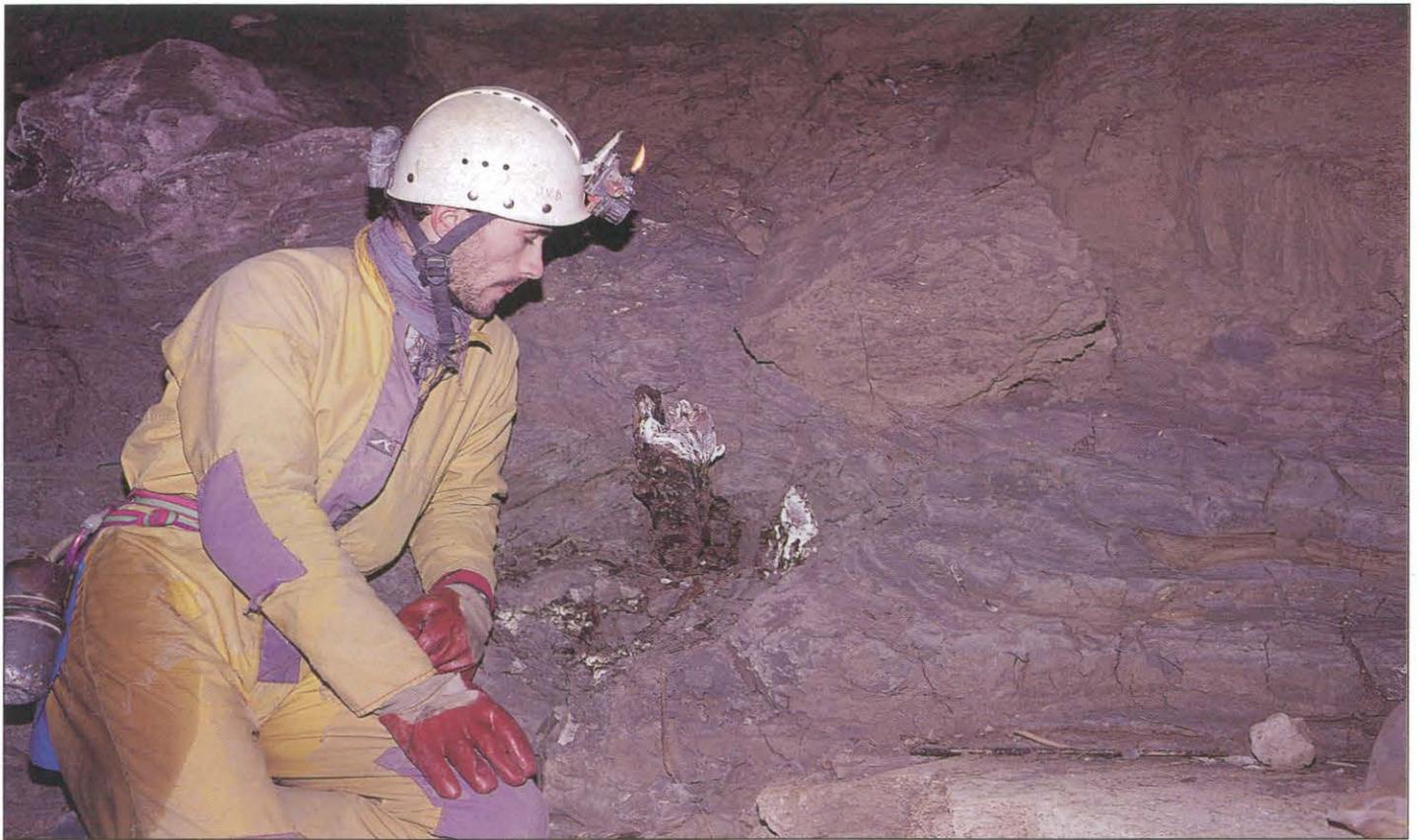
2. Grande doline cultivée entre Dadong et Wufeng. Cliché B.C.



3. Le poljé de vallée de Changleping (Wufeng). Cliché R.M.



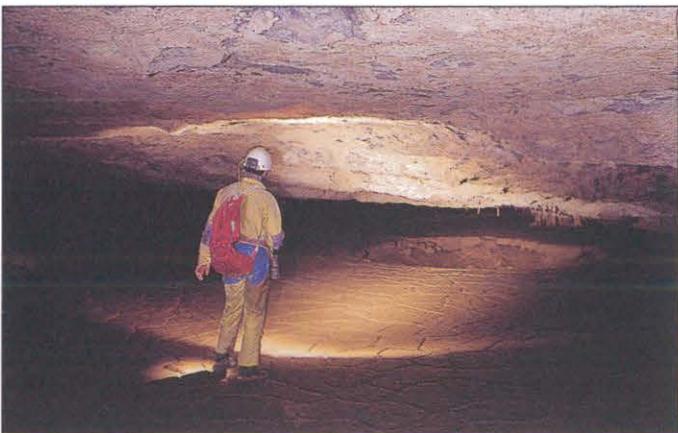
4. Passage de grandes marmites dans le réseau de Zhaidong (Hefeng). Cliché J.B.



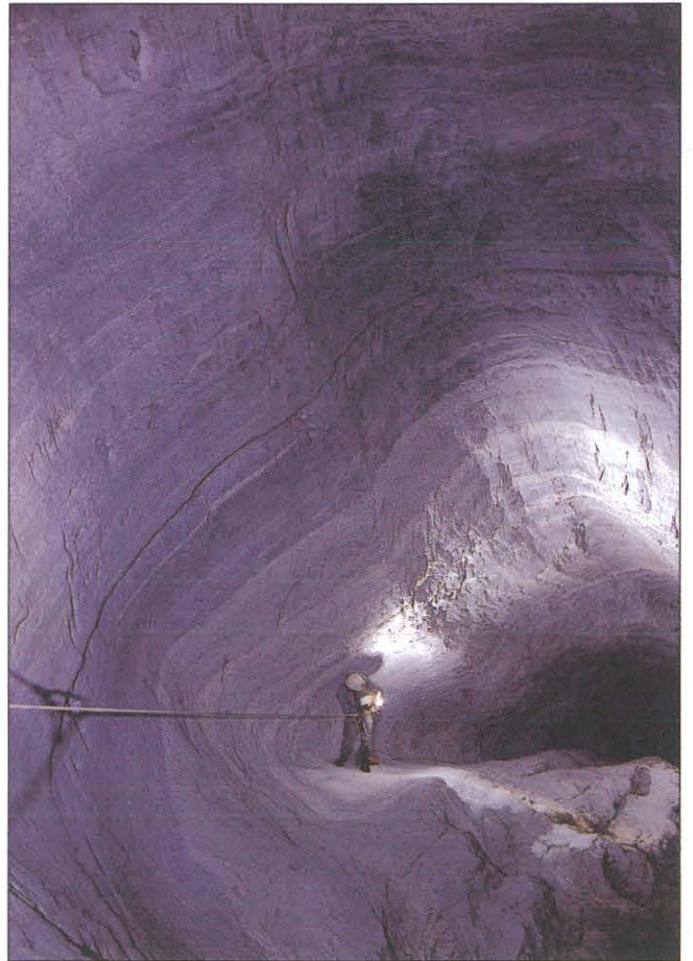
5. Base de la coupe des varves marrons avec le tronc daté de 18 500 ans. Cliché R.M.



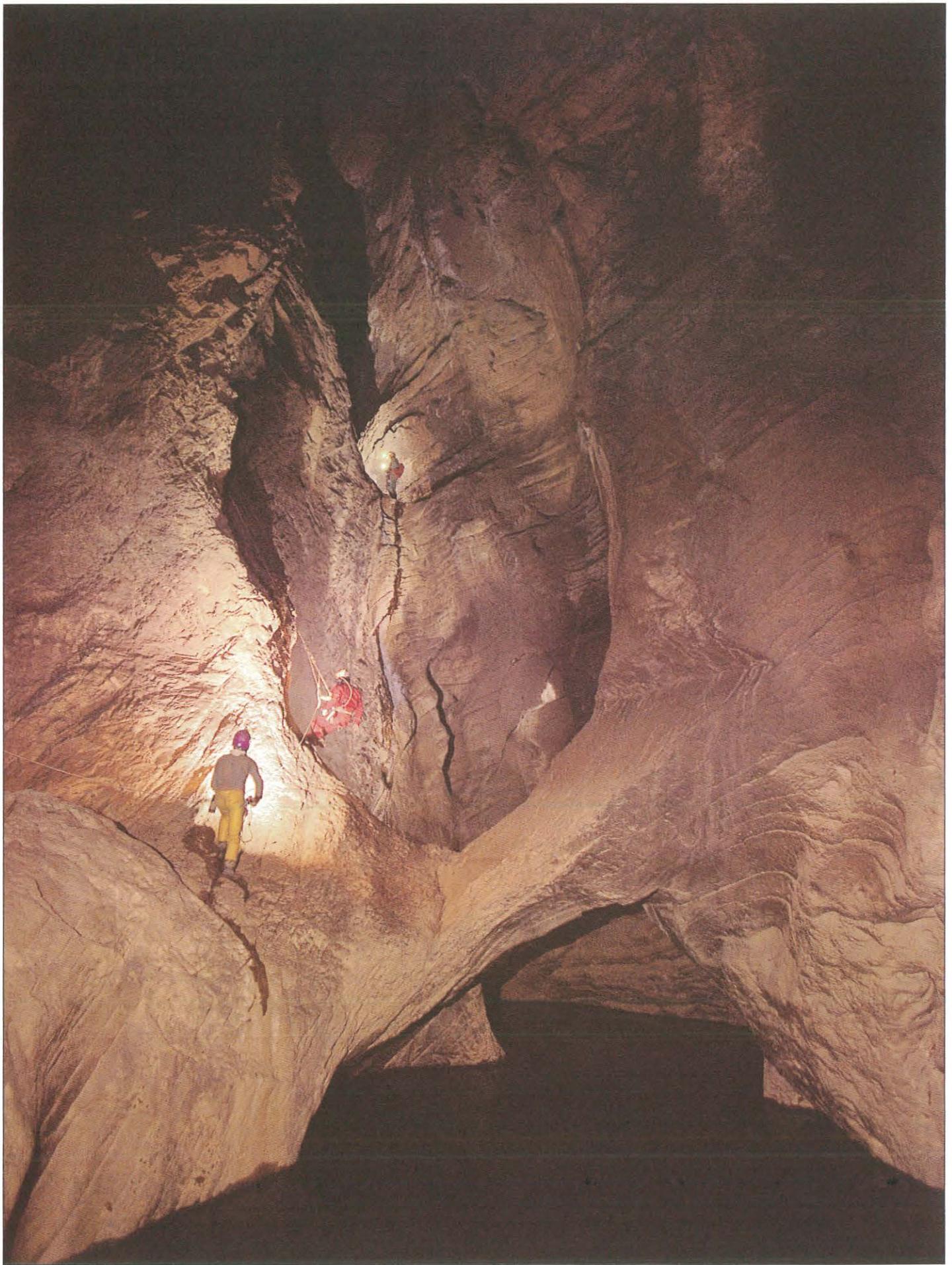
6. Bénitier du diable dans le fossile de Donghe (Hefeng). Cliché R.M.



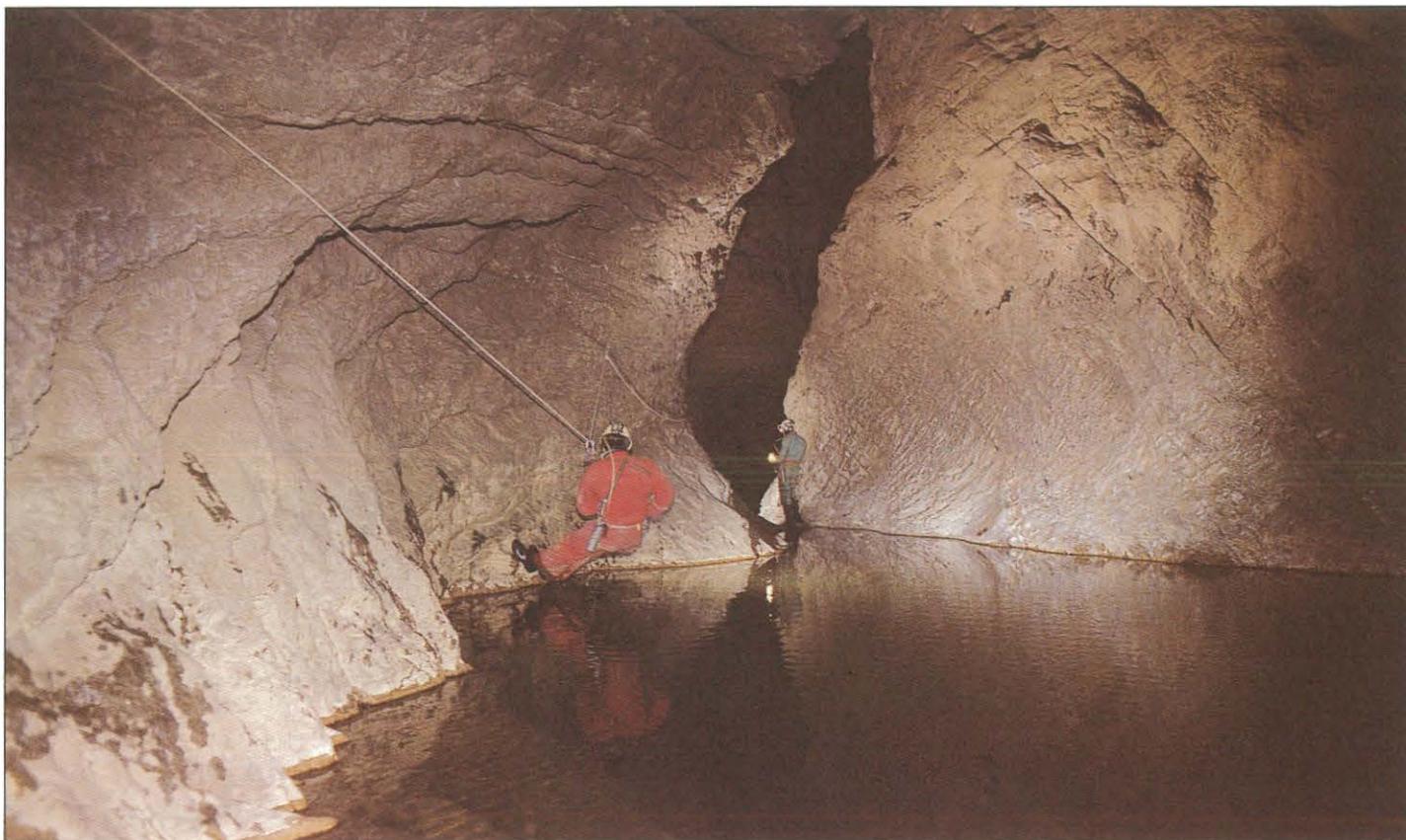
7. Dans la galerie de l'Oubli à Dadong (Wufeng). Cliché R.M.



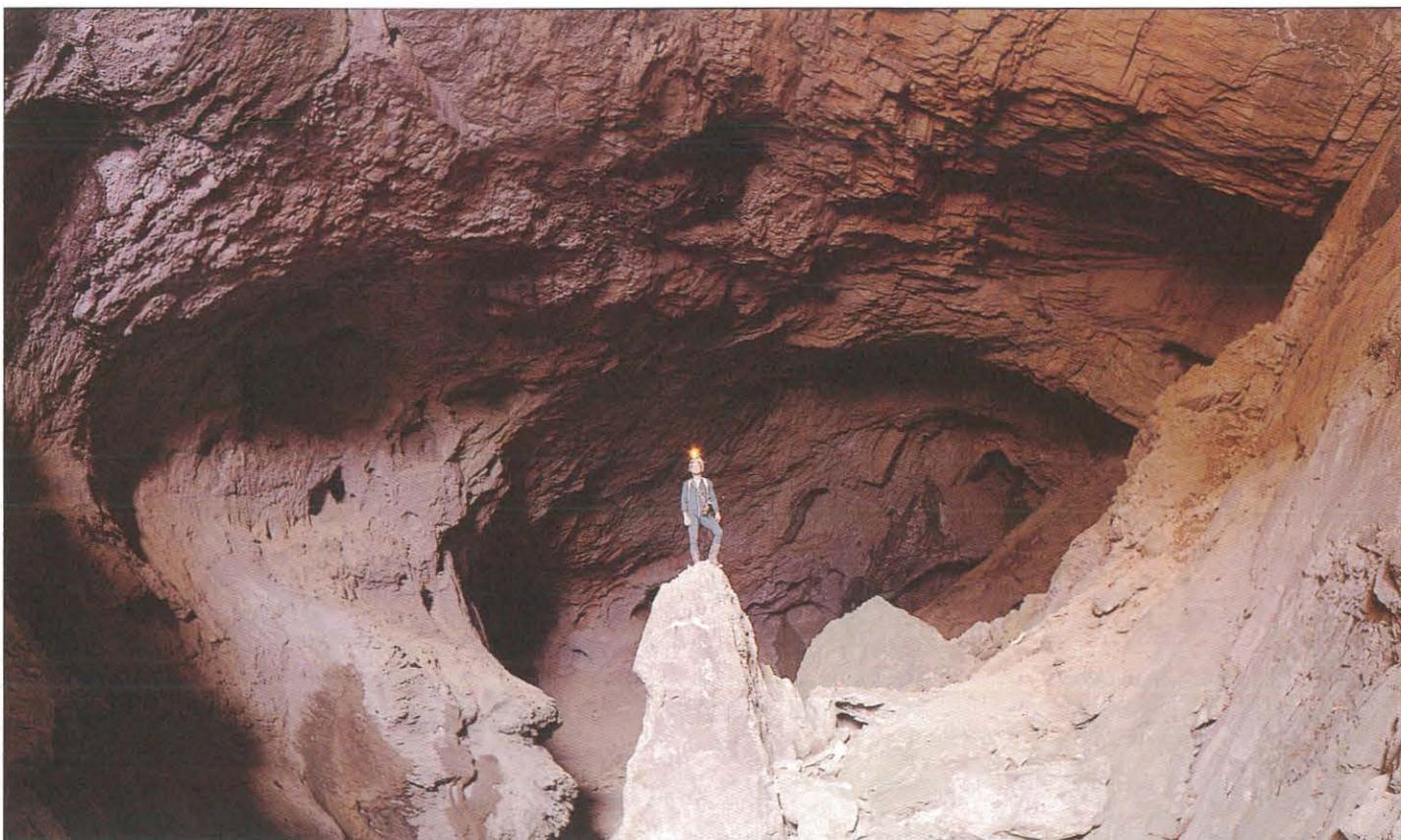
8. Puits du Bobsleigh dans Xiaoshuidong 2 (Wufeng). Cliché R.M.



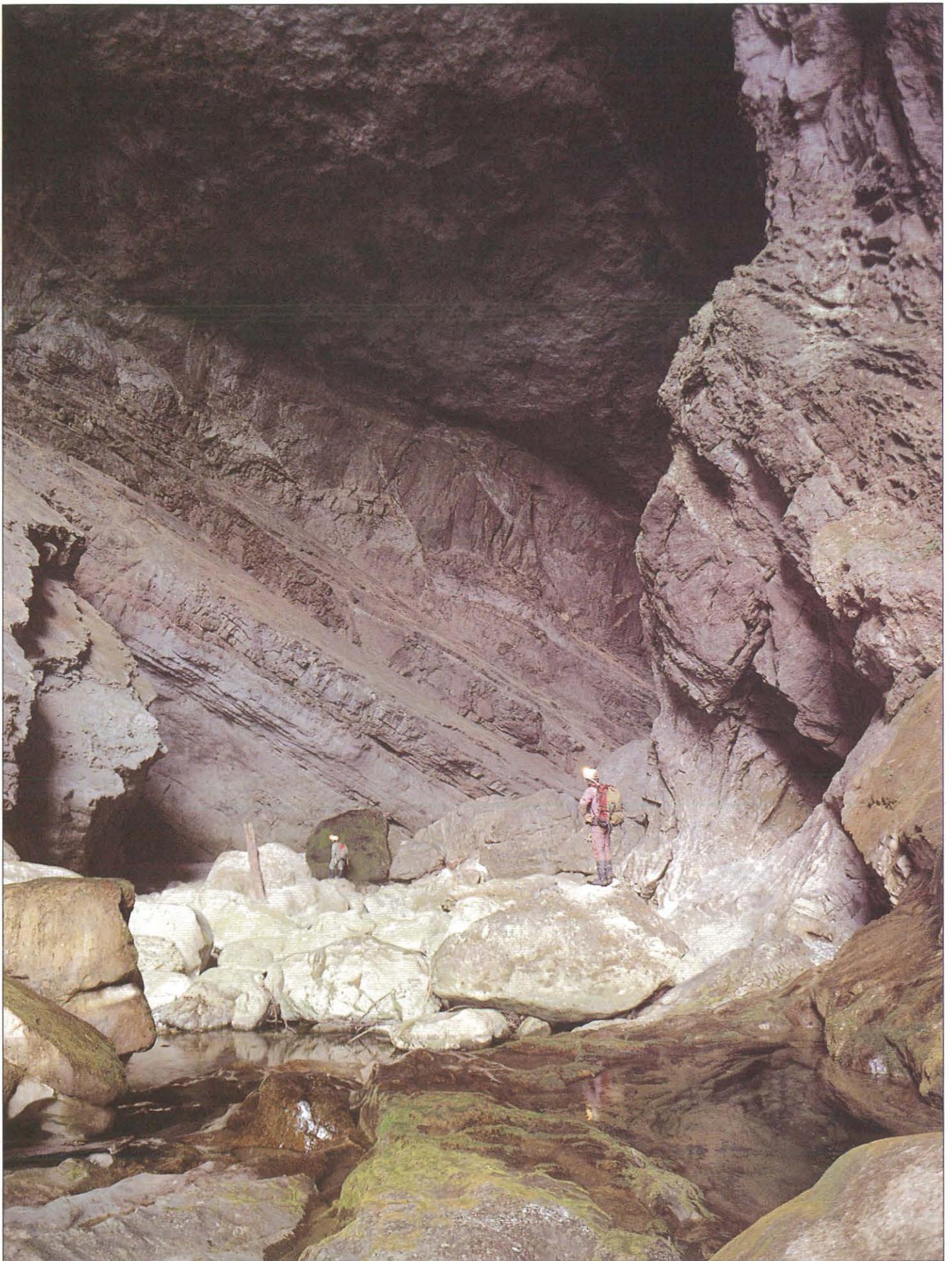
9. Escalade de marmites géantes dans Zhaidong (Hefeng). Cliché J.B.



10. Franchissement d'une marmite pleine à Zhaidong (Hefeng). Cliché J.B.



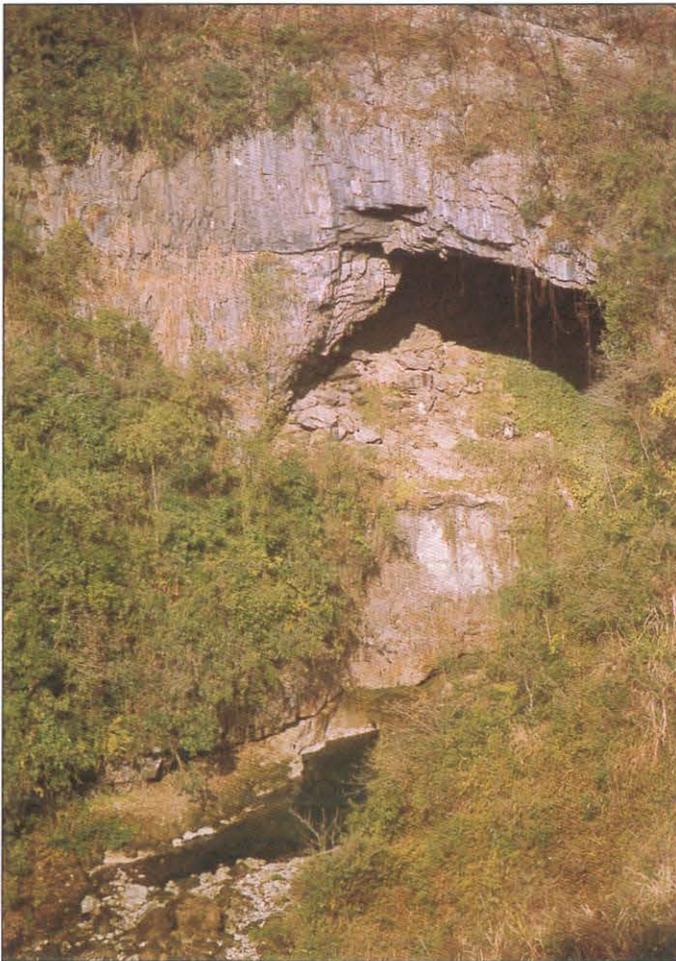
11. Porche de l'entrée inférieure de Gandong (Hefeng). Cliché R.M.



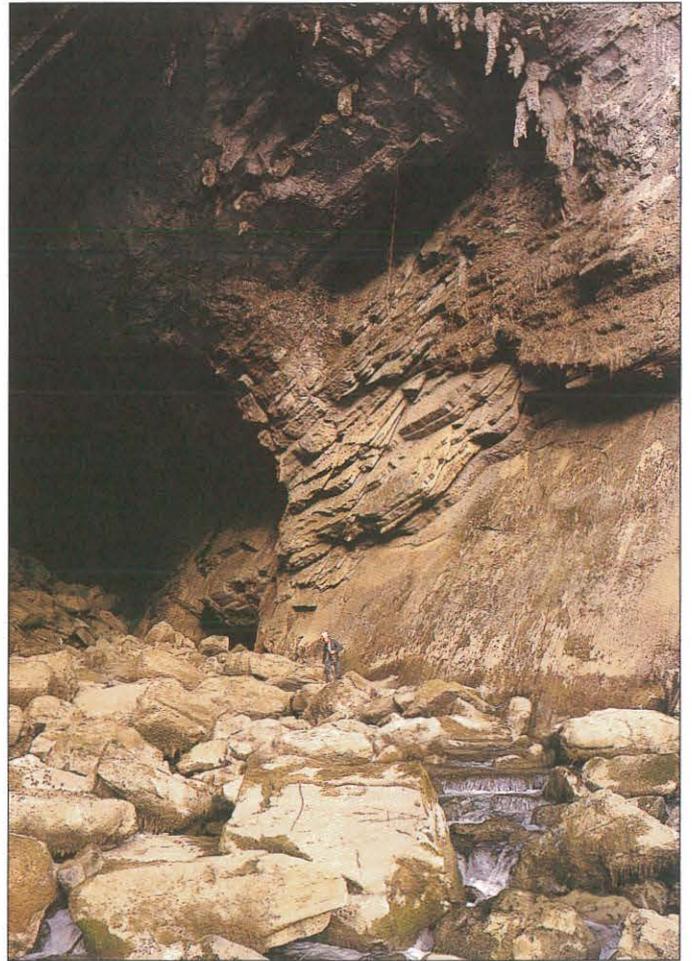
12. La vaste galerie du tunnel amont de Donghe (Hefeng). Cliché J.P.B.



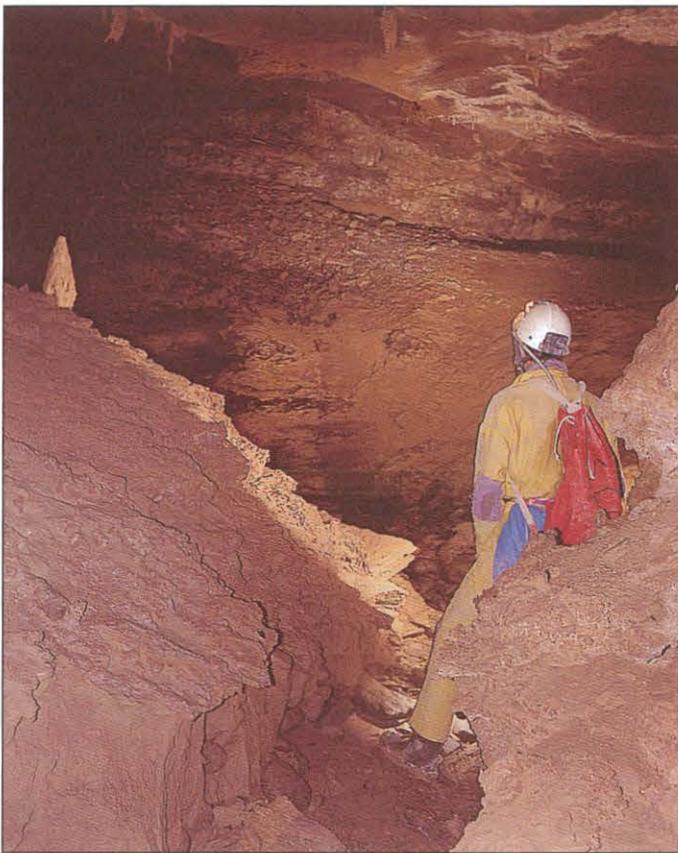
13. Paysage du karst conique dans la zone de Yanziping (Hefeng). Cliché B.C.



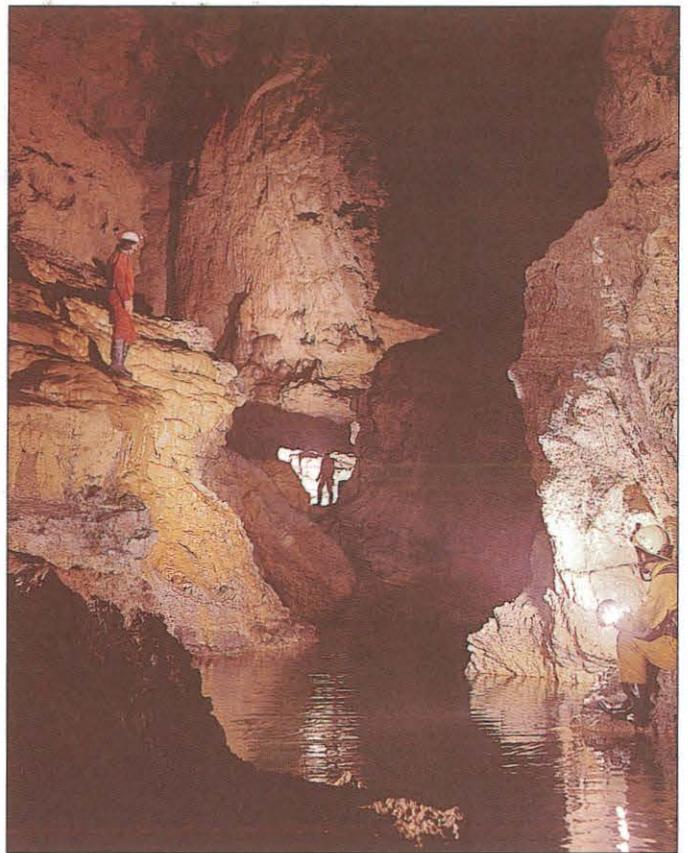
14. Porche de la résurgence de Donghe (Wufeng). Cliché J.P.B.



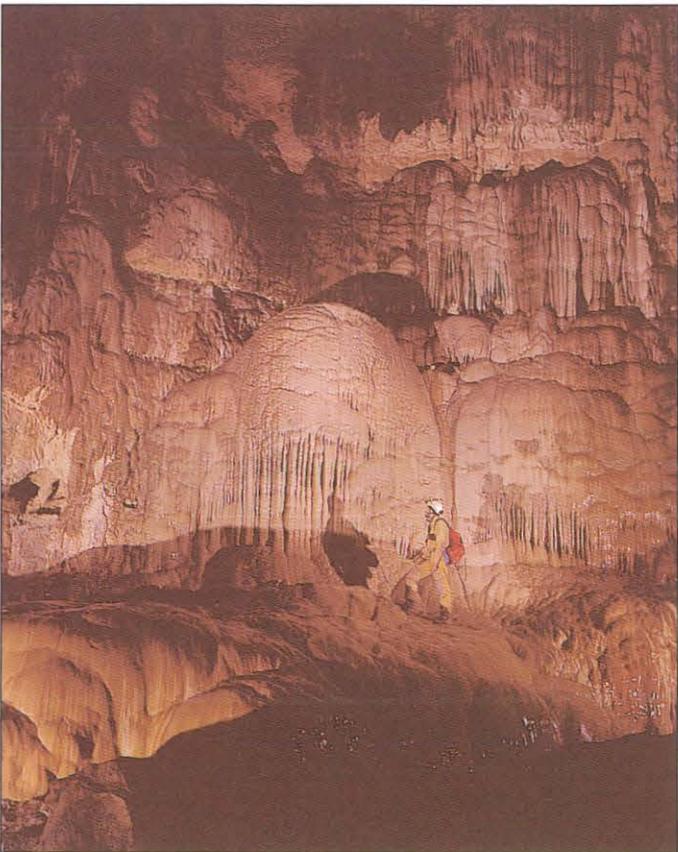
15. Porche de la résurgence du Chushuidong (Hefeng). Cliché R.M.



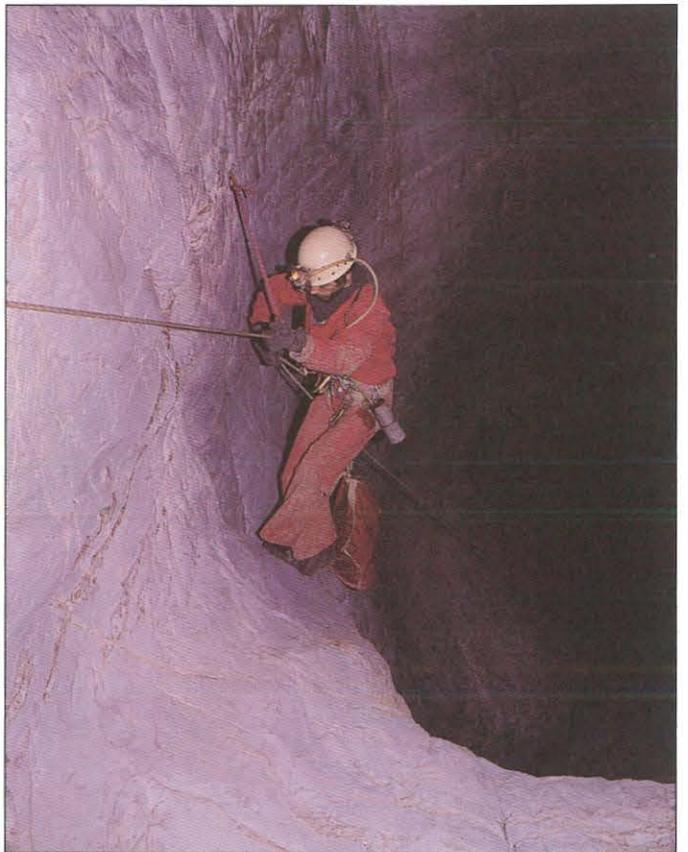
16. La galerie fossile de l'Oubli à Dadong (Wufeng). Cliché R.M.



17. Rivière de Donghe à l'étiage (Wufeng). Cliché R.M.



18. Grande coulée dans la galerie de Donghe (Wufeng). Cliché R.M.



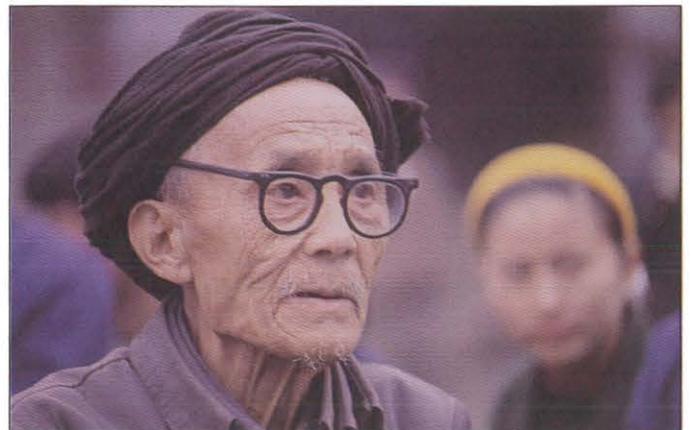
19. Le puits du Bobsleigh à Xiaoshuidong 2 (Wufeng). Cliché R.M.



20. Jeune spéléo chinois à Yanziping au retour d'une expo (Hefeng). Cliché J.B.



21. A Hefeng, le Père Noël 92 est de retour ! Cliché J.W.B.



22. Beau vieillard tujia à Hefeng. Cliché J.W.B.



23. Labourage à l'araire près de Tiankengcao (Wufeng). Cliché B.C.

II. Les remplissages récents à limons marrons et charbons de bois : rôle du climat et de l'homme

Les dépôts sont très abondants dans les grottes actives ou temporaires du Hubei, en particulier dans l'énorme perte temporaire de Dadong (Wufeng), dans les pertes de poljés du secteur de Yanziping (Hefeng) ou dans le réseau de Shuangdong-Zhangjiadong (Sangzhi). Il s'agit de dépôts frais ou assez frais pouvant dépasser 10 m d'épaisseur et recoupés par des écoulements plus récents.

A. COUPE DE LA SALLE DES VARVES MARRONS DE DADONG (WUFENG, HUBEI)

Cette coupe très importante, de 20 m d'épaisseur, se situe dans la branche aval du réseau, en rive gauche de la deuxième grande salle, dite salle des varves marrons, vers - 100 m. (fig 78 et 80)

1. Description de la coupe

Le dépôt, de teinte marron foncé, constitue la moitié de la salle en rive gauche. Il forme un talus incliné à 45°, haut de 15 à 25 m et long de 100 m au moins. Il a été recoupé par le cours actuel du torrent temporaire qui s'engouffre dans le porche de Dadong pendant la saison des pluies. Le débit de la rivière en hautes eaux, sans doute supérieur à 10 ou 20 m³/s pendant les fortes crues, a formé un dépôt de galets grossiers épais de 3 m. Quand on s'approche du talus, là où il est recoupé verticalement, on observe que le dépôt est finement stratifié et repose sur un dépôt grossier plus ancien. Dans le détail, on observe :

- une séquence inférieure de graviers stratifiés épaisse de 2 ou 3 m minimum ;
- une séquence laminée de base constituée de niveaux rouges et de varves grises sur 1,50 m ;
- une séquence principale de limons marrons finement rythmée de 20 m de puissance.

Par chance, un morceau de tronc d'arbre long de 40 cm est scellé à la base de la séquence de limons marrons. Ce bois flotté a été transporté par une crue et pris dans le remplissage. Il constitue un jalon chronologique fondamental car il est possible de le dater aisément par la méthode du carbone 14 (photo 42).

2. Description micromorphologique et analyse des lamines

L'analyse des principaux niveaux repères permet de tirer les conclusions suivantes :

- **Vers - 20 m**, au sommet de la formation à graviers épaisse de 2 à 5 m et à la base de la formation de varves marrons, on observe 2 à 3 m de varves grises et rouges. La micromorphologie montre une masse de fond silto-squelettique avec très peu de plasma argileux à motifs de biréfringence ponctués (éch. 15/A1, lame 24161) (photo 43). Le sédiment est très laminé avec des doublets annuels : lamine d'hiver, claire et fine, à quartz fins et calcite et lamine d'été sombre et plus grossière, avec argiles, grains de roches altérés, calcaire micritique gris, éléments de sols, particules de charbon de bois (photo 44), matière organique mélanisée, nombreux tests végétaux et algaires et surtout lits de filaments algo-bactériens (photo 45).

La séquence montre sur 2 cm, 19 saisons d'érosion des sols et d'incendies répétitifs, avec fourniture de sulfates permettant le développement de nattes algo-bactériennes et 17 à 18 saisons froides (lamines carbonatées) avec apports en quartz éoliens et dépôts de

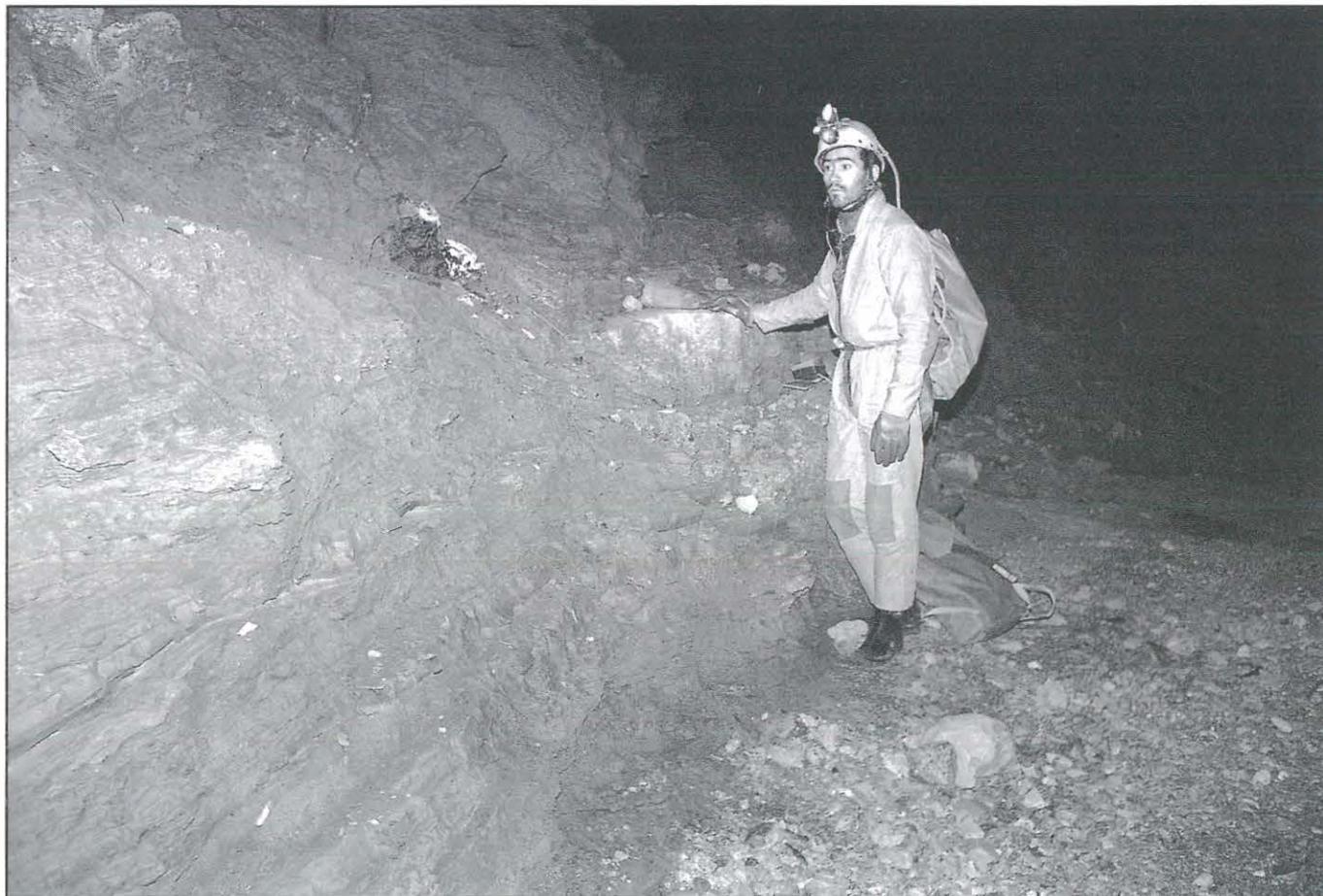
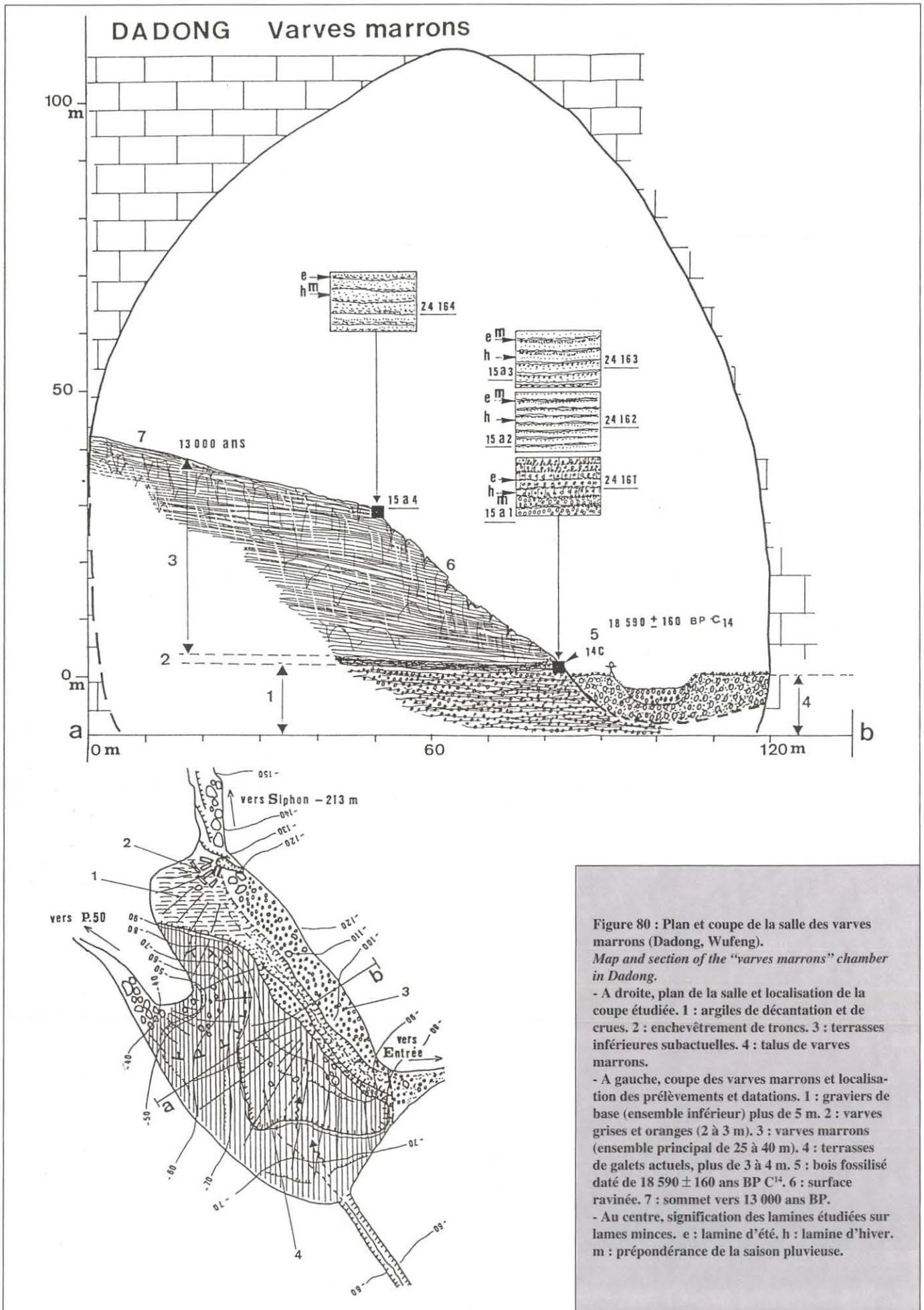


Photo 42 : Coupe de la base des varves marrons avec le tronc piégé dans les varves (âge C¹⁴ : 18 590 ans BP, ± 160 ans). Cliché R.M.
Bottom of the "varves marrons" deposit with a wood trunk dated by C¹⁴ (18 590 yr BP, ± 160).



carbonates, sans doute par des processus cryochimiques (PULINA, 1990). Sur la base d'un taux de sédimentation de 2 cm en 17-19 ans, les 2 à 3 m de varves représentent entre 1 700 et 2 850 années en contexte froid avec des pluies, surtout durant la saison favorable. Les traces d'incendies répétitifs durant la période de forte charge turbide et donc la plus humide sont très remarquable (**photo 46**), comme l'absence de contamination pédologique dans les lamines carbonatées, à l'exception de quartz fins éoliens. Cela est dû sans doute à la rétention par le gel et à l'absence d'interaction cyclonique de saison froide (?).

- **Vers - 19,80 m**, on distingue des varves silteuses fines, riches en quartz, avec des niveaux de graviers fins roulés de roche-mère calcaire (éch. 15/A2, lame 24162). On observe trois microséquences sur 4 cm.

(1) A la base des séquences de doublets : une alternance de lamines d'été, foncées riches en débris de sols, roche-mère argilisée et de lamines plus claires composées de silts fins de quartz avec un granoclassement d'hiver. Dans ces niveaux fins limoneux, on observe des silts fins et des niveaux plus grossiers avec décantation des argiles disposées à plat par rapport au plan de décantation (motifs de biréfringence parallèles au surface de décantation). Dans les niveaux foncés, on observe la présence d'un ciment argileux ferrugineux et de matière organique. Des tests charbonneux sont présents dans les deux types de lamines, mais surtout dans les lamines foncées à forte charge turbide de saison pluvieuse.

(2) Dans la partie moyenne, le système change et apparaissent des lamines turbides très enrichies en algues et probablement en sulfates et en fer. Les charbons de bois sont aussi très caractéristiques des lamines à turbidité grossière.

(3) Dans la partie supérieure, une unité plus grossière avec soutirage d'éléments de roches-mères calcaires, débris schisto-chloriteux altérés surtout dans les lamines d'été.

Le système de fonctionnement saisonnier annuel est bien illustré par le granoclassement des lamines qui enregistre surtout deux saisons bien marquées. Le granoclassement est inverse et diminue de l'été à l'hiver et la sédimentation stoppe avec sans doute la décantation, du fait de la rétention nivale et pluviale. Puis le système redémarre au printemps-été avec la débâcle et la fourniture de turbides grossières, fourniture de débris pédologique et de matière organique qui va servir de nutriment au développement algo-bactérien durant la saison la plus chaude et la plus pluvieuse. Nous sommes dans un système qui a changé par rapport à la lame précédente, car il y a une turbidité de saison froide et pas de fourniture de carbonates. Le taux de sédimentation augmente et on observe 8 séquences annuelles sur 4 cm, ce qui représenterait entre 400 et 600 ans pour les 2-3 m de varves de ce type.

Les conditions sont toujours froides, mais la turbidité augmente et on observe une interaction d'une saison de mousson. Les impacts des feux sont sensibles, répétitifs et toujours durant la saison à plus forte pluviométrie et turbidité pédologique (**photo 47**).

- **Vers - 19,60 m**, les varves grises sont organisées en 20 doublets hiver / été représentant 10 années sur 4 cm, soit 4 mm/an et donc entre 500 et 750 ans pour 2-3 m de varves de ce type. Sur lame mince (éch. 15/A3, lame 24163), on observe une différence de motifs de biréfringence entre les argiles planaires d'été et les argiles ponctuées d'hiver, sans doute en relation avec l'épaisseur de la lame d'eau.

Les lamines plus grises sont constituées de fines particules de calcite, de silts quartzueux et de très rares roches calcaires. On note la présence de lamines quartzueuses très claires et très fines. Ces niveaux sont alternés à des lamines plus détritiques et plus grossières, avec des charbons de bois, des tests algaires, des tissus algo-bactériens ferrugineux et / ou pyriteux et des cristaux verts automorphes (tephras ?). On observe des éléments de roche-mère altérée en chlorites et en phyllites, des éléments de microquartzites et de microgrès et des quartz pédologiques corrodés. Le développement de nattes algo-bactériennes durant la saison pluvieuse et plus chaude est liée sans doute aux apports en sulfates (**photo 48**). La saison d'été (?) est

marquée par le démarrage d'une lamine grossière qui interrompt la pellicule condensée précédente et dont le granoclassement va aller en diminuant jusqu'à la prochaine microdécharge.

- **A partir de 19 m environ** et jusqu'au sommet se développent des varves marrons très argileuses de décantation avec une bonne alimentation en eau, alternées à des décharges de graviers.

- **Vers - 1 m**, on observe les deux microséquences-types qui constituent ce type de remplissages.

(1) A la base de la lame (éch. 15/A4, lame 24164), un assemblage de varves granoclassées avec argiles de décantation en milieu très noyé, composées de silts argileux. L'ensemble présentant des pigments ferrobactériens et un assemblage argileux syn-sédimentaire à motifs de biréfringence très allongés et planaires indiquant une certaine profondeur d'eau et un milieu à très faible énergie. Les lamines de silts quartzueux montrent un type de granoclassement décroissant depuis la saison pluvieuse et chaude jusqu'à la saison froide caractérisée par des apports en quartz anfractueux très fins éoliens.

(2) Une séquence sommitale ravinante à graviers très roulés de roche-mère calcaire à micrite, de calcaires altérés gris, de microquartzites, de roches schisteuses et de "shales". On observe une phase de dissolution, avec recimentation de fer.

L'ensemble suggère toujours des conditions froides, mais le changement se manifeste par la présence d'eaux agressives, engendrant une dissolution, la fourniture saisonnières de sulfates dans les eaux, surtout dans la partie supérieure de la séquence. On peut se poser la question de savoir s'il s'agit d'une évolution post-dépôt ou non. Les microséquences ne sont pas toutes évidentes et le comptage des lamines est difficile du fait d'une sédimentation irrégulière liée aux décharges grossières. Les passages les plus clairs présentent 5 doublets annuels sur 4 cm, soit 2 500 ans pour 20 m, 3 125 ans pour 25 m et 5 000 ans pour 40 m de varves marrons.

3. Datation C^{14} de la base de la coupe (bois) et corrélation U/Th avec le réseau de Dadong

La base du remplissage de 20 à 40 m est datée C^{14} (LY-6505) 18 590 ans (± 160 BP) par un tronc fossile (éch. 15/C), situé à la base du remplissage et emballé dans la première séquence de varves grises et rouges. L'activité C^{14} par rapport au standard est de $9,89\% \pm 0,19$, ce qui en fait une date fiable. Le sommet de l'unité de varves grises/rouges se situe à 18 590 ans (± 160 ans BP) C^{14} , la base au contact avec les galets se situerait entre 400 et 750 ans avant soit à moins de 19 500 ans BP.

La série de varves marrons qui succède en continu étant homogène, il s'agit d'une sédimentation assez rapide. Un comptage sur les niveaux à lamines saisonnières bien exprimées permet d'estimer à moins de 5 000 ans et de donner un âge voisin minimum de 12 000 à 13 000 ans pour la partie supérieure.

Dans la mesure où les varves ont enregistré un changement dans la saisonnalité, passage de varves avec une sédimentation liée aux pluies d'hiver à des varves représentant une sédimentation détritique avec pluies d'été, on est en présence d'un enregistrement exceptionnel d'un changement climatique qui se situerait au niveau du passage du stade isotopique 2 au stade 1 entre 18 000 et 13 000 ans BP. A la base, au contraire, vers 18 000-19 000 ans, la saisonnalité est marquée par une absence d'interaction et de pluies d'hiver et la sédimentation de carbonates cryogéniques.

Ce remplissage n'est pas le seul dans le réseau de Dadong, puisque à 30 m du tunnel du gypse, dans la galerie des belges, on observe un ensemble de varves marrons sous des blocs éboulés et cimentés, l'ensemble étant réentaillé par une tranchée d'exploitation des nitrates.

Dans le réseau de Dadong, ce type de remplissage est situé dans la fourchette des âges U/Th établis sur concrétions : entre 16 300 ans ($\pm 1 100$) et 12 600 ans (+ 400, - 300) et qui représentent une nette amélioration climatique. La vitesse de croissance annuelle passe de 90-45-72-60-36-52 μm avec une moyenne de 59 μm vers



Photo 43 : Alternance de lamines à carbonates (à gauche) et de lamines peu détritiques et sans carbonate (à droite) dans un système de saisons sans mousson d'été (base de la coupe de Dadong). Les carbonates s'expliquent sans doute par cryogénie. Dans tous les cas, les sols sont encore relativement filtrants bien que les conditions soient très froides (on se situe à la fin de la dernière glaciation). Ech. 15/A1, lum. pol. analysée, obj. 2,5 x 3,2. échelle 1cm = 523 μ
Alternation of carbonated lamina (left) and weak detrital lamina (right) at the bottom of "varves marrons" deposit.

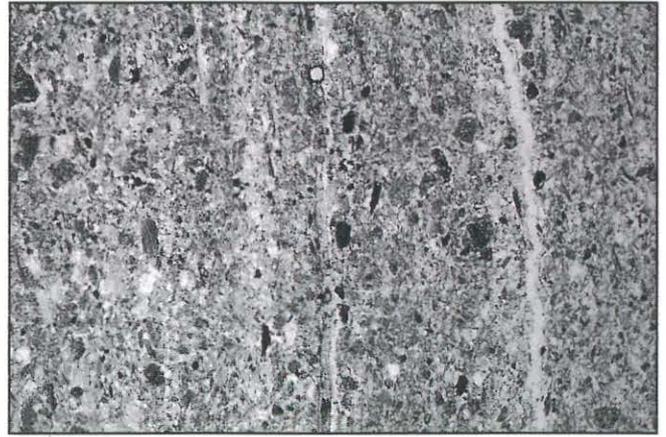


Photo 44 : Passage à des lamines à trois saisons (hiver, printemps, été) et niveaux alga-bactériens indiquant des apports en sulfates. Les lamines d'été sont détritiques (érosion de sols) et riches en particules charbonneuses répétitives. Ech. 15/A1, lum. pol. non analysée, obj. 2,5 x 3,2. échelle 1cm = 523 μ

Triple laminae (winter, spring, summer) and alga-bacterial micro-layers.



Photo 45 : Détail des niveaux alga-bactériens dans les premières lamines détritiques de saison d'été. Ech. 15/A1, lum. pol. non analysée, obj. 10 x 3,2. échelle 1cm = 131 μ
Detail of alga-bacterial micro-layers in the first detrital summer laminae.



Photo 46 : Petits charbons de bois dans les lamines de saison des pluies attestant des incendies répétitifs dès 18 000 ans BP environ (partie inférieure de la coupe). Ech. 15/A1, lum. pol. non analysée, obj.10 x 3,2. échelle 1cm = 131 μ
Little charcoals in the laminae of rainy season indicating probably human fires after 18 000 yr BP.



Photo 47 : Charbons de bois dans une lamina détritique de saison de mousson d'été (érosion des sols par dégradation de la végétation). On observe le passage de dépôts détritiques granoclassés, puis un lit condensé d'hiver avant la décharge détritique riche en quartz, et des plages de carbonates. Ech. 15/A2, lum. pol. non analysée, obj. 10 x 3,2. échelle 1cm = 131 μ

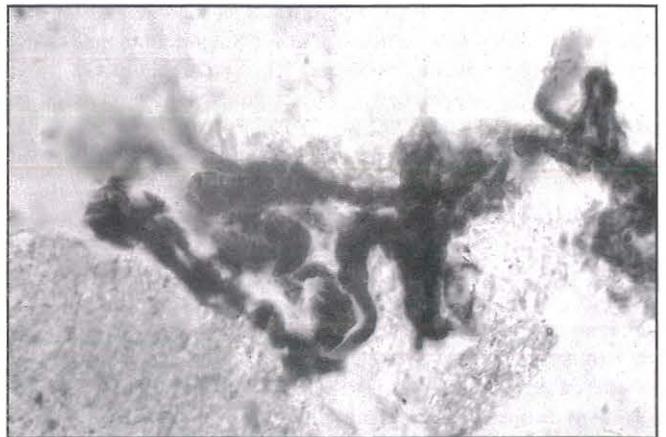


Photo 48 : Colonie de sulfato-bactéries ayant fixé l'oxygène. Elles ont participé à la néogénèse des oxydes de fer dans les eaux de la grotte et indiquent des conditions ultérieures plus chaudes. Ech. 15/A3, lum. pol. non analysée, obj. 50 x 3,2. échelle 1cm = 26 μ
Colony of sulfato-bacteria indicating a later evolution in hot conditions.

MICROMORPHOLOGIE DES VARVES MARRONS DE DADONG

(planche ci-contre)

Les varves des cavités de Chine centrale enregistrent les interactions de la mousson malaise :

Les remplissages souterrains détritiques archivent le soutirage des sols, les rythmes saisonniers et les ruptures climatiques. Ainsi, la base du dépôt des varves marrons est constituée par des lamines carbonatées de contexte froid, puis on passe aux 25 m de varves marrons. Ce passage indique un changement dans le régime des saisons avec l'arrivée de la mousson d'été. La quasi totalité du dépôt correspond donc à des varves de saison pluvieuse à forte charge turbide, avec un développement algairé lié à l'activité de sulfato-bactéries favorisées par le réchauffement. Très tôt se manifeste une exploitation de l'environnement par des brûlis qui favorise l'érosion et le soutirage des sols, accompagné de particules charbonneuses, dans l'endokarst. (clichés et analyses des lames minces S. Pomel).

16 300 ans (éch. DAD 518/B) à 654-654-514-313-400-327 μm , avec un moyenne de 477 $\mu\text{m}/\text{an}$ vers 12 600 ans (éch. DAD 518/A).

La séquence de ravinement et de terrasses grossières qui entaillent l'ensemble des varves marrons pourrait être antérieure à l'âge U/Th établi dans la galerie fossile du puits de 50 m, soit 3 700 ans (± 300) (éch. 15/B). Sur lame mince on observe un rythme d'accroissement avec un coeur pollué (sols et charbons de bois) au rythme régulier (2 fois 10 ans sur 7,2 mm) et plus rapide dans la partie supérieure (4 ans sur 7,2 mm). Le rythme d'accroissement est marqué par les saisons de pollution. L'accroissement annuel mesuré est de 313, 225, 180, 180, 200, 72, 72, 120, avec une moyenne de 170 $\mu\text{m}/\text{an}$.

A 1 km de l'entrée de Shuangdong / Zhangjiadong (Sangzhi), dans la galerie des nitrates, une séquence de remplissages est scellée par des planchers de vieux gours, avec des concrétions plus récentes. Les perles de caverne (lame 8/A) montrent des calcites en feuilles de chêne avec des pollutions de quartz fins ou de charbon de bois et débris de sols qui donnent des microséquences plus condensées (lame 8/B). Une stalagmite (éch. 8/C) montre une fabrique palissadique avec quelques pollutions zonaires charbonneuses très fines (lame 8/C-1). On observe des surfaces de croissance avec niveau condensé sec qui marquent un arrêt de la croissance. La croissance des cristaux repousse et concentre les turbides dans les joints intercrystallins et les coins (lame 8/C-2). Il a été possible de mesurer la vitesse de croissance annuelle avec des mesures de 654, 514, 654, 313, 400, 327 et une moyenne de 477 $\mu\text{m}/\text{an}$. La datation a donné un âge U/Th de 14 100 ans (+ 700, - 600). Bien que le faible rapport isotopique $^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$ rende cette datation peu fiable, il permet cependant de caler vers le haut la séquence des remplissages marrons de Dadong.

4. Signification générale

Dans la mesure où les varves marrons ont enregistré un changement dans la saisonnalité, avec le passage d'une sédimentation rythmée liée à des pluies d'hiver à des varves représentant une sédimentation détritique avec des pluies d'été, on a un enregistrement d'un changement climatique au passage du stade isotopique 1-2, vers 13 000 ans. A la base, au contraire, dans les niveaux à varves grises et rouges, vers 18 000-19 000 ans, la saisonnalité est marquée par des pluies d'hiver et la sédimentation de carbonates cryogéniques. Ce remplissage majeur est aussi important en épaisseur que le dépôt des varves rouges de la galerie fossile perchée. Son intérêt est de donner une indication précieuse du fonctionnement hydroclimatique pendant plusieurs millénaires à une période de changement important dans le rythme saisonnier des lamines qui indiquent vers le sommet l'apparition d'une saison des pluies de mousson plus active.

Le fait le plus important concernant ces microséquences continues et répétitives d'eaux turbides est qu'elles charrient des particules de sols, des cendres et des charbons de bois. Il ne peut s'agir de feux accidentels et la répétitivité, la position dans les lamines saisonnières indique probablement des feux intentionnels. Des feux de chasse n'auraient en aucun cas une telle régularité et n'auraient pas engendré une érosion des sols aussi spectaculaire que rythmée. De plus il semble difficile à admettre que des feux non intentionnels interviennent justement durant la saison la plus humide. Il en découle la conviction que nous avons affaire aux premiers effets d'une intensification de l'agriculture sur brûlis qui sera confirmée par l'étude des grands remplissages de poljé.

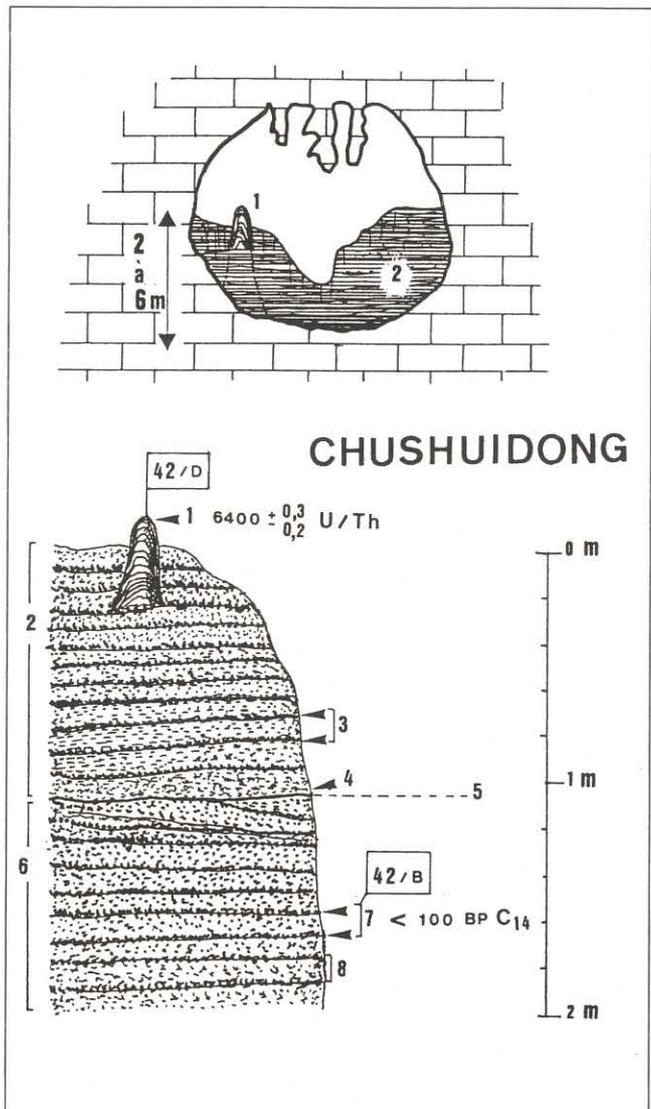


Figure 81 : Coupe des varves récentes à charbons de bois et porcelaine dans Chushuidong (Hefeng). Recent laminated deposits with charcoals in Chushuidong (Hefeng).

- En haut, coupe de la galerie. 1 : concrétion ancienne. 2 : varves à charbons de bois.

- En bas, coupe étudiée et localisation des prélèvements et datations. 1 : concrétion 42/D datée U/Th 6 400 ans (+ 300, - 200). 2 : sédiment argilo-limoneux marron avec porcelaine prise dans le sédiment (à l'amont). 3 : niveaux de charbons de bois. 4 : niveaux à limons clairs. 5 : discordance. 6 : argiles, limons et graviers. 7 : charbons de bois (42/D) datés C14 (LY - 6504) de moins de 100 ans BP (avant l'explosion atomique d'Hiroshima). 8 : microséquence de 10 cm d'épaisseur.

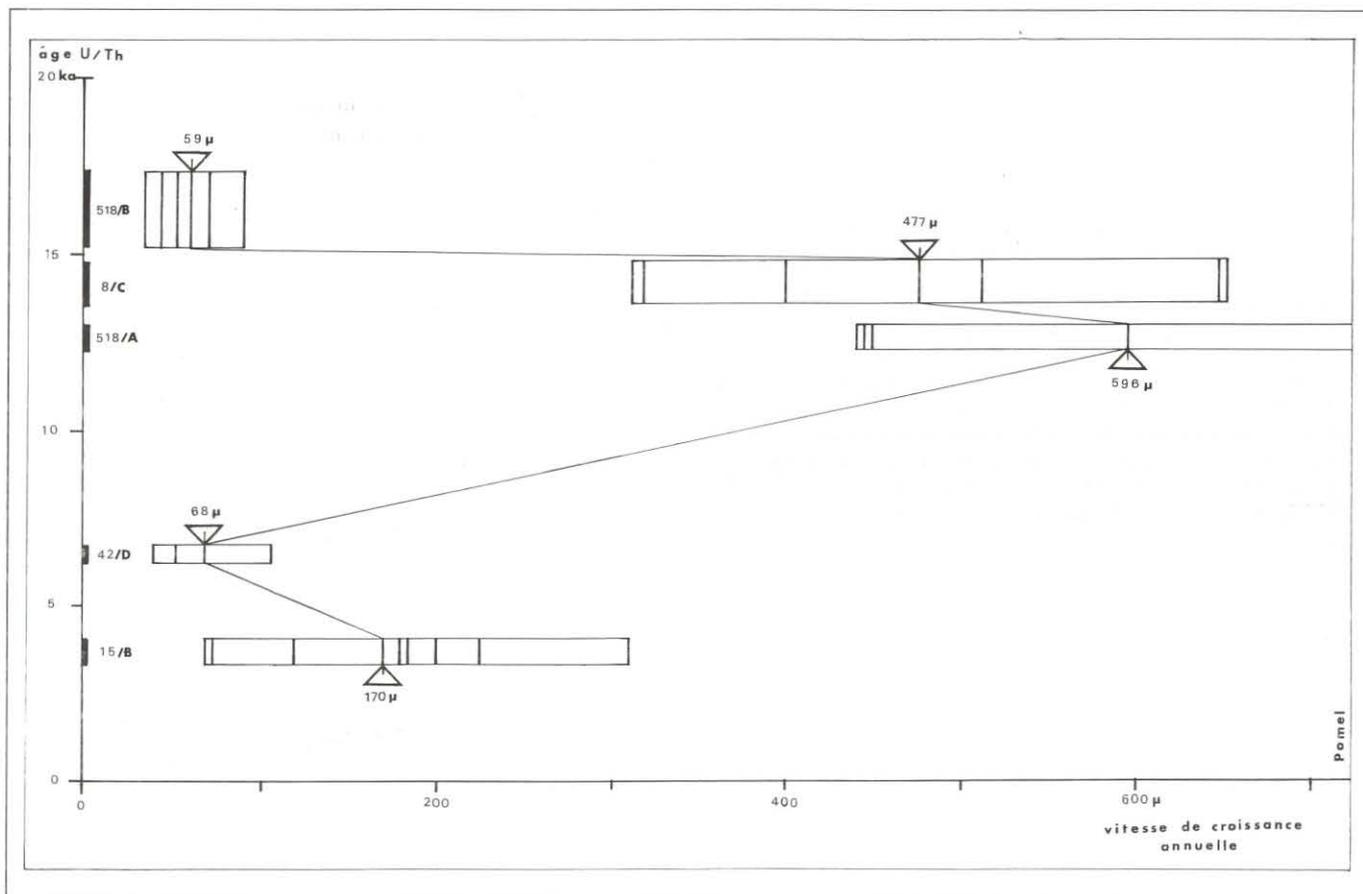


Figure 82 : Vitesse comparée du concrétionnement des stalagmites depuis 18 000 ans.
Rapidité of speleothems development from 18 000 years.

B. DÉPÔTS À CHARBONS DE BOIS DE CHUSHUIDONG (HEFENG, HUBEI)

Dans le réseau de Chushuidong (résurgence du poljé de Datangmi), on observe dans la galerie du fond, après l'étranglement de l'Ouragan, un remplissage argileux marron à grisâtre dont la puissance varie de 2 à 5-6 m.

- **Description de la coupe** : La coupe étudiée sur 2 m, vers l'extrémité de la galerie, montre une première séquence d'argiles et de limons séparés par des lits de graviers avec des niveaux charbonneux espacés d'une dizaine de cm. Les petits charbons de bois, dans les niveaux de base, ont été prélevés pour le C^{14} (éch. 42/B). La partie supérieure (1 m), située au-dessus d'une discordance, montre des sédiments marrons avec des charbons de bois et des niveaux limoneux clairs. En amont de la coupe des morceaux de porcelaine vernissée récente sont pris dans le sédiment (éch. 42/C). Dans la masse du sédiment plutôt limoneux on observe de nombreuses concrétions argileuses. En aval de la coupe, une stalagmite (éch. 42/B) est en partie recouverte par le dépôt argilo-limoneux, ce qui indique l'âge plus ancien de cette concrétion. (fig. 81)

- **Datations (C^{14} et U/Th) et interprétation** : La datation des fragments de charbons de bois donne un âge C^{14} (LY-6504) dont la teneur ($98,34\% \pm 0,58$) en carbone 14 est très proche de celle de l'atmosphère avant l'apport en C^{14} dû aux bombes atomiques. Nous pouvons lui attribuer un âge antérieur à Hiroshima (1944), mais inférieur à un siècle. La concrétion prise dans l'argile (éch. 42D), donc antérieure à la coupe, a été datée U/Th de 6 400 ans (+ 300, - 200). Elle montre sur lame mince une pollution importante et une très faible vitesse de croissance annuelle avec des mesures donnant 107, 56 et $40 \mu\text{m}$ et une moyenne de $68 \mu\text{m}/\text{an}$.

La coupe de Chushuidong indique une période de concrétionnement holocène, qui fossilise des remplissages plus anciens. Ces derniers sont scellés par des stalagmites et des gours dont l'âge U/Th a donné 14 100 (+0,7 / - 0,6) à Shuangdong, mais avec un faible rapport isotopique $^{230}\text{Th}/^{231}\text{Th}$ qui rend cette mesure peu fiable. Il faut simplement reconnaître que le remplissage antérieur est corrélé aux varves marrons de Dadong. La cavité a été ensuite brutalement colmatée par une première séquence d'érosion des sols pendant la guerre sino-japonaise, sans doute liée à l'exploitation des forêts pour la métallurgie de l'acier. La deuxième séquence correspondrait à la période de mise en valeur des terroirs de pente de la période maoïste.

Il faut noter la similitude de ce dépôt avec celui des varves marrons de Dadong. Mis à part l'âge, il s'agit dans les deux cas des résultats d'une crise majeure. Dans le cas de Dadong, c'est une crise d'adaptation à une modification climatique et probablement à un changement dans le mode de gestion des espaces forestiers avec une pression accrue sur les hautes terres karstiques. Ici, il s'agit d'un impact social plus direct d'une économie de guerre et d'une Révolution volontaire sur un environnement déjà dégradé par plusieurs millénaires d'exploitation.

C. VITESSE DE CONCRÉTIONNEMENT HOLOCÈNE ET FONCTIONNEMENT DE LA SAISONNALITÉ : ANTHROPISATION PRÉCOCE ET PALÉOOUSSONS

L'étude micropétrographique des lamines de cinq concrétions datées U/Th permet de préciser la vitesse de croissance annuelle (photos 49, 50, 51). Les mesures ont été effectuées par comptages sur lame en LN et LP avec des grossissements 25, 100 et 500. On observe une forte augmentation entre 16 300 ($\pm 1 100$) ans et 12 600 (+ 400, - 300) ans de près de 60 à près de 600 $\mu\text{m}/\text{an}$ en moyenne, mais avec de grands

LA VITESSE DE CONCRÉTIONNEMENT DEPUIS 18 000 ANS

Les contaminations pédologiques dans l'endokarst sont des jalons du fonctionnement durant les périodes de déstabilisation et des freins au concrétionnement :

Lorsqu'il se produit une rupture climatique ou anthropique, le concrétionnement s'interrompt et les sols sont soutirés dans le karst profond. Les concrétions récentes montrent souvent des contaminations en sols rouges avec alternance de calcite claire. La découverte des sols et de la végétation a été très précoce en Chine centrale.

Ainsi la vitesse comparée du concrétionnement depuis 18 000 ans se mesure sur lames minces à partir des lames des stalagmites :

Les vitesses de concrétionnement dépendent surtout de paramètres locaux. Les lames de concrétions datées U/Th montrent une forte augmentation entre 16 300 ans (± 1100), 14 100 ans (+ 700/- 600) et ensuite 12 600 ans (+ 400/- 300). Ce décuplement de la vitesse moyenne en moins de 5 000 ans est en relation avec une première phase de réchauffement. Les moyennes annuelles diminuent ensuite. Le fait que la vitesse de concrétionnement ait rapidement diminué pour atteindre des valeurs très basses vers 6 400 ans (+ 300/-200) et remonter ensuite vers 3 700 ans (± 300), est difficile à interpréter en terme exclusivement climatique. Il semblerait que ce soit un des effets du décapage des sols et de la végétation par une anthropisation précoce. (clichés et analyses des lames minces S. Pomel).

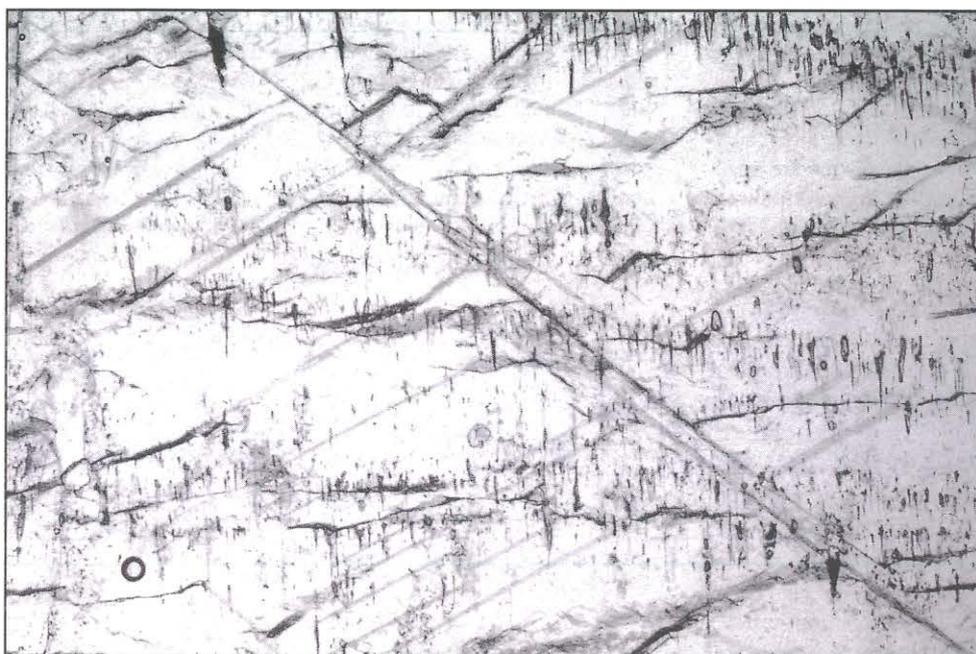


Photo 49 : Grande vitesse de croissance des lames annuelles vers 14 100 ans (+ 700/-600) liée au réchauffement climatique. On observe 2 doublets annuels avec 2 lames de calcite séparées par un lit de matière organique liée aux apports turbides. Ech. 8/C-2-1, lum. pol. analysée, obj. 2,5 x 3,2. échelle 1 cm = 352 μ

Quick precipitation of calcite (annual laminae)



Photo 50 : Très faible vitesse de croissance dans les lames annuelles vers 6 400 ans (+ 300/- 200) liée aux actions anthropogènes soulignées par de nombreuses particules charbonneuses. Ech. 42/D, lum. pol. non analysée, obj. 2,5 x 3,2. échelle 1 cm = 523 μ
Slow precipitation of calcite (annual laminae) near 6 400 yr due to human impact (fires).



Photo 51 : Rythme de pollutions charbonneuses et pédologiques durant une période de 3 ans avec une croissance carbonatée plus marquée vers 3 700 (± 300). Ech. 15/B, lum. polarisée non analysée, obj. 2,5 x 3,2. échelle 1 cm = 523 μ
Charcoal and soil contaminations during a period of three years (near 3 700 yr).

écarts. Ce décuplement en moins de 5 000 ans est en relation avec une première phase d'amélioration climatique. Les moyennes annuelles diminuent ensuite pour atteindre le taux moyen de 70 à 170 $\mu\text{m}/\text{an}$.

Le fait que la vitesse du concrétionnement ait rapidement diminué pour atteindre des valeurs très basses vers 6 400 (+300/-200) et remonter ensuite est difficile à interpréter en terme climatique. On pourrait admettre un retard dans ces karsts de montagne à la reconstitution des couvertures végétales et pédologiques après la période froide du Dryas récent. Il semblerait plutôt que ce soit l'un des effets du décapage des couvertures végétales et pédologiques par une anthropisation précoce comme cela est bien démontré dans les remplissages des grottes et des poljés (**chap. 10**). (**fig. 82**)

L'étude des varves permet également de préciser la durée du changement dans le régime de la mousson. Actuellement la mousson malaise en Chine méridionale et surtout au sud de la Chine centrale est caractérisée durant l'hiver par une forte interaction entre la mousson du sud et des cyclones chinois (PEDELABORDE, 1961). La mousson d'hiver souffle par spasmes et entretient une cyclogenèse active et en retour, chaque cyclone déclenche un appel puissant sur la face ouest (décharge post-cyclonique). Les fronts froids provoquent des averses brutales parce que l'ascendance cyclonique l'emporte. C'est une lutte continue entre la mousson et les dépressions mobiles.

Il semblerait qu'après 18 000-16 000 ans BP, il n'en ait pas été de même. L'étude de la saisonnalité dans les lamines montre que durant cette période il n'existait pas d'interaction avec des pluies d'hiver et que durant l'été le front de mousson se situait au moins vers 30° 11,5 de latitude nord et 110° 42,5 de longitude E (position de la grotte de Dadong) vers 18 500 BP. Cette position est un peu plus méridionale que prévu sur les modèles de paléomoussons (PETIT-MAIRE *et al.*, 1994). Ensuite entre 16 000 et 15 000 ans BP, le front de mousson prograda vers le nord et son influence va être bien marquée dans la saisonnalité du remplissage des varves marrons de Dadong.

Conclusions :

Le rôle de l'homme et du climat

Dans toutes les cavités karstiques, les remplissages constituent des enregistreurs des transformations de l'environnement naturel et anthropisé. Pour le Pléistocène récent, en particulier l'Holocène et les 50 000 dernières années, le milieu souterrain constitue un réceptacle de tout premier ordre pour enregistrer les prémices de l'agriculture sur brûlis. Or le domaine karstique de Chine centrale et méridionale, avec ses grottes immenses et innombrables, détient probablement le plus grand potentiel d'enregistrement karstique de la planète.

L'étude de la coupe des varves marrons, dans la grotte géante de Dadong (Hubei), est un exemple de l'intérêt de l'étude de tels dépôts qui mettent en évidence à la fois un changement climatique à la fin du dernier glaciaire (stade isotopique 2) et une possible influence des brûlis anthropiques précoces au Paléolithique supérieur avec ensuite une certaine intensification des pratiques. Les dépôts attestent un laps de temps très court entre des pratiques de chasse et de cueillette et des pratiques agricoles dans le sud de la Chine centrale. Cette dernière question sera développée dans les futures recherches sur les karsts de Chine.

Un autre aspect important concerne l'enregistrement de la saisonnalité et le positionnement de la mousson grâce aux dépôts laminés. Il semblerait que la mousson se soit manifestée très tôt, au début de l'Holocène, ayant favorisé une intensification saisonnière des pratiques systématiques des brûlis. La récurrence froide postérieure (Dryas) pourrait être liée à un effet d'hystérésis (effet de retard)

dû à ces pratiques systématiques et elle aurait pu favoriser une sédentarisation très précoce en Chine centrale et ultérieurement en Chine du Nord. Ce dernier point d'importance demeure encore prospectif et il devra être précisé par de nouvelles recherches.

L'étude séquentielle des spéléothèmes en est à ses débuts avec les travaux de GENTY (1992) ou de FRISIA, BINI et QUINIF (1993). L'application au domaine tropical est par contre nouvelle surtout dans une zone-clé d'interaction climatique et anthropisée très tôt, comme la Chine. Signalons toutefois quelques analyses microséquentielles effectuées récemment sur des stalagmites du Yucatan (HERAUD-PINA, 1995). Un domaine encore très fertile demeure l'étude de l'enregistrement des données hydrochimiques dans la cristallogenèse (MILLS, 1965) et surtout la signification environnementale des fabriques crypto-algaires (MONTY, 1974). L'étude de micropétrographie séquentielle des remplissages représente un champ presque totalement inexploré.

Enfin, les dépôts endokarstiques ont fidèlement enregistré les crises sociales récentes, en particulier les effets néfastes du "Grand Bond en Avant" sur l'érosion des couvertures pédologiques. Il reste à préciser et à dater les autres grandes étapes de l'anthropisation des paysages, en particulier lors de la naissance de la métallurgie et des expansions démographiques du X-XIII^{ème} siècle et du XVIII^{ème} siècle. S'il était besoin de le démontrer, les karsts du Hubei et du Hunan deviennent des zones privilégiées pour les études des impacts sociaux sur les déstabilisations de l'environnement. Les travaux en cours en font déjà une région test pour apprécier l'impact des paysans chinois sur la nature et reconstruire l'histoire de la domestication des plantes et des sols dans un des grands berceaux de l'agriculture.

CLIMAT, MORPHOLOGIE ET GENÈSE DES CAVITÉS

✓ Richard MAIRE

RÉSUMÉ : Les cavités de moyenne montagne du SW du Hubei et du N du Hunan présentent un caractère beaucoup plus vertical que celles du Guizhou explorées en 1989. Les cavités les plus répandues sont les gouffres-perles temporaires de vallées et de canyons aveugles (Dadong, Xiaoshuidong, Puits E / Puits W, Datiankeng). Elles constituent la quintessence des cavités de montagne de Chine centrale. Les conduits sont grands, les parois lisses, les marmites immenses et les puits d'une grande esthétique. Cela tient à l'énormité des débits (10 à 30 m³/s en été) et à la grande vitesse de l'eau qui projette les galets à plus de 20 m/s sur les parois des puits. Les marmites de géants, larges et profondes (10 m et plus), sont un gros obstacle à l'exploration et montrent le rôle considérable de l'érosion mécanique. La deuxième famille de cavités est constituée par les grottes-tunnels partielles (Dadong) ou totales (Donghe Hefeng) qui sont alimentées par des pertes de vallées. Les dimensions des porches et des galeries sont immenses, à l'échelle du karst chinois. Les débits sont également considérables et peuvent atteindre 30 à 50 m³/s. Le troisième type est représenté par les grottes-résurgences qui sont aussi de très grandes dimensions comme Longdong (Wufeng) et surtout Donghe (Wufeng) dont les débits de crue dépassent 50 m³/s pour 1 m³/s à l'étiage. La genèse de l'ensemble de ces cavités ne dépend pas toujours de l'altitude réelle : une perte d'altitude est plus récente qu'une grotte fossile recoupée de milieu de vallée. L'étagement des cavités en fonction de la surrection tertiaire et quaternaire doit être étudié dans le flanc des canyons et dans les grands réseaux présentant des niveaux fossiles et des remplissages anciens (Dadong). La différence d'altitude entre les différents niveaux de grottes peut atteindre 300 à 400 m (Songjiahe), voire 1 000 m comme dans la province du Sichuan (canyon de la Daninghe) située juste au nord du Hubei. En l'état actuel des connaissances, la spéléogénèse des cavités explorées est essentiellement quaternaire à néogène pour les plus anciennes.

Mots-clés : perte, résurgence, vallée aveugle, canyon, érosion mécanique, dissolution, spéléogénèse, tectonique.

ABSTRACT: CLIMATE, MORPHOLOGY AND GENESIS OF CAVE. The medium altitude caves that we explored in the SW Hubei are quite more vertical than those we explored in the Guizhou Province during 86 and 89 expeditions. The main caves are flood sinkholes in the blind valleys and the canyons (Dadong, Xiaoshuidong, Datiankeng, Puits Est, ...). The galleries are wide, the walls are polished by mechanical erosion and the shafts are beautiful. This is related to large basins and consequently, big discharge during the monsoon. Some deep potholes (more than 10 m sometimes) are very difficult to cross and oblige the caver to cross at the top of the shafts. They show the power of the mechanical erosion, linked with the sand, gravel and even big boulders carried by the water from sandstone outcrops in the catchment area. A second kind of caves is tunnel caves where allogenuous rivers flow. The sizes of the entrances and the galleries are very large (up to 5 000 m² !) because the flood discharge are very high (several tens m³/sec). The third family of caves consists in resurgences. Some are very big, like Longdong and Donghe (Wufeng) where the flood discharges are over 50 m³/sec (1 m³/sec during the dry season). The caves are developed at various altitudes. This is related to the Tertiary and Quaternary uplift and must be studied along the sides of the canyons and in the long cave networks with fossil galleries and old fillings (Dadong). In some places, the difference between the altitude of the different caves is larger than 300 m (Songjiahe) and it reaches 1 000 m in the Daninghe canyon (Sichuan Province, northern border of Hubei). As far as we know, the caves explored date from Quaternary and sometimes Pliocene and Miocene.

Key-words : sinkhole, resurgence, blind valley, canyon, mechanical erosion, solution, speleogenesis, tectonics.

ZUSAMMENFASSUNG: Im Gegensatz zu den 1989 in Guizhou entdeckten Höhlen, sind die in im Südwesten von Hubei und im Norden von Hunan in der montanen Stufe gefundenen Höhlen vorwiegend vertikal. Die häufigsten und bekanntesten Höhlentypen sind intermittierende, in Tälern und Blindcanyons gelegene Schacht-Schlucklöcher (Dadong, Xiaoshuidong, Dongxitiankeng, Datiankeng). Sie bilden den charakteristischen Typus der zentralchinesischen Gebirgshöhlen. Sie sind grossräumig, weisen glatte Wände mit immensen Kolken und Schächte von beeindruckender Ästhetik auf. Die Höhlenausformung rührt von enormen Abflussmengen her (10 bis 30 m³/s im Sommer), deren Wasser seine Befruchtung mit Geschwindigkeiten von mehr als 20 m/s gegen die Höhlenwände wirft. Riesig ausladende und sehr tiefe (10 m und mehr) Kolke behinderten die Erforschung der Höhlen und spielen eine grosse Rolle bei der mechanischen Erosion. Die zweite Familie von Höhlen ist teilweise (Dadong) oder ganz (Donghe, Hefeng) durch Tunnelhöhlen charakterisiert, die durch die Schlucklöcher der Täler genährt werden. Hier sind selbst in Anbetracht der Dimensionen chinesischer Karstgebiete die Portale und Höhlengänge immens. Der Abflussmenge ist ebenfalls bemerkenswert gross und kann 30-50 m³/s erreichen. Ausgesprochen voluminöse Höhlen des dritten Höhlentyps, den Wiederaustrittshöhlen (Resurgenzen), sind die Longdong und besonders die Donghe (Wufeng). Hier übersteigt die Abflussmenge bei Hochwasser 50 m³/s, während der Abfluss beim Nullpunkt des Pegels 1 m³/s beträgt. Abhängig von den quaternären und tertiären Vorfluterniveaus entwickelten sich verschiedene Etagen in den Höhlensystemen. Ihre Entstehungsgeschichte kann anhand der alten Sedimentfüllungen studiert werden, welche in den ausgedehnten fossilen Gang- und Canyonstrecken (Dadong) aufgeschlossen sind. Der Unterschied in der Höhenlage der verschiedenen Höhlen kann 300 bis 400 m betragen (Songjiahe), oder, wie

in der Provinz Sichuan (Canyon von Daninghe) nördlich von Hubei, 1000 m erreichen. Beim gegenwärtigen Stand des Wissens wird die Speläogenese der erforschten Höhlen hauptsächlich ins Quaternär bis Tertiär (für die ältesten Höhlen) eingeordnet.

Stichworte: Schluckloch, Wiederaustritt, Blindtal, Canyon, Korrosion, mechanische Erosion, Speläogenese, Tektonik

第七章 洞穴形态与成因

在鄂西南所探查的中山区域的洞穴比 1986 年及 1989 年在贵州所考察的洞穴垂直喀斯特作用更强些。主洞为盲谷与峡谷中的洪水期进水口（大洞、消水洞、大天坑、东西天坑等）。廊道宽阔，洞壁为机械侵蚀作用抛光以及标致的竖井。这与大的汇水盆地有关，因而雨季流量巨大。一些深的锅穴有时超过 10m，很难跨越，迫使探洞者在竖井顶部跨越。这表明与从砂岩出露的补给区被水挟带来的砂、砾、甚至大块石有关的机械侵蚀作用的力量。

第二类是具外源河流的隧道状洞穴，进水口及廊道的规模极大，由于洪水流量以数百 m^3/s 计，以至断面巨大，可达 $5000m^2$ 。

第三类是出水口洞穴，有些规模很大，如五峰龙洞及洞河，具供水流量超过 $50m^3/s$ (枯季 $1m^3/s$)。

洞穴发育在不同高程，这与新生代以来的隆升有关，必需对沿峡谷两侧及具遗留廊道和老的充填物（大洞）的长洞穴网进行研究。在某些地段，不同洞穴高程之间相差高达 300m(宋家河)。在巫山大宁河峡谷更达 1000m。就我们所知，洞穴的年龄为第四纪，有时为上新世及中新世。



Photo 52 : L'entrée de Xiadong (ou grotte de la vapeur) souffle un nuage d'air chaud à $18^{\circ}C$, situation en janvier 93.

Cliché R.M.

Entrance of Xiadong (or "steamboat").

Introduction

Les cavités des karsts de montagne de Chine centrale (Hubei et Hunan) ont une forte originalité par rapport aux cavités des karsts de Chine du Sud (Guangdong, Guangxi, Guizhou). Cela tient au caractère montagnard accentué et au degré d'évolution moindre du karst, d'où l'existence de cavités très actives, mais aussi de cavités perchées plus anciennes. Les cavités actives et semi-actives — gouffres, grottes-perches, grottes-tunnels — sont superbes en raison de l'importance des débits absorbés par les pertes en saison des pluies. Elles drainent des vallées et des poljés représentant des bassins-versants assez importants pouvant dépasser 100 km². Les grottes-tunnels parcourues par des rivières permanentes importantes comme celle de la Gebihe dans le Guizhou ou de Tenglongdong près de Lichuan dans le NW du Hubei sont rares.

I. Caractères du climat souterrain

En raison de la vaste dimension des conduits et des entrées multiples, la ventilation par le processus de tube à vent est le phénomène le plus fréquent. Dans les grottes-tunnels à deux entrées, l'aspiration par l'entrée supérieure peut véhiculer des débits d'air extrêmement importants. Dans le tunnel de Donghe (Hefeng), le courant d'air qui balaye la grotte est rapide. En décembre 1992, sa vitesse dépasse plusieurs m/s dans les secteurs les plus «étroits» et les débits d'air estimés en fonction de la section sont de l'ordre de plusieurs centaines de m³/s. Ces grottes-tunnels peuvent piéger en été de l'air chaud dans les parties les moins aérées des réseaux ou aspirer de l'air froid en hiver. Plusieurs phénomènes spectaculaires ont été observés : l'aspiration d'air glacé, le brouillard souterrain, la nappe de brume souterraine et les nuages d'air chaud aux entrées.

- **L'aspiration de l'air froid** extérieur en hiver transforme l'entrée de certaines cavités en véritables gouffres alpins. L'eau des marmites près des orifices aspirants peut atteindre 4°C comme à Zhaidong. En profondeur, la température redevient légèrement plus clémente (8 à 9°C), ce qui reste froid pour des cavités du karst subtropical. Mais on peut assister à des situations de convection comme à Xiadong, dans le comté de Sangzhi (Hunan). (infra).

- **Le brouillard souterrain** pose des problèmes de progression. Nous l'avons trouvé en pénétrant dans le réseau actif de Donghe (Hefeng) car cette partie est séparée du réseau fossile par un passage bas relativement étroit. La visibilité ne dépasse pas quelques mètres. En décembre 92, la température de l'air est de 20°C alors qu'elle atteint 10°C de moins dans les autres parties du réseau. Ce phénomène de nuage souterrain est dû au processus de condensation provoquée par refroidissement entre l'eau froide de la rivière souterraine et l'air chaud humide piégé dans la salle.

Le même phénomène a été observé le 2/12/92 dans le réseau amont de Longdong (Wufeng). On pénètre par l'entrée fossile de Yanzidong perchée de 80 m environ au-dessus de la vallée de la Baitanhe. L'entrée souffle de l'air chaud à 18°C. Lorsque le réseau fossile débouche dans le réseau actif amont de Longdong, la progression devient problématique en raison de l'épaisseur du brouillard souterrain. Comme à Donghe, c'est l'eau froide de la rivière qui est responsable du processus de condensation au contact de l'air chaud piégé dans la grotte. La preuve de ce phénomène de condensation est facile à démontrer. En arrivant au petit porche fossile de Yanzidong, qui souffle de l'air chaud, les verres de lunette plus froides se recouvrent immédiatement de buée.

Ce problème climatologique souterrain, lié à la condensation souterraine, ne peut se produire à une telle échelle que dans des climats subtropicaux à saisons très contrastées : étés très chauds, hivers froids. Nous n'avons jamais observé de brouillard souterrain en zone tempérée ou en zone équatoriale. Par contre il est possible de créer un

brouillard artificiel en brûlant une matière riche en particule ou des torches au magnésium, particules sur lesquelles va se fixer l'humidité de l'air.

- **La nappe de brume** a été observée dans le réseau ouest de la grotte de Shuangdong (Sangzhi). On a observé au sommet d'une large galerie la frontière entre une masse d'air supérieure chaude et transparente et une masse d'air inférieure plus fraîche. La limite est brutale et l'on peut passer la tête au-dessus du «nuage» alors que le reste du corps est au-dessous. Ce phénomène de condensation est possible en hiver, dans une cavité ne fonctionnant pas en tube à vent, mais en poche. L'air chaud immobile est piégé dans une sorte de cloche tandis que la masse d'air inférieure, plus lourde ne se mélange pas à celle-ci (**chap. 4**), comme si la loi de mélange des gaz parfaits, ou loi de Henry, n'existait pas. Remarquons que cette condensation ne donne pas un brouillard épais comme celui rencontré dans Longdong ou Donghe de Hefeng ; ici la capacité de production en microgouttelettes est limitée en raison de l'absence de circulation d'eau froide.

L'exemple du nuage souterrain cité par les spéléos anglais dans une des grottes-tunnels du système de Pan Yang (comté de Mashan, Guangxi) paraît semblable. Il s'agit de la fameuse «Cloud chamber», vaste salle de 330 m x 140 m, qui présente un nuage humide et chaud (23°C) à base horizontale piégé dans le sommet de la salle (FOGG, 1989, p. 23). Toutefois, comme à Shuangdong, dans le Hunan, la couche nuageuse délimite une masse d'air supérieure qui est sans doute transparente. En fait il s'agirait dans les deux cas d'une couche de brume formée au contact des deux masses d'air de température différente. Il s'agit donc d'une nappe de brume et non d'un nuage.

- **Les entrées soufflant un nuage chaud** sont assez fréquentes en hiver quand l'air extérieur est froid. Ce phénomène spectaculaire a été observé dans l'entrée inférieure du réseau de Shuangdong / Zhangjiadong, au sud de Sangzhi, dans le nord du Hunan. Le porche de Zhangjiadong souffle ainsi de l'air chaud à 18°C en abondance et sert d'ailleurs d'abri : habitations, lavoir, parcs à bétail, porcs et poulets. La seconde cavité, Xiadong (ou «grotte de la vapeur»), est située de l'autre côté de la doline et souffle un nuage spectaculaire dû à la condensation de l'air humide chaud au contact de l'air froid extérieur (**photo 52**). Durant l'exploration de ce gouffre le 7/1/93, on a constaté que la ventilation principale était aspirante en profondeur. On pourrait donc expliquer le phénomène de soufflerie à l'entrée par un mouvement de convection qui aspire l'air froid au niveau du plancher et rejette l'air chaud au niveau du plafond. Ce processus est connu dans les cavités fonctionnant en poche. C'est l'inverse du tube à vent qui, en hiver, aspire l'air froid par l'entrée inférieure et rejette l'air chaud par l'entrée supérieure.

II. Les types de cavités

On peut distinguer plusieurs types de cavités explorées en fonction de leur situation par rapport à la morphologie externe. Il s'agit principalement des pertes de poljés, des pertes de vallées et des grottes-résurgences. Rappelons que ces cavités, aussi importantes soient elles, ne sont que des éléments appartenant à des systèmes karstiques souvent beaucoup plus complexes. L'exploration spéléologique permet donc de donner une idée de la morphologie et de l'organisation des drains souterrains alors que l'étude hydrologique caractérise l'ensemble du système en lisant les paramètres. Toutefois, l'absence d'équipements de mesure aux résurgences ne permet pas de connaître le fonctionnement hydrodynamique précis des systèmes et notamment l'évaluation des réserves. Il existe aussi des cavités anciennes totalement déconnectées des systèmes et qui ne sont pas prises en compte par l'étude hydrologique.

Les cavités semi-actives sont fréquentes car en hiver les vallées et canyons aveugles sont généralement sans écoulement. En revanche, en saison des pluies les écoulements absorbés par les grottes

Types de cavités	Exemples explorés	Age présumé
Pertes actuelles de vallées	Datankeng Gandong-Zhaidong Xianshuidong (ou Nosedong)	Quaternaire
Pertes actuelles de poljés	Cedong (poljé de Taiping) Xiaoshuidong (poljé de Taiping)	Quaternaire
Systèmes pertes-résurgences de poljés	Chushuidong (poljé de Zhongmi) Mishuidong (poljé de Datangmi)	Quaternaire
Mégaperte actuelle de canyon	Donghe	Plio-Quaternaire
Grottes-résurgences	Wanrendong Donghe	Quaternaire Plio-Quaternaire
Niveaux perchés dans canyon	Tunnel fossile de Chuandong	Mio-Pliocène
Autres grottes perchées	Dayanwu (grotte de la Banane) Dazhaidong	Mio-Pliocène

Tableau 10 : Types de cavités et âge présumé dans le comté de Hefeng (synclinal de Yanziping, Hubei).

Kind of caves in the Hefeng County (Yanziping syncline, Hubei).

Tableau 11 : Types de cavités et âge présumé dans le comté de Wufeng (anticlinal de Changleping, Hubei).

Kind of caves in the Wufeng County (Changleping anticline, Hubei).

Types de cavités	Exemples explorés	Age présumé
Pertes actuelles de vallées	Puits E / Puits W Dongwan	Quaternaire
Perte actuelle de poljé	Xiaoshuidong	Quaternaire
Mégaperte actuelle de canyon	Dadong	Plio-Quaternaire
Grottes-résurgences	Longdong Donghe	Plio-Quaternaire
Perte fossile perchée	Tiankengcao	Pliocène
Niveaux de grottes dans canyon	Grottes perchées amont Dadong Grottes perchées canyon Chaibuxi	Mio-Pliocène

La rivière souterraine découverte dans un réseau adjacent de Donghe serait un regard sur la rivière qui émerge à Wanrendong.

Les réseaux supérieurs actifs au niveau des poljés étagés sont relativement étroits et donc immatures ; il s'agit de réseaux sur diaclases et fractures encore peu élargies par la dissolution, ce qui explique que les poljés s'ennoient facilement. Ces réseaux jeunes et étroits sont dominés par des réseaux fossiles et des grottes-tunnels aux sections beaucoup plus vastes tels que Chushuidong, la galerie des lacs de Mishuidong et Gandong. Ils correspondent soit à d'anciennes pertes, soit à des drains ne fonctionnant qu'en grosses crues.

et gouffres-pertes dépassent plusieurs m³/s, voire beaucoup plus (10 à 40 m³/s). En saison sèche, la plupart des lits sont à secs et quand il existe un mince filet d'eau, il disparaît dans le lit avant d'atteindre la perte proprement dite, mais peut réapparaître en profondeur dans la cavité comme à Datankeng, près du poljé de Shuishanping, au nord de Hefeng. Les cavités actives toute l'année ne sont pas très fréquentes. Il s'agit d'abord des grottes-résurgences et parfois de pertes de vallées ou de poljés. Des rivières souterraines peuvent être explorées également à partir d'entrées semi-actives ou fossiles.

A. LES PERTES DE POLJÉS

On distingue les systèmes pertes / résurgences de poljés étagés, les grottes-pertes et gouffres-pertes temporaires de poljés. Parmi les 50 cavités explorées, ce ne sont pas les plus vastes et les plus belles, à l'exception du réseau de Zhaidong (Yanziping, Hefeng) qui est à la fois une cavité de poljé et de vallée.

1. Les systèmes pertes / résurgences des poljés étagés (Yanziping)

Ces cavités successives sont bien représentées par la zone des poljés étagés de la région de Yanziping (Hefeng). Il y a là trois poljés étagés : Zhongmi, Datangmi et Yanziping. Dans le poljé supérieur de Zhongmi, une grotte-résurgence alimente en aval la perte de Zhongmi. Cette dernière résurge au niveau du porche de la grotte de Chushuidong. La rivière traverse le poljé de Datangmi et se perd dans la grotte de Mishuidong (photo 53). D'après les données géologiques, cette rivière souterraine à éclipses résurgerait finalement au niveau de la source de Wanrendong située 10 km à l'W au fond d'un canyon.

2. Les grottes-pertes temporaires de poljé

Les grottes-pertes temporaires de poljés sont fréquentes. Elles absorbent de grands volumes d'eau en saison des pluies, mais il arrive fréquemment que ces ponors se mettent en charge, en provoquant l'inondation partielle ou totale des poljés, parfois en raison de la faible dimension des conduits profonds qui ne peuvent absorber l'excédent d'eau.

- **La grotte de Tanghuangdong**, située dans le comté de Wufeng, sur la route Wufeng-Hefeng, est l'une des pertes du poljé de Wantan. D'une forme digitée et mesurant plus de 10 km de long, le poljé de Wantan est alimenté par des bassins amont situés dans des roches imperméables, les flyschs du Silurien (Gebihe 89, p. 82). Localisée à l'extrémité occidentale, à 1 115 m d'altitude, Tanghuangdong est une cavité actuellement connue sur plus de 3 km de développement et dont l'exploration n'est pas terminée. Elle est formée par un ensemble de conduites forcées burinées par l'action mécanique des eaux. Les galeries, de taille moyenne, mesurent 5 à 8 m de diamètre et les concrétionnements sont rares. Il s'agit d'un réseau relativement jeune qui, en grosse crue, refoule l'eau à l'extérieur et envoie le fond du poljé. Les eaux résurgeraient une vingtaine de kilomètres plus loin vers l'ouest.

- **La perte de Cedong** est située au SW de Hefeng, à l'extrémité du vaste poljé de Taiping, à 930 m d'altitude. Celle-ci n'est pas tout à fait temporaire puisqu'une petite résurgence sort 300 m en amont de l'entrée et se jette dans la grotte. Toutefois, le lit de la rivière drainant le poljé demeure à sec durant les mois d'hiver (Gebihe 89, p. 109).

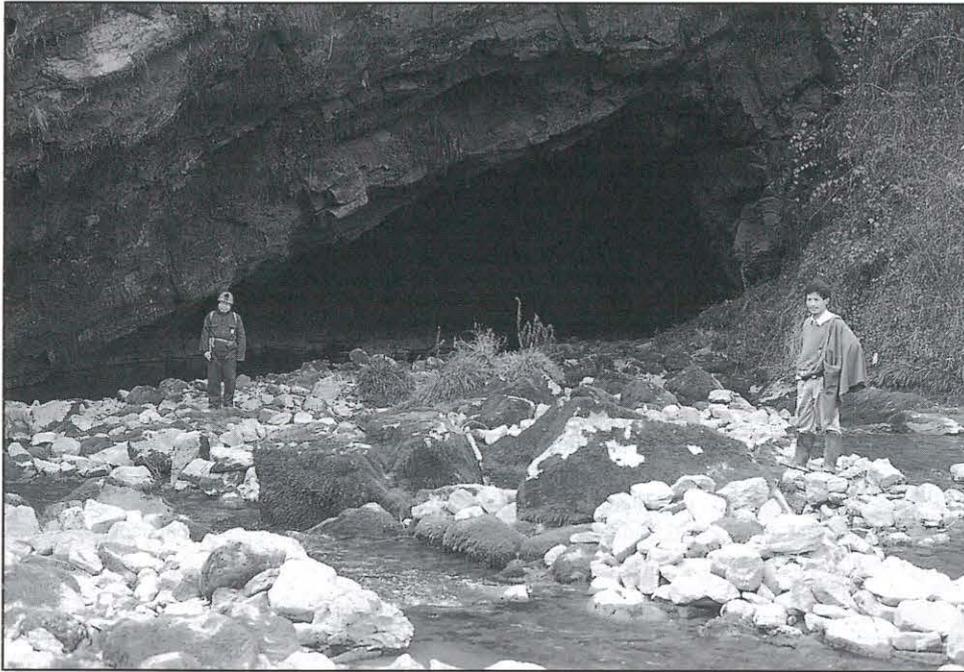
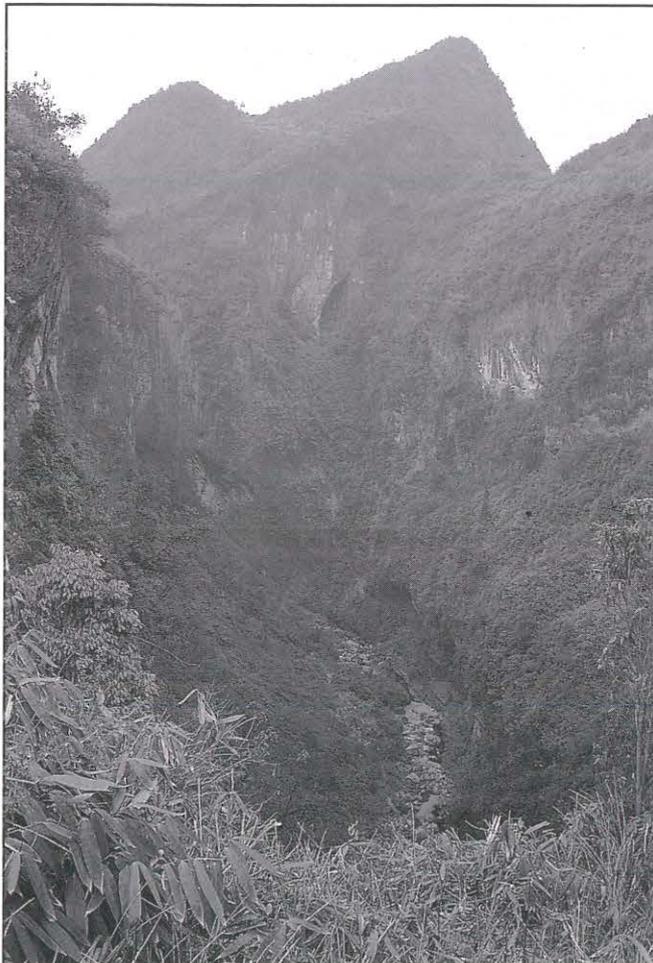


Photo 53 : Le porche de Mishuidong, perte du poljé de Datangmi (Hefeng, Hubei). Cliché B.C.
The entrance of Mishuidong, ponor of Datangmi polje (Hefeng, Hubei)

Photo 54 : Vue sur le canyon aveugle de Donghe (Hefeng, Hubei) profond de 150 m. Cliché R.M.
The blind canyon of Donghe (Hefeng, Hubei).



3. Les gouffres-pertes temporaires de poljés et de vallées

Ces cavités sont moins fréquentes. Zhaidong est un cas remarquable puisqu'il s'agit d'une perte temporaire située un peu au-dessus du poljé de Yanziping. Elle est alimentée par des eaux transitant par la grotte-tunnel à écoulement temporaire de Gandong. Les eaux proviennent d'une part d'un système de vallons, d'autre part du trop-plein d'une grotte (Xiniudong) dont les eaux viennent du poljé supérieur de Mishuidong. Profond de 400 m depuis la doline d'effondrement, le gouffre de Zhaidong présente un parcours difficile à cause de marmites larges et profondes, souvent à moitié pleine d'eau. La température de l'eau est froide, souvent inférieure à 8°C, en raison de l'aspiration de l'air froid extérieur et du refroidissement de l'eau par évaporation.

B. LES PERTES DE VALLÉE

Les pertes de vallées sont de deux types : les gouffres-pertes temporaires ou actifs et les grottes-pertes temporaires de vallée aveugle.

1. Les gouffres-pertes temporaires et actifs

Les gouffres-pertes actifs sont peu fréquents en raison du régime des cours d'eau et de l'infiltration dans le lit. Un peu en aval de Yanziping, on connaît toutefois le gouffre-perte de Nosedong qui a d'ailleurs posé de sérieux problèmes d'exploration en raison des cascades et de l'eau froide. Il s'agit d'un réseau jeune qui est sans doute un affluent du système émergeant à Wanrendong.

Les gouffres-pertes temporaires, qu'ils soient de vallée ou de poljés, sont sensiblement les mêmes. Plusieurs exemples remarquables sont connus : Puits W/Puits E (Wufeng), Xiaoshuidong (Changleping) et Datiankeng (Hefeng). Lorsque le débit en saison des pluies devient important, il peut arriver que ces gouffres se mettent partiellement en charge, mais l'importance du cavernement et le rapide transit vers les profondeurs évitent généralement l'ennoiement complet, contrairement aux grottes-pertes responsables de l'ennoiement des poljés.

- **La perte double du Puits W/Puits E** à l'E du village de Changbuxi est superbe. Elle débute par deux vastes puits, l'un de 40 m, l'autre de 80 m, en réalité beaucoup plus profonds si l'on prend la partie haute des entonnoirs. La cavité est connue jusqu'à - 382 m et présente une rivière souterraine circulant dans une galerie riche en belles marmites. En crue, ce gouffre est alimenté par des débits impressionnants pouvant dépasser 10 à 20 m³/s, ce qui est colossal pour la dimension moyenne de la galerie inférieure des marmites. La présence de troncs d'arbre en profondeur est une preuve supplémentaire de la violence des crues.

- **La perte double de Xiaoshuidong** est également exceptionnelle par sa morphologie. Elle se situe à l'extrémité W du poljé de Changleping. En fait, l'extrémité du poljé a été surcreusé par deux vallées opposées dont les eaux, en été, se perdent pratiquement au même endroit, l'un par un puits de 25 m, l'autre dans un porche de 20 m de haut. La violence des crues de mousson est telle que les eaux chargés de galets ont façonné un puits hélicoïdal de grande taille qui se termine vers - 100 sur le Chaudron karstique, sorte de marmite immense de 40 m de large. Des troncs d'arbres ont été propulsés dans une galerie étroite sur joint de strate au beau milieu du puis du

Bobsleigh (galerie de l'Interstrate arborée), d'autres sont présents jusqu'au fond, perchés à différentes hauteurs.

- **Le ponor de Datiankeng**, au nord de Hefeng, est un cas particulier. Un petit ruisseau disparaît dans le lit à 30 m de l'entrée pour réapparaître sous terre vers - 200 m. Il s'agit là d'un début de capture. Datiankeng se situe à l'extrémité aval du petit et magnifique poljé encaissé de Datiankeng, mais il est alimenté essentiellement par une vallée drainant un bassin-versant bien plus vaste que le poljé. Le gouffre présente une morphologie très esthétique et représente la quintessence des pertes chinoises de montagne. On observe une succession de ressauts, de puits, de salles et de galeries de vastes dimensions complètement polies par l'eau. Les marmites de géants se développent en profondeur et deviennent très difficile à franchir, ce qui est une constante dans de nombreuses pertes du Hubei.

2. Les grottes-pertes temporaires de vallée aveugle

Ces cavités sont de très loin les plus vastes car elles sont en rapport avec des vallées ou des canyons aveugles drainant une superficie importante. Deux exemples sortent de l'ordinaire et peuvent être considérées comme des cavités majeures à l'échelle mondiale par la dimension de leurs conduits et de leurs entrées : Dadong près de Wufeng et la grotte-tunnel de Donghe près de Hefeng.

- **Dadong** (ou grande grotte) débute par un porche de 100 m de haut s'ouvrant à l'extrémité d'un canyon sauvage de 300 à 400 m de profondeur : une sorte de gorge du Verdon à écoulement temporaire se terminant sur une grotte ! Le réseau est actuellement connu sur plus de 10 km de développement et renferme des galeries de 40 m x 60 m et des salles importantes. En été, les grosses crues débitent plusieurs dizaines de m³/s et transportent de gros troncs d'arbres et une multitude de branches qui vont s'accumuler au fond du réseau. Toutefois la présence de troncs coincés à 4 à 5 m de haut dans un canyon large de 8 m indique une section mouillée de l'ordre de 30 à 40 m², pour une vitesse de courant sans doute supérieure à 1 m/s. Les débits de crue, durant la mousson d'été, peuvent donc atteindre ou dépasser 30 à 50 m³/s. C'est dans cette grotte que se situent des remplissages varvés de plus de 20 m de haut. La première coupe, logée dans une galerie fossile perchée 100 m au-dessus du niveau de l'entrée, doit dater au moins du Quaternaire ancien. La seconde coupe, située dans la salle des varves marrons, en aval du canyon aux troncs coincés, est calée entre 18 000 et 13 000 ans BP et date donc de la fin de la dernière période froide (**chap. 6**).

- **Donghe**, près de Hefeng, se situe à l'extrémité d'une large vallée aveugle se terminant en canyon. Le porche, en encorbellement, mesure 100 à 150 m de haut ; il se poursuit par un conduit de grandes dimensions qui traverse la montagne sur 2,5 km. Cette superbe grotte-tunnel recoupe un réseau fossile de très grandes dimensions par lequel il est possible d'accéder à une belle rivière souterraine, dénommée "la rivière sans retour", qui doit être la rivière principale émergeant à Wanrendong (**chap. 2**).

C. LES GROTTES-RÉSURGENCES DE VALLÉE

Ces grottes-résurgences sont assez nombreuses car elles drainent les principaux systèmes karstiques. Elles sont caractérisées par la grande dimension des conduits et des débits d'étiage pouvant atteindre plusieurs centaines de litres par seconde. Les deux plus beaux exemples sont les résurgences des systèmes E et W de l'anticlinorium de Changleping situé dans le comté de Wufeng. A l'est du massif (Yuguan), la grotte-résurgence de Donghe sort au fond d'une belle reculée. Il s'agit d'une très vaste cavité active (1 100 l/s en décembre 92) explorée sur plusieurs km et dont le débit atteint 50 m³/s en crue d'après les données de la station hydroélectrique. Ce système remarquable, connu ici dans la partie extrême aval, est alimentée par un bassin-versant de plusieurs centaines de km² qui englobe la partie

orientale de l'anticlinorium de Changleping et peut-être une partie du poljé allongé du même nom.

A l'ouest, le système de Dadong / Longdong est drainé par la grotte-résurgence de Longdong / Yanzidong qui s'ouvre quelques km au nord de Wufeng. Il s'agit d'un réseau actif de grandes dimensions développés dans les calcaires ordoviciens. En période d'étiage (0,5 à 1 m³/s), la rivière souterraine est alimentée par des rivières souterraines provenant sans doute des karsts développés sur la partie occidentale de l'anticlinorium de Changleping.

Dans le cas du système synclinal de Yanziping (Hefeng), nous avons vu que l'exutoire était constitué par la grotte de Wanrendong, d'un débit de 500 l/s à l'étiage. Dans le cas du système souterrain synclinal de Taiping, situé au SW de Hefeng, l'eau ressort à Yinquandong, en rive droite de Loushuihe, soit 2 km en aval de Hefeng à 540 m d'altitude. Son intérêt est de présenter une morphologie en delta souterrain avec des conduits étagés sur 135 m et six entrées, dont trois servent encore de trop-pleins pendant les grosses crues.

D. LES PUIS D'EFFONDREMENT

Au cours de l'expédition, nous avons exploré quelques puits d'effondrement de morphologie et d'origine variées. Tous se situent dans le comté de Hefeng, dans le secteur de Yanziping et au nord de Hefeng. La doline centrale de Zhaidong / Gandong correspond à une ancienne salle dont le toit s'est effondré. La doline mesure 200 m de long, 50 à 80 m de large et 40 à 120 m de haut. On y descend par un chemin escarpé. Le flanc ouest surplombant, haut de plus de 100 m, conserve encore la forme en voûte de l'ancienne salle. C'est dans ce versant à pic que ressortent plusieurs conduits de Niudong.

Dans le synclinal de Yanziping, entre Nosedong et le poljé de Yanziping, une vaste doline d'effondrement s'ouvre à 300 m de la route vers 1 000 m d'altitude. Elle mesure 300 m de diamètre environ et 150 à 200 m de profondeur (**photo 55**). La pente est de 45 à 50°. Le fond est couvert de bambous. Sur ses flancs, une entrée donne accès à une grotte qui n'a pu être explorée. Comme à Zhaidong, il s'agit sans doute d'une salle dont le toit s'est effondré.

Le plus beau puits d'effondrement, profond au total de 180 à 200 m, se situe au nord de Hefeng dans le réseau de Datiankeng profond de 333 m. Il s'agit d'un gouffre en forme de sablier qui sert de regard sur le gouffre-perte s'ouvrant à l'extrémité du poljé du même nom. Le puits débute par un vaste entonnoir allongé de 100 x 200 m et de 80 m de profondeur donnant sur un puits vertical de 80 m s'élargissant en cloche lorsqu'il rejoint le réseau. L'effondrement est dû à la réunion entre une doline-d'effondrement en entonnoir et une salle souterraine surmontée d'une cheminée. La doline d'effondrement supérieure est sans doute plus ancienne que la perte de Datiankeng car cette doline recoupe un réseau perché fossile. C'est le passage du nouveau réseau à l'aplomb de cette cavité de surface qui est l'origine de ce puits complexe en forme de sablier.

E. LES GROTTES ENTIÈREMENT FOSSILES

Les grottes anciennes, entièrement fossiles, sont très nombreuses dans les karsts chinois, aussi bien en Chine centrale que méridionale. Il peut s'agir d'étages inactifs situés au-dessus de la rivière souterraine et faisant partie d'un même réseau souterrain exploré. Mais dans d'autres cas, il s'agit de vieilles grottes situées à différentes altitudes et qui ont été recoupées par l'érosion. L'exemple de la grotte de Dayanwu, surnommée "grotte de la banane", est typique ; elle se situe au nord de Hefeng, plusieurs centaines de mètres au-dessus du cours de la Loushuihe, et présente une vaste salle d'entrée qui a été éventrée par le recul du versant (**photo 56**). Le réseau donne accès à une autre salle qui est perforée à l'emporte pièce par des puits provenant des eaux de percolation.

III. Genèse des systèmes karstiques

En hydrogéologie karstique, un système karstique définit un ensemble de conduits et de fissures dont l'agrandissement par l'eau et l'organisation donne sur un drain majeur, puis sur un exutoire unique et parfois sur un groupe d'exutoires rapprochés, mais de même origine. Mais il existe parfois des diffluences, notamment en crue, qui peuvent alimenter une autre source. Cette définition pose cependant un problème en géomorphologie car un système karstique renferme obligatoirement des éléments de réseaux inactifs, dont certains sont anciens et ne jouent plus aucun rôle sur l'écoulement. Dans ce contexte, il faut distinguer les systèmes karstiques actuels, intégrant des réseaux inactifs et à écoulement temporaire, et les lambeaux de systèmes karstiques anciens recouverts par l'érosion et n'ayant plus de relation morphologique et hydrologique avec les systèmes fonctionnels.

Le creusement des systèmes souterrains obéit aux lois générales de l'hydrodynamique karstique. Rappelons que le système karstique est un remarquable exemple de système dissipatif dans lequel la libération de l'énergie de l'eau est commandée par la gravité et la dissolution. Il existe ainsi une relation directe entre la karstification profonde et la position du niveau de base (potentiel hydraulique) ; cela se traduit par une compétition entre le soulèvement du massif calcaire, d'origine tectonique, et l'érosion et la karstification du même massif. En plus des indispensables études hydrochimiques et hydrologiques qui renseignent sur le fonctionnement actuel, il est fondamental de connaître l'organisation, les dépôts et la morphologie des systèmes karstiques par le biais des cavités explorables pour connaître les paléofonctionnements. Comme les cavités explorées ne représentent souvent qu'une faible partie des systèmes potentiels, c'est en multipliant les exemples, et le développement des explorations spéléologiques, que l'on peut approcher au mieux les explications spéléogénétiques.

A. ÉVOLUTION DES SYSTÈMES KARSTIQUES ACTUELS

Les systèmes karstiques actuels intègrent les réseaux actifs de conduits et de fissures et des réseaux inactifs (fossiles) encore intégrés morphologiquement à l'ensemble des systèmes. Un bon exemple est donné par le système karstique synclinal de Yanziping qui renferme à la fois un sous-système actif (Zhongmi, Mishuidong, rivière de Donghe, Wanrendong) et un sous-système de galeries semi-actives (Gandong, Zhaidong) et inactives (réseau fossile de Donghe). En fait, le tunnel de Donghe n'appartient pas à ce système car il est parcouru par une rivière temporaire qui rejoint directement la Loushuihe. Au-dessus de Zhaidong, la grotte décapitée de Niudong perce une butte calcaire et ne conserve une relation avec le réseau de Zhaidong-Gandong que par la doline d'effondrement dans laquelle aboutissent les trois cavités. Niudong est donc en voie de déconnexion complète avec le système. L'évolution des réseaux actifs obéit à deux processus principaux : la dissolution et l'érosion mécanique.

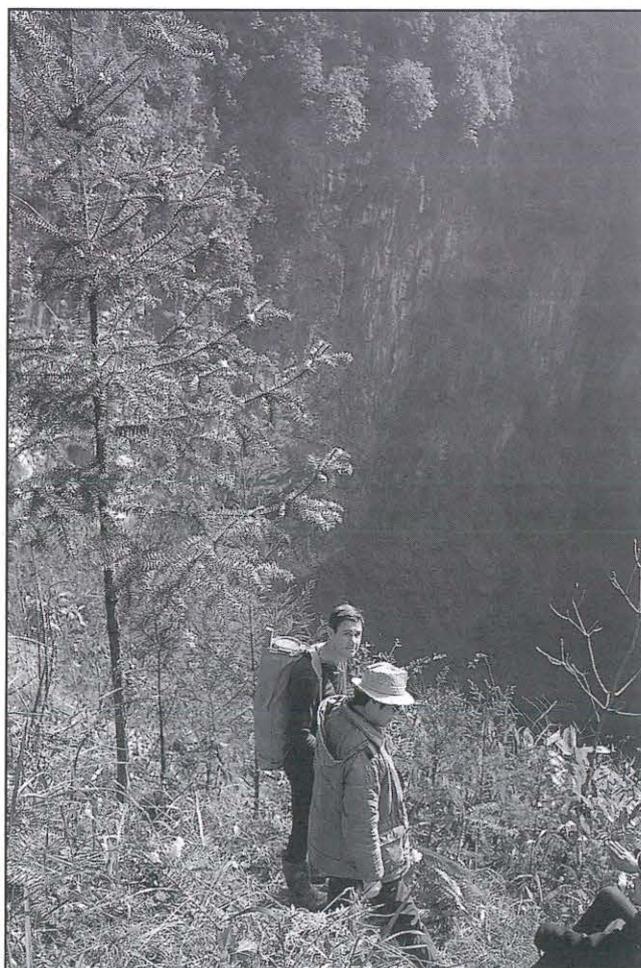
- **La dissolution souterraine** joue un rôle important dans les réseaux noyés et semi-noyés. Ainsi, la rivière de Donghe (Hefeng) est complètement couverte de cupules de dissolution et témoignent de mise en charge lors des crues. Cet ennoisement temporaire contribue à la dissolution de l'ensemble de la section de la galerie. Le bilan de la dissolution chimique souterraine peut être calculée à partir des données prises aux entrées et à la sortie du système. En revanche, il est plus difficile de connaître l'évolution du chimisme en profondeur en raison de l'absence de mesure en saison humide.

- **L'érosion mécanique** par les eaux souterraines chargées de galets joue un rôle assez considérable comme on peut le constater dans les gouffres-perdes où les marmites ont des tailles considérables (parfois plus de 10 m de diamètre et de profondeur) et constituent des obstacles sérieux à l'exploration. Ces formes dite d'évrosion (ou

marmitage) supposent des débits pouvant atteindre 10 à 50 m³/s, projetant les galets contre les parois dans les puits-marmites et les entraînant dans des mouvements tourbillonnaires. Dans les puits importants, comme à Datiankeng (Hefeng), Xiaoshuidong (Changleping) ou dans le Puits E/Puits W (Changbuxi), les galets sont projetés à plus de 20 m/s sur les parois et l'on peut observer les traces d'impact comme dans le puits incliné terminal de 70 m de Datiankeng. Le martèlement régulier par des galets de petite taille et les sables donnent un poli remarquable comme dans le puits hélicoïdal du Bobsleigh à Xiaoshuidong.

Cette érosion mécanique est d'autant plus importante que le cours d'eau transportent des galets de dureté supérieure au calcaire encaissant. Or, les rivières qui se perdent dans le karst traversent souvent des terrains variés et transportent donc, outre des galets calcaires et dolomitiques, des éléments siliceux comme les quartzites très dures du Dévonien. Par exemple, ces quartzites sont fréquentes dans le lit du canyon de la Songjiahe qui alimente Dadong (Wufeng). Pour apprécier l'érosion mécanique, il faudrait aussi étudier la turbidité et les particules de roches contenues dans l'eau des émergences en période de hautes eaux. Mais il faut garder à l'esprit que les grains de calcaires arrachés par érosion mécanique sont en partie dissous au cours de leur transfert tandis qu'une autre partie est piégée sous terre et dissous ultérieurement ou remis en mouvement.

Photo 55 : La doline d'effondrement du Moulin, profonde de 150 m environ, se situe en aval du poljé de Yanziping (Hefeng). Cliché R.M.
The "doline du Moulin" (150 m deep) near Yanziping (Hefeng).



B. GROTTES PERCHÉES ET DÉCAPITÉES PAR L'ÉROSION

- Les tunnels décapités et salles éventrées par l'érosion sont les cavités les plus anciennes dans la mesure où elles sont perchées largement au-dessus du niveau de base. Elles sont déconnectées des systèmes karstiques actuels et constituent les témoins d'anciens systèmes en grande partie disparus. Dans le synclinal de Yanziping, on connaît ainsi un tunnel perché long de 200 m (Chuangdong) qui débouche au sommet du canyon, au moins 300 m au-dessus de la résurgence de Wanrendong. Ce lambeau de réseau, perché à cause de la surrection, est sans doute antérieur au Quaternaire. Le cas de la grotte de la Banane (Dayanwu) au nord de Hefeng est identique (photo 56).

Des grottes fossiles importantes peuvent être segmentées par effondrement de dolines qui rejoignent la cavité. Ce phénomène est très fréquent dans les karsts du Hubei et du Hunan et tous les stades d'évolution sont possibles. Le plus bel exemple est l'ensemble des grottes-tunnels recoupées du réseau de Sangzhi. Lorsque l'érosion est suffisamment avancée, les tunnels perdent leur plafond et il ne subsiste plus que des corridors que l'on peut suivre à la surface du karst, parfois séparés par quelques tunnels reliques. Les exemples les plus spectaculaires se situent dans le comté de Lichuan, à côté de la grotte de Tenglongdong. Des exemples identiques sont connus en Chine du Sud, notamment dans le Guizhou.

- **Canyons et grottes perchées** : Les relations entre la surrection et les grottes étagées peuvent être mieux étudiées sur les flancs des canyons car l'incision du cours d'eau recoupe des conduits karstiques à différents niveaux. Ces niveaux de grottes étagées sont en relation avec l'évolution du niveau de base contrôlées par la surrection. Dans le Hubei, près de Wufeng, un des meilleurs sites est constitué par le canyon de la Songjiahe que nous avons pu remonter sur plusieurs km depuis le porche de Dadong. Sur les flancs de la gorge, nous avons découvert un premier niveau de grotte (2 cavités) vers + 40 m. Un niveau principal vers + 120 / + 150 m est le plus visible (4 grands porches) sur les deux rives. Ainsi, les réseaux fossiles les plus hauts dans la grotte de Dadong, comme la galerie de l'Oubli et la galerie des varves rouges, pourraient être contemporains de ce niveau. Des niveaux encore plus anciens existent beaucoup plus haut vers + 250 / + 300 m.

Plus à l'E, le canyon de la Chaibuxihe présente des grottes étagées identiques. On peut atteindre ce site par la route de terre qui conduit au Puits E / Puits W. Ce canyon recoupe selon un tracé en baïonnette l'anticlinorium de Changleping. Dans la partie supérieure que nous avons visitée, il entaille sur 250 m de profondeur les dolomies du Cambrien supérieur ; le lit présente encore des ressauts importants car nous sommes encore dans la partie amont et aucun écoulement n'est visible en saison sèche. Quelques km en aval, une source vaclusienne apparaît à 870 m en rive droite, mais l'eau transite directement dans le remplissage de galets. Plusieurs anciens niveaux de cavités ont été observés sur les flancs du canyon entre 950 et 1 200 m d'altitude.



Photo 56 : Le vaste porche de Dayanwu, ou grotte de la Banane, est une cavité pré-quaternaire éventrée par l'érosion (Hefeng, Hubei).
Cliché R.M.

The entrance of Dayanwu is a tertiary cave cut by erosion (Hefeng, Hubei).

Mais c'est dans le canyon immense de la Daninghe, affluent de rive gauche du Yangtse, que nous avons observé les plus hautes grottes perchées par rapport au niveau de base (comté de Wuxi, Sichuan). Les parois atteignent 1 500 m de haut et sont creusées dans la série calcaire du Permien. Des porches de très grandes dimensions ont été vus à plusieurs centaines de mètres au-dessus du lit et d'autres, plus petites, encore plus haut. Certaines sont actives et dégueulent des cascades de tufs comme celle du Cheval Blanc perchée 150 m au-dessus de la rivière en rive droite. Des conduits plus petits apparaissent plus bas juste au-dessus du niveau de la rivière. Le cas de la grotte du Cheval Blanc pose un problème génétique : soit il s'agit d'une cavité récente qui n'a pas rattrapé le niveau de base, soit il s'agit d'une cavité plus ancienne réempruntée par un cours actif.

C. EXEMPLE D'ÉVOLUTION GÉNÉRALE DES RÉSEAUX DANS LES KARSTS DE WUFENG ET DE HEFENG

L'âge et l'évolution des réseaux souterrains dans les karsts de Wufeng et de Hefeng peut être estimé d'après les critères de la géomorphologie externe, de la morphologie endokarstique et des dépôts.

- **Le karst de Wufeng** se développe principalement sur le vaste anticlinal coffré de Changleping qui s'allonge d'ouest en est. Dans les **chapitres 8 et 9**, nous verrons qu'il s'agit d'un relief qui s'est formé dans les calcaires cambriens et ordoviciens à partir du décapage de la couverture des flyschs du Silurien. Le soulèvement tertiaire, attesté par le creusement des canyons (Chaibuxi, Songjiahe) et l'assèchement d'un ancien réseau fluvio-karstique actuellement déconnecté et tronçonné entre 800 et 1 200 m d'altitude, prouve que les réseaux souterrains explorés (les paléokarsts anciens sont exclus) datent pour la plupart du Tertiaire moyen à supérieur et du Plio-Quaternaire pour les plus récents. Dans le comté de Zhijin, au Guizhou, nous avons montré que les niveaux du système de la Gebihe, étagés sur près de 400 m de dénivellation, étaient en relation avec la surrection régionale suite à l'épirogenèse himalayenne au Néogène (**Gebihe 89, p. 181-182**). Le cas du karst de Wufeng est identique, mais plus complexe compte tenu de la multiplicité des exemples de réseaux souterrains.

Les cavités tertiaires les plus anciennes sont représentées par les tunnels secs et grottes perchés recoupés par l'érosion sur le flanc des buttes et parfois en partie colmatés. Ces cavités subhorizontales correspondent à une période où le niveau de base était plus proche. Ainsi les divers niveaux de grottes (+ 40 m, + 120-150 m, + 300 m) repérés sur les flancs du canyon de la Songjiahe, en amont de la perte de Dadong, sur plus de 300 m de dénivellation, indiquent des stades d'enfoncement de la karstification en fonction de la surrection himalayenne au Néogène. Le même dispositif, avec porches étagés, existe dans la partie amont du canyon de Chaibuxi sur 250 m de haut. D'autres cavités anciennes, d'âge tertiaire, mais plus récentes que certains tunnels subhorizontaux, sont représentés par d'anciens gouffres-perdes, actuellement fossiles, comme Tiankengcao situé près de 200 m au-dessus de la perte temporaire du Puits E / Puits W.

- **Le karst de Hefeng**, qui se développe principalement sur les rebords du synclinal du même nom, présente une évolution semblable. Les pertes actuelles de vallées sont bien représentées par celle de Datiankeng (- 333 m) au nord de Hefeng ou celle permanente de Xiangshuidong (ou Nosedong) située un peu en aval de Yanziping. Le cas de la perte temporaire de Gandong-Zhaidong est plus complexe car elle associe à la fois une perte de vallée et une autre provenant d'une résurgence temporaire (Xiniudong ou grotte du Rhinocéros). Citons aussi les pertes temporaires du vaste poljé de Taiping localisée au SW de Hefeng. Tous ces exemples fonctionnels sont caractérisés par des réseaux burinés par l'érosion mécanique des eaux courantes et par l'absence de concrétionnement. Ce sont des cavités jeunes, essentiellement d'âge quaternaire. La mégaperte de canyon de Donghe est un exemple exceptionnel par la dimension de son tunnel qui est en

fait un canyon souterrain parcouru en saison des pluies par un torrent impétueux de plusieurs dizaines de m³/s. Cette perte, fonctionnant au moins depuis le Quaternaire, recoupe un vaste réseau fossile plus ancien.

Conclusion

On constate ainsi la grande variété des cavités explorées dans les karsts montagnards du Hubei et du Hunan. A côté des réseaux fossiles anciens existent de multiples cavités actives ou temporaires en cours de formation symbolisées par les pertes de poljés et de vallées aveugles comme Dadong (Wufeng), Donghe (Hefeng), ou Datiankeng (Hefeng). Ces cavités très esthétiques prouvent l'importance jouée par l'érosion mécanique lors des crues estivales. Les cavités inactives perchées sur le flanc des canyons indiquent le rôle joué par la surrection dans leur assèchement. L'étude de leurs vieux remplissages constitue un moyen de mieux connaître le paléoenvironnement de cette période du Tertiaire sans toutefois pouvoir donner un âge précis (**chap. 6**).

FORMATION D'UN KARST CONIQUE A PARTIR DE LA COUVERTURE DE FLYSCH

✓ Richard MAIRE et Simon POMEL

RÉSUMÉ : Les karsts polygonaux, en particulier les karsts coniques, constituent une morphologie tropicale typique en région carbonatée. Nous décrivons ici un modèle fonctionnel d'évolution de karst conique à partir du décapage progressif de la couverture de flysch. L'exemple choisi se situe dans le comté de Wufeng (Hubei) sur l'anticlinorium de Changleping armé par les calcaires et dolomies de l'Ordovicien et du Cambrien. Depuis la route qui va à la perte double du Puits W / Puits E, on observe en l'espace de 10 km trois degrés d'évolution : un stade fluviatile sur flysch imperméable du Silurien avec un système de vallons en V, un stade fluvio-karstique sur flysch et calcaire (cônes à chapeaux de flysch et base calcaire) et un stade de karst à buttes coniques sur calcaires et dolomies. Dans le centre de l'anticlinorium, on distingue un quatrième stade, plus évolué, formé par un karst à cônes, pitons et poljés.

Dans les secteurs les plus évolués, l'ensemble des matériaux rouges (sols, poches, masse détritique des remplissages) est composé d'argiles ferrugineuses, de quartz, de silixites ou de produits micacés qui représentent des reliquats d'altérites très évoluées issues de roches cristallines ou clastiques. En aucun cas la dissolution des roches carbonatées n'a pu produire ces matériaux. Par le processus de soutirage, le karst a favorisé l'altération et le transit de ces couvertures. Parallèlement la karstification a été accélérée sous cette compresse humide et acide. Ce modèle génétique explique un certain nombre de karsts coniques chinois et privilégie en premier lieu la composante lithologique et tectonique. Toutefois, les conditions bioclimatiques, avec un couvert végétal discontinu et un climat très contrasté, favorise l'érosion linéaire dans les flyschs, puis le creusement fluvio-karstique des vallons. Cependant d'autres karsts coniques et polygonaux en Chine et dans les arcs insulaires, peuvent s'expliquer sans l'intervention d'une couverture imperméable dans un contexte tropical humide sous dense couvert forestier.

Mots-clés : karst conique, couverture imperméable, flysch, roche carbonatée, érosion linéaire, fluvio-karst, lithologie, tectonique, altération, sol, climat, végétation.

ABSTRACT : FORMATION OF A CONE KARST AFTER EROSION OF A FLYSCH COVER. Polygonal karsts, especially cone karsts, are typical landforms in tropical carbonate rocks. We describe here a functional model of evolution, linked with the progressive erosion of a flysch cover. The chosen example is in the Wufeng county (Hubei), on the Changleping anticline whose structure is made of Cambrian and Ordovician limestones and dolomites. Along the road going to East / West shafts, you can see three stages of evolution in less than 10 km : 1) a fluviatile stage on the impervious Silurian flysch, with small V valleys ; 2) a fluvio-karstic stage on flysch and limestone (it consists in limestone cones with a flysch head) ; 3) a typical cone karst on pure limestone and dolomites. In the middle of the synclinorium, you can find a fourth stage, older : a cone karst with poljes. This genetic model explains the shape of some Chinese cone karsts. First, it attributes a wide influence to lithology and tectonics. Meanwhile, bio-climatic conditions (discontinuous forest cover, strong seasonal contrasts) facilitate also the linear erosion in the flysch and the fluvial-karstic digging of the valleys. Moreover, some cone karsts, in China and elsewhere, are not related to an impervious cover, but to a hot and continuously humid climate with a rainforest cover like in Papua New Guinea karsts.

Keys-words : cone karst, impervious cover, flysch, carbonated rock, river erosion, fluvio-karst, lithology, tectonics, climate, soil, vegetation.

ZUSAMMENFASSUNG: Polygonkarste, insbesondere Kegelkarste, sind typisch für tropische Klimate mit karbonatreichem Ausgangsgestein. Hier wird die Entstehung eines Kegelkarstes durch die fortwährende Köpfung einer Flyschauflage anhand eines funktionellen Modells beschrieben. Das gewählte Beispiel befindet sich in der Bezirk Wufeng (Hubei) auf dem Höhensattel bei Changleping, wo Kalkgestein und Dolomite aus dem Ordovizän und Kambrium vorhanden sind. Hier konnten wir entlang der Strasse auf einer Strecke von 10 km drei verschiedene Entwicklungsstadien beobachten: ein fluviales Stadium auf undurchlässigem Flysch des Silurs mit einem System laminarer Ablagerungen im Westen, einen Fluvio-Karst auf Flysch und Kalk und einen Kegelkarst auf Kalk und Dolomit. Im Zentrum des Höhensattels kann man ein viertes weiterentwickeltes Stadium unterscheiden. Es besteht aus Kegelkarst, Kuppenkarst und Poljen. Die roten Materialien (Böden, Taschen und Ablagerungen in den Füllungen) sind aus eisenhaltigen Tonen, Quarz, Silixit, oder glimmerreichen Mineralen zusammengesetzt. Letztere sind verwitterte, weit entwickelte Formen kristalliner oder klastischer Gesteine. In keinem Fall hat die chemische Auflösung des kalkreichen Ausgangsgesteins zu diesen Materialien geführt. Der Karst unterstützte ihre Entstehung sowie Anreicherung, indem er die Verwitterung der Flysch-Auflage begünstigte. Zugleich beschleunigte dieser «feuchte Umschlag» die Verkarstung. Anhand dieses Entwicklungsmodells lässt sich die Entstehung einer gewissen Anzahl von Spitzkegelkarsten in China erklären. Ausserdem wird die Bedeutung lithologischer und tektonischer Bestandteile herausgestellt. Dennoch haben die bioklimatischen Bedingungen zusammen mit lückiger Vegetationsdecke und einem kontrastreiches Klima einen grossen Einfluss auf die Flusserosion der Flyschbedeckung und die fluvio-karsten Aushöhlungen der Talmulden. Weiterhin lässt sich die Entstehung anderer Spitzkegelkarste in China sowie im insulären Umfeld ohne das Vorhandensein einer undurchlässigen Bedeckung erklären. In tropischen Klimaten übernimmt diese Rolle das dichte Kronendach einer Waldvegetation.

第八章 始于复理石覆盖的锥状喀斯特(丘峰)形成实例

多边形喀斯特特别是锥状喀斯特是典型的热带碳酸盐岩喀斯特形态。这里我们讨论的是与复理石盖层递进侵蚀作用相联系的演化作用模式。选择由寒武、奥陶纪灰岩与白云岩构成的五峰长乐坪背斜作为实例。沿着去东西天坑竖井的路上，在不到 10km 范围内可以见到三个演化阶段：在具小的 V 形谷的、不透水的志留纪复理石上的河流阶段；在复理石及灰岩上由覆以复理石帽的灰岩锥组成的河成喀斯特阶段，以及典型的、在纯灰岩与白云岩上的锥状喀斯特阶段。在复背斜的中段，还可见到较老的第四阶段，为发育溶盆的锥状喀斯特。这一成因模式阐明了某些中国锥状喀斯特的形态，这归因于岩石及构造的广泛影响。同时，生物-气候条件（不连续的森林覆盖，强烈的季节差异）也便于对复理石的线状侵蚀及谷地的河成喀斯特所掘凿，此外，某些在中国及别的地方的锥状喀斯特与不透水覆盖层没有关系，但与具浓密森林覆盖的、炎热的、持续的潮湿气候有关。

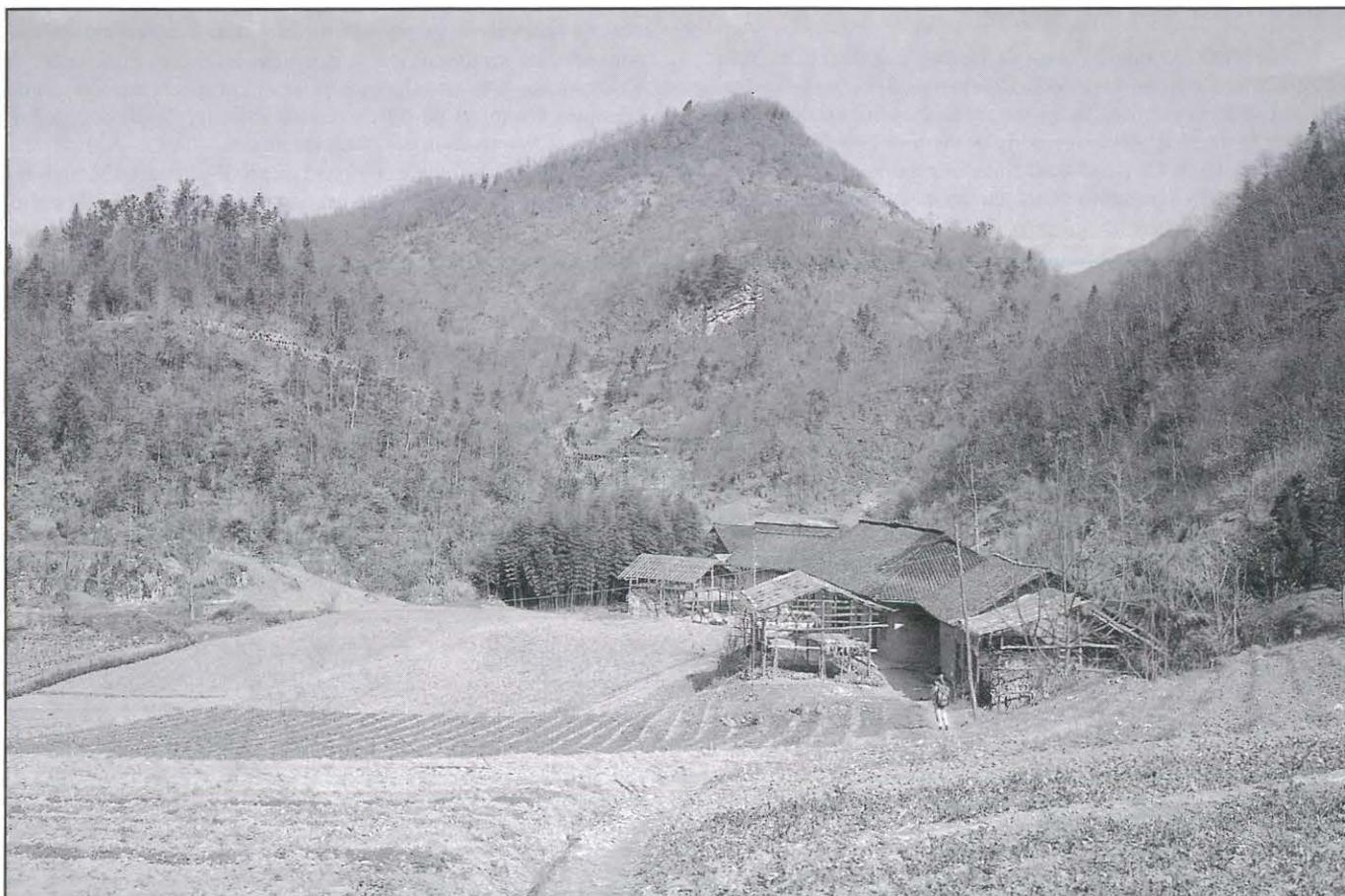


Photo 57 : Le karst à buttes dissymétriques dans le Cambrien près du gouffre de Tiankengcao. Les remplissages de dépressions renferment des éléments altérés de phyllades et des argiles abondantes provenant de l'altération et du décapage du Silurien et de l'Ordovicien. Cliché R.M.

The karst of Tiankengcao in the cambrian limestones, with the silurian and ordovician alterites in the depressions.

Introduction

Les karsts coniques font partie de la panoplie des karsts tropicaux polygonaux définis notamment par WILLIAMS (1972) et par FORD et WILLIAMS (1989). C'est probablement l'une des morphologies les plus répandues en zone tropicale karstique, par contre elle est rare en zone tempérée. Elle a donné lieu à des études mathématiques et morphométrique du réseau de drainage (TAN MING, 1992 ; XIONG KANGNING, 1992). Les interprétations portent surtout sur une interprétation morphotectonique à partir de surfaces hydrogéologiques (DROGUE et BIDAUX, 1992). Cependant les études qui prennent en compte les autres composantes de la morphogenèse sont rares : climat et processus d'altération. Est-ce donc la composante climatique qui explique une telle morphologie ou uniquement la composante géologique ? La réponse est complexe en raison de la multiplicité des exemples et des cas d'espèces.

Le cas que nous allons traiter n'explique pas tous les karsts coniques. C'est aussi un cas de figure, mais particulièrement intéressant car il est possible d'étudier simultanément les différents stades d'évolution en fonction d'un transect W-E dans un karst subtropical montagnard de Chine centrale. Ce cas privilégie d'abord la lithologie et le degré de décapage de la couverture de flysch, alors que la composante bio-climatique paraît en retrait. Mais attention, on connaît aussi des karsts coniques qui se forment sans décapage d'une couverture imperméable où jouent préférentiellement les facteurs pédo-climatiques.

I. Les stades morphologiques observés sur le terrain

Le transect étudié se situe à l'ouest de Wufeng quand on va au Puits E/Puits W et à la grotte du Général. Cela permet de visiter la bordure nord de l'anticlinorium de Changleping et sa retombée axiale ouest et d'étudier le degré de décapage de la couverture imperméable des flyschs du Silurien. On passe ainsi d'une morphologie de vallons en V dans les flyschs à un karst à buttes plus ou moins coniques dans les calcaires ordoviciens et les dolomies du Cambrien. (fig. 83 et 84)

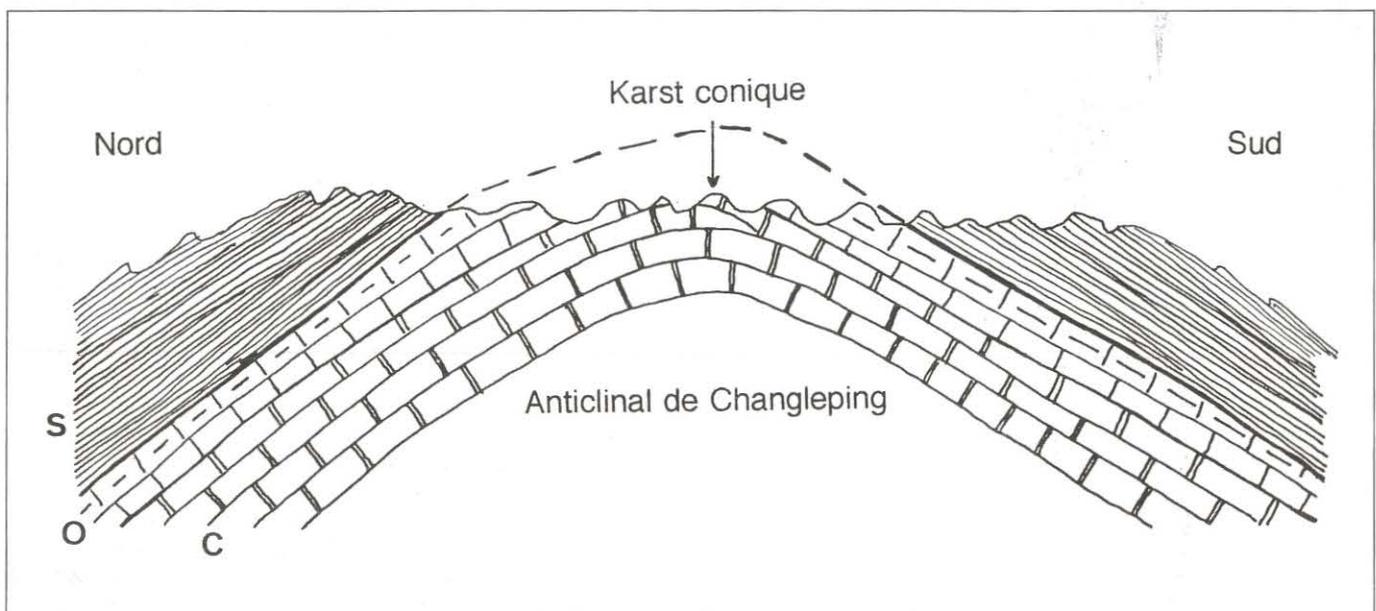


Figure 83 : Décapage de l'anticlinorium de Changleping (structure). S : flyschs siluriens. O : schistes argileux (au sommet) et calcaires ordoviciens. C : calcaires et dolomies cambriens.

Erosion of Changleping anticlinorium. S : silurian flyschs. O : ordovician limestones with schists (on the top). C : cambrian limestones and dolomites.

A. LE STADE FLUVIATILE SUR FLYSCH

Quelques kilomètres après Wufeng, un peu au-dessus de Dadong, on quitte la route principale goudronnée (Wufeng-Yichang) et l'on prend une route de terre qui mène à plusieurs villages jusqu'au canyon de la rivière Chaibuxi situé 15 km plus à l'est. Au début, on traverse une zone karstique, puis l'on parvient peu à peu dans un secteur totalement recouvert par le flysch. La série du flysch silurien est normalement très épaisse (plusieurs centaines de mètres) : elle est formée par des grès et des schistes argileux. En raison de son étanchéité, l'érosion est de type linéaire. On observe des systèmes de vallées en V, avec des versants inclinés à 40-45° et des interfluves aux arêtes généralement aiguës. Les vallons mesurent 50 à 150 m de profondeur et présentent des talwegs jeunes à profil en long assez inclinés. En hiver, ils sont secs ou parcourus par de petits écoulements. En été, lors des pluies de mousson, ils sont balayés par des ruisseaux ou de petits torrents qui continuent de creuser le lit. Plus le vallon s'approfondit, plus les versants sont raides (50-55°), mais ils restent rectilignes car l'eau de pluie érode régulièrement l'ensemble du versant. Les crêtes d'interfluves paraissent s'abaisser plus lentement que les talwegs.

L'eau de surface réceptionnée par cette région imperméable de plusieurs km² alimente plus bas une vallée qui se développe peu à peu dans les calcaires, puis les dolomies. Elle contribue donc à développer le fluvio-karst situé en aval grâce à un amont non karstique. Cette eau se jette au bout de 10 km dans l'énorme perte temporaire du Puits W par un puits de 40 m (3 km à l'E du village de Changbuxi).

B. LE STADE FLUVIO-KARSTIQUE SUR FLYSCH ET CALCAIRE

Au sud et à l'est de la zone à vallons creusés dans le flysch, on passe dans un secteur de transition de type fluvio-karstique. En effet, on observe maintenant un paysage formé par des vallons entaillés au sommet dans les flyschs et à la base dans les roches carbonatées de l'Ordovicien. Les interfluves sont ainsi constitués par des reliefs coniques à sommet de flysch et base calcaire. On devine déjà le processus de formation des cônes karstiques.

Les vallons, eux, conservent un profil général en V, mais qui tend à devenir convexe vers le bas en raison du processus de surimposition. Ce processus, bien connu en géomorphologie, explique un

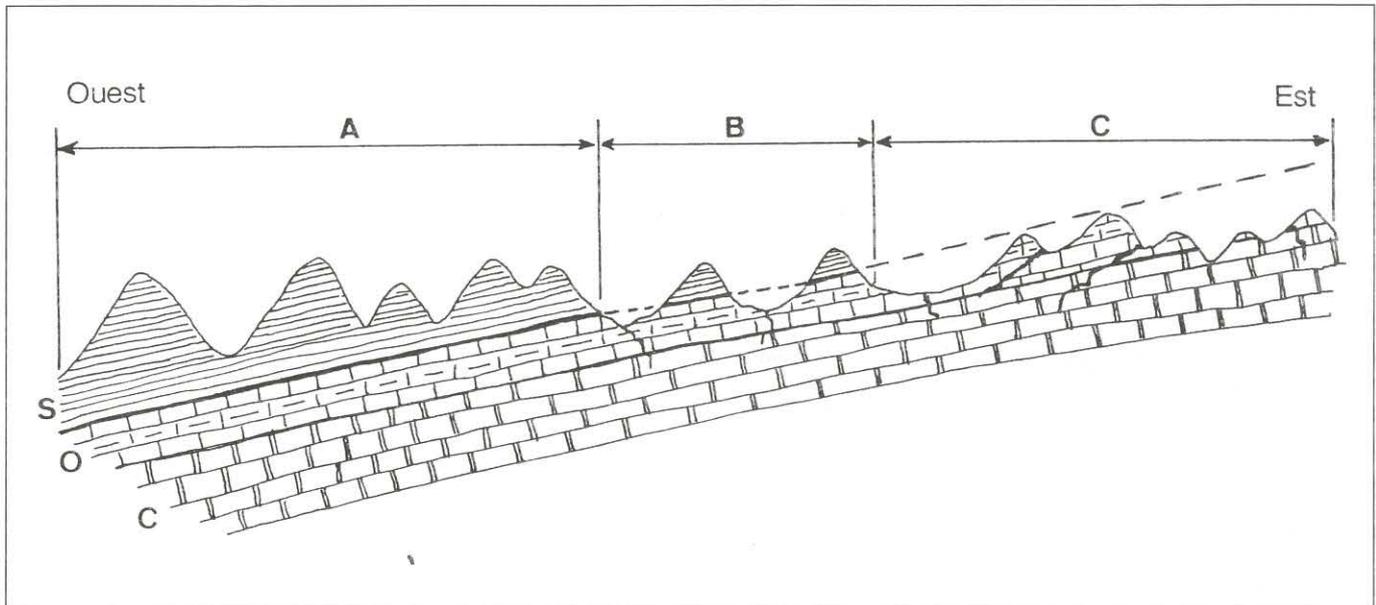


Figure 84 : Modèle actuel de décapage de la couverture de flysch du Silurien (bordure de l'anticlinal de Changleping). A : stade 1, réseau de vallons (érosion linéaire) sur flysch. B : stade 2, fluvio-karst, cônes avec chapeau de flysch, pertes dans vallons. C : stade 3, karst à cônes, réseaux étagés, résidus de flyschs et de schistes dans les sols et les altérites et les remplissages souterrains.

Actual pattern of silurian flysch erosion on the northern edge of the Changleping anticline (Changbuxi area). A : stage 1, linear erosion. B : stage 2, fluvio-karst. C : stage 3, cone karst and cave levels, alterites.

creusement linéaire en roche dure et perméable à partir d'une couverture tendre sus-jacente. C'est ainsi que se forment de nombreux canyons. Plus on va vers l'est, plus les chapeaux de flysch s'amenuisent en raison de la remontée axiale de l'anticlinorium et du décapage plus ancien de la couverture de flysch. On est présence d'un fluvio-karst typique à double amont étanche et à plancher perméable. L'amont latéral est constitué par le système de vallons étanches et l'amont direct est formé par les chapeaux de flysch.

Dans le fond de la vallée principale, on observe mieux la transition entre le Silurien et l'Ordovicien. En fait, on constate que le sommet de l'Ordovicien est constitué par des calcaires argileux et des chlorito-schistes verts dont l'altération donne d'épais profils d'altération avec libération des hydroxydes de fer (cf. coupe au-dessus de Dadong).

C. LE STADE KARST CONIQUE SUR CALCAIRE

Plus à l'est, en arrivant dans le secteur de Changbuxi, les chapeaux de flysch ont disparu. On est dans un karst à buttes, cônes, vallées sèches, pertes et grottes-tunnels. Ce paysage karstique original constitue le troisième stade d'évolution à partir du décapage de la couverture de flysch. Plus à l'ouest, on voit les chapeaux de flysch se terminer en biseau en raison du pendage général axial de l'ordre de 5 à 10°. Une preuve supplémentaire de l'ancienne couverture de flysch est apportée par l'observation des éléments pétrographiques demeurant dans les altérites et les sols des dépressions cultivées. Il y a à la fois des chlorito-schistes de l'Ordovicien supérieur et des grès du Silurien. Dans le secteur de Dadong, on retrouve même des quartzites très résistantes du Dévonien.

Dans le détail, on constate que le paysage est formé par une vallée fluvio-karstique majeure, alimentée en amont par le bassin-versant des flyschs. Cette vallée à écoulement temporaire et ses affluents se jettent dans des pertes importantes : Puits E et Puits W, avec en plus l'existence de la grotte-tunnel du Général (juste avant le Puits E). L'ensemble du relief environnant est formé par un karst à cônes qui tend à devenir plus régulier vers l'est et le sud, c'est-à-dire vers le centre de l'anticlinorium, là où le décapage de la couverture de flysch est plus ancienne.

En parcourant les reliefs situés au nord du Puits E / Puits W, on constate qu'il s'agit bien d'un ancien système de vallées sèches, de

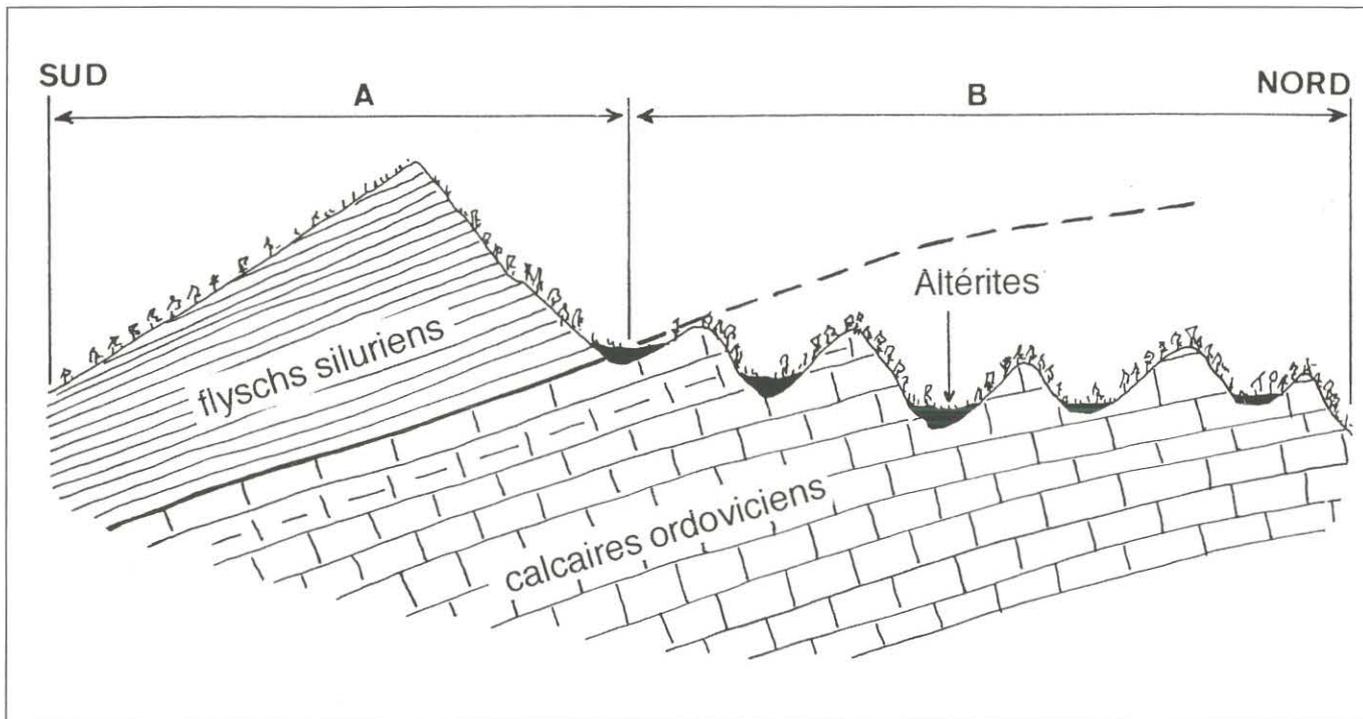
replats et de dépressions séparés par des buttes plus ou moins coniques. Les dépressions et replats sont couverts par des altérites épaisses qui servent aux cultures. On y découvre des fragments altérés de grès et de flysch. Plus remarquable encore est la présence de cavités anciennes déconnectées du niveau de base. La plus belle est Tiankengcao, grotte-gouffre explorée sur plusieurs km de développement et de 220 m de profondeur. Il s'agit d'une ancienne perte qui fonctionnait à l'époque où l'on avait un système de vallons fluvio-karstiques semi-actifs. La morphologie du réseau (anciennes conduites forcées, remplissages détritiques abondants avec éléments anciens de grès et de flysch, etc.) témoigne donc d'un stade plus ancien de type fluvio-karstique. Compte tenu des arguments géomorphologiques et de l'étude des remplissages souterrains (cf. chap. 6), il s'avère que ce stade fluvio-karstique associant encore des amonts et des chapeaux de flysch n'est pas très ancien dans ce secteur : il pourrait remonter au Pliocène ou au Quaternaire ancien.

II. Interprétation générale

L'immense intérêt des trois stades d'évolution que nous venons de décrire est leur existence dans le paysage à quelques kilomètres d'intervalle seulement. Ce phénomène n'est pas unique dans les karsts de Chine centrale, mais c'est dans cette région de Wufeng que nous avons pu l'étudier avec le plus de clarté.

Signalons un autre exemple remarquable situé au sud de Hefeng, à proximité de la frontière entre le Hunan et le Hubei. Après le col situé à 1 580 m (route descendant sur Hefeng), on passe d'un système de vallons en V dans les flyschs du Silurien à un karst conique dans les calcaires ordoviciens, dont les dépressions sont encore envahies par les altérites du flysch. Dans ce cas, l'absence d'étude précise de terrain n'a pas permis de dire si l'on a un stade d'évolution sous altérites, donc de nature crypto-karstique, ce qui changerait en partie les données du problème. Il semble bien que ce soit le recul des flyschs qui ait permis de dégager ce type de karst conique dont la répartition spatiale et la morphologie sont dépendants de la fracturation. (fig. 85)

La formation de ce karst conique n'est pas indépendante de l'évolution morphotectonique générale. Ainsi, on observe des niveaux de karstification étagés dont l'exemple le plus remarquable se



**Figure 85 : Autre modèle du décapage des flyschs siluriens et formation de karst conique : secteur sud de Hefeng (col à la limite du Hunan et du Hubei, alt. 1 580 m). A : flyschs du Silurien, buttes et vallées en V. B : karst conique dans les calcaires de l'Ordovicien (formes assez récentes de quelques dizaines de mètres de haut, maximum 40-60 m). Forêt d'altitude à *Cryptomeria* et *Cunninghamia*.
Other model of silurian flysch erosion and formation of cone karst south of Hefeng area (border of Hunan/Hubei, alt. 1580 m). A : Silurian flysch. B : cone karst in Ordovician limestones.**

situé entre Hefeng et Yanziping. A partir du fond de la vallée de la Loushuihe se situant à Hefeng vers 500 m, on observe d'abord un premier plateau à petits cônes située vers 650-700 m, puis un deuxième plateau à cônes et poljés entre 1 000 et 1 200 m. Il faut voir dans ces niveaux de karstification, non seulement des étapes dans le dégagement des surfaces d'altération, mais également des morphologies en relation avec les changements dans le niveau de base, donc avec la tectonique de surrection (cf. chap. 9).

A. MICROMORPHOLOGIE DE SÉQUENCES D'ALTÉRATION

L'étude de différents faciès d'altération dans la roche-mère permet de proposer un schéma d'altération cohérent. La plupart des roches présentent une altération à plusieurs phases. Les calcaires biodétritiques (faciès du Trias - lame 33) ou les faciès fins péliito-turbidiques (lame 5) à faible porosité sont peu sensibles à l'altération (lame 3/B) alors que les silixites sont dissociées par des complexes argileux à goëthite-hématite (lame 3/C). Les charbons présents dans certains bancs donnent des fragments organiques très dispersables (lame 34).

- **Exemples d'altérations :** Dans le secteur de Zisuling, sur les replats d'altération entre 1 240 et 1 260 m, les roches ordoviciennes montrent des faciès organogènes silico-calcaires avec successivement un remplacement de la calcite par la chlorite-séricite, de la chlorite par des produits ferrugineux (lame 20). Les roches bioclastiques du Trias rouge sont altérées en chlorite avec néoformation de bactériodérite (lame 21/C). Un peu plus en altitude, on observe le contact entre les calcaires bioclastiques à micrite grise fine de l'Ordovicien avec un ciment clair à micrite ou microsparite avec un plancher riche en éléments schisteux du Permien (lame 22). Des reliquats de grès avec fantômes schisteux sont encore conservés dans les poches (vers 1 250 m - lame 21/A) et au contact, les dolomies sont altérées et les grès eux-mêmes sont infiltrés dans les joints intercrystallins par des argiles phylliteuses (lame 21/B).

Au sud-ouest de Hefeng, dans le poljé de Taiping vers 900 m, les calcaires du Trias à micrite grise sont altérés dans les fissures (au niveau de filons de calcite) par des néoformations à colonies ferrobactériennes avec la présence de manganèse (lame 50/B). L'altération poussée des couvertures allochtones a laissé des cuirasses de grès ferrugineux avec des cutanes d'argiles bio-ferrugineuses (colonies ferrobactériennes comme hôte des colonies algaires - lames 50/A1 et 50/A2). (photo 60)

- **L'altération phytokarstique :** Outre les processus d'altération classique, la plupart des roches présentent dans les cavités chinoises une tendance à l'altération phytokarstique. Cela est dû à la taille et à la ventilation des cavités et sans doute aussi à la présence de bactéries qui fonctionnent avec ou sans photosynthèse (bactéries sulfatantes oxydoproductrices). Un exemple typique a été étudié dans la grotte-tunnel de Chuandong (chap. 6). Par exemple, au plafond d'entrée de la cavité de Laoxiaodong (Xianfeng), la roche du Permien montre dans la partie interne, des plages grises plus argileuses de fragmentation de la biomicrite (lame 59/F1) avec une augmentation de la porosité (10-20%) (lame 59/F2). La partie externe montre le développement d'une croûte blanche microtravertineuse composée de la microséquence suivante (lame 59/G) : 1) alternance de micrite fine micropunctuée et de calcite columnaire à croissance bactérienne ; 2) développement en surface d'algues brunes qui contribuent à la fixation des faciès palissadiques et d'algues ocre ou jaunes qui nourrissent des micrites claires.

B. EXEMPLES DE CATENA D'ALTÉRATIONS

De nombreux profils et de poches ont été étudiés dans le secteur de Wufeng et de Hefeng afin de préciser les évolutions.

1. La catena d'altération à l'amont de Tiankengcao (Wufeng)

En amont de la grotte de Tiankengcao qui démarre vers 1 150 m, on observe une belle surface d'altération avec des cônes dans les calcaires

camabriens (**photo 57**). Les cônes culminent entre 1 500 m vers le sud-est et 1 700 m vers le nord-est, certains vers le nord étant encore coiffés de schistes. La roche est constituée de calcaires microsparitiques du Cambrien supérieur. Les faciès montrent (lame 11/1) des fissures de calcite claire avec des sparites engrenées peu sensibles à l'altération. On observe cependant de fines cutanes intergranulaires. Dans la grotte de Tiankengcao, les roches montrent des faciès bréchoïdes de l'Ordovicien et du Cambrien avec un ciment siliceux. Dans le réseau des conduites forcées sont infiltrées de grès (lame 13/1) avec des planchers indurés (lame 13/2).

- **Une catena des altérations** a été levée entre 1 200 et 990 m, depuis le sommet de certains cônes et jusqu'au fond du talweg, et les produits ont été étudiés sur lames minces. A l'amont, on observe des calcaires et des dolomies du Cambrien supérieur. A flanc de cônes, les versants montrent des blocs gréseux épars de microquartzites ou des agglomérats de sables quartzeux. Sur les replats inter-cônes, vers 1 150 - 1 100 m, on observe des poches d'altérites argilo-sableuses au contact avec les dolomies grises du Cambrien supérieur (dolomies grises à cristaux de sparite et pyrite de fer - éch. 12/D). Dans les poches flottent des reliquats de schistes argileux lités à faciès turbiditiques fins représentant des "shales" à boues de phyllades altérées de l'Ordovicien (éch. 12/C). En contre-bas, les versants montrent une gamme d'altération et de faciès de grès ferrugineux et de remplissages ferrugineux.

- **Micromorphologie des altérites** : L'échantillon 12/E présente une microquartzite ferrugineuse à cristaux de quartz engrenés et ciment ferrugineux à goéthite et oxydes de fer avec du manganèse en amas. On observe des micro-filons de quartzites et de nombreux reliquats micacés altérés dans le squelette. Il s'agit d'une altérite de schistes avec néoformation de fer et de quartz en milieu bien drainé, oxydant et acide, avec une évolution en milieu plus engorgé. Deux épisodes de néoformation de quartz jalonnent l'évolution de ce matériel issu de la digestion in situ des schistes ordoviciens.

L'échantillon 12/F est encore plus intéressant. Ce remplissage ferrugineux microlité à cristaux de sidérite montre des fantômes de dolomies remplacés par le fer et entourés d'un corona de silice microcristalline ou d'opale amorphe. La micromorphologie indique que dans un premier stade la dolomie a été engluée par des gels siliceux qui ont contribué à sa digestion, puis les carbonates ont été éliminés et remplacés par de la sidérite. Dans un stade ultérieur, la sidérite a été mobilisée et a donné des néoformations à goéthite-hématite en conditions alternées oxydo-réductrices avec néoformation de microquartz et de séricite fibreuse en condition plus stagnante (**photo 59**). C'est un exemple typique et fondamental du rôle des couvertures silico-ferrugineuses dans l'altération des dolomies et une preuve de l'évolution crypto-karstique des cônes de ce secteur.

2. Le profil d'altération au-dessus de Dadong

Au-dessus du système souterrain de Dadong, on observe des profils d'altération de plusieurs mètres d'épaisseur recouvrant l'Ordovicien calcaire. L'un d'eux, situé au bord de la route, est décrit dans le précédent rapport (**Gebihe 89, p. 176**). L'étude pédologique, granulométrique et pétrographique de ce profil, complété par des levés en 92 permet de préciser un schéma d'évolution.

- **Description des coupes** : Les diverses coupes vers 900 m montrent un sol brun cultivé en théiers avec les horizons suivants :

- entre 0 et 10 cm, un horizon Ao organique brun (10 YR 6/4), présente des passées plus humifères brun-noir (éch. WU 490/a - n° 9, vers - 10 cm) ;

- entre 10 et 50 / 60 cm, un horizon A1/A2 complexe, grumeleux brun clair (7,5 YR 6/4), possède des passées plus argileuses brun-jaune clair (10 YR 6/4) indiquant une battance et des remaniements (éch. WU 490/b - n° 8, vers - 25 cm), avec un bloc calcaire flottant ;

- entre 50 / 60 et 100 cm, un horizon A/B enterré représente un paléosol brun-jaune à brun-rougeâtre (5 YR 5/4) avec une structure grumeleuse au sommet (éch. WU 490/c - n°7, vers - 50 cm) ;

- entre 100 et 400 cm, on observe un horizon principal argileux de type Bt, jaune-rougeâtre (5 YR 5/6) avec des petits éléments schisteux altérés rouges et des passées brun-jaune (éch. WU 490/d - n°6, vers - 120 cm). Cet horizon épais fonctionne par soutirage en poches d'argiles plastiques versicolores rouge-jaune (5 YR 4/6) à brun-rouge foncé (2 YR 3/4) vers 180-200 cm (éch. 16 D), avec une structure micropolyhédrique (éch. WU 490/e - n°5, vers 230 cm). Des fantômes de schistes (éch. 16 E - Ech. WU 490/h - n°3, vers 380 cm) et de grès altérés (éch. 16 C) flottent dans des argiles versicolores brun-orange (éch. WU 490/f - n°4, vers 320 cm). Dans la partie inférieure, on observe de nombreux éléments altérés de l'Ordovicien (éch. WU 490/g - n°10, vers 360 cm), avec des horizons argiliques rouge-jaune très plastiques (éch. WU 490/i - n°2, vers 380 cm) ;

- entre 400 et 500 / 600 cm, on distingue un horizon Bt argileux inférieur plus foncé, brun-rouge foncé (5 YR 3/3) à rouge-violette très brillant (éch. WU 490/j - n°1, vers 420 cm) ;

- vers 500-600 cm, le contact avec la roche-mère altérée (Ech. 16/F) est bien visible sur les bordures de la poche karstique (éch. 16/B) avec différents types de contacts (éch. 16/A). (**fig. 86**)

- **La roche-mère carbonatée de l'Ordovicien**, constituée de calcaires bioclastiques (tests algaires de dinoflagellées) à grands cristaux de sparite (avec des figures synsédimentaires de pression / dissolution), montre une légère bréchification avec un ciment de sidérite (lame 16/F). On observe de la calcite de néoformation dans un ciment fin interclastique. Différents types de contacts entre la roche-mère bioclastique et des brèches infiltrées dans la poche karstique sont présents. La roche compacte est formée de calcaire bioclastique avec un début d'argilisation et néoformation de sidérite (lame 16/A1). Dans un deuxième stade, on observe des sidérocutanes avec une bréchification par le fer et des complexes silicatés (lame 16/A2) (**photo 62**). Un troisième stade (lame 16/A3-a) est marqué par une bréchification plus poussée, avec des fantômes de la roche initiale, cutanes d'argiles claires (**photo 63**), fines (microsidérite) et microlitées, et début de cristallisation d'argiles ferrugineuses (goéthite-hématite). Le stade final (lame 16/A3-b) montre une recristallisation totale en sparite, avec le maintien d'un plasma sidéritique fin à grands flocons de phyllites et néoformation d'opale (**photo 65**).

La micropétrographie permet de reconstruire les épisodes successifs suivants (lame 16/A3-a) présents dans les ciments (**photo 64**) :

- 1) bréchification avec formation d'un ciment à micro- et macro-sidérite du fait de la fourniture de produits de l'altération de schistes ferrugineux ;
- 2) formation contemporaine de cutanes microstriés de sidérite ;
- 3) argilisation et néoformation de cutane de fer (goéthite / hématite) avec activité des sulfato-bactéries ;
- 4) recristallisation de sparite ;
- 5) évolution in situ des complexes argileux ferrugineux avec néoformation de phyllite.

- **L'horizon Bt de la poche** : L'horizon inférieur est argileux (34 %), avec 56,5 % de limons, 7,3 % de sables et 2,1 % d'eau. Le pH est de 6,05, la teneur en CaCO₃ de 0,2 % et la teneur en matière organique de 0,1 %. Vers 420 cm, on observe sur lame (WU 490/j - n°1) de grands cutanes argileux à goéthite dans un plasma silto-squelettique fin. De nombreux pores sont tapissés d'argiles, de manganés et de siltanes microlités de grandes tailles.

L'horizon Bt supérieur est caractérisé par des teneurs en argiles plus faibles (respectivement 25, 23, 27,5 et 27,5%), des teneurs en limons plus élevés (65,3, 60,1, 59,5 et 62,5 %), des teneurs en sables croissantes (7,5, 14, 10,5 et 7,7 %) et des teneurs en eau à peu près constantes (2,3, 2,3, 2,2 et 1,9 %). Le pH est en baisse (5,90, 6,00, 5,85

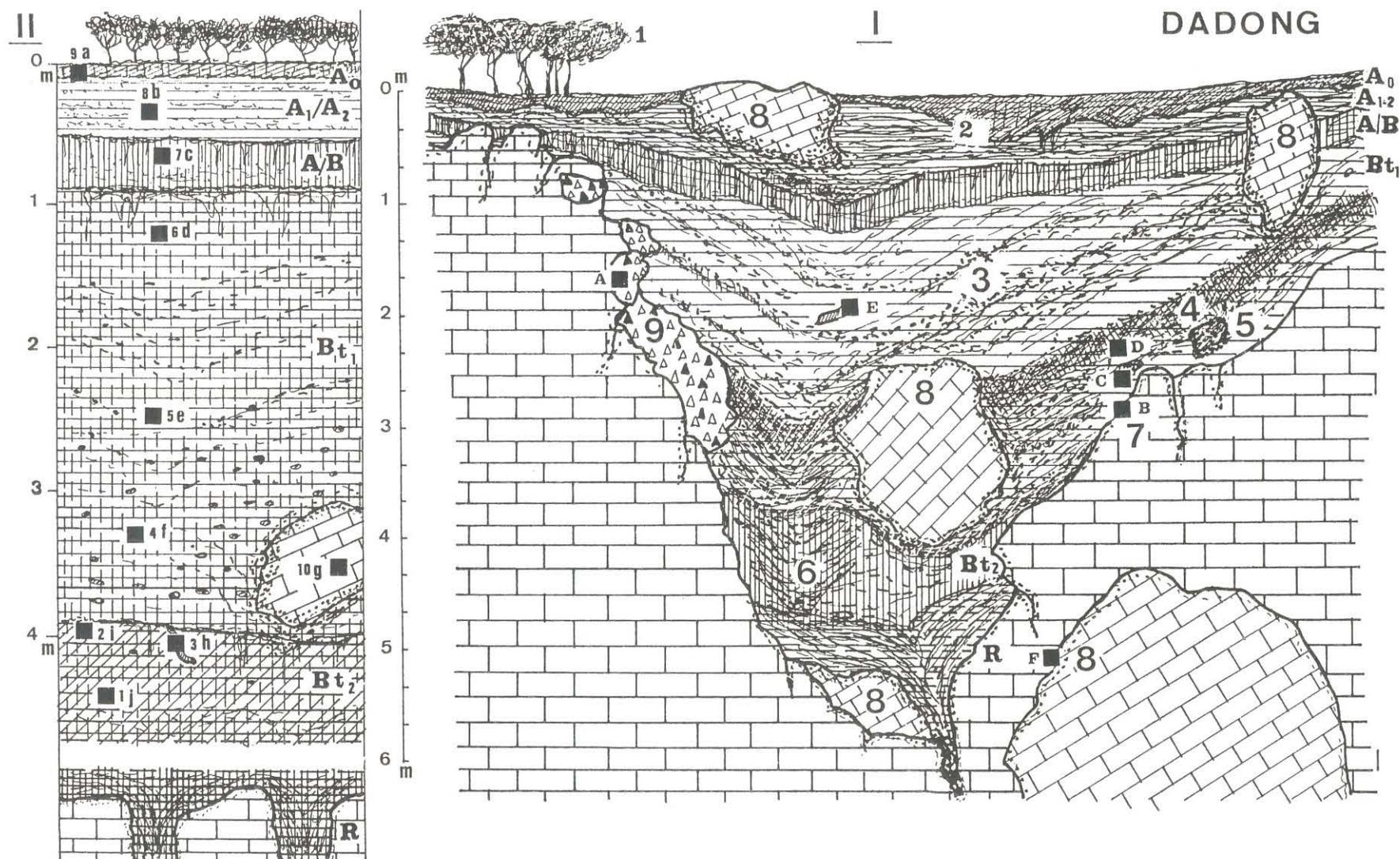


Figure 86 : Profil d'altération dans les schistes ordoviciens au-dessus de Dadong vers 820 m (Wufeng, Hubei). Localisation des prélèvements et des lames minces étudiées.

I. Coupe du crypto-karst, bord droit de route, sentier ferme, situation des échantillons 1992 et localisation de la coupe et des échantillons 1989. 1 : plantation de thé. 2 : sol à horizons brun (10 YR 6/4), brun clair (7,5 YR 6/4) et brun-jaune clair (10 YR 6/4) entre 0 et 100 cm, avec bloc calcaire flottant. 3 : poche d'argiles plastiques rouge-jaune (5 YR 4/6) à brun-rouge foncé (2 YR 3/4) vers 180-200 cm, avec fantômes de schistes (éch. 16 E). 4 : argiles versicolores (éch. 16 D). 5 : grès altéré (éch. 16 C) flottant dans argiles versicolores. 6 : soutirage. 7 : contact avec les calcaires stratifiés altérés (éch. 16 B) de l'Ordovicien. 8 : bloc de calcaire ordovicien ± altéré (éch. 16 F). 9 : brèches (éch. 16 A) au contact avec des calcaires bioclastiques ± bréchiques microkarstifiés dans un bloc déplacé.

II. Coupe synthétique et localisation des échantillons WU 490 (1989) dans le profil externe de Dadong.

Alteration profile in the ordovician schists above Dadong, alt. 820 m (Wufeng, Hubei) and situation of samples. I. Section of crypto-karst (samples 1992) and situation of the profile studied in 1989. II. Synthetic section and situation of the samples WU 490 (1989).

et 5,25), les teneurs en CaCO_3 variable, mais légèrement croissantes (0,2, 0,3, 0,2 et 0,4 %). La teneur en matière organique est variable, mais plutôt croissante dans certains niveaux (0, 0,6, 0,2 et 0,4 %). Certains horizons sont enrichis en sables grossiers (8,6 % vers 320 cm)

Vers 380 cm, deux types de plasma sont présents sur lame mince (WU 490/i-n°2) : une masse de fond silteuse claire fine plus ou moins homogène et des microgrumeaux argileux rouge dans un plasma silto-argileux. De grands cutanes d'argile jaune (goethite) ou des siltanes très fins remplissent des pores de dissolution. On observe aussi des éléments rocheux qui flottent dans les argiles : fantômes de roches du Permien, calcaire bioclastique à tests algaires silicifiés et de "shales" à niveaux ferrugineux et lits de microquartzites (lame 16 E), schistes silto-quartziteux fin altérés à argiles micacées et sidérite (lame 16/GB), reste de roche schisto-siliceuse avec des tests algaires et une masse de fond silto-quartziteuse à pigment ferrugineux (lame 16/G3-GC).

Les fragments dénotent au moins trois périodes d'argilisation (lame WU 490/h-n°3) :

- 1) une période de lessivage avec néoformation de goethite ;
- 2) une période de dissolution avec oxydation des argiles ;
- 3) une période de remontée de la nappe avec dépôt de manganèse et de fer plus foncé.

Vers 360 cm, les blocs d'Ordovicien altérés montrent sur lame mince (WU 490/g-n°10) des fissures carbonatées et argilisées et des plages d'argiles dans la masse.

Vers 320 cm (WU 490/f-n°4), l'horizon brun à éléments altérés montre de nombreuses fissures à structure plus ou moins prismatique sans remplissage et des fissures plus récentes remplies de produits ferrugineux et / ou manganésifères. La masse de fond silto-squelettique montre une organisation microlitée (**photo 66**) avec des coiffes autour des grains du squelette. Le microlitage atteste des alternances de gel et de période humide dans un système complexe, avec apport d'argiles ferrugineuses et de silts quartziteux hydro-éoliens.

Vers 230 cm (WU 490/e-n°5), la masse de fond silteuse est homogène et fine avec une dominance de microcutanes d'argiles jaunes et de nombreux éléments arrondis représentant des fragments de roche-mère altérée.

Vers 120 cm (lame WU 490/d-n°6), l'assemblage plasmique est peloteux et microstrié, avec de nombreux fantômes schisteux nourrissant des cutanes et des éléments rouges totalement argilisés. La forte porosité vésiculaire accompagne un squelette assez grossier avec de grands éléments de schistes gris.

- **L'horizon de transition A/B** est marqué par des teneurs en argiles plus modestes (22,5 %), des teneurs en limons et en sables constantes (64,2 % et 10,6 %) et des teneurs en eau de 2 %. Le pH est de 6, le CaCO_3 de 0,3 % et la teneur en matière organique de 0,6 %.

Vers 50 cm (lame WU 490/c-n°7), la micromorphologie montre une microstructure peu visible avec des pores plus ou moins arrondis et tapissés de manganèse. On observe des remplissages de gypse et de très nombreux cutanes d'argiles issus de l'altération des éléments schisteux ordoviciens. Le plasma présente une fabrique argileuse microstriée à microponctuée (**photo 67**).

- **L'horizon A1/A2** montre une teneur en argile de 25 %, en limons de 60,4 %, en sable de 11,6 % et en eau de 1,7 %. Le pH est plus faible (4,95 %), la teneur en CaCO_3 toujours faible (0,3 %). Seule la teneur en matière organique est plus élevée (1,4 %). Vers 25 cm (lame WU 490/b - n° 8), la micromorphologie montre des grumeaux très détachés avec des moules racinaires remplis de silts et des restes de structures rhizomorphes.

- **L'horizon supérieur A0** est marqué vers 10 cm (lame WU 490/a-n°9) par une structure micro-motteuse et une porosité subverticale. Le plasma silto-squelettique à quartz montre des grumeaux d'argiles et de matière organique. L'ensemble est composé de

nombreux éléments de grès ferrugineux et d'éléments d'Ordovicien schisteux ou schisto-gréseux. On observe de nombreux tests de plantes, des tissus d'algues et des rhizophores, de nombreux tests organiques fibreux plus ou moins cellulaires rouges à ocre-rouge. La matière organique est surtout présente sous forme de tissus non décomposés.

3. Le rôle des altérites silico-ferrugineuses dans la karstification et les effets des paléoclimats

Le profil d'altération de Dadong étudié ci-dessus permet de mettre en évidence les faits importants suivants :

- le faible rôle joué par la matière organique décomposée dans le profil ;
- la part négligeable jouée par les carbonates dans le fonctionnement des horizons ;
- la quasi absence de reliquat de produits d'altération de roches calcaires ;
- la prépondérance des produits d'altération d'une couverture schisteuse dans l'alimentation du profil.

En outre, la micropétrographie précise le fonctionnement du soutirage marqué dans la géométrie de la poche (**photo 61**), et son rôle dans l'accélération des processus d'altération à partir d'une couverture non calcaire. Il précise le rôle du karst dans le fonctionnement hydrodynamique d'un sol (VERHEYE, 1989) et en particulier en tant que nourrisseur en turbides qui vont sédimenter dans les conduits karstiques. On constate que les produits silico-ferrugineux ont joué un rôle capital dans la bréchification et l'altération de la roche-mère.

Trois périodes de pédogenèse sont enregistrées dans le profil. La principale correspond à la néogenèse de cutanes de fer microstrié (**photo 67**) attestant un climat encore plus contrasté que l'actuel (tropical humide avec gel saisonnier). Au moins un grand épisode très froid est enregistré avec des coiffes de silts. Ce profil a sans doute enregistré les changements du climat durant le Quaternaire et les nombreuses récurrences du régime de mousson.

C. LE RÔLE INTERDÉPENDANT DE LA LITHOLOGIE ET DU BIOCLIMAT

Si la lithologie paraît jouer un rôle prépondérant à première vue, pourquoi alors le type morphologique du karst conique n'est-il pas présent un peu partout dans le monde ? Pourtant le phénomène de décapage des couvertures imperméables est un phénomène généralisé dans les chaînes alpines sensu largo (Europe, Méditerranée, Moyen-Orient) (MAIRE, 1990). Ainsi, dans l'évolution des karsts méditerranéens et de certains karsts européens (Périgord, Franken Alb), les «terra rossa» très abondantes sont en fait les traces d'anciennes couvertures silico-ferrugineuses et de couches géologiques, aujourd'hui disparues ou subsistant partiellement sur les bordures des massifs (SALOMON et POMEL, 1994).

- **Le régime climatique contrasté** entre un hiver sec et un été très humide favorise grandement l'érosion linéaire dans les flyschs. Quant à l'altération, sous couvert pédologique et végétal, elle est ralentie pour deux raisons :

- 1) la topographie dans un relief plissé et soulevé au cours du Tertiaire et du Quaternaire, d'où une érosion des altérites ;
- 2) le changement des conditions climatiques à la fin du Miocène, à la fin du Pliocène et au Quaternaire (refroidissement entraînant l'érosion des sols).

On est donc en présence d'une surimposition de reliefs dans des conditions climatiques subtropicales de montagne à saisons contrastées. Maintenant, la question est de savoir comment s'est faite cette évolution sous un climat moins contrasté et plus chaud, un couvert pédologique et végétal continu et une topographie moins pentue. Or, ces conditions ont dû être réalisées au cours du Tertiaire, par exemple au Miocène, sur le centre de l'anticlinorium de Changleping où le décapage de la couverture des flyschs du Silurien est nettement plus ancien. C'est ce que nous allons envisager maintenant.

MICROMORPHOLOGIE DES PRODUITS DE L'ALTÉRATION DES ROCHES NON CALCAIRES

Le matériel contenu dans les sols, les poches et les remplissages souterrains est le résidu de couvertures rocheuses aujourd'hui disparues

Le matériel détritique rouge piégé dans les synclinaux indique une altération de roches non calcaires (schistes, phyllades, grès, etc.) donnant des altérites silico-ferrugineuses, puis leur érosion et leur accumulation dans les bassins. Ces produits d'altération sont riches en fer (goéthite, hématite, gels ferrugineux, séricite, sidérite, etc.) et en silice (quartz, silex, opale, silice amorphe, etc.). Lorsqu'elles recouvrent le calcaire en permettant l'infiltration des eaux, ces altérites ont largement contribué à la décomposition des roches calcaires et dolomitiques sous-jacentes et à leur crypto-karstification. (clichés et analyses S. Pomel)



Photo 58 : Quartz détritiques (en blanc) issus de l'altération de phyllades dans la masse de fond des dépôts rouges (ou "rougier") d'un synclinal de la région de Sangzhi. Ech. 6, lum. pol. analysée, obj. 10 x 3,2, échelle 1 cm = 131 μ m
Detrital quartz (white) due to phyllade alteration in the red deposits of Sangzhi area (Hunan).

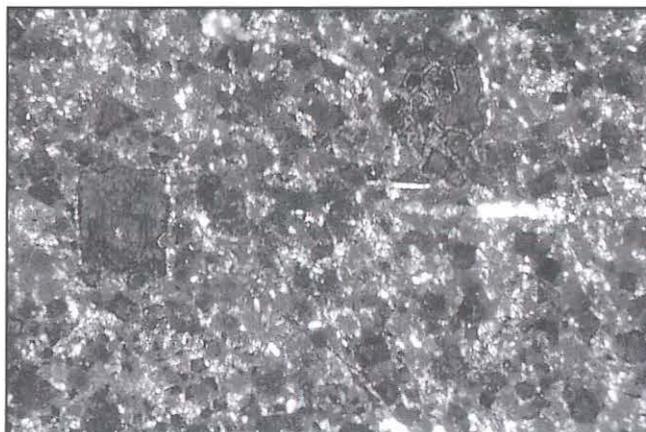


Photo 59 : Grès ferrugineux sur les versants à l'amont de Tiankengcao (Wufeng) montrant des cristaux de sidérite (carbonate de fer) dans une masse de fond composée de quartz et d'argiles ferrugineuses avec de grands flocons de séricite. Ech. 12/F, lumière pol. analysée, obj. 10 x 3,2.
Ferruginous sandstones with siderite crystals, Tiankengcao area (Wufeng).
échelle 1 cm = 131 μ m

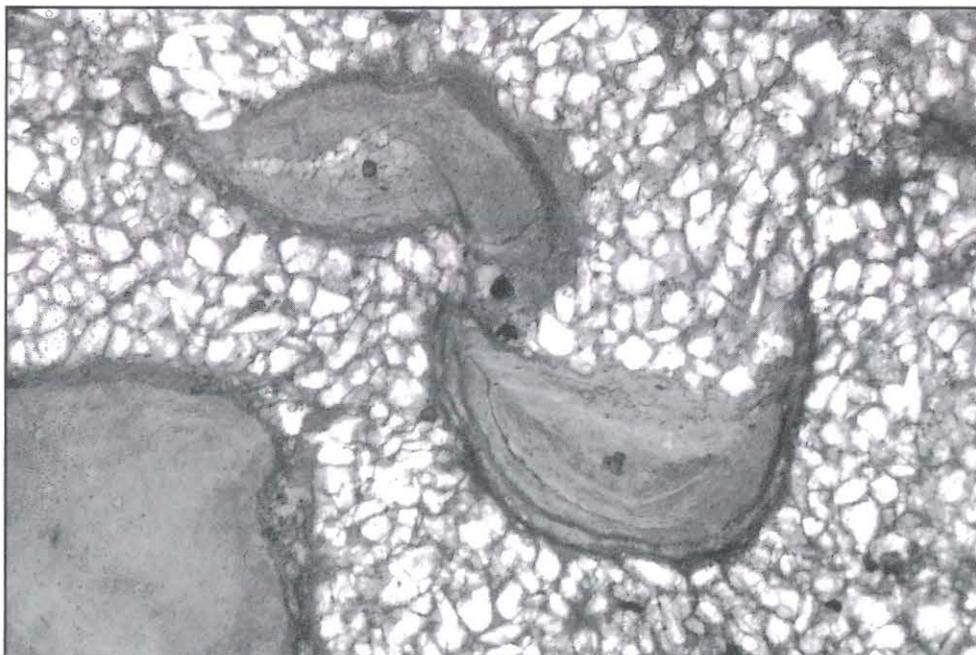


Photo 60 : Grès ferrugineux riche en quartz d'une cuirasse du poljé de Taiping (Hefeng) montrant des cutanes d'argiles à hématite/goéthite (en sombre). Ech. 50/A1, lum. pol. non analysée, obj. 10 x 6,3, échelle 1 cm = 45 μ m

Ferruginous sandstone (Taiping polje) showing clay and hematite/goethite coating.

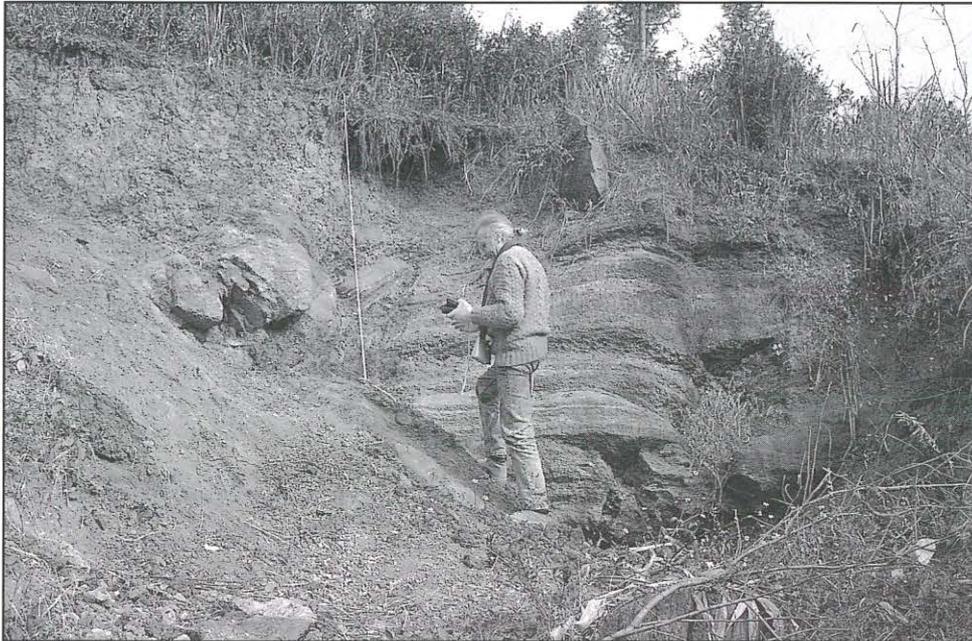


Photo 61 : Profil d'altération à l'amont de Dadong montrant les effets du soutirage dans la géométrie de la poche et l'altération de blocs de calcaire ordovicien flottant dans les argiles. (cliché R.M.)

Alteration profile near Dadong (Wufeng).

- Dans la formation du karst à cônes, on discerne enfin un quatrième stade d'évolution qui est le karst à cônes et poljés. Il se situe au coeur de l'anticlinorium de Changleping et peut être observé à partir de la route qui passe par le magnifique poljé allongé de Changleping. Ici, le karst montre un stade nettement plus évolué. Les reliefs karstiques sont plus hauts (plusieurs centaines de mètres) et souvent plus pentus. Il s'agit de cônes, voir de pitons dont les versants peuvent dépasser 50 à 55°. Le poljé de Changleping, long d'au moins 10 km et large de quelques centaines de mètres, est un exemple typique d'une ancienne vallée fluvio-karstique (style vallée de Changbuxi se terminant au Puits E) qui a ensuite évolué en poljé par corrosion latérale.

Le drainage en période de crue de mousson se poursuit. Toutefois, à l'extrémité ouest l'écoulement temporaire de deux vallées a été capturé par la perte double de Xiaoshuidong, phénomène qui s'est accompagné par un enfoncement du talweg dans l'extrémité du poljé. Se pose donc ici un problème général important, celui de la genèse des poljés allongés et multilobés. En géomorphologie karstique, on sait que ce type de morphologie, présent notamment dans les karsts méditerranéens, résulte de la karstification d'anciennes vallées fluvio-karstiques pouvant provenir elle-même d'un ancien relief établi d'abord sur une couverture imperméable. Ensuite intervient la surrection qui stérilise la vallée et provoque une perte massive de l'écoulement dans des ponors, avec des phénomènes alternés de barrage lacustre par obstruction des pertes, de sédimentation, d'érosion des dépôts et de vidange par rupture des bouchons.

D. AGE DES KARSTS CONIQUES DU HUBEI ET DU HUNAN

Dans les karsts coniques du Hubei et du Hunan, les jalons de l'évolution karstique et fluvio-karstique sont représentés par les phénomènes de déstabilisation du milieu. Il s'agit de crises tectoniques (orogénèse de Yanshan 3 à la fin du Crétacé et à l'Eocène, surrection himalayenne au Néogène), des crises climatiques (refroidissement plio-quaternaire), voire des crises anthropiques pour la période récente (déforestation, brûlis, guerres, etc.).

1. Les marqueurs de l'altération crétacé-éocène et la catena du Parc de Zhangjiajie (Sangzhi, Hunan)

L'évolution des karsts coniques chinois ne peut être dissociée des longues périodes d'altération qui ont suivi le Trias, en particulier de la genèse des bassins rouges du Crétacé-Eocène. L'étude de ces dépôts, esquissée dans le rapport Gebihe 89 (p. 166 et p. 170-176), a été complétée par d'autres études (cf. chap. 9 et photo 58). A titre d'exemple, une catena a été levée dans le parc de la "forêt de pierre"

de Zhangjiajie, dans les grès du Dévonien. Dans la partie sommitale, on observe vers 1 030 m des reliefs ruiniformes encore enfouis sous leur couverture sablo-ferrugineuse. A la base du profil d'altération, sur des grès dévoniens à «ripple mark» et bancs alternativement à ciment calcaire et silico-ferrugineux, on distingue des argilites silicatées et ferrugineuses, puis des sables gréseux et une cuirasse.

- La micromorphologie de la dalle cuirassée (éch. 9/D), montre des grès à ciment ferrugineux, composés de silts et de sables fins de quartz, avec de rares cristaux altérés de staurotide. La plupart des quartz proviennent de roches cristallines, avec un faible cortège de quartz métamorphiques issus des flyschs siluriens et de l'orogénèse varisque. Quelques éléments de micropélites calcaires représentent la couverture permienne. Les quartz ont évolué avec une importante corrosion, des figures de pression-dissolution qui leur donne un assemblage pseudo-engrené et de nombreux encastements. On observe plusieurs générations de ciment :

1) un ciment rouge goethito-hématitique en corona autour des grains (chitonique) ou souvent en pont entre les grains (gefurique), à plasma initial de conditions acides et oxydantes ;

2) un ciment brun-noir riche en oxydes de manganèse et en humates de fer dans les vides d'entassement entre les grains du squelette (enaulique) ou pénétrant les golfes de corrosion des grains et représentant une période d'engorgement postérieure à un épisode de dissolution.

La partie sommitale des grès microquartzitiques est formée d'une croûte ferrugineuse brun-noir microstratifiée. Les rares grains de squelette minéral sont composés de staurotides altérées et surtout de grains de pélites siliceuses des formations permienne. Le ciment ferrugineux présente un assemblage transminéral caractéristique.

- Le fonctionnement de cette poche d'altération démontre qu'il s'agit d'une évolution de type crypto-karstique des grès du Dévonien et non d'une ancienne "forêt de pierre" fossilisée, puis décapée. L'altération et l'arénisation des grès s'est effectuée sous la couverture partielle des marmo-calcaires siliceux du Permien. C'est un cas particulier d'une évolution d'un karst gréseux sous une couverture. Il est difficile de préciser dans cette évolution, la part de la grande discordance de 60 millions d'années qui dure tout le Carbonifère. Il est plus logique d'attribuer à cette phase d'altération un âge crétacé-éocène, dans la mesure où des éléments de la couverture permienne sont emballés dans les cuirasses. Le décapage de cette zone de brachyanticlinaux, bien visible dans la carte structurale schématique du comté de Sangzhi, a pu se produire durant la phase principale de surrection miocène.



Photo 62 : Altération du calcaire ordovicien par infiltration du fer et des complexes silicatés. Il se produit des néoformations de sidéro-cutanes et de beaux cristaux de sidérite (en sombre) contribuant à la dissociation des assemblages de calcite (en blanc). Ech. 16/A2, lum. pol. non analysée, obj. 10 x 3,2. échelle 1 cm = 131 μ m
Alteration of ordovician limestone and formation of siderite crystals (dark).



Photo 63 : Autre stade d'altération du calcaire marqué par une première génération de cutanes d'argiles fines (microsidérite), microlitées. Ech. 16/A3, lum. pol. non analysée, obj. 2,5 x 3,2. échelle 1 cm = 523 μ m
Other stage of limestone alteration characterized by a first generation of clay coating.



Photo 64 : Enregistrement des épisodes successifs de ciments ayant contribué à l'altération de la roche avec 1) bréchification et formation d'un ciment à sidérite + coiffes microstriées de sidérite (à droite), 2) argilisation et néoformation de fer sulfato-bactérien (au centre), 3) recristallisation de sparite (au centre), 4) néoformation de complexes argileux (à droite). Ech. 15/A1, lum. pol. non analysée, obj. 10 x 3,2. échelle 1 cm = 131 μ m
Successive stages of cements in the rock alteration. 1) breccia evolution, siderite. 2) clay formation. 3) sparite precipitation. 4) Argillous complex.

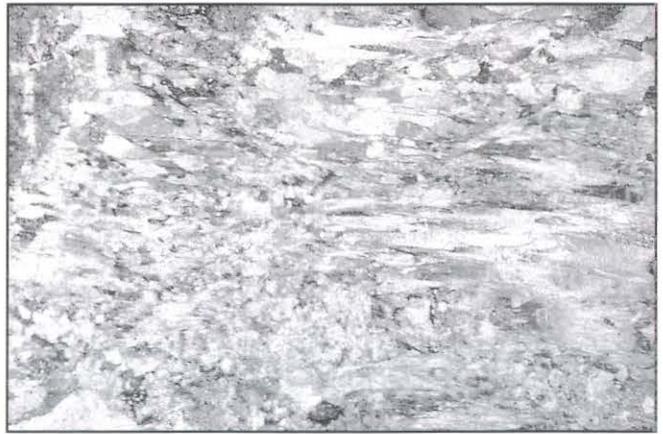


Photo 65 : Stade final de l'altération de la roche montrant une recristallisation totale en sparite (grands cristaux) avec flocons argileux de phyllites et néoformation d'opale (silice amorphe). Ech. 16/A3-b, lum. pol. analysée, obj. 2,5 x 3,2. échelle 1 cm = 523 μ m
Final stage of rock alteration showing a complete recrystallisation with sparite calcite and opal.

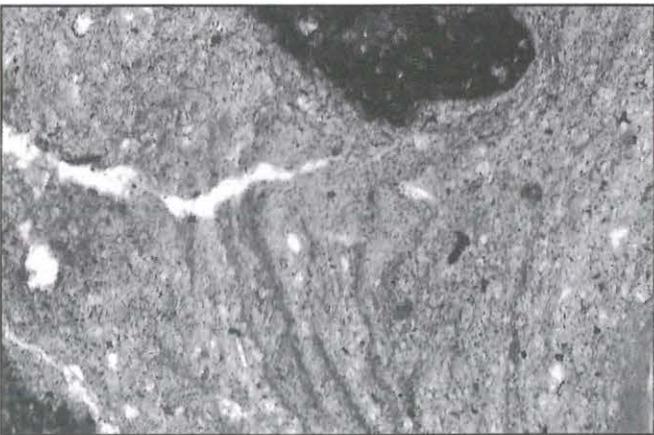


Photo 66 : Cutanes d'argiles ferrugineuses et limons microstriés vers - 320 cm dans l'horizon Bt argileux du profil. Les lits ferrugineux et manganésifères indiquent un hydriisme battant. On observe un élément argilisé de schiste (en haut), avec de nombreux grains de quartz fins éoliens (?). Ech. WU 490/f-n⁴, lum. pol. non analysée, obj. 10 x 3,2. échelle 1 cm = 131 μ m
Ferruginous clays and striated loams near - 320 cm in the Bt horizon (Dadong profile) indicating a fluctuation of the water level.

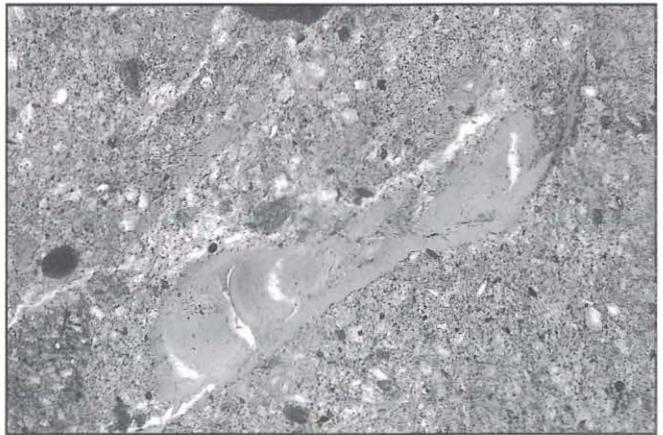


Photo 67 : Horizon A/B vers - 50 cm avec cutane de fer strié dans une masse de fond argileuse + tâches de schistes altérés. Les coiffes ferrugineuses microstriées (à goethite), encore jamais observées en micromorphologie, attesteraient l'alternance de conditions périglaciaires sévères et de saisons chaudes tropicales sous un climat plus contrasté qu'aujourd'hui et qui n'est plus fonctionnel en Chine centrale. Il s'agirait donc de paléosols quaternaires. Ech. 15/A1, lum. pol. non analysée, obj. 2,5 x 3,2. échelle 1 cm = 523 μ m
A/B horizon near - 50 cm with striated iron coating indicating a very contrasted climate (quaternary paleosols).

Le profil d'altération situé au-dessus de la grotte de Dadong permet d'étudier le fonctionnement de l'altération de l'hydrisme et son rôle dans la karstification. Il a enregistré les épisodes paléoclimatiques froids et chauds et le fonctionnement du karst profond caractérisé par l'alternance de soutirages et de colmatages. Ces sols et altérites fournissent ainsi les produits turbides qui vont sédimenter dans l'endokarst et donner les remplissages de cavités comme les dépôts de varves rouges et de varves marrons de Dadong. (clichés et analyses des lames minces S. Pomel).

2. Le rôle de la surrection néogène

D'après les arguments géomorphologiques, les karsts les plus évolués sont ceux du centre de l'anticlinorium de Changleping, au niveau du poljé du même nom. Ils sont antérieurs au Quaternaire et datent du Tertiaire. Ils sont liés au décapage de la couverture de flysch du Silurien, dont il reste encore d'abondants affleurements sur les bordures, érosion qui a été favorisée par la surrection du massif au cours du Tertiaire, surtout au Miocène.

L'évolution des dépressions et des poljés n'atteint jamais celle des karsts coniques et à pitons du Guizhou où la corrosion latérale est largement développée puisque les poljés sont à la hauteur du niveau de base régional. Dans le Guizhou, les karsts à cônes ont dû être initiés au Tertiaire inférieur, avec sans doute des décapages de couvertures plus anciens. Dans le Hubei, le soulèvement est plus important et les poljés montagnards sont perchés au-dessus du niveau de base des grandes vallées, d'où une absorption karstique généralisée et une corrosion latérale faible. Dans cette évolution qui a débuté au cours du Tertiaire, le climat était de type tropical et non subtropical, avec des contrastes saisonniers sans doute moins accusés qu'aujourd'hui. La couverture végétale et pédologique devait être continue ou presque. Le karst évoluait dans des conditions de biostasie, d'où une corrosion homogène sous le compresse acide des sols. Ces conditions pédoclimatiques favorables ont permis l'amenuisement des formes positives avec l'action latérale conjuguée de la nappe karstique affleurant en saison humide dans le fond des poljés.

Il est donc clair que l'évolution des karsts coniques n'est pas simple et qu'elle varie selon les lieux en fonction du stade d'évolution et des conditions pédoclimatiques. On constate dans tous les cas que la surrection tertiaire et quaternaire liée à l'orogénèse himalayenne conditionne l'enfoncement du relief et le creusement des réseaux karstiques en rapport avec la variation du niveau de base régional et général. En raison de la présence généralisée de terrains de type flysch dans les différentes colonnes sédimentaires étudiés, il est normal qu'à un stade de l'évolution ce ou ces décapages ont eu lieu. Ils peuvent donc avoir initié la formation du karst conique chinois.

Cependant ce modèle fluvio-karstique, où l'altération joue un rôle initial fondamental, n'est pas applicable à tous les karsts coniques et polygonaux. D'abord, dans les chaînes alpines des régions tempérées, ce type de karst conique est très peu développé ou alors il peut résulter d'héritages tertiaires (certaines régions de Slovénie, plateau des Coulmes en Vercors, Basse Provence, Crête) dont les formes sont plus ou moins émoussées. En plus, dans les karsts de Chine centrale (Sichuan), des karsts à cônes formés sur le flanc des grands anticlinaux sont manifestement des morphologies initiées à partir de formes en chevrons (en fonction de la pente) et non d'une couverture imperméable épaisse. Mais les plus beaux karsts coniques et polygonaux en cours de formation se développent dans les plates-formes carbonatées tertiaires récemment soulevées des arcs insulaires, en particulier aux Antilles, en Indonésie et en Nouvelle-Guinée. Dans ces cas, on n'observe actuellement aucune couverture étanche.

Cependant, il faut prendre en compte les importantes couvertures de cendres volcaniques acides, caractéristiques de ces domaines de genèse des arcs insulaires. Le modelé polygonal obtenu par coalescence de dolines, buttes et cônes, provient de la corrosion in situ

sous couvert végétal et pédologique continu dans des conditions pédoclimatiques de biostasie. Ce modèle d'évolution peut aboutir à un karst à pitons, mais les retombées volcaniques successives qui ont jalonné la genèse des arcs et la formation des caldées géantes ont pu accélérer la vitesse de karstification.

Conclusion

Altération, surrection, fluvio-karst et karst conique :

telle est en gros la chaîne évolutive que l'on peut imaginer pour plusieurs zones karstiques du Hubei depuis le début du Tertiaire, sachant que d'autres combinaisons sont possibles en fonction des conditions physiques locales. Mais dans tous les cas de figures, les facteurs pédoclimatiques et morphotectoniques (position des affleurements et soulèvement) commandent l'évolution karstique générale.

1) **Les karsts coniques du Hubei** se développent pour la plupart à partir du décapage de la couverture imperméable de flysch du Silurien comme nous avons pu le montrer sur l'anticlinorium de Changleping (comté de Wufeng). Un exemple identique est visible au sud de Hefeng. Ce modèle d'évolution a l'avantage d'être vérifiable sur le terrain en raison de la présence simultanée, à quelques km de distance, des différents stades d'évolution. Les types de modelés et les altérites représentent les marqueurs morphologiques et sédimentaires de cette évolution. Toutefois, il est remarquable de constater qu'il se forme aujourd'hui un karst conique en bordure du flysch par un processus d'érosion linéaire dominant, relayé ensuite par la dissolution des calcaires, sachant que les conditions actuelles (saisons très contrastées et rhexistase partielle) ne sont pas favorables à l'altération des flyschs. On observe donc une érosion linéaire et un soutirage des sédiments, mettant en valeur les reliefs, qui sont favorisés par la situation structurale et les conditions bioclimatiques.

2) **On peut remonter plus loin dans le temps**, par exemple lorsque le potentiel hydraulique était faible (zone peu soulevée) et le climat humide sans saisons contrastées (situation de biostasie). Ces conditions favorables à l'altération ont sans doute prévalu pendant des périodes longues du Secondaire et du Tertiaire. On peut donc imaginer que la crypto-karstification a certainement été préparée par une longue évolution altérante durant le Crétacé et l'Eocène, puis dans certains cas durant l'Oligo-Miocène. Les processus d'altération sous couverture silico-ferrugineuse, voire dans le cas particulier des grès silico-calcaire, peuvent donc représenter la cause initiale à la genèse du karst conique en Chine centrale (Hubei, Hunan) ou méridionale (Guizhou), avant le décapage des altérites.

Toutefois, il ne peut y avoir crypto-karstification que si la perméabilité de la couverture permet à l'eau d'atteindre le calcaire ; mais l'histoire géologique est suffisamment longue pour avoir permis, selon les lieux et selon l'époque, le développement de ce processus.

3) **Une crise tectonique** (surrection himalayenne) et climatique (refroidissement quaternaire) peut alors entraîner un nettoyage des altérites et le développement de l'érosion fluviale, puis fluvio-karstique. Ce type de conditions prévaut pour le karst de Wufeng. En tout cas, la combinaison entre l'érosion fluvio-karstique et la dissolution karstique constitue le système morphogénétique dominant dans l'évolution actuelle des karsts tropicaux et subtropicaux chinois en raison de la juxtaposition de zones imperméables et karstiques (amonts imperméables, rivières allochtones) et du régime pluviométrique très contrasté. Un essai de comparaison entre les différents types morphologiques des karsts tropicaux de Chine est esquissé dans le **chapitre 9**.

ÉVOLUTION MORPHOLOGIQUE DES KARSTS DU HUBEI

✓ Richard MAIRE, Simon POMEL et ZHANG Shouyue

RESUME : La genèse des karsts tropicaux chinois est complexe en raison de l'ancienneté de l'évolution et de la multiplicité des paramètres. Les karsts les plus évolutifs réunissent un fort potentiel hydraulique, un couvert végétal et pédologique continu (CO₂ biogénique et acides organiques) et de fortes précipitations. Ces conditions sont réalisées dans les montagnes équatoriales humides. Il ressort donc que les paramètres bioclimatiques et tectoniques sont fondamentaux et intimement liés. Les karsts de Chine centrale et méridionale appartiennent à d'anciennes plates-formes carbonatées du Primaire et du début du Secondaire (Trias) qui ont été émergées à la fin du Trias et au début du Jurassique. Elles ont subi depuis 200 millions d'années une évolution à l'air libre à la suite de plusieurs cycles orogéniques séparées par de longues périodes d'aplanissement chimique caractérisée par une altération cryptokarstique et karstique pouvant aboutir à l'arasement complet des reliefs (stade de pénéplaine karstique). Ces stades de pénéplaines ont dû se réaliser partiellement ou totalement au cours du Jurassique et du Crétacé entre les phases tectoniques de Yanshan I (Jurassique), II (Crétacé) et III (fin Crétacé-Eocène). Le cycle orogénique himalayen, commencé à l'Oligo-Miocène par une puissante épirogenèse, se poursuit encore de nos jours. Le rôle du fluvio-karst (avec surimposition à partir d'une couverture) et le passage du karst à cônes aux karsts à pitons et plaines de corrosion est analysé. Le façonnement d'un karst à cônes à partir de l'érosion d'une couverture de flysch du Silurien est vérifié à Wufeng. Le stade fluvio-karstique est très fréquent dans les karsts tropicaux de Chine et a été souligné par de nombreux auteurs. Ainsi, dans les karsts à pitons du Guizhou et du Guangxi (Guilin), il existe souvent une juxtaposition de bassins-versants semi-karstiques (voire imperméables) et de zones totalement karstiques, d'où la multiplication de grottes-tunnels provenant de la traversée souterraine des reliefs résiduels par des rivières de surface. Lorsque ce type de relief est initié, l'évolution postérieure dépend beaucoup du temps et de la compétition entre la surrection et le creusement des dépressions jusqu'au niveau de base. Lorsque les formes négatives atteignent le niveau de base régional, la corrosion latérale se développe, donnant des dépressions et des poljés à fond plat souvent ennoyés en saison des pluies. Cette corrosion latérale contribue à transformer les cônes en pitons et en tours, avec une évolution par écroulement à partir de la décompression des parois. Les karsts de montagne de Chine centrale montrent donc un type d'évolution moins avancé que les karsts à tours du Guangxi. Cela tient en grande partie à la surrection importante et au plissement des séries sédimentaires depuis le milieu du Tertiaire. Mais avec le temps, on pourrait aboutir au même type de relief.

Mots-clés : karst tropical, géomorphologie, niveau de base, altération, tectonique, fluvio-karst, crypto-karst, calcaire, flysch, Chine centrale, Guizhou, Guangxi..

ABSTRACT: MORPHOGENESIS OF CENTRAL CHINA KARST. The genesis of the Chinese tropical karsts is complex because it was very long and linked to many parameters. The most developed karsts combine a strong hydraulic potential, a vegetal and pedologic cover (biogenic CO₂ and organic acids) and high rainfalls. These conditions occur in the equatorial humid mountains. The bio-climatic and tectonic parameters are thus very important and influence simultaneously the karst genesis.

The karsts in Central and South China belong to ancient carbonate platforms (Palaeozoic and Trias) who emerged from the sea during the end of Trias. So, they evolved in continental conditions during 200 millions of years, with orogenesis stages separated by long erosion periods after which the reliefs were sometimes completely eroded (karstic peneplain). These peneplain stages occurred partially or totally during Jurassic and Cretaceous, between the tectonic stages Yanshan I (Jurassic), Yanshan 2 (Cretaceous) and Yanshan 3 (Eocenus). The Himalayan orogenesis began during Oligo-Miocene, with a strong epirogenesis and is still continuing.

In this paper, we discuss about the fluvio-karst and the evolution from cone karst to tower karst with corrosion plains. The shaping of a cone karst by erosion of a flysch cover is proved in Wufeng county. Fluvio-karst is very frequent in the South China's tropical karsts and has been quoted by many authors. So, in the tower karsts of the Guizhou and Guangxi Province, you can see semi-karstic basins (largely impervious) bordering completely karstic areas. That explains the great number of tunnel caves, through which residual hills are crossed by surface rivers. During the genesis of such a relief, there is a competition between uplift and erosion down to the base level. When the negative forms reach the regional base level, lateral corrosion occurs, giving depressions and poljes with a flat bottom drowned during the rainy season. This lateral evolution transforms cones into towers. Gravity is a major factor, leading to the collapse of the cone walls. The Central China's karsts are less developed than the Guangxi tower karsts. This is linked with the quick uplift and folding since Middle Cenozoic. After a long quiet period, the evolution should give the same tower landscape.

Key-words: tropical karst, geomorphology, pedology, tectonics, fluvio-karst.

ZUSAMMENFASSUNG: Die Genese des chinesischen Tropenkarstes ist wegen ihrer Entwicklungsreife und Parametervielfalt komplex. Die weit entwickelten Karste weisen ein starkes hydraulisches Potential, eine durchgehende Vegetations-, eine biogenen, organosäure Bodenbedeckung und üppige Niederschläge auf. Die bioklimatischen als auch tektonischen Voraussetzungen sind wesentlich und wirken gemeinsam. Die zentral- und

südchinesischen Karste gehören zu karbonatischen Plattformen, die zwischen Primär und Anfang Sekundär (Trias) entstanden, und zwischen Obertrias und Unterjura landfest wurden. Im Folgenden entwickelten sich die Karste in einem Zeitraum von 200 Millionen Jahren, in denen mehrere orogenetische Schübe häufig lang andauernde Abtragungsperioden unterbrachen, während deren Verlauf Landschaftsoberflächen gelegentlich ganz verebnet wurden. Die Verebnungsstadien fanden zwischen den tektonischen Phasen Yanshan I (Jura), Yanshan II (Kreide) und Yanshan III (Eozän) teilweise oder gänzlich im Verlauf des Jura und der Kreide statt. Mit einer starken, bis heute andauernden Epirogenese begann die Hebung des Himalaya im Oligo-Miozän.

Die Rolle des Fluviokarstes im Zusammenhang mit einer teilweisen Bedeckung wird erörtert, sowie die Entwicklung eines Kegelkarstes zu einem Turmkarst mit Verebnungsflächen. Gezeigt wird die Ausformung eines Kegelkarstes in Wufeng infolge der Abtragung einer Bedeckung aus silurischen FLYSCH. So kommt in den südchinesischen Karsten, wie von zahlreichen Autoren belegt worden ist, Fluviokarst häufig vor. In den Kegelkarsten von Guizhou und Guangxi (Guilin) stehen teilverkarstete und häufig undurchlässige Randbecken völlig verkarsteten Zonen mit zahlreichen Tunnelhöhlen gegenüber, welche Oberflächenflüsse aus Ablagerungsgebieten unterirdisch ableiten. Das Entstehen eines solchen Reliefs hängt stark vom Zusammenspiel zwischen Landschaftshebung, Vorflutereintiefung und dessen Andauer ab. Wenn die Tieferlegung der Hohlformen das Vofluterniveau erreicht hat, beginnt Lateralerosion und die Ausbildung von flachbödigen Poljen, in denen sich während der Regenzeit Niederschläge aufstauen. Diese Lateralerosion trägt zur Überformung der Kegelkarste zu Turmkarsten bei, wobei gravitativer Verfall zur Hangversteilung beiträgt.

Weil Hebung und Faltung seit dem Mittelkänozoikum heftig war, sind die Karste von Zentralchina weniger entwickelt als die Turmkarste von Guangxi. Nach einer geraumen Ruhezeit wird sich auch hier ein Turmkarst entwickeln haben.

Stichworte: Tropenkarst, Geomorphologie, Bodenkunde, Tektonik, Fluviokarst.

第九章 地貌研究 (热带喀斯特演化对比及差异)

中国热带喀斯特的成因复杂, 乃因其经历过很长的时期及与许多因素有关。最发育的喀斯特与强大的水能、土壤与植被 (生物成因 CO₂ 及有机酸) 及高降水量有关。上述条件发生在赤道潮湿的山区。因而生物-气候及构造因素十分重要并同时影响喀斯特成因。

华中及华南喀斯特区属古老碳酸盐岩地台 (古生代及三叠纪), 三叠纪末成为陆地。他们在二亿年的时间里为漫长侵蚀期所划分造山幕的大陆环境下演化。各侵蚀期之后, 地形有时完全被侵蚀 (喀斯特准平原)。这些夷平时期局部或全部地发生于介于燕山早期 (侏罗纪)、中期 (白垩纪) 及晚期 (始新世) 构造幕之间的侏罗、白垩纪时期。喜马拉雅造山运动始于中新世到渐新世, 具强烈的造山后期活动并仍在继续。

本文讨论河成喀斯特及从锥状喀斯特向具溶蚀平原的塔状喀斯特演化。具复理石覆盖的侵蚀作用下锥状喀斯特的塑造在五峰被证实。华南热带喀斯特区河成喀斯特极为常见。贵州和广西的塔状喀斯特区可见半喀斯特盆地 (大部分不透水的) 与喀斯特地区相邻。这可解释许多隧道状洞穴, 在那里地表河穿过残山。在这种地形形成时, 地壳隆升与向排泄基准面的侵蚀作用间的竞争。当负地形接近于区域基准面时, 侧向溶蚀作用产生, 形成雨季泛滥的、平底的洼地及溶盆。侧向侵蚀使锥状向塔状喀斯特演化。重力作用是导致锥状喀斯特山坡崩塌的重要因素。

华中喀斯特作用与广西塔状喀斯特相比, 发育要弱, 这与新生代中期以来的迅速抬升与褶皱有关。在较长的宁静时期以后, 其演化应是形成同样的塔状喀斯特景观。

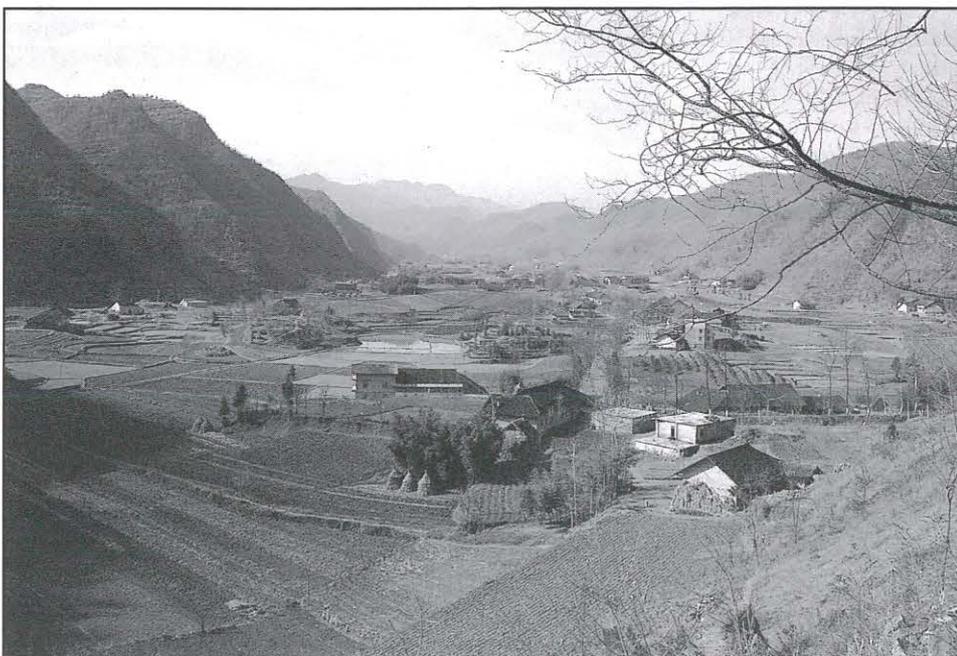


Photo 68 : Le poljé de Changleping (Wufeng, Hubei) correspond à un ancien tronçon de vallée tertiaire qui a évolué en bassin fermé au cours de la surrection himalayenne. Cliché R.M.
The Changleping polje is a part of an old valley from Tertiary

INTRODUCTION

La genèse des karsts tropicaux de Chine du Sud et de Chine centrale est d'une grande complexité en raison de la multiplicité des exemples d'évolution. Dans ce chapitre, nous envisagerons surtout l'évolution des karsts montagnards de Chine centrale à partir des exemples du Hubei occidental (comtés de Wufeng et de Hefeng).

I. La problématique de la géomorphologie

En raison de la complexité de la genèse des karsts tropicaux, il est nécessaire de faire quelques rappels et une mise en point rapide sur la problématique de la géomorphologie. Cette dernière est une science complexe car elle se situe au carrefour de nombreuses disciplines puisqu'elle a pour but de retracer l'histoire des reliefs : but ambitieux conduisant à un voyage dans le temps. Les recherches en géomorphologie ont beaucoup évolué depuis 1960. Aujourd'hui, la tendance est de ne pas chercher à privilégier un seul facteur au dépens des autres pour expliquer la morphogenèse, mais au contraire à tenter de comprendre la part réelle des uns et des autres (SALOMON et MAIRE éd., 1992).

- **Le concept climatique** développé largement dans les années 50 et 60 a été critiqué à juste raison à condition de ne pas le remplacer aujourd'hui par un autre qui rejeterait les autres facteurs. Rappelons que les guerres d'écoles sont bien connues dans l'histoire des sciences ; en gros, certains scientifiques cherchent à se faire un nom en détruisant ce qu'on écrit leurs prédécesseurs ; il s'agit d'une attitude contestable, mais qui peut avoir le mérite de faire avancer le débat. La géomorphologie karstique et la karstologie, qui prennent en compte les recherches spéléologiques, semblent sorties de cette ornière en intégrant aujourd'hui, dans la mesure du possible, l'ensemble des paramètres : tectonique, volcanisme, litho-stratigraphie, climat, sols, végétation... La variation d'un ou plusieurs paramètres peut conduire à des morphogenèses différentes. Aussi les combinaisons sont-elles très variées, d'où la complexité des études géomorphologiques. A cela s'ajoute une composante fondamentale : le temps ! Voilà pourquoi, notamment dans l'étude des karsts, il est difficile et périlleux de généraliser à partir d'un ou deux exemples tant les cas de figures sont nombreux dans la nature.

L'une des solutions qui permettent de prendre en compte à la fois les données spatio-temporelles et la quantification des paramètres de l'évolution est d'utiliser des indicateurs fiables. De nouvelles directions sont prises actuellement dans l'étude des indicateurs et des enregistreurs de l'évolution de l'environnement, par exemple en domaine tropical (MAIRE, POMEL et SALOMON, éd., 1994). Dans cette étude, la part prise par les dépôts corrélatifs, en particulier les altérations, les spéléothèmes et les remplissages, correspond à des concepts anciens (ex : indicateur, enregistreur, piège), mais à une démarche nouvelle de la discipline. Cette prise de conscience oblige à confronter sans cesse les différentes recherches et à ne pas se limiter à des terrains trop restreints, l'idéal étant bien-sûr des études détaillées et globales sur un maximum de régions.

Prenons un exemple : le modèle du karst conique formé à partir du décapage d'une couverture imperméable est vérifié sur le terrain près de Wufeng. Certes, cela est remarquable, mais il ne faut pas forcément le généraliser a priori à tous les karsts coniques et à pitons de Chine. Il faut étudier à chaque fois les conditions locales, les héritages et les facteurs qui ont pu intervenir, d'une manière plus ou moins intense ou faible, à une période donnée. En l'état actuel des recherches, le modèle fonctionnel à partir du décapage d'une couverture peut aboutir à des modèles mixtes ou plus complexes dans la mesure où d'autres facteurs ont joué autrement et dans un laps de temps différent.

- **Les grandes lois de la morphogenèse** sont contrôlées par un des deux grands principes de la thermodynamique, à savoir la dissipation de l'énergie. Dans le karst, la gravité joue un rôle essentiel et les vecteurs de l'érosion sont essentiellement l'eau et les transits directs de matériaux par gravité pure (écroulement, chutes de pierres) ou assistée (glissement, solifluxion). Les facteurs endogènes brutaux comme le volcanisme et les séismes sont des cas à part qui peuvent jouer un rôle considérable à un moment donné.

En karstologie, il faut retenir l'énergie chimique (dissolution de la roche), l'énergie cinétique (vitesse) et l'énergie mécanique des eaux (QUINIF, 1993). L'énergie cinétique et mécanique est contrôlée par la tectonique (la surrection) qui crée un relief, donc un potentiel hydraulique. L'énergie chimique est contrôlée qualitativement par la présence de gaz carbonique dissous dans l'eau et quantitativement par la masse d'eau, l'un pouvant compenser l'autre. Par exemple, les karsts les plus évolutifs réunissent un fort potentiel hydraulique, un couvert végétal et pédologique continu (qui donne un supplément de gaz carbonique) et de fortes précipitations. Ces conditions sont réalisées dans les montagnes équatoriales humides. Il ressort donc que les paramètres bio-climatiques et tectoniques sont intimement liés. Par conséquent, vouloir rejeter les facteurs bio-climatiques et pédologiques ex-abrupto, parce qu'ils ont été trop privilégiés ou mal compris il y a plusieurs décennies, n'est pas un argument scientifique. L'explication catégorielle est plutôt l'expression d'une étude

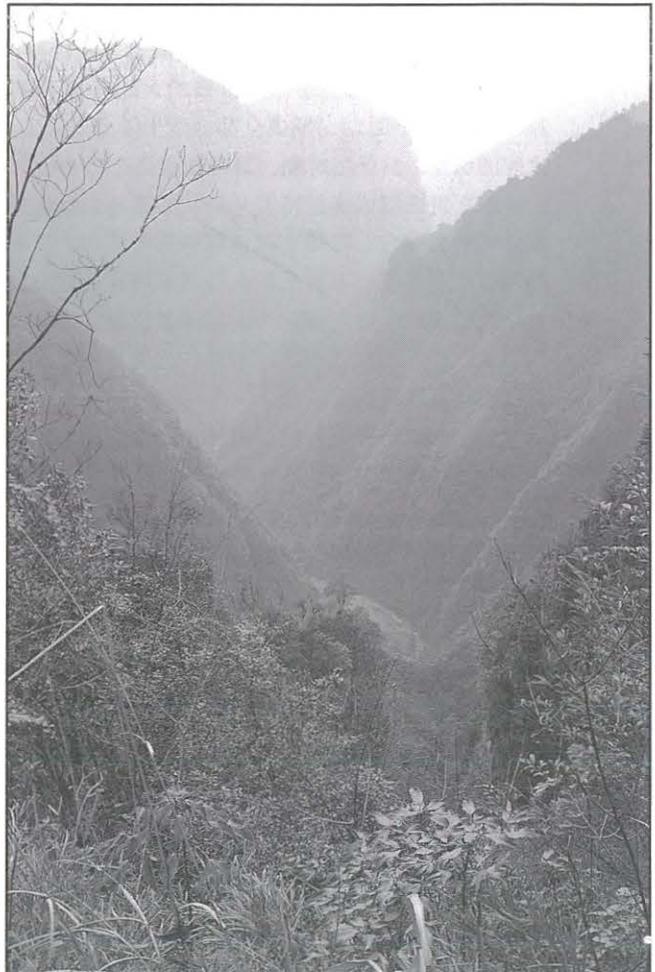


Photo 69 : Partie amont du canyon de Chaibuxi au nord de l'anticlinal de Changleping (Wufeng, Hubei). Le creusement est en relation directe avec la surrection himalayenne depuis le milieu du Tertiaire. (cliché R.M.)
The upstream part of the Chaibuxi canyon (Wufeng, Hubei), north of Changleping anticline.

monodisciplinaire alors qu'il est nécessaire, au contraire, de développer les études interdisciplinaires qui prennent en compte le maximum de paramètres et de résultats. Dans la réalité, la procédure n'est pas simple et tout scientifique est amené à privilégier tel ou tel facteur du seul fait de son expérience personnelle et de sa formation. D'où la nécessité de travailler à plusieurs, avec des expériences différentes et complémentaires.

II. Le rôle de la tectonique, du décapage des couvertures et des conditions édaphiques

A. RÔLE DES PHASES TECTONIQUES ET DES APLANISSEMENTS KARSTIQUES

Parmi les facteurs tectoniques, la surrection joue un rôle de premier plan dans la morphogénèse, qu'elle soit karstique ou non karstique. Toute la géomorphologie est fondée sur la compétition entre le soulèvement et l'érosion des reliefs. Pour qu'il y ait création de reliefs et de montagnes, il faut que la surrection et le plissement soient plus rapide que l'érosion globale. Or, on sait que les phases tectoniques ne sont pas régulières et qu'elles sont séparées par des phases de quiescence parfois suffisamment longues pour que le relief soit complètement arasé par l'érosion et l'altération. Ces longues phases aboutissent à des surfaces d'aplanissement, dites aussi surfaces d'érosion. En terrain carbonaté, on peut parler de surface d'aplanissement karstique. L'élaboration d'une surface d'aplanissement par altération chimique nécessite une longue évolution et la proximité d'un niveau de base. Or en zone tropicale, du fait d'une prépondérance de l'érosion chimique auréolaire (altération en auréoles) sur l'érosion linéaire (érosion fluviale), il n'existe pas de niveau de base unique. C'est dire la difficulté des reconstructions basées sur les simples niveaux.

La surrection peut se manifester de deux façons : soit par un plissement des terrains qui s'accompagne d'un soulèvement (phénomène de compression), soit d'une épigénèse, c'est-à-dire d'une surrection d'ensemble des reliefs qui peuvent être préalablement plissés. Les karsts de Chine centrale et du Sud appartiennent à d'anciennes plates-formes carbonatées du Primaire et du début du Secondaire (Trias) qui ont été émergées à la fin du Trias et au début du Jurassique. Elles ont subi depuis 200 millions d'années une évolution à l'air libre à la suite de plusieurs phases tectoniques au Jurassique, au Crétacé, au Tertiaire et au Quaternaire, séparées par de longues périodes d'érosion, d'altération et de karstification pouvant aboutir à l'arasement complet des reliefs (stade de pénéplaine karstique). Ces stades de pénéplaines ont dû se réaliser partiellement ou totalement au cours du Jurassique et du Crétacé entre les phases tectoniques dites de Yanshan I (Jurassique), II (Crétacé) et III (Eocène). La dernière phase est en cours, suite au plissement de Yanshan III et à la surrection himalayenne qui se poursuit encore de nos jours.

B. LE RÔLE DU FLUVIO-KARST

Dans le **chapitre 8**, nous avons étudié le modèle de formation du karst conique à partir de l'érosion d'une couverture de flysch imperméable du Silurien. Cette explication n'est pas qu'une simple hypothèse, puisque les différents stades d'évolution sont présents sur le terrain à quelques kilomètres les uns des autres. Il semble que ce modèle puisse être appliqué à plusieurs karsts coniques de Chine centrale. Pour les karsts coniques associant des cônes-pitons et des poljés évolués, le stade d'évolution est nettement plus avancé. La présence éventuelle d'une ancienne couverture, qui aurait initié le fluvio-karst, doit être recherchée dans les altérites des dépressions, les profils et dans les remplissages souterrains.

Le stade fluvio-karstique est très fréquent dans les karsts typiques de Chine et il a été souligné par de nombreux auteurs. Ainsi,

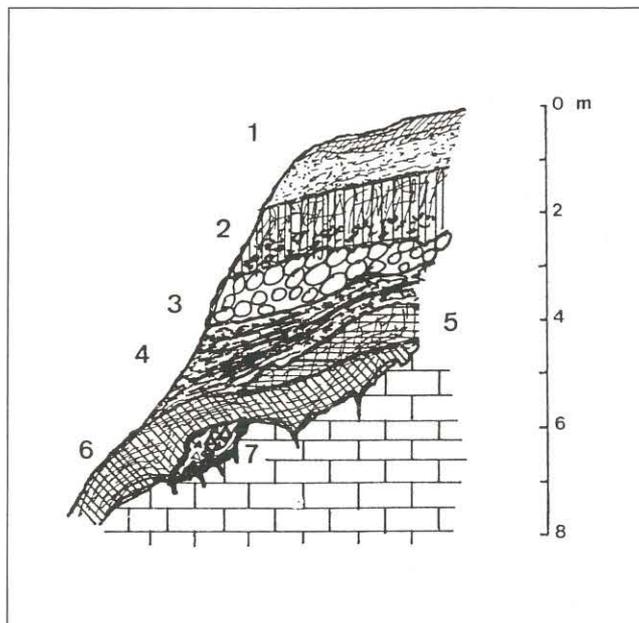


Figure 87 : Stratigraphie du système fluvio-karstique infra-miocène supérieur, replat intercône vers 1240 m, zone de Zisuling (amont de la cavité de Tiankengcao, Wufeng).

- 1 : sol actuel sur limons ; 2 : paléosol brun-rouge sur matériaux fluviaux ; 3 : terrasses du Miocène moyen ;
- 4 : altérites avec silicifications (Oligo-Miocène ?) ;
- 5 : paléosol ; 6 : altérites (Crétacé ou Eocène ?) ;
- 7 : cavité recoupée avec brèches (Ech. 24).

dans les karsts à pitons du Guizhou et du Guangxi (Guilin) (**photo 71**), le rôle des rivières de surface est important. Il existe souvent une juxtaposition de bassins-versants semi-karstiques (voire imperméables) et de zones totalement karstiques, d'où la multiplication de grottes-tunnels provenant de la traversée souterraine des reliefs résiduels par des rivières de surface.

Lorsque ce type relief est initié, l'évolution postérieure dépend beaucoup du temps et de la compétition entre la surrection et le creusement des dépressions jusqu'au niveau de base. Lorsque les formes négatives atteignent le niveau de base régional, la corrosion latérale se développe, donnant des dépressions et des poljés à fond plat, souvent ennoyés en saison des pluies. Cette corrosion latérale contribue à transformer les cônes en pitons et en tours, avec une évolution par écroulement à partir de la décompression des parois.

C. LA GENÈSE DES BASSINS ROUGES

(cf. Gebihe 89, p. 170-174)

D. LE RÔLE DES CONDITIONS ÉDAPHIQUES ET DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES

(cf. chap. 10)

- **Les profils d'altération et le crypto-karst (fig. 87)** : Sur le karst de Changleping, au niveau d'un replat inter-cône (alt. 1 250 m) situé entre le Puits E / Puits W et le canyon de Chaibuxi (Zisuling), une poche de 4 à 5 m permet d'établir les principaux jalons de la stratigraphie du système fluvio-karstique régional et du développement de la pédogenèse sur le long terme. A la base, on distingue une cavité recoupée avec des brèches, puis des altérites rutilantes sont coiffées par un premier paléosol de type ferrallitique et par des grès

silicifiés. Une terrasse fluviale fossilise les altérites de base. Elle est perchée de plus de 250 m au-dessus du canyon et comme elle recoupe des cavités antérieures au soulèvement régional majeur, il est probable qu'elle est au moins miocène. Dans ce cas, les altérites seraient peut-être éocènes et les silicifications oligocènes. Un deuxième paléosol brun-rouge, développé sur la terrasse, est fossilisé par 1,50 m à 2 m de limons jaunes à ocre et par le sol actuel. Comme on le verra dans le **chapitre 10**, ce type de profil d'altération suggère une longue phase d'altération et d'évolution crypto-karstique, sous couverture d'altérites au cours du Tertiaire, avant que la surrection néogène produise l'érosion des grands profils.

- **Au Tertiaire et au Quaternaire**, les conditions édaphiques (sols et végétations) ont évolué en fonction des changements climatiques. Cependant, les données paléoclimatiques sur la Chine centrale au Tertiaire sont fragmentaires.

1) Au Tertiaire inférieur, le climat était tropical humide dans le sud de la Chine centrale et dans l'ensemble de la Chine du Sud-Ouest, avec une forêt ombrophile (situation de biostasie, altération forte), et la saison d'hiver n'existait pas réellement. Il faut rappeler que la zone de l'Himalaya et du Tibet était alors à basse altitude et l'air chaud et humide circulait facilement. Les conditions édaphiques étaient donc favorables à la genèse des sols ferrallitiques et ferrugineux : ces conditions ont prévalu largement à l'Eocène avec les dépôts rouges classiques.

2) A partir de l'Oligocène et surtout au Tertiaire supérieur (Néogène), l'orogénèse himalayenne a bouleversé le régime de circulation des masses d'air en Asie du Sud-Est en raison de la formation de la barrière montagneuse himalayenne. La mousson humide d'été a toujours influencé largement les domaines karstiques du sud et du centre, mais des ceintures végétales plus marquées ont accompagné l'élévation générale du relief. En gros, le régime climatique était celui d'aujourd'hui, mais en plus chaud.

3) Au début du Quaternaire, le refroidissement général du climat est bien enregistré dans les dépôts souterrains, à l'image de la grande coupe des Varves Rouges de Dadong qui montre, comme on l'a vu dans le **chapitre 6**, une importante phase de déstabilisation de la couverture végétale et pédologique. Les sols rouges tertiaires, formés en conditions plus chaudes et plus humides, sont érodés et soutirés dans le karst souterrain. Le gel et la neige apparaissent sur les montagnes du Hubei et du Hunan vers 29° de latitude nord. Des carbonates cryogéniques typiques sont sédimentés dans les varves de Dadong. Depuis ce premier grand refroidissement, les cycles climatiques pléistocènes se sont succédés jusqu'à aujourd'hui. Notons que

les secteurs étudiés du Hubei et du Hunan se situent dans la limite sud des dépôts de loess quaternaire.

4) Le problème des traces de glaciations quaternaires en Chine centrale et orientale au sud du Yangtse n'est toujours pas résolu. Les indices décrits par LEE (1934) dans les montagnes de Lushan ne sont pas vérifiés ailleurs. Toutefois, signalons que les montagnes du Hubei occidental, à l'ouest de Wufeng, présentent des phénomènes périglaciaires accentués comme ces moraines de névé (imitant un glacier rocheux par ses arcs successifs) situés au pied du massif synclinal de Baiyiping vers 1 500 m à la latitude 30°N (cf. **Gebihe 89, p. 183**). Ces moraines de névé, dont le front le plus en aval mesure plus de 50 m de haut, semblent avoir fonctionné avec un noyau de glace et il pourrait s'agir d'un réel petit glacier rocheux hérité de la dernière période froide. Aujourd'hui, pendant l'hiver, les températures négatives sont fréquentes (formation de "pipkrakes" dans les sols) et la neige tombe. Avec le refroidissement du dernier glaciaire (stade isotopique 2), il est donc probable que ces montagnes aient été occupées par des névés permanents et que le gel ait joué un rôle important à toute altitude pendant la saison froide. Les remplissages de poljés montrent d'ailleurs des fentes de gel fossilisés dans les limons marrons vers 1 200 m (ex : poljé de Datangmi, Hefeng, cf. **chap. 10**).

III. Évolution des karsts subtropicaux montagnards du Hubei

Il existe une grande variété de paysages karstiques dans le domaine tropical et subtropical de Chine, au sud du fleuve Yangtse. Bien sûr on est surtout frappé par les paysages du Guangxi avec ses reliefs résiduels en pitons et ses rizières, mais il y a aussi toute la panoplie des karsts de moyenne montagne du Guizhou, du Hubei et du Hunan dans lesquels les morphologies, souvent coniques, sont largement dépendantes de la structure plissée et du soulèvement. Enfin, il y a les karsts de haute montagne, au-dessus de 2 000 - 2 500 m, surtout situés au Sichuan (Daban Shan, 3 053 m), mais aussi au Yunnan au contact des reliefs himalayens (karsts vers 4 000 m et plus dans la zone des trois rivières).

Ces paysages variés s'expliquent par une variation géographique de l'intensité des différents paramètres : surrection, climat, végétation, sols, altération, couvertures imperméables, longueur de l'évolution, etc. Une fois encore, on observe l'immense complexité des interactions entre les phénomènes naturels. Des paysages et des

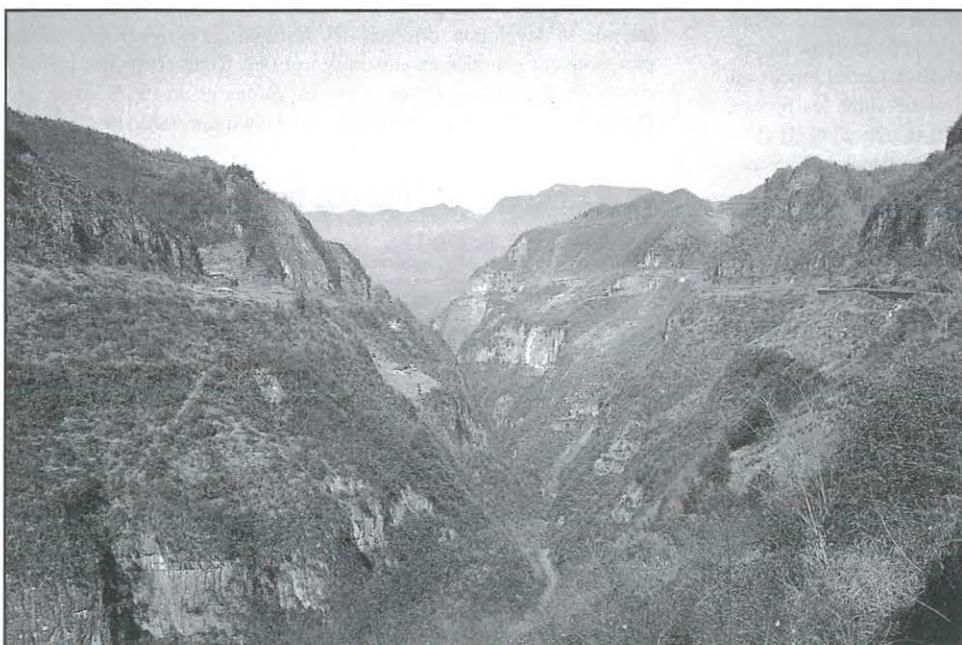
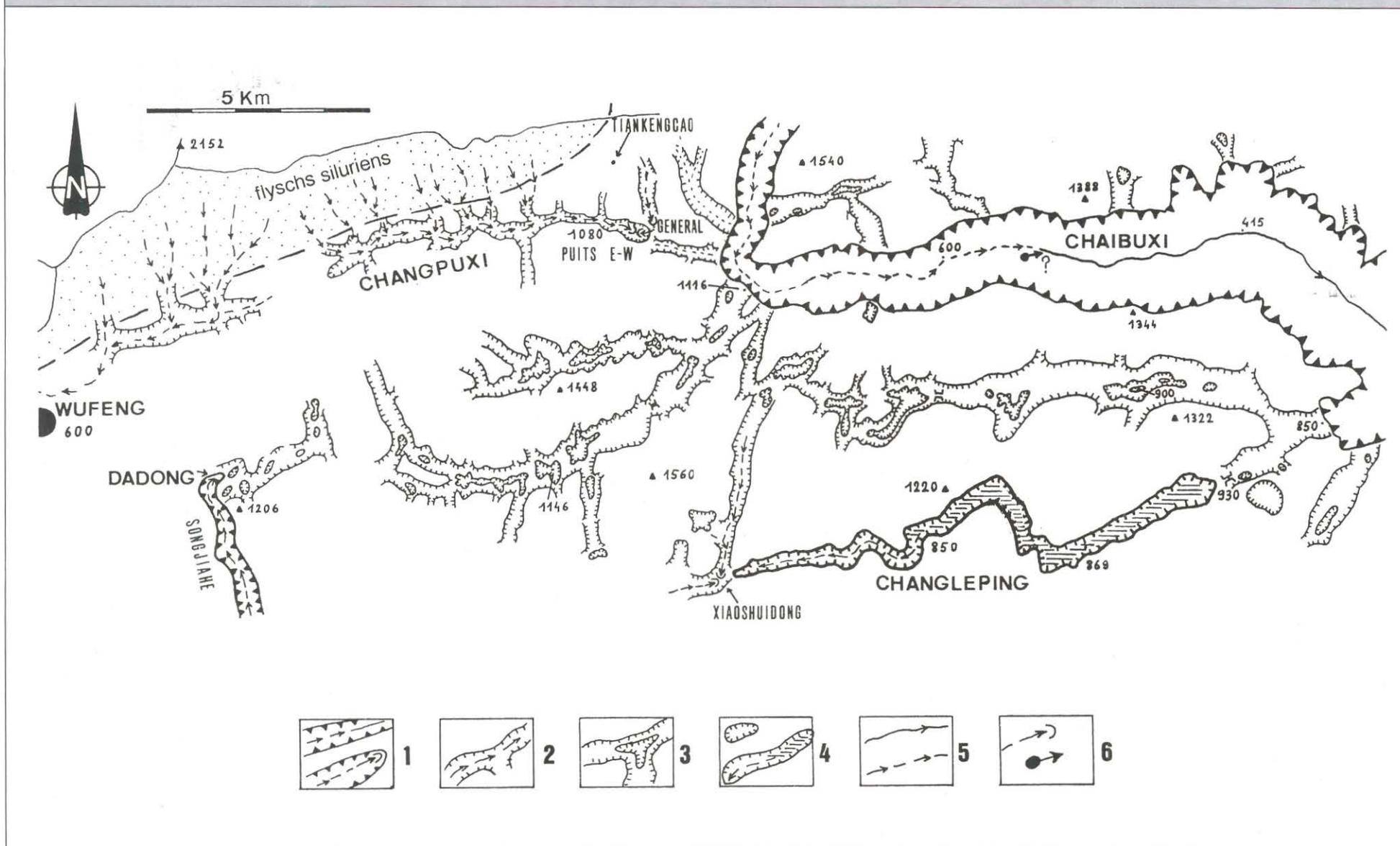


Photo 70 : Le canyon aveugle de la Songjiahe, profond de 300 m, se termine sur la perte temporaire géante de Dadong. Les divers niveaux de grottes observés sur ses flancs correspondent aux stades de creusement et donc de surrection de la zone anticlinale de Changleping.

The Songjiahe blind canyon ends on the giant Dadong porch ; it presents different cave levels in relationship with himalayan uplift.

Figure 88 : Carte géomorphologique simplifiée de la zone anticlinale de Changleping (Wufeng, Hubei) et mise en évidence du système de vallées sèches et semi-actives perchées au-dessus des grands canyons (Chaibuxi, Songjiahe). 1 : canyon (en haut), canyon aveugle (en bas). 2 : vallée semi-active perchée (ex : vallée de Changpuxi). 3 : vallée sèche perchée avec chapelets de dépressions. 4 : ouvala (en haut), poljé (en bas). 5 : écoulement pérenne (en haut), temporaire (en bas). 6 : perte temporaire (en haut), émergence (en bas).

Simplified geomorphological map of Changleping karst (Wufeng, Hubei). 1 : canyon (above), blind canyon (down). 2 : semi-active valley (ex : Changpuxi). 3 : dry valley with depressions. 4 : ouvala, polje. 5 : permanent river (above); temporary river (down). 6 : temporary ponor (above), spring (down).



cavités peuvent se ressembler, certes, mais tous sont différents. C'est ce qui fait le caractère passionnant des études géomorphologiques et de l'exploration spéléologique.

Deux zones du Hubei occidental méritent d'être étudiées : la zone anticlinale de Changleping (Wufeng) et la zone de Yanziping (Hefeng).

A. LA ZONE ANTICLINALE DE CHANGLEPING (WUFENG)

- **Interprétation cartographique :** Une carte géomorphologique détaillée a été établie à partir du fond topographique au 1/50 000 et à partir des observations de terrain. Elle représente toute la moitié nord de la zone anticlinale de Changleping et intègre, d'ouest en est : Wufeng, le canyon aveugle de Dadong, le secteur du Puits E / puits W, le poljé de Changleping et le grand canyon de Chaibuxi. L'interprétation synthétique a permis d'établir une carte plus simple (fig. 88) qui met en évidence, et de façon remarquable, un système de paléodrainage recoupé par des canyons récents. Or cet ancien système, de type fluvio-karstique, ne se remarque pas de façon globale quand on parcourt le terrain à pied. Comme il se doit en géomorphologie, il est indispensable de considérer les reliefs à différentes échelles, du microscope à la photographie aérienne et à l'image satellitaire en passant par le terrain. Il est également réconfortant de montrer une fois de plus l'intérêt primordial de la cartographie, l'outil le plus classique en géographie, et toujours l'un des plus performants dans le domaine de l'évaluation et du fonctionnement.

Compte tenu de l'érosion progressive de la couverture des flyschs siluriens vers le nord et vers le sud (axe anticlinal E-W) (chap. 8), on observe une gradation dans les types de formes fluvio-karstiques et karstiques en partant du nord (contact avec les flyschs) pour aller au centre de l'anticlinal (poljé de Changleping). On distingue ainsi :

1) un système de vallons en V dans les flyschs siluriens entre 1 100-1 200 m et 1 800 m ;

2) la vallée aveugle à écoulement temporaire de Changpuxi, orientée E-W au contact des flyschs, qui se termine en cul de sac par la double perte du Puits E / Puits W vers 1 080 m ;

3) un système central d'anciennes vallées sèches complètement désorganisées par des chapelets de larges et profondes dépressions (dolines, ouvalas) vers 1 000 - 1 100 m ;

4) enfin, le remarquable poljé de vallée de Changleping long de plus de 12 km dont le fond se situe vers 860 m.

Cette morphologie est recoupée ou encadrée au SW par le canyon aveugle de la Songjiahe qui se termine sur la perte temporaire géante de Dadong, et au N et à l'E par le grand canyon de Chaibuxi (photos 69 et 70).

- **Estimation du soulèvement himalayen :** L'interprétation générale de cette morphologie a déjà été abordée dans le chapitre 8 où l'on a montré la formation d'un karst conique à partir du décapage de la couverture de flyschs. Le fluvio-karst fossile situé au centre de l'anticlinal, avec le poljé de vallée de Changleping et le système de vallées défoncées par des dépressions, résulte directement du soulèvement himalayen, du moins la dernière grande phase remontant au Tertiaire supérieur (probablement au Miocène supérieur). Cette surrection est remarquablement illustrée par ces vallées sèches qui débouchent au sommet du canyon de Chaibuxi, soit 300 à 500 m au-dessus du fond de la vallée.

On peut estimer la valeur du soulèvement de la montagne à partir de cette différence d'altitude à condition d'intégrer l'abaissement des seuils de vallée par la karstification depuis plusieurs millions d'années. Il suffit de prendre l'exemple de la paléo-vallée de Changleping, aujourd'hui transformée en poljé, dont le fond est vers 850 m et le seuil aval au niveau du col vers 930 m. Comme le fond du canyon de Chaibuxi se situe à 300 m, on peut estimer la surrection minimum à $S = 930 \text{ m} - 300 \text{ m} = 630 \text{ m}$. Il s'agit d'une valeur minimum

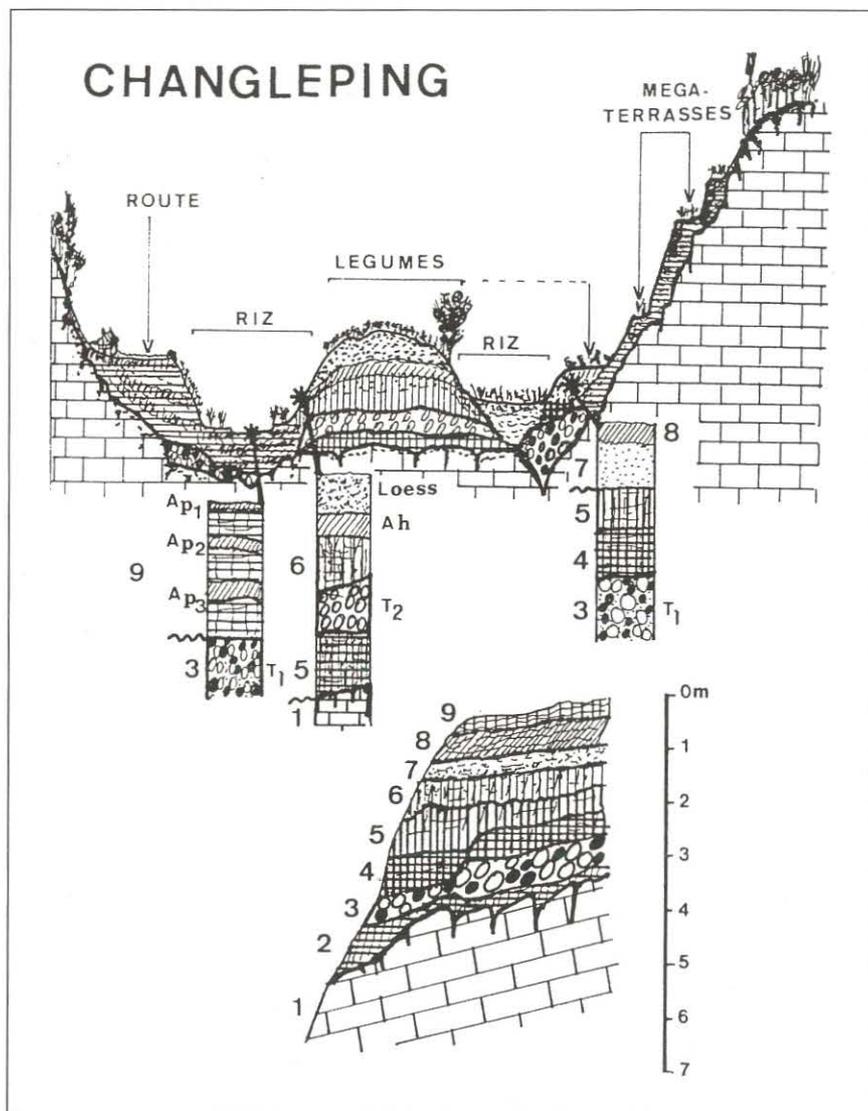


Figure 89 : Coupe des sols dans les terrasses de la partie occidentale du poljé de Changleping (Wufeng) vers 905-910 m.

- 1 : calcaire cambrien (Ech. 30) ;
 - 2 : racine de paléosol ferrallitique ;
 - 3 : terrasse fluviale ancienne (Ech. 29) ;
 - 4 : horizon à plinthite ;
 - 5 : horizon Bt argileux rouge ;
 - 6 : horizon ferrugineux brun-rouge ± limoneux ;
 - 7 : horizon A loessique ;
 - 8 : horizon Ah enterré ;
 - 9 : horizons Ap 1-2-3.
- Soils section in the terraces of the western part of Changleping polje (Wufeng), alt. 905-910 m. 1 : Cambrian limestone ; 2 : ferrallitic paleosol ; 3 : old fluvial terrace ; 4 : plinthite horizon ; 5 : Bt horizon, red clays ; 6 : ferruginous horizon ; 7 : loessic A horizon ; 8 : Ah horizon ; 9 : Ap 1-2-3 horizons.

qui donne un ordre de grandeur intéressant, sachant que la profondeur maximum du canyon est de 900 m environ dans sa partie aval. La surrection globale, en partie fini-miocène, serait ainsi comprise entre 500 et 1 000 m.

- Rétrospective de l'évolution du paysage depuis le Miocène : Suite à l'érosion de la couche imperméable des flyschs siluriens au cours du Tertiaire, on voit d'abord se former au centre un karst ressemblant à celui qui existe aujourd'hui au nord de la zone, près de Tiangkengcao et la vallée de Changpuxi. Ce karst miocène, juste avant la dernière grande phase de soulèvement, ressemble à un karst conique, avec des vallées à écoulement temporaire empâtées par des dépôts abondants provenant de l'altération de l'ancienne couverture des flyschs siluriens et des schistes argileux du sommet de l'Ordovicien.

A cette époque, les vallées bordières sont larges et peu profondes. Avec la surrection himalayenne débute le creusement des canyons. Les vallées fluvio-karstiques sont désorganisées peu à peu par le soulèvement de la montagne car l'eau tend à s'écouler en surface sur une distance plus courte pour disparaître rapidement en profondeur. Ce phénomène d'enfoncement vertical de la karstification se traduit par de profondes dépressions disposées en chapelets dans l'axe des anciennes vallées. Il s'agit d'une loi générale de l'évolution karstique que l'on peut simplifier ainsi :

système fluvio-karstique + soulèvement = formation de dépressions dans l'axe des vallées + formation de poljés de vallées

Ce processus est plus complexe dans le détail, mais il a l'avantage d'être vérifié actuellement dans la région. En effet, dans la partie nord, la vallée aveugle de Changpuxi qui se termine à la mégaperte double du Puits E / Puits W), est en réalité une ancienne vallée affluente du canyon de Chaibuxi. Mais au cours du soulèvement plio-quaternaire, les écoulements de la vallée de Changpuxi ont atteint le plancher calcaire, puis ont été capturés par le karst souterrain. C'est ainsi que cette vallée a été déconnectée de la grande vallée de Chaibuxi. Il reste d'ailleurs des éléments de vallée perchée, jalonnés par d'anciennes alluvions fluviales, situés entre le Puits E / Puits W et l'actuel canyon amont de Chaibuxi (fig. 88).

- Le poljé de Changleping et le karst central (photo 68) : ce poljé est l'illustration exemplaire d'une ancienne vallée affluente de la vallée principale de Chaibuxi, peu à peu transformée en vallée sèche, puis en poljé allongé et à fond plat à la suite du soulèvement néogène et quaternaire. La formation d'une tel poljé filiforme, actuellement surcreusé de 80 m par rapport au seuil oriental, suppose la colaescence d'un chapelet de dolines et d'ouvalas, aboutissant à un fond colmaté par des alluvions et d'anciennes altérites, et drainé par un petit système hydrographique à écoulement temporaire se dirigeant vers des pertes. A moins qu'il s'agisse d'une ancienne vallée du type de Changpuxi. Au cours du Quaternaire (?), l'extrémité occidentale du poljé de Changleping a été capturé par une vallée adjacente à écoulement temporaire se perdant au splendide gouffre perte de Xiaoshuidong.

Dans la partie centrale de l'anticlinal (cf. fig. 88), les grandes vallées sèches n'ont pas atteint encore le stade de poljé ; elles sont percées par d'énormes dépressions pouvant atteindre plus de 100 m de profondeur. Ces alignements d'ouvalas et de mégadolines indiquent une très forte karstification en profondeur qui est attestée par la superbe grotte-émergence de Donghe (cf. photo couleur de couverture), dont la partie amont est encore inconnue. C'est dire le travail de prospection qui reste à accomplir sur la partie centrale de la zone de Changleping, entre Changpuxi au nord et Changleping au sud ! On peut d'ailleurs penser que la vallée de Changpuxi, au nord, est une sorte de poljé de Changleping en formation.

- Dans le secteur amont de Tiangkengcao, les observations de terrain montrent un système complexe de déformation et de gauchissement d'une surface infra-Miocène supérieur, avec des altitudes décroissantes vers le NW, de 1 270-1 290 m à 1 250-1 200 m. Les reliefs sont développés dans des synclinoriums en position perchée avec des pendages N330° vers 1 280 m. On observe tout un système de cavités noyées au niveau des schistes ordoviciens (site 20, vers 1240-1260 m) et en particulier une très belle cavité étudiée vers 1 270 m (site 19) avec des limons indurés. Cette cavité, recoupée sur le flanc d'un cône dans les calcaire à pendage N10° domine le canyon de près de 300 m, pourrait être antérieure au soulèvement majeur (Miocène supérieur). On observe un autre niveau au contact avec l'Ordovicien calcaire vers 1 280 m (site 22) et de grandes poches qui jalonnent une surface entre 1 240 et 1 260 m. Les canyons sont surimposés et recourent les axes des grands plis.

Dans ce secteur, il semble donc que le réseau hydrographique se soit d'abord surimposée à partir d'une couverture épaisse d'altérites d'Ordovicien schisteux ; puis il y a eu surcreusement, par processus d'antécédence, au cours de la surrection principale. Le système karstique a donc évolué peu à peu d'un système karstique noyé, avec un épikarst très développé, à un système karstique dénoyé qui recoupe les paléodraines "phréatiques". Dans la partie occidentale du poljé de Changleping, on observe des terrasses fluviales avec une altération à plinthite (horizon bariolé) qui témoigne d'une évolution fluvio-karstique antérieure à la déconnection du poljé (fig. 89).

B. LA RÉGION DE HEFENG

Dans la région de Hefeng les reliefs coniques se développent sur les flancs de grands anticlinaux et les canyons évident l'axe d'un anticlinal dans des formations calcaires du Trias terminal à faciès très clastique. Une surface karstique intermédiaire est très marquée sur les flancs du canyon de la Loushuihe qui traverse l'axe des plis à l'amont et rejoint le synclinal de Hefeng au niveau d'un brachysynclinal.

Les preuves des processus de surimposition et d'antécédence sont assez évidentes. En effet, sur les bordures du canyon une surface intermédiaire se développe vers 670-690 m jalonnée par des altérites et des méga-lapiés entre 670 et 680 m et en contrebas d'un karst conique vers 1 200 m (incision à partir d'une ancienne surface recouverte par des dépôts). En outre, les canyons recourent les structures géologique aussi bien dans le sens perpendiculaire que longitudinal sans se soucier du pendage. Il y a donc eu un phénomène classique d'incision fluviale à partir d'une surface recouverte par des altérites (surimposition), puis de surcreusement de vallées déjà existantes à la suite du soulèvement progressif de la montagne (antécédence). Mais le phénomène initial de surimposition peut très bien être provoqué par le soulèvement. Ces deux processus sont également la règle du creusement dans la zone anticlinale de Changleping (Wufeng, cf. supra).

Dans le secteur de la grande grotte-tunnel de Donghe, on observe une surface d'altération supérieure jalonnée par des cryptolapiés et des poches remplies d'altérites anciennes. Cette dernière recoupe aussi des paléo-cavités renfermant des remplissages et des concrétions hydrothermales antérieures à une phase tectonique. La région suggère donc une évolution complexe depuis l'ère secondaire (mais cette période est très mal connue en raison de l'érosion des reliefs), avec une évolution très altérante dans la première moitié du Tertiaire, puis une incision du réseau hydrographique à la fin du Tertiaire et au Quaternaire due au soulèvement himalayen. Ce schéma a valeur d'exemple pour l'ensemble des karsts du Hubei occidental.

Conclusion

Les principaux éléments qui ressortent de l'étude des karsts montagnards du Hubei sont les suivants :

- une évolution actuelle sous climat contrasté (été chaud et humide, hiver froid sec) et en situation de rhexistase accentuée par la déforestation anthropique (érosion des sols) ;
- une influence importante des couvertures imperméables dans le façonnement du karst conique (stade fluvio-karstique) ;
- une surrection importante depuis le Miocène qui s'est accompagnée par le surcreusement des vallées (canyons) et la désorganisation de l'ancienne surface karstique et fluvio-karstique infra-miocène (chapelets de dépressions, cavités recoupées) ;
- la formation des gouffres-pertes au cours du Plio-Quaternaire, évolution toujours en cours, comme l'illustrent les superbes

perles de montagne de Datiankeng (vallée aveugle au nord de Hefeng), de Xiaoshuidong (vallée aveugle recoupant l'extrémité ouest du poljé de Changleping) ou encore le Puits E / Puits W (vallée aveugle de Changpuxi) ;

- des gouffres fossiles perchés comme celui de Tiankengcao, au-dessus du Puits E / Puits W, qui représente une ancienne perte aujourd'hui asséchée par l'enfoncement des vallons ;

- des grottes-tunnels semi-actives de grandes dimensions, comme Dadong (Wufeng) avec ses remplissages varvés énormes ou Donghe (Hefeng) recoupant le relief par un canyon souterrain spectaculaire.

- enfin des stades d'évolution karstique très variés, en particulier sur la zone de Changleping, avec des vallées sèches défoncées, des vallées aveugles et le remarquable poljé de vallée de Changleping. De nombreux cas d'évolution sont donc présents sur les karsts de Wufeng et de Hefeng, et leur étude ne fait que commencer ●



Photo 71 : Paysage de karst à pitons dans le Guizhou (Anshun) avec dépressions à fond plat (rizières inondées en juillet). Cette morphologie est peu représentée dans le Hubei en raison de l'altitude plus élevée (karst conique). Cliché J.P.B.

Tower karst in the Guizhou province (Anshun). This morphology does not exist in western Hubei because the altitude (cone karst).

Troisième partie

***L'HOMME ET L'ENVIRONNEMENT
KARSTIQUE EN CHINE CENTRALE***

Chapitre 10 par Simon Pomel

**LES SOLS ET LES REMPLISSAGES DES POLJÉS
MONTAGNARDS**

Chapitre 11 par Simon Pomel

LE KARST ET L'ÉVOLUTION DES PAYSAGES AGRAIRES

*Chapitre 12 par Jean-Pierre Barbary, Richard Maire, Bernard Collignon,
Simon Pomel, Zhang Shouyue*

L'EXPLOITATION DU KARST PAR L'HOMME

LES SOLS ET LES REMPLISSAGES DES POLJÉS MONTAGNARDS

(Enregistreurs de l'environnement holocène et historique)

✓ Simon POMEL

RÉSUMÉ : Les remplissages des poljés montagnards du Hubei sont de remarquables enregistreurs du fonctionnement quaternaire, holocène et historique de l'environnement. Plusieurs exemples de petits poljés du comté de Hefeng sont étudiés : secteur de Yanziping (Datangmi), poljé de Shuishanping (Datiankeng) et poljé de Baishuiba (Xianfeng). Dans le poljé de Datangmi (alt. 1 150 m), le remplissage visible atteint 10 à 25 m de puissance. On observe une série principale de varves beige-marron (parfois à charbons de bois) qui recouvre directement une basse terrasse fluviale à galets. Au-dessus de Hefeng, le poljé de Datiankeng (alt. 900 m) présente un remplissage du même type. Dans le secteur de Xianfeng, le poljé de Baishuiba montre une remarquable séquence alternée de varves et de terrasses qui jalonnent des périodes d'inondation ou de vidange en relation avec la mise en valeur récente des versants. Dans les trois cas, la séquence sédimentaire a enregistré en continu le fonctionnement lacustre pendant une période où le poljé s'inondait régulièrement chaque été.

Les séquences des poljés sont mises en relations avec les trois séquences principales étudiées dans les réseaux endokarstiques. Les microséquences laminées ont enregistré de fortes variations saisonnières et dans les taux de sédimentation. Ces ruptures sont pratiquement en phase avec les remplissages souterrains et l'étude micropétrographique permet de préciser les conditions locales de sédimentation et pour la période récente l'impact de l'homme sur les bassins-versants des poljés. On mesure ainsi l'intérêt de l'analyse séquentielle de ces remplissages pour évaluer le rôle respectif du climat et de l'homme dans le fonctionnement hydrologique, l'érosion des sols et la déforestation (présence de charbons de bois). L'étude complémentaire des sols, dans les poljés, les dépressions et sur les flancs des cônes, permet d'apprécier le rôle des remaniements historiques dus aux pratiques agricoles.

Les paléosols sont directement nourris par les altérites des couvertures silicatées et marqués par une forte empreinte des oscillations climatiques quaternaires et l'apparition conjointe de revêtements de fer et de micro-organisations liées au gel. Les apports en limons quartzueux éoliens sont caractéristiques de certains horizons. Les décapages successifs des horizons humifères donnent des catena dans lesquelles dominent les sols jaunes et les sols rouges vers le bas des versants. Les sols plus récents sont surtout marqués par un très faible recyclage de la matière organique et un colluvionnement important. Horizons incendiés, nappes colluviales successives et horizons Ap enterrés caractérisent les profils et témoignent de l'histoire rurale depuis plus de 10 000 ans. Les grands poljés intra-montagnards et leurs bassins-versants sont ainsi de remarquables témoins du fonctionnement des zones refuges durant les périodes de déstabilisation climatique, mais également les nombreuses crises sociales.

Mots-clés : karst, poljé, remplissage, sols, érosion, déforestation, Holocène, histoire rurale, montagne, climat, crise sociale.

ABSTRACT: SOILS AND THE INFILLINGS OF THE MOUNTAIN POLJES. The sediments trapped in mountainous poljes of Hubei province are excellent recordings of the environment during Quaternary, Holocene and Historical ages. Examples of small poljes were studied in the Yanziping area (Datangmi) and Datiankeng Polje of Hefeng County. In the former, one can see 10 to 25 m of fillings. A brown banded main layer (containing charcoal) overlies a fluvial terrace with boulders. Above Hefeng city, the Datiankeng polje (900 m a.s.l.) has a similar infilling. In both cases the annual summer flooding of the polje are recorded by deposits. The study aims to distinguish the influences by climate and man for the hydrology, soil erosion and forest degradation, which is indicated by charcoals. A complementary study of the soils found in the poljes, depressions and within the cone karst, records historical changes associated with agriculture.

Keywords: karst, polje, infilling, soil, erosion, forest degradation, Holocene, farming history, mountain, climate, social crisis.

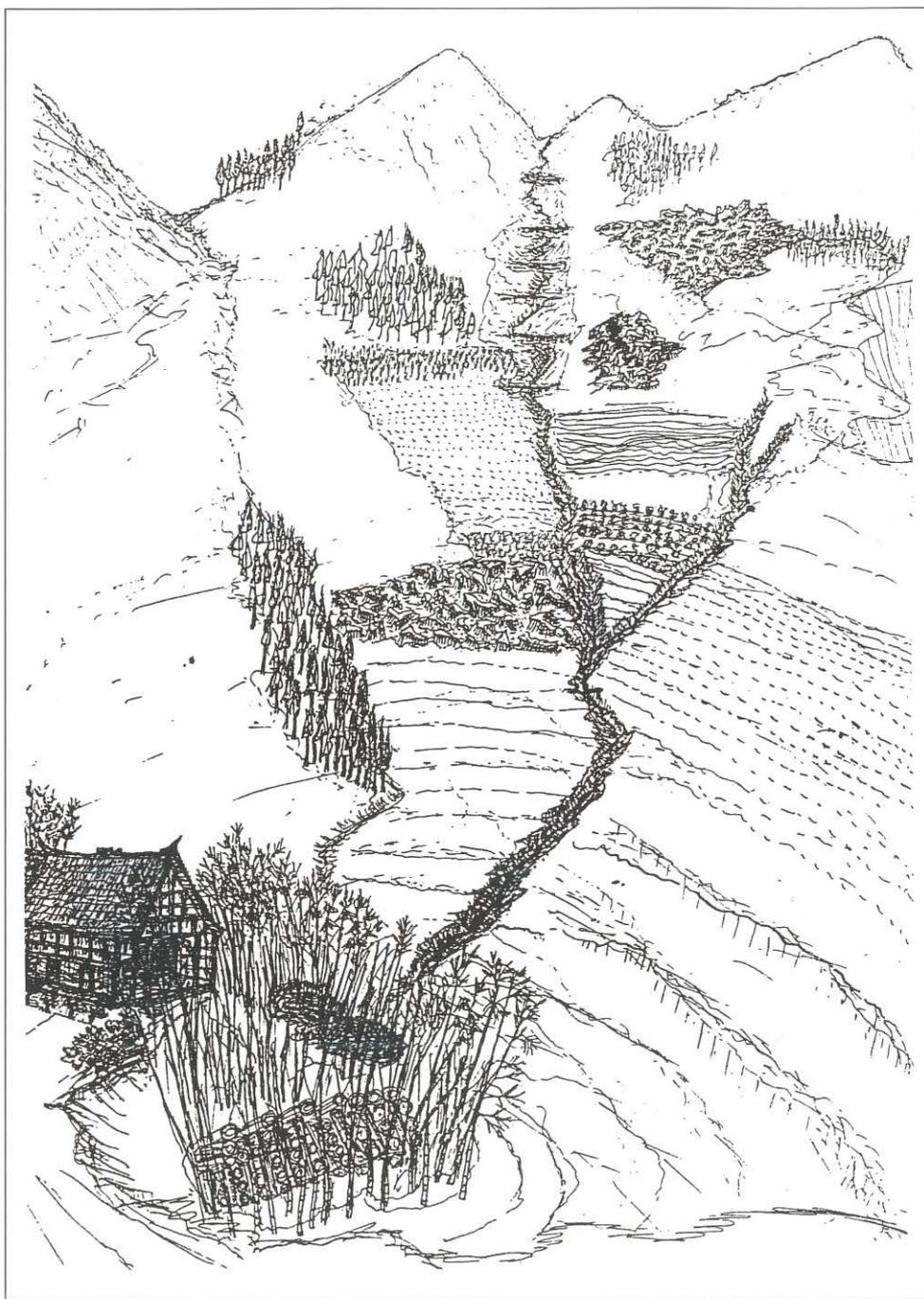
ZUSAMMENFASSUNG: Die Böden und Sedimentfüllungen der Gebirgspoljen als quartäre, holozäne und historische Umweltanzeiger. Im Bezirk von Hefeng wurden im Landkreis Yanziping (Datangmi) die Poljen von Shuishanping (Datiankeng) und Baishuiba (Xianfeng) untersucht. In der auf 1 150 m NN gelegenen Polje Datangmi finden sich 10 bis 25 m starke Ablagerungen von gebänderten, beige-braunen und holzkohleführenden Ablagerungen, die einer Flußterrasse unmittelbar aufliegen. Oberhalb der Stadt Hefeng findet sich die gleiche Ablagerung auf 900 m NN in der Polje von Datiankeng. Im Sektor von Xianfeng befindet sich in der Baishuiba Polje eine alternierende Abfolge von gebänderten Schichtfolgen und Flußterrasse. In allen drei Fällen bekundet die Ablagerungsfolge Perioden, in welchen die Poljen in Abhängigkeit von den Umweltbedingungen mit Seen erfüllt oder von Flüssen durchflossen waren. Die Ablagerungsfolgen stimmen dabei mit den drei Perioden überein, die auch im Endokarst der entsprechenden Gebiete vorgefunden wurden. Mit mikropetrographische Untersuchungen wurden lokale Sedimentationsbedingungen und anthropogene Einflüsse im Einzugsgebiet der Poljen präzisiert. Die einzelnen Sequenzen der Schichtfolgen wurden analysiert um diejenigen klimatischen und anthropogenen Bedingungen erkennen zu können, welche Hydrologie, Bodenabtragung und Entwaldung beeinflussen. Die

vergleichende Untersuchung der Böden aus den Hohlformen und von den Karstkegelflanken erlaubt die Geschichtsrekonstruktion der Landwirtschaft.

Stichworte: Karst, Polje, Ablagerung, Böden, Abtragung, Entwaldung, Holozän, Landwirtschaftsgeschichte, Gebirge, Klima, Gesellschaftskrise.

第十章 鄂西南山区溶盆中沉积物及土壤

鄂西南山地演变中的沉积物是第四纪，尤其是全新世及历史环境活动的完好记录。鹤峰一些小型溶盆，例如燕子坪大汤涪及大天坑溶盆的研究即是实例。在大汤涪溶盆可见 10-25m 厚的沉积物，主要的褐色含木炭的纹泥层直接盖在具块石的河流低阶地上。鹤峰县城北面海拔 900m 的大天坑溶盆有同样的沉积物。这二处的沉积物连续地记录了一个在溶盆每年夏季被淹没时期湖泊的活动。这些沉积物研究在于从水文学、土壤侵蚀及以木炭为标志的森林破坏等角度判别气候及人类的影响。溶盆、洼地及锥状丘峰边缘部分对土壤的进一步研究，将给出与农业有关的历史变迁信息。



Introduction

Les poljés montagnards du Hubei, réceptacles à sédiments, sont des milieux enregistreurs fidèles du fonctionnement quaternaire, holocène et historique de l'environnement. Plusieurs exemples de petits poljés du comté de Hefeng sont ainsi étudiés : secteur de Yanziping (Datangmi), poljé de Shuishanping (Datiankeng) et poljé de Baishuiba (Xianfeng). Les séquences de remplissages des poljés sont mises en relation avec celles étudiées dans les réseaux souterrains.

L'analyse séquentielle de ces dépôts permet d'évaluer le rôle respectif du climat et de l'homme dans le fonctionnement hydrologique, l'érosion des sols et la déforestation. Les charbons de bois, datables par la méthode du carbone 14, constituent des indicateurs importants du rôle de l'homme et des jalons chronologiques. En outre, l'étude des sols permet d'apprécier le rôle des remaniements historiques dus aux pratiques agricoles, les poljés et leurs bassins-versants étant les témoins des changements climatiques et des crises sociales.

I. Les couvertures végétales et pédologiques récentes

Avant d'étudier des profils de sols et de remplissages de poljés, il est nécessaire de rappeler l'histoire des couvertures végétales et pédologiques de même que les conditions générales de l'évolution morpho-pédologique, en particulier les relations étroites existant entre l'exokarst et l'endokarst.

A. L'HISTOIRE DES COUVERTURES VÉGÉTALES ET PÉDOLOGIQUES

- **La végétation** : Placé dans la zone de balancement actuel du Jet Stream d'hiver, le sud de la Chine centrale appartient à la fois au domaine tropical, au domaine subtropical et au domaine montagnard. Il existe ainsi une association végétale alpine, tempérée et tropicale et une grande mixité édaphique qui est illustrée par les plantes fossiles héritées du Tertiaire, voire du Secondaire (SHI GUANGFU et al., 1988). Dans le Hubei, 200 espèces rares sont encore présentes : *Cathaya argyrophylla*, *Metasequoia*, *Ginkgo* -souvent planté près des temples sous la dynastie Jin (265-420)-, *Cercidiphyllum japonicum* var. *sinense*, *Tetracentron*, *Falsepistache* var. *sinense*, tulipiers, etc.

On observe deux associations végétales de base : les formations à feuillus mixtes, à feuilles caduques et persistantes sur podzols et sols bruns forestiers et les associations à feuilles persistantes sur rendzines et sols violets (GENTELLE, 1974).

- **Les types de sols** : Dans le sud de la Chine centrale toute la gamme des sols tropicaux et subtropicaux sont présents : sols rouges, sols latéritiques rubéfiés et sols bruns et jaunes. Une catégorie particulière est formée par les sols podzoliques : sols alcalins (korichnievi) jaune sur les anciens lambeaux de forêts caducifoliées et sols podzoliques jaunes et rouges latéritisés sur les lambeaux de forêts de feuillus sempervirents. Ainsi, toute la gamme des sols hérités des périodes plus froides (podzols froids, loess jaunes) ou plus chaudes (podzols tropicaux, ferrallites ou sols ferrugineux) sont interconnectés dans les catena et superposés dans les profils.

Les sols violets typiques du Sichuan sont présents au Hunan et dans les petits bassins montagnards du Hubei. Ils se développent sur les faciès schisteux du Trias dans le cœur évidé des anticlinaux. Ces sols sont neutres et la présence de carbonates a évité leur allitisation. Ils ont souvent été enrichis en phosphates par des amendements et représentent les reliquats des altérites des bassins rouges (chap. 9). Les sols bruns passent vers le sud à des mosaïques de sols jaunes et rouges normalement très épais, mais très décapés par la pratique ancestrale des brûlis et une érosion et latéritisation galopante. Dans les montagnes karstiques, les sols bruns représentent souvent des restes

de sols forestiers, les sols jaunes, soit des podzols tropicaux à goethite, soit des couvertures enrichies par des apports de loess. Les sols rouges sont des paléosols décapés et colluvionnés dans des poches karstiques ou des couvertures rubéfiées in situ.

Les conditions hivernales, donc plus froides, s'accroissent dans les zones montagnardes et les associations végétales à feuilles caduques voisinent avec celles sempervirentes de la zone méridionale (PEZEU-MASSABUAU, 1972). Une différenciation s'opère donc avec l'étagement. La catena type d'altitude en Chine centrale est la suivante :

- entre 400 et 700 m : sols des rizières et sols jaunes sous reliques de forêts de feuillus sempervirents ;

- entre 700 et 1 100 m : sols jaunes podzolisés sous reliques de forêts sempervirentes et caducifoliées ;

- entre 1 100 et 1 900 m : sols jaunes et bruns sous forêts décidues et conifères ;

- entre 1 900 et 3 100 m : sols gris-brun et sols podzoliques sous forêts de conifères.

- au-dessus de 3 100 m : sols de prairie et bambousaie d'altitude. Il ne demeure cependant plus grand chose des forêts originelles, sinon les traces dans l'extension des sols bruns ou des podzols jaunes, respectivement sous forêts de feuillus et sous forêts d'espèces persistantes. Dans la gamme des 64 grandes catégories de sols étudiés par KOVDA (1960), 16 % sont des sols peu utilisables de montagne, sols tropicaux et subtropicaux et 24,2 % sont des sols de haute montagne. Seuls 5,5 % de l'ensemble des sols sont des sols tropicaux très fertiles.

- **Le rôle de la pression anthropique** : La déforestation active a engendré toute une panoplie de lithosols et d'anthroposols colluvionnés ou amendés, en particulier la classe complexe des luvisols et des sols hydromorphes des rizières. Du fait des décapages permanents des couvertures, l'alluvionnement a toujours été dans la plupart des provinces de Chine un fait majeur et il ne faut pas s'étonner de la complexité des sols d'apports alluviaux et pas seulement dans les plaines (XU JIONGXIN, 1991). On a pu ainsi parler de "couche culturelle" pour certains horizons d'amendements bien connus au Sichuan ou pour les colluvio-anthroposols, sols retenus par des terrasses millénaires.

Dans un pays qui a pris très tôt conscience de l'importance des conditions édaphiques (le Huai Nan Zi date de la dynastie Han), il n'est pas étonnant que le sol soit défini par ses valeurs agronomiques. Dans un ouvrage un peu postérieur, le Xiao Jing Yuan Sheng Qi, les sols sont définis par leur couleur : "les sols jaunes et blancs conviennent aux millets, les sols noirs aux millets glutineux et au blé, les sols rouges aux légumineuses et les sols détrempés au riz" (SHIH SHENG-HAN cité par BUCHANAN, 1973). Au XIV^{ème} siècle, un auteur chinois était en mesure d'esquisser une classification des sols : sols noirs (chernozems), blancs (siérozems et sols désertiques), bleus (sols hydromorphes), rouges (sols podzoliques tropicaux) et jaunes (sols des loess). Chaque catégorie était divisée en trois groupes selon la fertilité et chaque groupe comprenait trois types : au total 45 classes de sols (cité par KOVDA, 1960).

L'histoire de la formation des profils se confond ainsi en Chine avec l'histoire culturelle et avant tout, avec l'histoire de la colonisation Han. En raison de la conception que ce peuplement a eu sur la gestion des forêts et leur destruction systématique, le type de sols le plus courant en Chine est, sans jeu de mot, "un Hanthroposol" ! L'abondante poésie et les peintures chinoises sont pleines de mentions et de descriptions fidèles des actions anthropogènes sur les espaces végétaux durant le Moyen-Age chinois.

Durant les dynasties Han et Wei et les Six Dynasties (Ed. Panda Books, 1986), il est fait mention, outre la description des montagnes, des attaques forestières en 62 (sous les Han orientaux), mais aussi des zones sauvegardées et lieux de chasse entre 317 et 420 (sous les Jin orientaux). Au cours de son voyage entre 376 et 396, le poète TAO YUANMING signale des incendies systématiques en 408, la déforestation pour les plantations de riz précoce en 410 (sous les Jin orientaux) et décrit le Hunan avec ses espaces forestiers en mosaïques.

Sous les Tang et les Song (Ed. Panda Books, 1990), la Province du Hunan est décrite par le poète LIU ZONGYUAN (773-819) et surtout la région des Monts de pierres. "Nulle part de sols et seules de minces troncs et des bambous coupés et fermement enracinés (sans doute pour la rétention des sols)". Les bambous ont en effet peu à peu colonisé les espaces de basse altitude et le poète WANG YUCHENG (945-1001) signale leur exceptionnelle luxuriance et leur utilisation comme chevrons et tuiles de bardeau. Sous le poète OUYANG XIU (1007-1072), dans les provinces de Chu, toujours au Hunan, les hautes chaînes conservent encore des lambeaux forestiers majestueux avec leur ombre, leur fraîcheur et leur parfum. Sous les Song, le poète FAN CHENGDA (1126-1193) rapporte que les montagnes du Guizhou sont déjà coplantées de nombreux arbres fruitiers comme les abricotiers et les arbres à loquats.

Sous les Ming et le début des Qing, POU SONG LI (1622-1715), dans ses descriptions du studio des loisirs et les aventures de Chou (Ed. Sand, 1990), mentionne la province du Hunan et ses espaces totalement colonisés durant la grande conquête démographique du XVIII^{ème} siècle. L'exploitation des terroirs est devenu de plus en plus intense et suivons le poète HAN SHAOGONG (1991) qui reconstitue une époque où : "Avoir du fromage de soja revenait à posséder les merveilles du monde". "Dans un paysage de montagnes généreuses, il y avait une antique rivière, bleu-vert, ainsi que d'antiques galets de toutes les couleurs. La rivière, disait-on, avait été bordée de forêts opaques autrefois... A une date obscure, l'administration locale avait envoyé des hommes déboiser le long de la rivière, ce qui avait permis de tracer une route domaniale discrète et dérobée...". "Les feux que le dieu du ciel a autrefois allumés, et qui se consomment depuis l'Antiquité ; leur flammes ont effrité, desséché les sommets montagneux..."

Les sols surexploités sont devenus très fragiles et sujets aux calamités naturelles : sécheresses et inondations. Par exemple, l'inondation de 1931 a touché 29 % des superficies cultivées du Hubei et 25 % de celles du Hunan, la sécheresse de 1934 touchant respectivement 32 et 53 % des terres. Depuis 1949, l'érosion des sols affecte au total 1,5 millions de km². 15 000 km² de forêts sont détruits chaque année et la couverture forestière de la Chine est inférieure à la moyenne mondiale (13 % contre 22 %). Malgré la réhabilitation de 25,1 millions d'hectares de friches entre 1949 et 1986 (LARIVIERE et SIGWALT, 1991), les terres cultivées se sont réduites à 40,7 millions d'hectares avec une diminution de 15,6 millions d'hectares. Le Hubei, "province aux mille lacs", n'en compte plus que 309 en 1981 ; or les érosions qui découlent de cette déforestation menacent de remplir les lacs qui restent et la déforestation entretient le cycle infernal des calamités naturelles. Les occurrences des calamités ont été respectivement de 124 et de 146 dans le Hubei et le Hunan depuis le XVI^{ème} siècle (COCHING CHU cité par GENTELLE, 1974). Pour l'ensemble de la Chine, 275 millions d'hectares ont été touchés par les sécheresses ou les inondations entre 1949 et 1961, les années 1959, 1969 et 1961 étant les plus touchées.

L'abondance des dégâts causés aux sols durant ces périodes ne fait-elle pas penser à une fragilité nouvelle des terres cultivées intensivement et avec peu de précaution à partir du "Grand Bond en Avant" ? (GENTELLE, 1974).

B. LES ÉCHANGES SOLS / PLANTES ET LES RELATIONS ENTRE L'EXOKARST ET L'ENDOKARST

Les sols actuels du Hubei et du Hunan sont surtout soumis à un intense colluvionnement qui caractérise les horizons supérieurs et de très faibles teneurs en matière organique et en particulier l'absence ou la rareté de litière et de pédofaune. La faiblesse du recyclage de la matière organique est le fait d'une modeste couverture végétale : la plupart des espaces mêmes boisés sont exploités et il n'y pas de restitution végétale au sol. De plus, une exploitation de plus de 10 000 ans de ces sols par des systèmes de cultures sur brûlis intensifs a épuisé les potentiels organo-minéraux de nombreux profils.

1. Le fonctionnement pédologique dans l'épikarst

La pCO₂ dans l'atmosphère des grottes est très faible pendant la saison froide : vers 0,04-0,05 % et parfois 0,06-0,07 %. Il est certain que les mesures d'été donneraient des chiffres plus conséquents. Cependant il faut noter la faible teneur en matière organique dans les sols et la faible couverture végétale et pédologique. Les teneurs mesurées dans les horizons supérieurs de Dadong donnent 1,4 % à 25 cm et seulement 0,5 % à 50 cm. De ce fait, le calcaire actif dans les profils est toujours extrêmement faible, respectivement 0,2 et 0,3 % à ces mêmes profondeurs. Dans les remplissages souterrains, on peut faire les mêmes observations.

Le système complexe sols / plantes / hydrosphère / atmosphère régit le fonctionnement du karst. Le fonctionnement du sol est largement dépendant de la capacité de filtration ou du potentiel du karst. Lorsque l'épikarst est très fissuré, il est peu filtrant ; le milieu est oxydant et les sols bien drainés ont souvent des profils rubéfiés avec des néogenèses d'argiles à oxydes métalliques. Au contraire, lorsque l'épikarst est colmaté, il est très filtrant, le milieu se bouche, les particules fines ne migrent pas dans les profils et les sols deviennent hydromorphes : se développent alors quelquefois des horizons vertiques. Toutes les ruptures peuvent à la fois provoquer des soutirages (avec perte en fines) et des remontées oxydantes ou au contraire des bouchages (avec apports en fines) et des remontées de l'hydromorphie dans les profils. Ce dernier cas peut être provoqué par un important colluvionnement. C'est ce jeu complexe qu'il convient de décrypter dans les profils, car il contient l'une des clés de fonctionnement du karst souterrain.

2. Le fonctionnement pédologique exokarst / endokarst

Le fonctionnement du karst est lui-même sous la dépendance du fonctionnement pédologique et des relations sols / plantes. Trois exemples actuels ont été étudiés dans le Hubei-Hunan.

1) Dans le cas d'un couvert végétal forestier mixte à *Pinus*, *Cypressus*, *Cedrus*, *Cunninghamia* et *Cryptomeria* et diverses espèces de feuillus, les sols sont caractérisés par une litière, un horizon humifère, un horizon Ae poreux et drainant, avec quelquefois une tendance au lessivage du fait de la circulation des complexes organo-minéraux et des acides organiques (fulviques et humiques). La maturation de la matière organique est relativement rapide et les polysaccharides racinaires sont stables et contribuent à la coagulation des argiles. Dans l'endokarst, on observe une bonne activité du CO₂ et une forte condensation. Les eaux à pH acide favorisent un concrétionnement important à faible contamination turbide.

2) Sous couvert végétal de friches à robiniers, épineux, fougères et rudérales, les profils ne montrent pas de litière conséquente, un horizon humifère mince, d'anciens horizons Ap cultivés et des horizons colluvionnés, avec en profondeur des horizons tronqués. Les sols sont peu drainants, la maturation de la matière organique est lente, mais les sucres racinaires sont véhiculés en profondeur avec certaines argiles encore labiles. Dans le karst souterrain l'activité du CO₂ est modeste, la condensation faible et du fait d'un pH neutre, le concrétionnement est faible avec une charge solide notable et un développement bactérien consommateur de particules organiques.

3) En zone cultivée, les profils sont très perturbés et caractérisés par l'absence d'horizon humifère, un horizon Ap compacté, des horizons colluvionnés et des altérites tronquées en profondeur et directement en contact avec un crypto-karst en voie d'exhumation. Dans le karst souterrain, l'absence de complexes organo-minéraux stables, la très faible activité du CO₂ et la très faible condensation, le pH souvent basique, contribuent à un concrétionnement très faible à absent à très forte charge turbide et surtout à des dépôts limniques. On voit donc tout l'intérêt d'une étude comparée dans le karst, des profils pédologiques amont et des remplissages aval pour reconstruire l'histoire de l'environnement.

II . Les sols des montagnes du Hubei et du Hunan

Des profils pédologiques et des catena sont étudiés dans les différents comtés. Dans le Hunan, les sols de Sangzhi, en basse montagne, soulignent le rôle des terrasses de cultures et des aménagements bocagers. Dans les comtés du Hubei (Wufeng, Hefeng), beaucoup plus montagneux, de grandes catena montrent le rôle global de la domestication des versants et des poljés, avec une démultiplication des aménagements en mosaïques liés au caractère du karst conique : multiplicité des replats, des vallées sèches, des dolines, des ouvalas et des poljés.

A. LES SOLS DU COMTÉ DE SANGZHI (HUNAN) :

...Une longue histoire des terrasses de cultures et des aménagements bocagers

Au sud de Sangzhi, la région de Jiutiandong est étudié pour l'intérêt des coupes de sols dans l'histoire des paysages agraires et la mise en évidence des périodes de rupture dans l'évolution des profils. En effet, cette zone représente un secteur clé pour la compréhension de l'évolution des sols cultivés, en particulier celui des système de terrasses de culture.

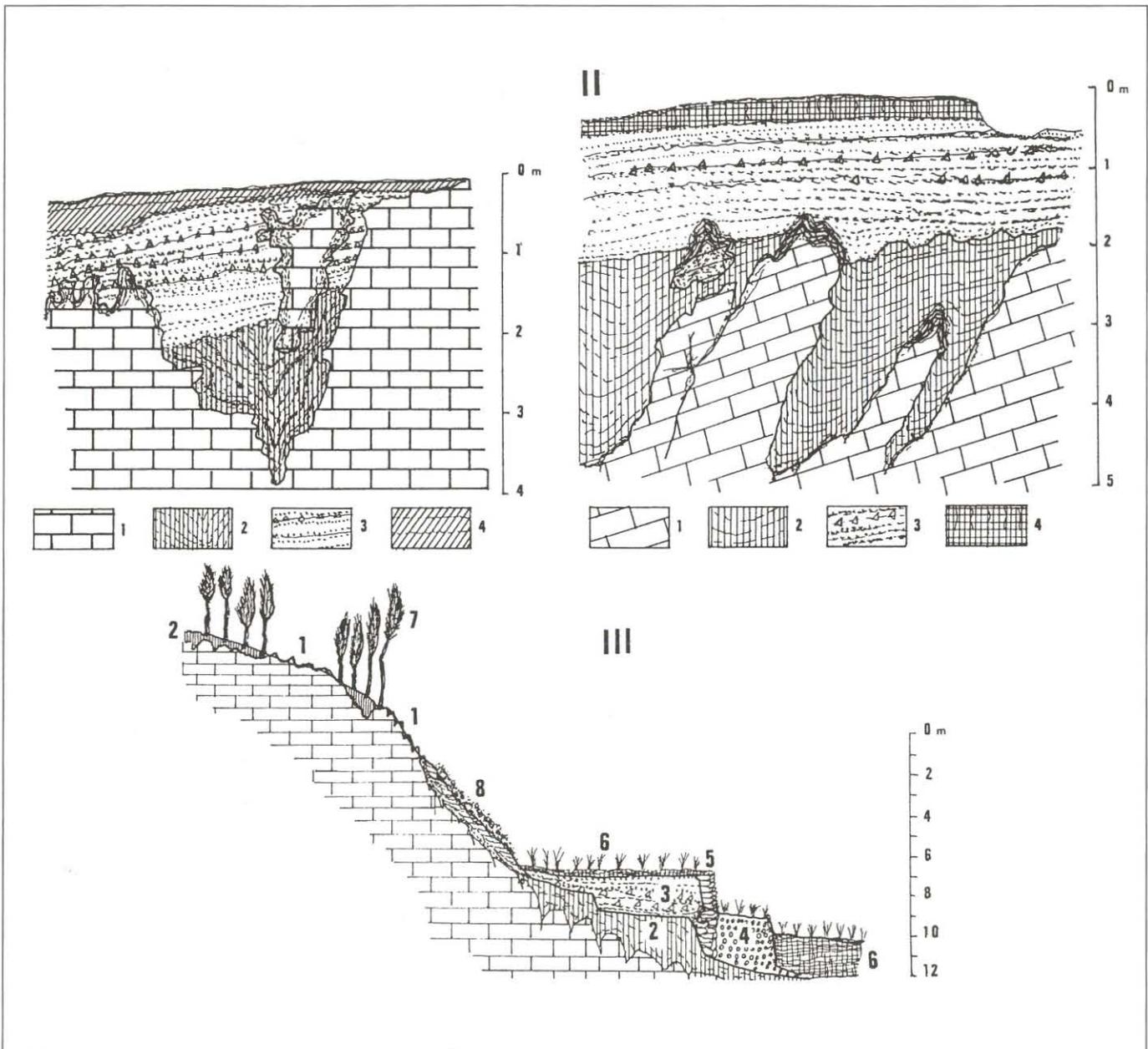
Figure 90 : Les sols du secteur de Jiutiandong (Sangzhi, Hunan).
Soils of Jiutiandong area (Sangzhi, Hunan).

I. Coupe à l'entrée de Jiutiandong (section at the entrance of Jiutiandong). 1 : calcaire à plaquettes (Permien inf.). 2 : poche à sols rouges issus d'altérites de roches cristallines (schistes ou phyllades). 3 : limons colluviaux clastiques discordants, plusieurs nappes. 4 : sol brun-jaune attestant une reconquête forestière.

II. Coupe de la sortie du restaurant (Section of restaurant).

1 : calcaire à plaquettes. 2 : horizon R/C de décapage du crypto-karst. 3 : nappes colluviales fossilisant les crypto-lapiés et contemporaines de phases de déforestation qui ne sont pas les premières. 4 : terrasses de culture maraichères plus récentes (explosion démographique post-Mao).

III. Schéma de l'évolution des systèmes de terrasses de culture au-dessus de la cavité de Jiutiandong près du restaurant (evolution of terraces above Jiutiandong). 1 : crypto-karst partiellement exhumé. 2 : argiles rouges soutirées dans les poches karstiques et paléosols rouges tronqués. 3 : colluvions limoneuses marrons discordants, à clastes et nombreux horizons vertiques (éch. n° 2). 4 : terrasse grossière entaillant les terrasses de cultures anciennes, les colluvions limoneuses et les paléosols rouges. 5 : ancien mur de soutènement en grand appareil. 6 : aménagements rizicoles en terrasses pérennes. 7 : pentes boisées à recré forestier mixte des friches (rotation de moins de 20 ans). 8 : cultures maraichères récentes sans terrassement.



- **Deux coupes (fig. 90)** permettent de préciser les évolutions pédologiques et l'histoire des paysages traitée dans le **chapitre 11**.

1) A l'entrée de la grotte de Jiutiandong (**fig. 90 I**), sur des calcaires à plaquettes du Permien inférieur, la base des profil est nourrie par du matériel argileux rouge d'altération des schistes et de phyllades. Quatre nappes colluviales limoneuses ocre, riches en clastes, marquent des étapes de déforestation des versants. Le profil de 2 à 3 m s'achève par un sol brun-jaune attestant une reconquête forestière.

2) A la sortie du restaurant, la coupe de 3-4 m (**fig. 90 II**) montre que les nappes colluviales ocre fossilisent les crypto-lapiés et donc qu'elles ne représentent pas les premières étapes de déforestation. Il pourrait s'agir des premières mises en valeur sous les dynasties des Han, avec les conquêtes entre 200 av. J.-C et 200 ap. J.-C. ou lors de la période des Royaumes Combattants. Les terrasses de cultures sont plus récentes dans ce secteur et marquent l'explosion démographique après Mao.

- **L'histoire du colluvionnement**, résumée sur la coupe schématique levée sur l'ensemble du secteur, montre les relations qui existent entre les sols et leur nourrissage par la vidange des poches karstiques ou le dégagement des altérites des crypto-lapiés. Cette coupe précise les grandes périodes d'évolution des profils en relation avec l'histoire de l'occupation des terroirs.

1) A la base des profils, on observe presque toujours des argiles rouges soutirées et des profils tronqués. Une première nappe de colluvions marrons limoneux et clastiques, avec des évolutions verticales, représente la première mise en valeur des terroirs qui s'accompagne d'un décapage des lapiés (dégagement des versants) et un ennoyage corrélatif dans les catena aval. Il est difficile de caler cette première mise en valeur, mais elle correspond presque toujours à des formations limoneuses ocre ou marrons de période froide, à une mise en culture de type «ray» avec une pratique des incendies, mais aussi une déforestation avec dessouchage et une certaine intensification des systèmes et donc du peuplement. A titre indicatif, nous la corrérons pour l'instant à la coupe des varves marrons de Dadong, au Tardiglaciaire ou au début de l'Holocène. Ces nappes manquent quelquefois dans les profils du fait du ravinement holocène et les lapiés sont directement en contact avec des nappes limoneuses ocre plus récentes (début de l'ère).

2) La période d'incision suivante est jalonnée par une terrasse grossière qui réentaille toutes les formations et que nous pouvons corréler aux ravinements et au concrétionnement souterrain holocène. Un âge sur stalagmite, dans la cavité de Shuangdong, a donné 14 100 ans (+ 700, - 600), mais elle est probablement holocène en raison d'une contamination en thorium détritique.

3) Un premier aménagement en terrasse, construit en grand appareil, serait en relation avec les grands aménagements durant l'expansion coloniale des populations Han sous la dynastie des Song du sud au XI-XIII^{ème} siècle, période de croissance démographique importante (**cf. chap. 11**).

4) Il est probable que les aménagements riziocoles et les terrasses pérennes datent du XVIII^{ème} siècle et de l'explosion démographique qui suit la domestication de nouvelles plantes cultivées.

5) Le recrû forestier sur les terroirs en pente, c'est-à-dire sur d'anciennes friches de la grande mise en valeur maoïste, marque depuis 20 ans une tendance à la reconstitution des horizons humifères. Actuellement les sols sont de nouveau menacés par des cultures maraîchères ou de rente sans terrassement (tabac et maïs).

B. LES SOLS DU COMTÉ DE WUFENG (HUBEI)

... *Une catena géante de 1 000 m et une lente domestication des versants et des poljés*

Le comté de Wufeng, très montagneux, est riches en exemples de sols. La catena s'étage sur plus de 1 000 m de dénivellation, depuis la zone de Donghe vers 400 m jusqu'au karst conique d'altitude (alt. 1 200 - 1 500 m), en passant par le grand poljé de vallée de Changleping situé vers 900 m.

1. Morphopédologie à basse altitude et en altitude

- **Les catena d'altitude, entre Yuyuan et Wufeng**, montrent des sols largement dépendants de leur position par rapport aux surfaces karstiques et de leur approvisionnement par le décapage des crypto-lapiés lors des épisodes de déstabilisation anthropique. La morphopédologie du secteur est dépendante d'une haute surface de type «bubonique» vers 2 400 m et développée dans les calcaires du Trias. Le contact entre les schistes siluriens et les calcaires dévoniens est observable entre 1 560 et 1 600 m. Les replats, vers 2 000 - 2 200 m, portent des altérites rouges non calcaires (à séricite, chlorite, oxydes de fer et biotite) avec des racines R/C à horizon Bt tronqué de sols ferrallitiques. Lorsque ce crypto-karst est décapé, il donne de spectaculaires champs de lapiés et à l'aval alimente des couvertures pédologiques de sols brun-rouge ou ocre. Après Wantan, à 40 km de Hefeng, on observe des surfaces de crypto-lapiés assez développées vers 1 410 m. Les horizons superficiels sont composés de 1 à 2 m de limons soutirés depuis les poches.

Vers 1 550 m, au changement de comté, dans un secteur de cultures abandonnées avec de nombreux endiguements des radiers colonisés par la végétation, une coupe pédologique de 5 m montre en surface des limons jaunes à horizons incendiés sur des altérites de flyschs. La catena typique dans les flyschs indique à 1 000 m, de l'amont vers l'aval, une association de sols rouges sur altérites, de sols jaunes loessiques et de sols bruns.

- **La catena de basse altitude (440-400 m), dans la région de Donghe**, est sous la dépendance du soutirage à proximité des canyons et des remblaiements qui se manifestent surtout dans les poljés ou les dolines. Dans la région de Donghe, les sols jaunes occupent les versants, les sols rouges alimentés par les poches karstiques occupent les replats. La rubéfaction dépend étroitement du soutirage. Les coupes montrent vers 440 m, des sols loessiques brun-jaune foncé (10 YR 4/4) ; vers 420 m, des sols jaune-rouge (5 YR 6/6) à horizons verticales ; vers 400 m, des sols rouge-jaune (5 YR 5/8) colluvionnés avec soutirage.

2. Les sols des karsts coniques de la région de Zisuling entre 1 400 et 1 100 m

- **Description des profils (fig. 91)** : Les profils ont enregistré une gamme de paléopédologies et de ruptures récentes. Vers 1 100 m (**fig. 91 I**), la distribution des horizons montre à la base des altérites soutirées dans une poche et fossilisées par une terrasse fluviale, puis un paléosol brun-rouge. Les trois nappes de limons (brun vif à brun-rouge) sont séparées par des horizons incendiés et enterrés sous des colluvions limoneuses à clastes. Les profils récents (**fig. 91 II**) sont précisés par une grande catena levée entre 1 400 et 1 200 m sur des calcaires à bancs schisteux de l'Ordovicien. A l'amont, des sols limoneux à nappes colluviales, séparées par plusieurs horizons incendiés, tronquent en profondeur des argiles plastiques rutilantes. A l'aval, on observe des nappes de vertisols avec un ancien horizon violine en profondeur et des sols colluviaux sur les terrasses fluviales aménagées.

Trois coupes étudiées entre 1 250 et 1 100 m permettent de préciser l'évolution pédologique :

1) La première coupe, épaisse de 2 m, se situe vers 1 250 m (**fig. 91 III**) et présente à la base des argiles versicolores qui emballent des blocs de grès rouge, de dolomies altérées, de grès blanc, de Trias et de schistes. On observe les racines d'un paléosol à plinthite avec un horizon Bt tronqué, puis des horizons colluvionnés et l'horizon cultural de 0 à 50 cm.

2) La seconde coupe, placée vers 1 200 m sur la route du village de Zisuling, est constitué par un profil de 2,20 m comparable (**fig. 91 VI**). A la base, entre 1 m et 1,30 m de profondeur, on distingue des nappes colluviales à vertisol qui tronquent l'horizon à plinthite. Entre 50 cm et 1 m, un paléosol brun à horizon Bt et fentes de dessiccation est enterré sous l'horizon A1 limoneux.

3) La troisième coupe, située sur un aplanissement inter-cônes vers 1 200 m, présente une grande poche karstique qui a piégé un

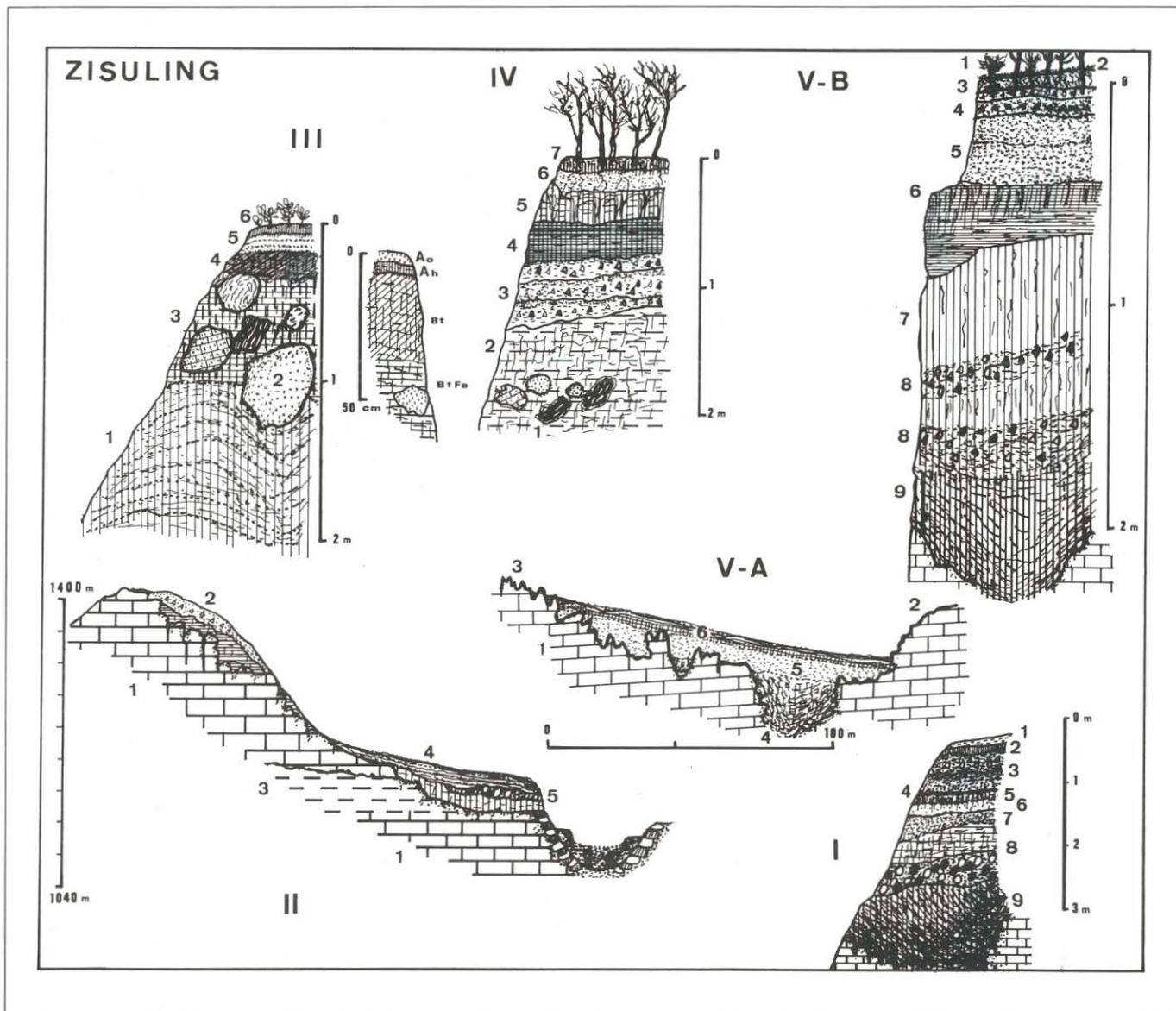


Figure 91 : Catena et coupes des sols de la région de Zisuling, amont de la cavité de Tiankengcao (Wufeng).

Catena and soils sections of Zisuling area near Tiankengcao (Wufeng).

I. Profil de sol vers 1 100 m. 1 : horizon Ao. 2 : horizon Ah. 3 : colluvions limoneux avec convois clastiques. 4 : horizon incendié. 5 : limons brun. 6 : limons brun-rouge. 7 : limons brun vif. 8 : paléosol sur terrasse fluviale. 9 : altérites soutirées dans une poche karstique.

II. Catena et lithodépendance entre 1 400 et 1 200 m. 1 : calcaires à bancs de l'Ordovicien. 2 : sol limoneux avec nappes colluviales, horizons incendiés et argiles plastiques en profondeur. 3 : bancs schisteux. 4 : nappes de vertisols avec paléo-horizon violette en profondeur sur paléosurface inter-cônes. 5 : terrasse fluviale avec radier aménagé.

III. Coupe de sol vers 1 250 m. 1 : argiles limoneuses versicolores. 2 : blocs de grès rouge, de dolomie altérée, de grès blancs, de Trias rouge et de schistes. 3 : racine d'un paléosol à plinthite. 4 : horizon Bt ± tronqué. 5 : horizons A1 colluvionnés. 6 : horizon Ap de culture du radis. Détail du profil entre 0 et 50 cm : Ao - A1 colluvial - Bt à plinthite avec bloc de grès.

IV. Profil de sol vers 1 200 m, route du village de Zisuling. 1 : blocs de grès, de dolomie altérée et de schistes ordoviciens ± cuirassés. 2 : horizon Bt versicolore à plinthite (racine d'un paléosol). 3 : nappes colluviales. 4 : vertisol. 5 : horizon Bt avec fentes de dessiccation. 6 : horizon A1 limoneux. 7 : horizon Ap.

VA. Coupe de sol sur aplanissement inter-cône vers 1 200 m et localisation de la poche. 1 : calcaire. 2 : cône. 3 : lapiés. 4 : poche karstique avec altérites à horizon Bt. 5 : horizon Ae. 6 : horizons Ao-A1.

VB. Profil. 1 : taillis à épineux et feuillus. 2 : mousses. 3 : Ao/Ah litière et horizon racinaire. 4 : A1 brun pâle (10 YR 6/3) et colluvions. 5 : Ae brun-jaune clair (10 YR 6/4) et loess. 6 : paléosol avec Ah tronqué brun vif (7,5 YR 5/6) à jaune. 7 : racine d'altérites rouges (2,5 YR 5/8) à versicolores ± colluvionnées. 8 : 2 nappes colluviales. 9 : soutirage dans la poche karstique.

ensemble complet de formations pédologiques. Le profil (fig. 91 V-B), épais de 2,10 m, montre :

- de 0 à 10 cm, des mousses et une litière Ao/Ah à horizon racinaire ;
- de 10 à 18 cm, un horizon A1 colluvial brun pâle (10 YR 6/3) ;
- de 18 à 40-50 cm, un horizon limoneux Ae brun-jaune clair (10 YR 6/4) ;
- de 40-50 à 80-90 cm, un paléosol à horizon Ah tronqué brun vif (7,5 YR 5/6) à jaune ;

- de 90-100 à 130 cm, des racines d'altérites rouge (2,5 YR 5/8) à versicolores à la base ;
- de 130 à 200 cm, 2 nappes colluviales intercalées dans les altérites ;
- de 200 à 210-220 cm, des formes de soutirage.

- **Interprétation** : Le profil le plus complet, met en évidence le fonctionnement de soutirage dans la poche karstique pendant une importante période de déstabilisation et de décapage des lapiés.

Il atteste ensuite une reconquête végétale forestière avant des apports limoneux. Le colluvionnement supérieur représente la dernière période, sous Mao, avant la friche récente datant de moins de 20 ans. Le premier épisode de soutirage est ancien et contemporain d'une période froide si l'on admet qu'il est partiellement fossilisé par des loess. Les loess enrichis en cendres attestent une pratique systématique des incendies sur un espace très défriché. Cet épisode serait corrélable à la coupe des varves marrons de Dadong. La reconquête végétale attestée par le paléosol brun vif pourrait être holocène. Il est délicat de préciser l'âge des nappes colluviales supérieures, sans doute sont-elles contemporaines de l'aménagement des terrasses cyclopéennes (?).

3. Les sols du poljé de Changleping entre 900 et 920 m : paléosols, histoire du remblaiement et des terrasses de culture

- Description des coupes : Dans la partie ouest du poljé de Changleping, la catena dans les terrasses aménagées permet d'observer des terrasses cyclopéennes sur les versants du poljé, avec des terrasses fluviales grossières perchées qui leur sont antérieures et des terrasses limoneuses qui sont plus ou moins contemporaines.

1) La coupe située vers 910 m, dans ces niveaux anciens, montre sur 6 m le profil suivant : trois horizons culturaux Ap (0-40 cm) ; un horizon Ah enterré (40-80 cm) ; un horizon A loessique (80-100 cm) ; un horizon ferrugineux brun-rouge limoneux (100-200 cm) ; un horizon argileux Bt rouge (200-240 cm) ; un horizon à plinthite (240-300 cm) ; une terrasse fluviale (300-450 cm) ; les racines d'un paléosol rouge ferrallitique (450-500 cm) et les calcaires cambriens (500-600 cm).

2) Un deuxième niveau de terrasses limoneuses est aménagé en rideaux et levés de terres et porte des sols limoneux sur des paléosols rouges tronqués à la base. Le profil sur 3 m, montre à la base un sol rouge sur replat karstique, puis un paléosol jaune-ocre sur terrasse fluviale limoneuse, un horizon Ah enterré sur les limons récents.

3) Un troisième niveau d'aménagement, occupé par des rizières, montre au moins trois horizons Ap compactés avec un épandage de boues.

- La domestication des sols du poljé : Ces observations permettent d'établir deux grands épisodes de remblaiement du poljé, dont le premier, très grossier, est bien antérieur à l'Holocène en raison des paléosols. Le second remblaiement, composé de limons marrons et riche en niveaux incendiés, correspond à une importante mobilisation sur des versants déforestés durant une période froide, sans doute le début de l'Holocène ou un peu avant (corrélation avec la coupe des varves marrons de Dadong). Trois grandes périodes dans la domestication des sols du poljé sont enregistrées.

1) La première est très proche de l'important remblaiement limoneux du poljé, puisque certaines terrasses cyclopéennes aménagées dans le remblaiement limoneux principal butent contre des lambeaux du remplissage. Elle est antérieure à certains niveaux de remblaiements plus récents et grossiers s'inscrivant dans une grande incision qui la fossilise et qui a démolé une partie d'entre-eux. Elle pourrait être holocène.

2) Les aménagements suivants sont historiques, mais l'histoire chinoise est longue. Ils représentent des aménagements post-holocènes et s'inscrivent après une incision importante qui a érodé la terrasse limoneuse principale.

3) Les derniers aménagements sont récents (XVIII^{ème} siècle ?).

Trois paléosols sont enterrés. Le premier argileux de type ferrallitique est fossilisé par une terrasse fluviale ancienne. Le second Bt rouge à plinthite pourrait dater de l'Eémien (?). Le troisième, limoneux et jaune-rouge, est souvent associé à des loess et pourrait caler une période froide au tout début de l'Holocène ou à la fin du Würm. Deux âges U/Th, obtenus sur des concrétions de

Dadong, encadrent cette chronologie : 16 300 ans ($\pm 1 100$) et 12 600 ans (+ 400, - 300). Les horizons Ah enterrés sont tous postérieurs aux loess. Ils représentent une période probable de déprise du poljé et de développement d'une végétation de ripisylve et de pédogenèse, avec concrétionnement dans les réseaux. Pour mémoire, un âge peu fiable U/Th de 3 700 ans (± 300) a été obtenu sur la stalagmite du Puits de 50 m de Dadong. Cette période serait antérieure aux premiers aménagements rizicoles du poljé.

C. LES SOLS DU COMTÉ DE HEFENG (HUBEI)

...Une mosaïque élaborée sur les versants de vallée, de dolines et de poljés

La région est caractérisée par une mosaïque de sols qui sont sous la dépendance des aménagements de versants des vallées, les rebords de canyons ou des dépressions, dolines ou poljés. Trois secteurs sont étudiés : vallée à l'amont de Donghe (Hahulu), bordures du canyon de Donghe et versants du poljé de Shuishanping.

1. Les sols de versants de vallée à l'amont de Donghe

Ce secteur (ou région de Hahulu) se situe entre 1 100 et 1 200 m dans la vallée qui alimente la perte géante de Donghe.

- Description des profils : Une coupe en travers de la vallée montre des cônes surbaissés avec culture du thé et du maïs et une mosaïque de friches. Un replat, situé 150 m au-dessus du talweg, et son talus sont aménagés en terrasses de cultures. Les villages sont situés en contrebas, au-dessus du système de terrasses alluviales plus récentes cultivées en riz et légumes. Le radier actuel, à 1 100 m, est endigué.

1) Le profil le plus complet du secteur se situe sur un replat cultivé vers 1 120 m. La coupe, épaisse de 12 m, montre de la base au sommet : un crypto-karst (de 12 à 10 m), des altérites rouge (10 à 8,50 m), une terrasse fluviale (8,50 à 6 m), un paléosol brun-rouge (6 à 5,50 m), des colluvions limoneuses ocre-marron (4 à 2 m), des limons jaunes (2 à 1 m) et une nappe actuelle (1 à 0 m). On retrouve un profil comparable mais moins épais (4 m) et moins complet, sur le versant opposé dans une zone de friches. La différence est la présence d'un sol brun en surface.

2) A l'amont, on observe une gamme de sols colluviaux cultivés sur poches karstiques ou lapiés couverts. Les profils montrent une nappe colluviale ou un horizon Ap1, intercalé entre le sol fonctionnel et des limons jaunes. Vers 1 200 m, les lapiés sont couverts de 1 à 2 m de sols avec un profil à horizons Ao/Ah et un ancien horizon Ap1 cultural, sur les limons jaunes. Vers 1 115 m, sous une plantation de jeunes théiers et maïs, la partie supérieure du profil est composée de limons jaunes colluvionnés entre 50 et 100-120 cm, surmontés d'une nappe colluviale entre 10 et 50 cm, sous le sol actuel (0-10 cm).

3) Sous des friches boisées, vers 1 115 m, un profil permet de préciser la nature des horizons : horizon Ao/Ah de 0 à 15 cm, brun forestier ; horizon Ap1 jaune enterré (ancien horizon meuble cultivé) de 15 à 20 cm ; horizon Ap2 loessique avec clastes et éléments rubéfiés (ancienne terrasse cultivée) entre 20 et 50 cm ; sol jaune à loess entre 50 cm et 2 m ; des crypto-lapiés entre 2 et 2,50 m de profondeur.

- Interprétation : Les profils étudiés ci-dessus suggèrent l'évolution suivante :

1) une première pédogenèse ferrallitique affecte des altérites sous la haute terrasse quaternaire ;

2) une pédogenèse fersiallitique marque une reconquête végétale sur la terrasse, elle pourrait être antérieure à l'Holocène ;

3) les premières nappes colluviales sont limoneuses et la pédogenèse est fortement influencée par des conditions froides avec des sols loessiques jaunes ; cette période pourrait correspondre au remplissage principal des poljés et aux varves marrons de Dadong ;

DONGHE II

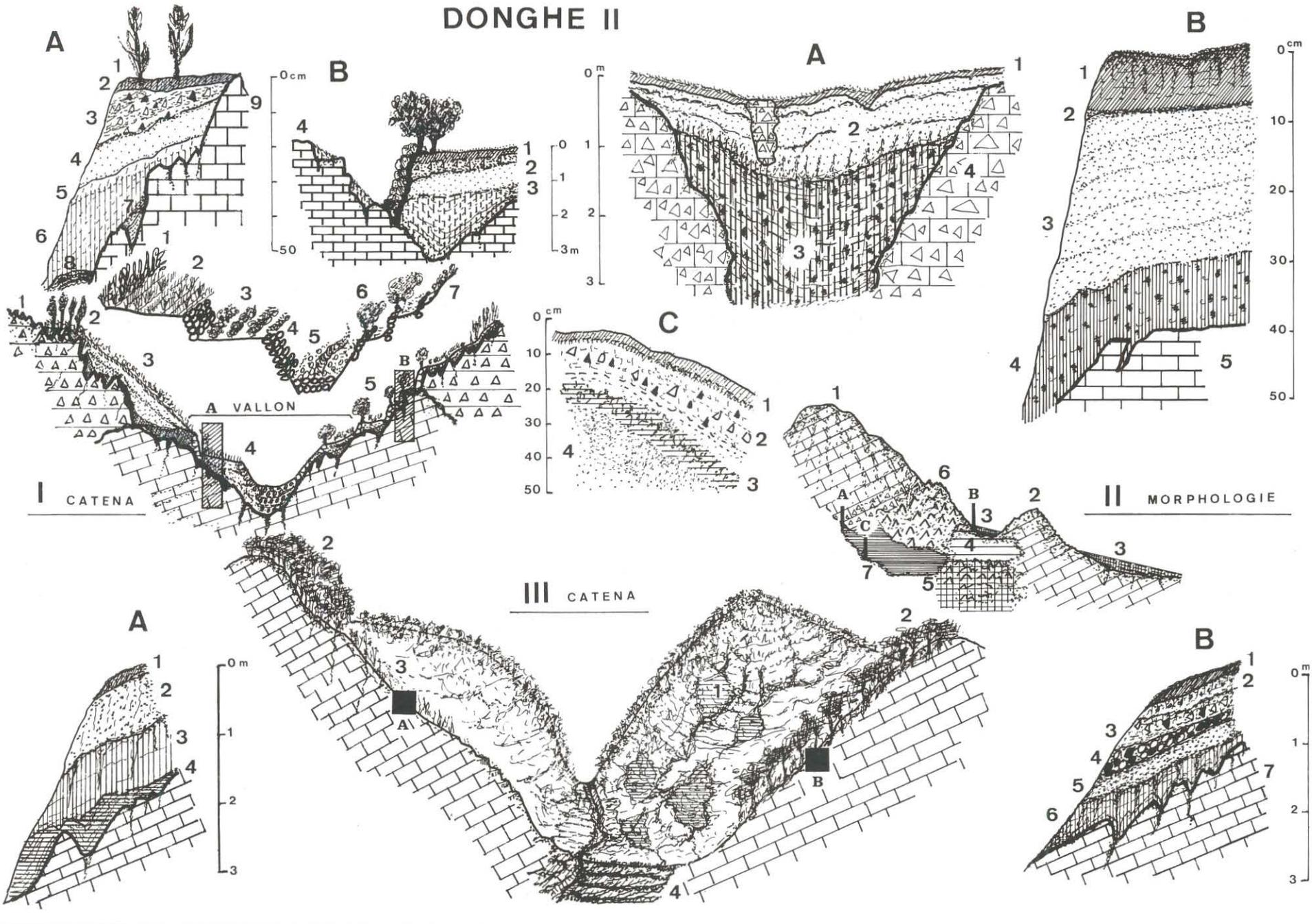


Figure 92 : Les sols des versants en bordure de canyon, région de Donghe (Hefeng).

Soils on the edge of Donghe canyon (Hefeng).

I. Résurgence de Donghe, catena des aménagements. 1 : lapiés ± couverts dans des brèches du Trias. 2 : friches utilisées pour le bois de chauffe (fagots), fougères, Pinus, épineux dont aubépine, Prunus, ronciers et différents feuillus (recrû de 10 ans). 3 : pentes cultivées (petits pois). 4 : vallons aménagés et cultures de légumes et de pommes de terre. 5 : lapiés aménagés et différentes cultures de légumes, de maïs, de tabac ou de thé.

Détail du vallon aménagé au-dessus de l'entrée de Donghe II entre 1 000 et 990 m. 1 : culture de tabac. 2 : blé d'hiver ou radis-rave. 3 : pommes de terre. 4 : murets. 5 : talweg aménagé. 6 : thériers. 7 : légumes.

A. Profil de sol vers 990 m sous culture de maïs au-dessus de l'école (entrée de Donghe). 1 : culture du maïs. 2 : horizon Ah. 3 : horizon A1 clastique. 4 : limons jaunes. 5 : transition avec sol jaune. 6 : paléosol tronqué horizon Bt. 7 : silts indurés d'une cavité recoupée. 8 : croûte ferrugineuse d'un remplissage de paléocavité. 9 : calcaire et crypto-lapiés.

B. Profil de sol de versant vers 1 000 m sous culture de thé au-dessus de l'école (entrée de Donghe). 1 : colluvions limoneuses ± clastiques du versant. 2 : limons jaunes. 3 : argiles ocre-rouge. 4 : lapiés ± couverts

II. Schéma morphologique (vers 1 170 m, perte de Donghe au-dessus du canyon). 1 : cône. 2 : chicot. 3 : aplanissement. 4 : altérites. 5 : lapiés aménagés. 6 : lapiés. 7 : champs.

A. Profil sous friches vers 1 160 m. 1 : horizon Ah limoneux. 2 : horizon Ae (limons et colluvions). 3 : horizon Bt, argiles tachetées ocre-rouge. 4 : brèches du Trias.

B. Profil de sol sous friches vers 1 180 m. 1 : Ah ± humifère. 2 : horizon charbonneux. 3 : horizon Ae limoneux ocre colluvial. 4 : horizon Bt argileux tacheté ocre-rouge. 5 : lapiés couverts par 100 à 150 cm de sol, brèches du Trias.

C. Profil sous cultures de petits pois en bordure des friches vers 1 160 m. 1 : horizon Ah/Ap cultivé limoneux et charbonneux. 2 : horizon Ae colluvial limoneux à éléments rouges rubéfiés. 3 : ancienne terrasse enterrée. 4 : limons et paléosol jaune enterré avec horizon Ah2 enterré (friches de 20 ans).

III. Catena et profils de sol dans un champ de lapiés couverts vers 1 180 m, vallée suspendue aménagée avec murets et versants en friches. 1 : cône avec éboulements. 2 : friches. 3 : maïs. 4 : légumes.

A. Profil dans un champ de maïs. 1 : horizon Ah. 2 : horizon Ae jaune. 3 : horizon Bt rouge ; 4 : crypto-karst.

B. Profil dans les friches. 1 : horizon Ah. 2 : horizon Ae1 et colluvions. 3 : horizon Ae2 et colluvions. 4 : terrasse alluviale. 5 : limons. 6 : argiles rouges. 7 : crypto-karst.

4) les traces d'anciennes terrasses cultivées enterrées se retrouvent dans la partie supérieure des profils, ce qui correspond à des aménagements plus récents (Moyen-Age ou XVIIIème siècle) et aux colluvions supérieures à clastes rubéfiés par le feu ;

5) les horizons Ap enterrés représentent la dernière période d'expansion des cultures de pentes (période Mao). L'abandon récent est marqué par des friches et une reconstitution des horizons humifères dans les friches boisées. Actuellement, du fait de la remise en culture de secteur de pentes, heureusement limitée, on observe une reprise de l'incision dans les talweg et des colluvions localisés à l'aval des secteurs cultivés.

2. Les sols des bordures de canyon, région de Donghe II (résurgence et perte) (fig.92)

- A l'amont de la résurgence, entre 990 et 1 100 m, la catena (I) est complexe et sous la dépendance des systèmes de cultures : tabac en alternance avec des parcelles de blé d'hiver sur les ubacs, légumes ou thé sur les adrets, champs de pommes de terre sur les grandes terrasses et radis-raves sur les talus de terre des grandes terrasses ou des radiers aménagés. Le profil d'adret (fig. 92 I. B), vers 1 000 m, se développe sous des cultures de thé. Il montre sur 80 cm, des colluvions limoneuses plus ou moins clastiques, des limons jaunes et des argiles ocre-rouge. Le profil d'ubac (fig. 92 I. A), vers 990 m sous culture de maïs, est caractérisé sur 50 cm par un horizon Ah, un horizon A1 clastique,

des limons jaunes, une transition avec un sol jaune, un paléosol tronqué à horizon Bt et une cavité recoupée à silts indurés et croûte ferrugineuse sur des crypto-lapiés.

- A l'amont de la perte, entre 1 165 et 1 170 m, les sols sont surtout présents à l'aval des cônes et des chicots sur des replats à altérites et dans les secteurs où les lapiés ne sont pas dégagés. Les champs sont localisés sur des lapiés aménagés. La catena des aménagements (fig. 92. II) sur les lapiés plus ou moins couverts dans des brèches du Trias, est caractérisée à l'amont par des friches utilisées pour le bois de chauffe (fagots), avec des fougères, des pins, des épineux dont de l'aubépine, des pruniers, des ronciers et différents feuillus (recrû de 10 ans). On observe des pentes cultivées (petits pois), des vallons aménagés avec des cultures de légumes et de pommes de terre, enfin des lapiés aménagés avec différentes cultures de légumes, de maïs, de tabac ou de thé.

Les profils sous friches récentes (20 ans environ) sont différents dans la partie supérieure des sols remis en culture depuis la même époque.

- Sous friches (profil II. A), vers 1 160 m, on observe sur 3 m, un horizon Ah limoneux, un horizon Ae à limons et colluvions, un horizon Bt à argiles tachetées ocre-rouge sur des brèches du Trias. Un autre profil sur des brèches du Trias, sous friches vers 1 180 m (profil II. B) montre un horizon Ah plus ou moins humifère, un horizon charbonneux enterré entre 10 et 11 cm, un horizon Ae limoneux ocre colluvial (entre 11 et 40-45 cm), enfin un horizon Bt argileux tacheté ocre-rouge, sur des lapiés couverts de 100 à 150 cm de sol au maximum.

- Sous des cultures de petits pois en bordure des friches, vers 1 160 m (profil II. C), les 50 cm supérieurs montrent un horizon Ah/Ap cultivé limoneux et charbonneux, un horizon Ae colluvial limoneux à éléments rouges rubéfiés, un niveau cultivé enterré, enfin des limons et un paléosol jaune enterré avec horizon Ah2 (entre 20 et 40 cm suivant les coupes), trace d'une friche de 20 ans.

Dans un grand lapiéz couvert d'une vallée adjacente, situé vers 1 180 m, il est possible de faire des observations comparables sur la dynamique entre friches et cultures (maïs et légumes). Les versants en friches montrent les murets d'anciennes terrasses de culture dans une zone alimentée par des éboulements. Sous les friches (profil III. B) un peu plus récentes (environ 15 ans), l'horizon Ah est compris entre 5 et 8 cm et le profil montre deux horizons Ae1 et Ae2 à colluvions (entre 8 et 50 cm), une terrasse alluviale (50-100 cm) sur des limons (100-150 cm) et des argiles rouges sur crypto-karst (150 à 200-300 cm). Dans un champ de maïs (profil III. A), l'horizon Ah est squelettique sur un horizon Ae jaune (0-100 cm) et un horizon Bt rouge sur crypto-karst (100-200 cm).

- **Interprétation** : L'ensemble de ces profils permet de répondre à certaines questions et d'esquisser une évolution. Les coupes donnent des indications sur la vitesse de reconstitution de la matière organique et l'efficacité du colluvionnement agricole. Il est compris entre 20 et 40 cm en 20 ans, soit entre 1 et 2 cm par an (profil II. C). L'importance du colluvionnement dépend de la pente, du type d'aménagement avec ou sans terrasses, mais aussi de la proximité des poches karstiques qui sont un des fournisseurs de matériaux fins. Ainsi, dans certaines coupes, le colluvionnement en limons des poches peut dépasser 80 cm en 15 ans, soit plus de 5 cm/an (profil III. A). La vitesse de reconstitution des horizons organiques est voisine de 10 cm en une vingtaine d'année, soit 0,5 cm/an (profil II. B) ou entre 5 et 8 cm en 15 ans, soit entre 0,3 et 0,5 cm/an (profil III. B). Les profils indiquent une chronologie :

1) Un premier épisode de pédogenèse, brun-rouge à rouge, est antérieur à des nappes épaisses de loess jaune, caractéristiques de climat froid.

2) Les nappes de loess correspondent à un premier grand décapage des lapiés et à la vidange de poches. Cet épisode pourrait dater du début de l'Holocène (corrélation avec la coupe des varves marrons de Dadong ?). Durant cette période la pédogenèse permet le

développement des sols jaunes assez frustes et le couvert végétal devait être très dégradé (effet de la déforestation ou du climat ?).

3) Une terrasse alluviale grossière est postérieure au loess et aux colluvions clastiques ou les limons colluvionnés, contemporains de la mise en valeur de la période Mao et du décapage des versants et des lapiez. Comme ce niveau est suspendu de plus d'une dizaine de mètres au-dessus du talweg actuel, cela suppose ou bien une incision importante du vallon depuis, ou bien un remblaiement plus ou moins contemporain. Ces observations accréditeraient un âge holocène (?) pour cette terrasse fluviale après le fonctionnement du remblaiement principal.

- Les premiers aménagements de lapiez sont antérieurs à la période Mao et certains pourraient dater du XVIII^{ème} siècle (?).

3. Les sols de versants exposés du poljé de Shuishanping

Sur les bordures du poljé de Shuishanping, deux catena de versants ont été étudiées afin de préciser la part des apports pédologiques dans les remplissages du poljé et de mettre en évidence les ruptures enregistrées dans les profils.

- **La catena des versants exposés au nord entre 950 et 750 m** : A proximité du rebord du poljé, les sols présentent des profils tronqués sur des poches, avec des nappes colluviales enterrées et des traces d'anciennes terrasses cultivées. Vers 950 m sur le rebord de poljé, sous culture récente, le profil montre à la base des lapiés, puis des argiles rouges à ocre ferrugineuses, un horizon humifère colluvionné qui se termine par un horizon Ap. Le profil vers 1 000 m est comparable, mais plus complet (4 m), avec à la base, des lapiés dans le calcaire à plaquettes, un horizon Bt tronqué ocre-rouge argileux (entre 150 et 300 cm), deux nappes colluviales (50-80 à 150 cm), un horizon humifère A2h enterré vers 50-80 cm, un horizon A1 colluvial et un horizon Ao-Ah en surface. Le profil vers 1 040 m avant le col, sous friches et sur lapiés, permet de préciser les horizons supérieurs sur 80 cm : à la base un horizon Ae ocre sur un horizon Bt de paléosol tronqué, puis un horizon A2h (ancien paléosol humifère forestier plus ou moins incendié), un horizon A1 d'une ancienne terrasse de culture avec des éléments rubéfiés, enfin un horizon Ah et un horizon Ao à litière.

Ces profils indiquent que les sols ont d'abord fonctionné sur des altérites qui couvrent des crypto-lapiés. Cette pédogenèse était de type ferrallitique ou fersiallitique. Une première troncature affecte les profils, contemporaine d'apports limoneux ocre-rouge ou de nappes colluviales (2 unités). Succède une pédogenèse brun humifère donnant un horizon A2h enterré sous une troisième nappe colluviale qui représente la terrasse cultivée récente (Mao). La période initiale de troncature des profils pourrait être ancienne (holocène s.l. ?). Il est difficile de donner un âge au paléosol brun humifère enterré. Il s'agit d'une période d'abandon des terroirs et de reconquête végétale historique.

Sur les versants opposés au poljé, les profils présentent une grande catena de 980 à 750 m, avec des profils qui s'épaissent à l'aval de 60 cm à 160 cm et montrent plusieurs nappes colluviales ou d'horizons humifères enterrés :

- Le profil vers 980-970 m après le col, sous friches, montre sur 50 cm : un horizon Ao-Ah1 en surface (0-5 cm), un horizon Ah2 (5-15 cm), un horizon A2(p) polyhédrique dans des limons d'une ancienne terrasse de culture (15-40 cm), enfin un horizon ocre Ae et Bt tronqué en profondeur (40 à 50-60 cm).

- Le profil vers 800 m, sous culture, comprend sur 1 m : un horizon Ap en surface, des colluvions A1 (5-35 cm) et A2 avec Ah enterré (35-55 cm), un horizon Ae limoneux (55-80 cm), enfin un horizon rouge Bt tronqué sur calcaires du Trias.

- Le profil vers 750 m, sous friches, est épais de 160 cm, avec un horizon Ao et une litière, un horizon Ah humifère, un horizon A1 h enterré (20-40 cm), deux horizons Ae1 et Ae2 colluviaux (40-60 cm), un horizon Ae limoneux (60-100 cm), enfin un horizon rouge

Bt tronqué (100-140 cm) sur des calcaires à plaquettes (140-160 cm). Les profils suggèrent une évolution comparable à celle des profils précédents, avec cependant des précisions. Un horizon loessique Ae tronque directement le paléosol inférieur et il indique des conditions froides : c'est une période importante de déstabilisation des versants sous couvert végétal réduit. Le paléosol brun humifère est enterré sous au moins deux nappes colluviales, mais il est quelquefois absent. On observe un horizon polyhédrique A2(p) cultivé, enterré vers 30 cm de profondeur, qui correspond quelquefois aux nappes de colluvions. Les nappes de colluvions sont donc liées à une mise en culture qui démarre ici bien avant la période Mao, sans doute le XVIII^{ème} siècle (?). La vitesse du colluvionnement depuis cette période atteint 40 à 60 cm dans les zones cultivées. La reconstitution des horizons humifères pour la même période est voisine de 40 cm.

- **La catena du versant est entre 1 080 et 1 040 m** : Sur le versant est du poljé, on observe de l'amont vers l'aval 6 profils :

1) Le profil I sous friches, entre 1040 et 1050 m indique sur 60 cm une succession Ao-Ah, Ap enterré, limons jaunes et Bt enterré sur calcaires.

2) Le profil II vers 1 050 m est plus épais (140 cm). Il montre Ao, Ah1, Ae limoneux, Ah2 et Bt jaune sur calcaires.

3) Le profil III vers 1 040 m a été étudié sur 130 cm. On observe : un horizon Ah humifère subactuel (0-4 cm) ; une première terrasse cultivée grise fine à charbons de bois (4-32 cm) ; une deuxième terrasse cultivée ocre grossière à charbons de bois (32-58 cm) ; un horizon Bt à argiles limoneuses ocres (58-125 cm).

4) Le profil IV sous friches, vers 1 050 m, présente sur 3 m, Ao, Ah très mince, Ap d'une ancienne terrasse cultivée, Ae limoneux, horizon polyhédrique argilo-limoneux et Bt ocre-jaune sur lapiés.

5) Le profil V sur replat, vers 1 080 m, montre la succession d'un horizon Ao/Ah1 à clastes (0-10 cm), un horizon Ah2 ocre-gris (10-30 cm), un horizon Ap1 enterré ocre-jaune avec des charbons de bois et des particules de sols rubéfiés d'un ancien niveau cultivé (30-35 cm), un horizon Ah3 brun-gris (35-70 cm), un horizon Ap2 ocre-jaune fortement bioturbé avec des éléments rubéfiés rouge d'un ancien niveau cultivé (70-75 à 100 cm) et un horizon Bt ocre-jaune épais (100 à 300 cm) sur crypto-lapiés.

6) Le profil VI, épais de 2 m, vers 2 000 m sur le plateau présente Ah1, Ap1, A2-Ap2 limoneux d'une ancienne terrasse cultivée, Ah2, Ap3 et Bt ocre rouge sur calcaire.

Ces profils mettent en évidence de l'amont à l'aval l'érosion très importante des versants. Le profil I n'a que 50 à 60 cm d'épaisseur totale, alors qu'à l'amont sur le plateau (profils IV et VI) ou dans les dépressions (profil V), les sols sont nettement plus épais. Les rebords du poljé montrent un contrôle ancien des versants avec un aménagement de terrasses enregistré dans le profil III. C'est le cas aussi d'une petite doline très évasée (profil V).

Tous les profils montrent une pédogenèse ancienne avec des horizons Bt tronqués en profondeur, pédogenèse développée sur des limons ocre-jaune épais et qui est attribuable à une période froide et humide (début holocène ?) responsable d'une importante vidange des poches et un décapage des lapiés. Au moins deux terrasses colluviales ou charbonneuses sont enterrées, avec redémarrage de la pédogenèse. La dernière est contemporaine de la période Mao. La première est délicate à corréliser (XVIII^{ème} siècle ou plus ancienne ?). Sur les versants exposés, ces premiers aménagements sont tronqués. Le paléosol de la coupe V, développé sur un premier niveau de terrasse cultivée entre 35 et 70 cm, indique une déprise importante qui est antérieure au dernier siècle et dont l'âge n'est pas précisé. L'histoire agraire de la Chine centrale nous réserve encore bien des surprises !

4. Les sols des bordures du poljé de Yanziping (1 220 m)

- **Description des profils** : Les sols des bordures de poljés aménagés sont très importants pour reconstituer l'histoire des couvertures, surtout s'il s'agit de poljés d'altitude, cas de Yanziping. Deux profils

ont été étudiés sur la bordure sud-est du poljé. Les coupes d'un radier aménagé vers 1 220 m permettent d'étudier des coupes naturelles que les paysans ont aidé à rafraîchir.

La première coupe vers 1 220 m, sous culture de pommes de terre en butte associée au maïs, montre un horizon Ah/Ap1 (0-15 cm), un horizon Ae de limons plus ou moins colluvionnés (15-30 cm), des horizons Bv1-2 vertiques (30-50 cm), un horizon ocre-rouge de transition (50-60 cm), un horizon rouge-jaune (60-70 cm), un horizon brun Bv3 foncé vertique (70-80 cm), enfin un horizon Bt rouge (80-90 cm).

La deuxième coupe vers 1 224 m, 4 m au-dessus du radier aménagé, montre sur une épaisseur de 180 cm la présence de 6 horizons : 1) de 0 à 10 cm, un horizon Ap brun foncé (7,5 YR 4/4) ; 2) de 10 à 40 cm, un horizon Ap2, terrasses de cultures et colluvions ravinant des limons inférieurs ; 3) de 40 à 70 cm, un horizon Ae limons colluviaux brun-jaune (10 YR 5/6) ; 4) de 70 à 100 cm, un horizon Bv1 argileux vertique brun foncé (10 YR 4/3) à brun (10 YR 5/3) ; 5) de 100 à 150 cm, un horizon Bv2 argileux vertique brun à jaune-rouge (5 YR 6/6), ancienne terrasse de culture (?) ; 6) de 160 à 180 cm, un horizon Bt à argiles plastiques ocre-rouge à rouge-jaune (5 YR 5/8).

- **Interprétation** : Les deux coupes permettent de retracer l'évolution suivante de la base au sommet :

1) le développement d'un paléosol fersiallitique sur des altérites de décapage de lapiés est contemporain d'une première phase d'érosion des versants avant la pédogenèse holocène, cette période étant contemporaine d'un concrétionnement dans le réseau de Chushuidong daté U/Th de 6 400 ans (+ 300, - 200) ;

2) les trois terrasses de culture, avec développement de sols bruns vertiques, correspondent à trois périodes historiques de contrôle des versants et de construction de terrasses ;

3) les limons intercalés posent un problème ; s'agit-il de limons colluvionnés et qui attestent un nouveau décapage amont des versants (défrichements du XVIII^{ème} siècle ?) ou bien d'apports turbides liés à l'ennoyage du radier pendant une déprise dans la gestion du système de terrasses aménagées ? Dans les deux cas, il s'agit d'une période importante de fonctionnement antérieure à la période Mao.

4) la terrasse de culture récente sous le sol actuel pourrait représenter la période Mao. Ce niveau est bien représenté par d'épaisse varves à porcelaines et petits charbons de bois datés C14 de moins d'un siècle et antérieur à 1944.

D. LES SOLS DU COMTÉ DE XIANFENG (HUBEI)

...Une mosaïque sol-végétation et l'influence du pâturage

1. La catena à l'amont de la grotte de Laoxiaodong et le système de culture

Dans le secteur de l'entrée de la grotte de Laoxiaodong, vers 1 140 m, le radier d'alimentation est situé à 705 m avec une incision récente de 1,50 m. Le paysage est actuellement utilisé en mosaïques avec un système de friches en rotation (cultures, friches, bûchage pour les fagots et pâturage sous couvert) de 20 à 30 ans au maximum. Il existe un système de pâtures franche sur pelouse et des cultures de pente (tabac, pomme de terre et surtout maïs) ou de bas de pente dans les surfaces inter-cônes, les ouvalas ou les poljés. Entre les cônes situés en altitude, des zones sont souvent utilisées en rizières pour du riz de pluies ou quelquefois en cultures maraîchères, chose encore assez rare.

Les sols sur calcaires permien présentent une gamme de colluvions clastiques sous taillis à végétation mixte avec de nombreux feuillus. La catena schématique vers 1 300-1 200 m, montre : à l'amont, sous couvert forestier de feuillus, un sol brun forestier jaune ; sur les versants, un sol brun à colluvions limoneux (profil III) sous friches avec une mosaïque d'exploitation bûchage / pâturage / lapiés ; des lapiés couverts à sol brun-rouge et colluvions clastiques (profil II) ; un

vallon remblayé à sol brun et convois clastiques (profil I) ; un ravinement récent (2 à 3 m à l'aval et 1 à 1,50 m à l'amont - profil I) ; des mégalapiés et des poches karstiques (profil IV).

2. Les profils

Quatre profils précisent les relations sol-végétation. Sous pelouse rase pâturée à l'entrée de la grotte, on observe la séquence (I) suivante épaisse de 50 cm : horizon compacté, horizon Ah1 à colluvions clastiques de roches permien, horizons Ae/Ah2, horizons moins clastiques, peu humifères et limoneux. Au niveau du radier supérieur de l'entrée de la grotte, une coupe naturelle (II) de 285 cm présente :

- . 0-20 cm, un horizon Ah1 humifère superficiel et mousses, brun-gris très foncé (2,5 Y 3/2) ;
- . 20-40 cm, un horizon Ah2 brun foncé (7,5 YR 4/4), transition avec des colluvions Ah1 et Ah2 ;
- . 40-50 cm, un horizon argileux ± humifère brun foncé (10 YR 4/3) ;
- . 50- 250 cm, des argiles ocres à blocs et clastes, horizon très argileux dans la partie inférieure, avec une transition plus humifère entre 250 et 255 cm ;
- . 255-280 cm, une nappe argileuse moyenne ± ocre ;
- . 280-285 cm, une nappe argileuse inférieure au contact avec les calcaires du Permien.

Le profil III, épais de 1 m, est situé entre 1 160 et 1 200 m, sous couvert forestier (*Pinus*, *Castanus*, ronciers, aubépine, sapins, *Cryptomeria*, rares *Cunninghamia* et pelouse, zone de pâturage de bovins et d'ébranchage). On observe une litière Ao avec aiguilles de *Pinus*, un horizon Ah-A1 humifère plus ou moins clastique, brun-gris très foncé (2,5 Y 3/2), des limons argileux jaune à clastes et une transition avec un horizon ocre argilo-limoneux et quelquefois clastique (éléments de roche permienne), des argiles limoneuses ocre à brun vif (7,5 YR 5/6), des argiles ocre-rouge issues d'une poche dans des calcaires de la base du Permien inférieur (contact entre Permien calcaire et Permien détritique).

Situé sous une forêt de recrû de 20 ans à résineux (ancienne zone de bûchage et de pâture), près des lapiés à l'amont de la grotte (abandon de l'exploitation des nitrates), le profil IV sur 40 cm montre une succession d'horizons Ao (litière et mousses), Ah charbonneux, A1 colluvial, A2 brun limoneux, A3 brun vif argilo-limoneux et Bt rouge tronqué sur calcaire détritique altéré.

3. Interprétation

Les horizons pédologiques, sur 80 cm à 1 m, indiquent une succession complexe d'horizons : Ah1 incendié, brun-gris très foncé (2,5 Y 3/2), Ah2 brun foncé (7,5 YR 4/4), A2 colluvial brun foncé (10 YR 4/3), A3 colluvial, Ae limoneux plus ou moins clastique jaune à brun vif (7,5 YR 5/6), Bt argileux brun-rouge sur niveaux argileux des poches. Les nappes argileuses de la base des profils marquent le fonctionnement de plusieurs étapes de soutirage des poches.

Une première phase de décapage des lapiés et un nettoyage sur les versants est marquée par des apports en clastes gris-noir du Permien. Il s'agit sans doute d'une période de déforestation, peut-être au début de l'Holocène en raison de l'incorporation des loess dans les horizons. Il est probable qu'au début de la phase initiale de décapage des sols à l'amont des versants, les altérites aient été mobilisées et incorporées aux profils. Cependant les profils observés sont très limoneux et souvent assez humifères, preuve d'une reconquête végétale plus récente. Une reconquête végétale sur ces colluvions clastiques a permis le développement de nouveaux profils avant une incision récente. Les trois nappes colluviales supérieures sont autant de période de crises des versants antérieures à la déstabilisation de la période maoïste.

III . Les remplissages de poljés : enregistreurs des crises sociales et climatiques

Les grands poljés d'altitude, caractéristiques des karsts de Chine centrale, sont des zones-clés pour l'étude des paléoclimats et de la naissance de l'agriculture. Remarquables pièges à sédiments, ils ont enregistré les périodes d'érosion des sols, avec bouchage des réseaux, inondation et décantation et les périodes d'incision et de vidange. Ils renseignent sur la dynamique des versants et sur le fonctionnement du karst souterrain : ce sont en effet les relais de stockage des matériaux entre les sols et les remplissages endokarstiques. Ces différentes périodes sont enregistrées par des cycles de varves d'inondation-décantation ou des terrasses d'érosion.

Comme les poljés fonctionnent en régime fluvio-karstique, avec des bassins-versants bien délimités, il est possible d'évaluer des volumes et des taux de sédimentation. Ils représentent ainsi des sédimentomètres et des impluviomètres en relation avec les crises climatiques et sociales. Quatre poljés ont été bien étudiés, dont deux du comté de Hefeng sont retenus ici :

1) Datangmi pour sa connexion avec le grand réseau souterrain de Yanziping, sa morphologie bien délimitée qui a permis le calculs de volumes de remplissages, l'épaisseur de ses dépôts (plus de 30 m) et l'intérêt des lamines saisonnières d'inondation ;

2) Shuishanping, connecté au réseau de Datankeng, pour les emboîtements de dépôts caractéristiques de belles coupes naturelles (24 m).

A. L'EXEMPLE DU POLJÉ DE DATANGMI (HEFENG, HUBEI)

Le poljé de Datangmi appartient à un grand chapelet de dépressions karstiques et de poljés (Qinghu, Zhongmi, Datangmi, Yanziping, etc.) axés sur le synclinal de Yanziping-Hefeng. Le poljé est traversé par la rivière de Datanghe depuis la résurgence de Chushuidong jusqu'à la perte de Mishuidong. (photo 72)

1. Description des coupes (fig. 93)

Le poljé est entaillé dans les calcaires bréchoïdes du Trias altéré en sidérite (lame 39/B). Sa morphologie montre une forme lobée de 1 230 m environ dans son grand axe et une surface d'environ 49 ha. Un levé topographique a permis de préciser quelques cotes d'altitude et l'étude des coupes naturelles. Le poljé est drainé par la rivière de Datanghe et un petit affluent à écoulement intermittent dans sa partie sud-est. (fig.93 I et II)

Les coupes étudiées dans le poljé permettent de préciser la nature et la morphologie du remplissage (II et III). Le poljé est rempli de sédiments jusqu'à une altitude de 1 221 m à l'amont et de 1 205 m à l'aval, sur les bordures. Le fond du poljé est situé entre 1 217 et 1 168,4 m dans le talweg, altitudes respectives de la résurgence et de la perte. Les cotes d'altitude maximale du remplissage au-dessus du talweg sont variables entre 48 et 36 m. L'épaisseur moyenne du remplissage est de 36 m, ce qui représenterait pour le remplissage principal argileux environ 17 millions de m³ de sédiments fins (9 millions de m³ sur la base d'une épaisseur minimale de 20 m), en supposant la morphologie du fond de poljé plane. On ne connaît pas l'épaisseur des terrasses alluviales à la base des formations fines. Les remplissages fins sont entaillés par la rivière sur une profondeur de 6 à 28 m et on observe au moins deux grands niveaux d'entailles supérieures, observables surtout dans la partie centrale et méridionale du poljé, replats utilisées en terrasse de culture.

Plusieurs coupes morphologiques naturelles permettent des observations de l'amont vers l'aval. (III et photo 73)

- Le profil CC' montre une incision du talweg de 12,50 m avec un premier replat vers + 15-16 m et un autre sommital vers + 35 m. Le profil BB' montre une incision plus faible du talweg de 4 m et des replats vers + 4-6m, + 8 m et + 20 m. Le profil AA' montre une incision de 6 m et des replats vers + 12 m, + 18 m et + 30 m environ.

- Le profil DD', dans la partie centrale, montre un grand remplissage de limons terrigènes marrons dans lesquels sont emboîtés des limons ocres épais de 10-15 m sur une largeur de 250 m. Un grand chenal de 100 m de large réentaille ces limons ocres et les talus sont aménagés en terrasses avec des pans glissés en bordure du talweg profond de 3 à 4 m.

- Le profil FF', situé dans la partie sud près de la perte, montre à la base une terrasse fluviale ancienne à galets et blocs entaillée par le talweg (0 à 4 m) avec un niveau de terrasse alluviale emboîtée récente vers + 1-2 m ; un remplissage argileux principal marron aménagé en terrasses de culture avec de nombreux glissements de versants (4-22 m) ; un remplissage limoneux ocre (22-26 m).

- Le profil EE' permet de préciser la stratigraphie et les emboîtements des quatre formations observées : 1) terrasse alluviale grossière inférieure, 2) remblaiement principal argileux à varves marrons sapé par l'affluent de la rivière Datanghe, 3) remplissage limoneux ocre supérieur, (4) basse terrasse caillouteuse récente.

2. Analyse micromorphologique et fonctionnement du remplissage principal

Une coupe du remplissage principal, à 100 m au nord-est du ponor de Mishuidong, a été échantillonnée au niveau du radier actuel de l'affluent rive gauche. De bas en haut, sur une épaisseur de 6 m, on observe plusieurs unités et séquences (fig.93-IV) :

1) Entre 600 et 460 cm, une terrasse alluviale de base montre des galets plus ou moins altérés de calcaires du Trias et des fragments de schistes.

2) Entre 460 m et 440 cm, au contact avec la terrasse, se développe un horizon hydromorphe verdâtre, riche en niveaux à charbons de bois. Sur lame (éch. 41 C 4/2 - lame 24169, 457-460 cm), il montre des sédiments versicolores à granules d'argiles ferrugineuses. La masse de fond silto-argileuse est composée de quartz fins, d'éléments de sols argileux rouges et humo-ferrugineux abondants, de rares grains de bauxite, quelques graviers de Trias, des fragments de schistes ligniteux, des grands quartz et des microgrès. Le plasma est composé d'argiles noyant des éléments phylliteux altérés. Les particules charbonneuses sont abondantes et on observe des pigments bactériens et de véritables cocons de colonies bactériennes ferrugineuses. Dans certains cas, ces amas sont organisés en colonies circulaires autour de restes charbonneux ayant servi de nutriment. On n'observe pas de lamines visibles.

Une lame mince de grande dimension (lame 24 168 - éch. 41 C4/1 - 450-457 cm) montre une composition identique et confirme la part des altérites non calcaires dans le sédiment (schistes altérés, quartzites schisteuses, "shales", microgrès, microquartzite). Le sédiment remanie de gros débris de remplissages plus anciens (varves silteuses contenant des tests algaires). Dans le plasma argileux et silteux fin, on observe un assemblage argileux en latte (motif de biréfringence) qui indique une décantation calme et rapide avec une orientation planaire des particules micacées fines. On note des granules de fer, de très petits cristaux de pyrite, des cristaux automorphes verts (chlorite ?) et des particules de matière organique mélanisée. Le sédiment montre une pigmentation ferrobactérienne, des colonies en amas avec un corona à hématite, des tests de dinoflagellées, des spores et quelques pollens. Les charbons millimétriques appartenant à des troncs sont abondants et ils ont servi de nids aux colonies bactériennes.

3) Entre 440 m et 380 cm, un horizon prismatique, très argileux dans une unité de varves rouges, montre au sommet un ancien vertisol et à la base une plinthite. L'horizon versicolore à granule de fer marque une transition vers 400-420 cm de profondeur. Il montre au sommet (éch. 41 C 3-4 - lame 24167 - 412-420 cm) de nombreux et gros charbons de bois (de troncs) (photo 75) et à la base de



Photo 72 : Résurgence de Chushuidong et rivière Datanghe traversant le poljé de Datangmi et recoupant un système complexe de remplissages épais de 40 m à certains endroits.
The Datangmi polje (and the resurgence of Chushuidong) is covered by a thick blanket of laminated thin sediments.

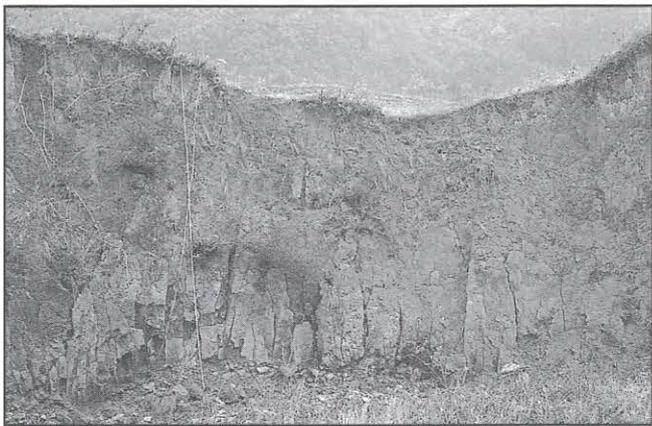


Photo 73 : Le remplissage principal d'argiles varvées (prismes verticaux) repose sur une basse terrasse (galets). Il atteste un fonctionnement initial en conditions froides. Des niveaux d'inondation sont bien marqués par des marbrures d'hydromorphie dans la coupe visible ici sur 6 m.
An old pebble terrace (at the bottom) is covered by a thick loamed deposit.



Photo 75 : Les particules charbonneuses s'intensifient et diminuent en taille ; elles sont mélangées aux séquences rythmées de produits d'érosion qui transitent sur les versants. Ech. 41/C3, lame 24 167, lum. pol. non analysée, obj. 2,5 x 3,2. échelle 1 cm = 523 μ
Little charcoals (thin section) in the middle of the thick laminated deposit.

LES REPLISSAGES ANTERIEURS AU "DRYAS RECENT" DU POLJÉ DE DATANGMI (Hefeng, Hubei)

Les poljés montagnards sont des pièges à sédiments et des enregistreurs de l'histoire rurale. Refuge des minorités Tujia, ils ont enregistré les modifications climatiques et sociales de l'environnement, en particulier les ruptures dans l'équilibre du milieu karstique. La sédimentation dans les poljés, qui commande celle des cavités, dépend de la pluviométrie, de la dimension du bassin versant, du taux de couverture végétale et pédologique, etc. Les remplissages réagissent aussi aux paramètres climatiques généraux, avec une augmentation du taux de sédimentation durant les périodes humides et une diminution pendant les périodes froides. Par comparaison avec la séquence souterraine des varves rouges de Dadong (sans influence humaine), on observe une augmentation du taux de sédimentation dans la partie supérieure des remplissages, lorsque l'action de l'homme devient prépondérante. La composante anthropique accélère ou contrarie la tendance climatique, suivant qu'on se situe en période à fort ou à faible taux de sédimentation. (clichés et analyses des lames minces Simon Pomel)

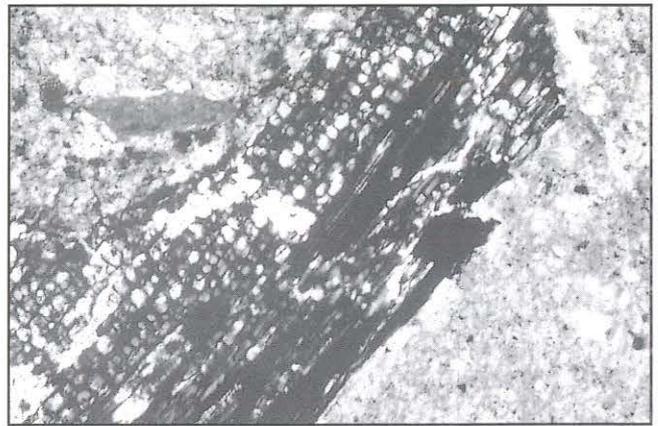


Photo 74 : Dès le début du remplissage du poljé, des charbons de bois sont mélangés aux produits d'érosion des sols. Ech. 41/C4 (1), lame 24 168, lum. pol. non analysée, obj. 10 x 3,2 . échelle 1 cm = 131 μ
Charcoal (on thin section) at the bottom of the thick laminated deposit.

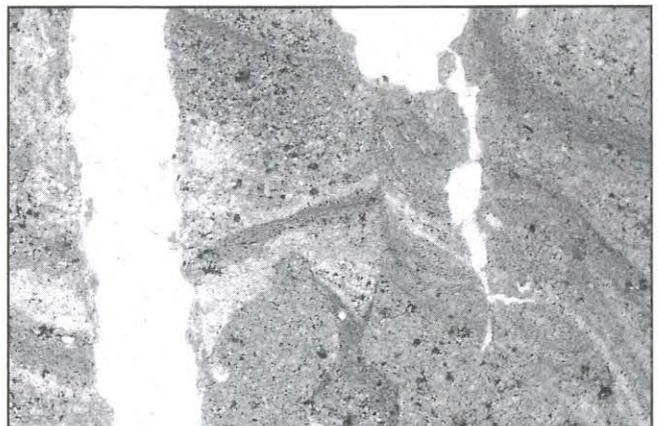


Photo 76 : Dans la partie supérieure du dépôt varvé de Datangmi, on observe des coiffes microstriées et fragmentées dans des argiles et des limons riches en quartz, indicateurs de conditions très froides (sans doute l'équivalent du "Dryas récent" vers 10 000 ans BP). Ech. 41/C1, lame 24 165, lum. pol. non analysée, obj. 2,5 x 3,2. échelle 1 cm = 523 μ
Marks of periglacial conditions on the top of the laminated deposit.

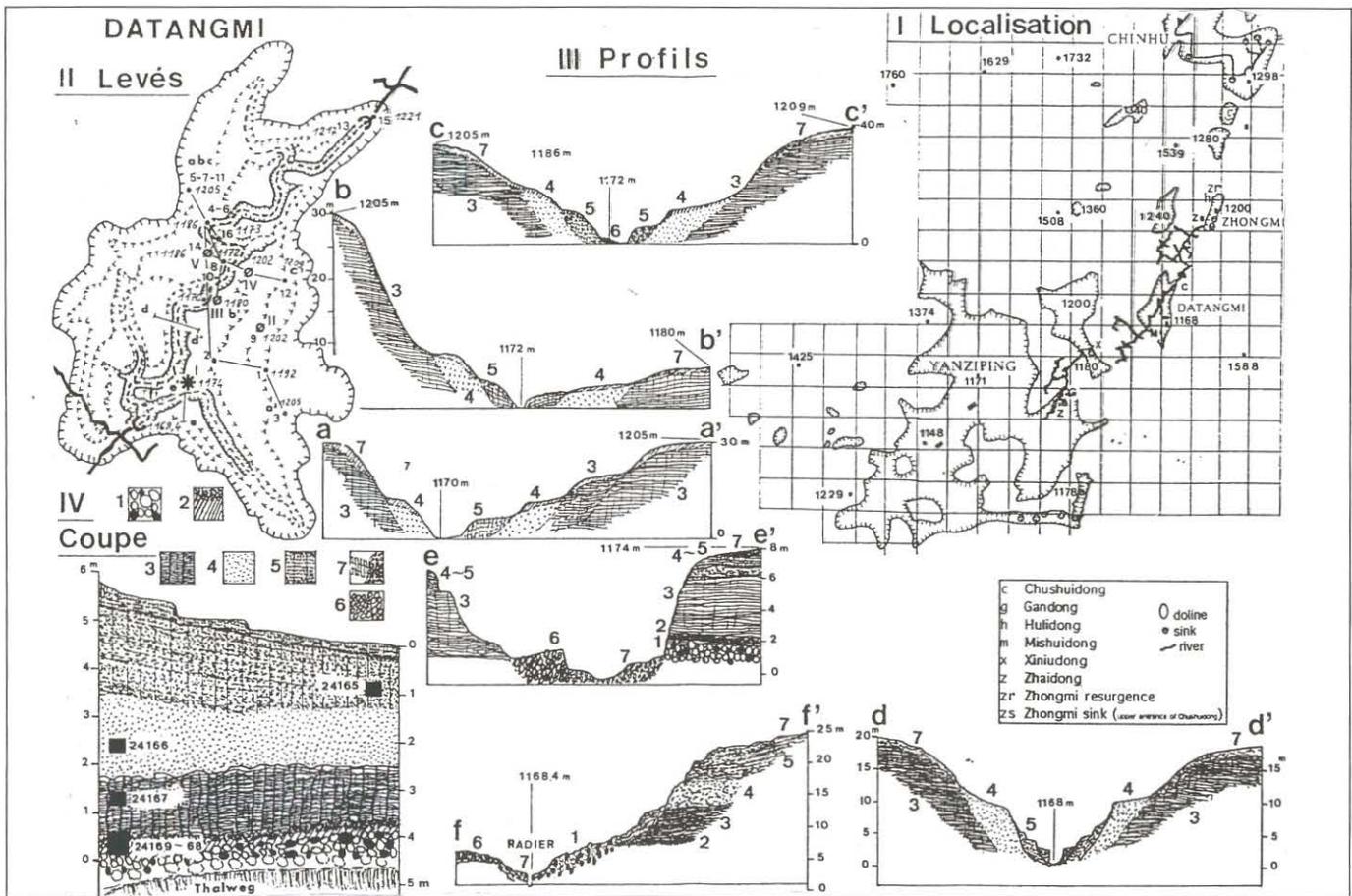


Figure 93 : Les remplissages du poljé de Datangmi (zone de Yanziping, Hefeng).

The deposits of Datangmi polje (Yanziping area, Hefeng).

I. Localisation des poljés de Qinghu, Datangmi et Yanziping.

II. Morphologie du poljé de Datangmi, localisation des levés topographiques et de la coupe étudiée. I-II-III-IV-V : stations de visées. 1 à 15 : visées à la règle de 2 m ; localisation des coupes topographiques aa', bb', cc', dd', ee' et ff' ; * : localisation de la coupe étudiée.

III. Profils topographiques et morphologiques levés dans le poljé de Datangmi.

IV. Coupe du remplissage principal à 100 m au NE du ponor de Mishuidong, au niveau du radier actuel d'un affluent rive gauche et localisation des échantillons. 1 : terrasse alluviale caillouteuse à galets \pm altérés. 2 : horizon hydromorphe verdâtre et contact avec la terrasse, niveaux à charbons de bois (éch. 41 C 4 - lames 24 169 et 24 168, 440-460 cm). 3 : horizon prismatique très argileux dans une unité de varves rouges, avec au sommet un paléovertilsol et à la base une plinthise, horizon versicolore à granules de fer (éch. 41 C 3/4 - lame 24 167, 400-420 cm). 4 : unité de varves ocreuses limoneuses (éch. 41 C 2 - lames 24 166 et 24 166 bis, 300-320 cm). 5 : unité argilo-limoneuse à passées \pm colluvionnées, ocre à gris, à varves discrètes ocreuses (éch. 41 C 1 - lame 24 165, 80-100 cm). 6 : localement basse terrasse grossière (+ 1 m). 7 : terrasses cultivées à horizons Ap enterrés et loess colluviaux, localement radier et terrasse de débordement actuelle.

nombreuses traces d'hydromorphie avec du fer bactérien et un litage très frustré des silts fins. Le squelette est composé d'éléments variés : schistes cristallins, phyllades (?), grains de sols rouges, quartz, chlorite et de nombreuses particules fines de charbon de bois et de matière organique mélanisée. Les argiles ont des motifs de biréfringence en microlattes en château de cartes et seules les grandes paillettes de mica sont orientées, ce qui atteste une énergie (ou une thermocline) dans le milieu de dépôt. Le fer semble avoir migré dans le profil après le dépôt et on observe une légère dissolution.

4) Entre 380 et 100 cm, une grande unité homogène de varves ocreuses limoneuses montre une porosité vésiculaire de dégazage dans la moitié supérieure vers 315 cm (éch. 41 C 2 - lame 24166 - 310-320 cm) avec des pollens, des spores, des éléments reproducteurs d'algues, des charbons de bois grands ou plus fins et des pigments bactériens. A la base, vers 317-318 cm, on observe une zonation liée à l'hydromorphie et de grandes fissures dans les 2/3 inférieurs (entre 313 et 320 cm). La partie supérieure entre 310 et 317 cm montre des lamines de silts avec particules charbonneuses et vers 315-317 cm un léger granoclassement (éch. 41 C 2 - lame 24166 bis). Les quartz sont très fins, \pm homométriques et d'origine hydroéolienne. Ils sont granoclassés avec une orientation des particules charbonneuses et

argileuses. On observe de nombreuses particules d'érosion des sols rouges souvent en nodules. Le captage de pollens assez fréquents (x 500) témoigne de l'extension du plan d'eau, comme l'assemblage argileux en lattes qui devient plus planaire. On observe également des invaginations \pm horizontales de colloïdes ferrugineux qui attestent un fonctionnement hydromorphique, avec des auréoles de fer turbide et des corona ferrobactériens. On peut identifier deux types d'algues rouges et bleues (chlorophycées et cyanophycées) et des charophytes (?). Elles attestent un développement notable du plan d'eau durant cette période.

5) Dans la partie supérieure, entre 100 et 25/50 cm, une couche argilo-limoneuse, présente des passées \pm colluvionnées, ocre à gris, et des varves discrètes ocreuses. Entre 80 et 100 cm, l'unité homogène à varves ocreuses (éch. 41 C 1 - lame 24165, 90-100 cm) montre des assemblages silto-squelettiques avec des lits de quartz fins et des grains d'argiles ferrugineuses et de nombreuses tâches brunes (matière organique), ocreuses (fer avec des amas ferrobactériens) ou très sombres (manganèse). La porosité alvéolaire est liée au dégazage et la porosité fissurale à la dessiccation dans un plasma argileux encore plus orienté et planaire. Le fait marquant qui semble légèrement postérieur à la sédimentation est la présence de fentes en coin liées

au gel. Elles sont remplies de coiffes microlitées (squelettes de quartz fins purs) qui sont intégrées au plasma général (**photo 76**). On peut donc affirmer qu'à ce niveau terminal de la sédimentation, nous sommes en conditions très froides. On n'observe pas d'algues bleues, ce qui attesterait une diminution de la profondeur du plan d'eau.

6) La séquence s'achève, entre 25/50 cm et 0, par des terrasses cultivées à horizons Ap enterrés et loess colluviaux. L'ensemble de la séquence est raviné par des remplissages gris et des terrasses plus récents.

3. Le rôle de l'homme dans l'érosion des sols avant le Dryas récent

L'ensemble du remplissage étudié est antérieur à une période froide et très humide. Mais le système de lamines est peu clair et il est difficile de donner des indications sur la saisonnalité. Comme cet épisode est antérieur au concrétionnement du réseau de Chushuidong daté U/Th à 6 400 ans (+ 300, - 200), il pourrait caler la phase du Dryas récent pour la partie supérieure. Il atteste en tout cas les traces d'une couverture forestière arborée régulièrement exploitée et incendiée. Sa destruction précoce pour les besoins d'une agriculture sur brûlis déstabilise les versants et engendre une crise importante se traduisant par une sédimentation dans le poljé. Celui-ci fonctionne comme un impluvio-sédimentomètre durant une période sans doute assez courte : les rares lamines mesurables donnent des taux de 2 à 3 cm/an, ce qui représenterait moins de 8 000 ans d'enregistrement sur une moyenne de 20 m, mais sans doute moins. Les calculs effectués sur lamines donnent la fourchette de 9 000-9 500 à 16 000-17 000 ans pour l'ensemble principal.

Durant cette période, plusieurs oscillations du plan d'eau sont enregistrées, en particulier une remontée notable vers 315 cm et une diminution vers 90 cm. L'étude future en continu d'une séquence de 20 m devrait permettre de préciser l'âge, le fonctionnement limnique (étude des caroténoïdes) et l'environnement végétal (macrorestes et pollens).

B. L'EXEMPLE DU POLJÉ DE SHUISHANPING (HEFENG, HUBEI)

Le poljé de Shuishanping est situé à 5 km au NNE de Hefeng, vers 900 m d'altitude, près du gouffre perte de Datiankeng. La coupe géologique NW-SE montre que le poljé est localisé sur le revers d'un grand synclinal redressé à plus de 50° dans des calcaires dolomitiques du Trias inférieur. Il s'agit de calcaires à plaquettes, micritiques gris avec des microfilons de sparites et de microsparites (lame 51/E).

Le poljé de Shuishanping est drainé dans la partie sud-ouest par un ruisseau dévié vers un canal d'irrigation (**photo 77**) depuis la résurgence de Shuishanping (915 m). Sa bordure orientale est drainée par une rivière venue du nord, jusqu'à la grande perte de Datiankeng (900 m). La morphologie schématique du poljé de Shuishanping, vue en direction de N 335°, depuis 1 000 m montre un karst conique dans le calcaire des bordures du poljé (1 250 m), un canyon à l'est avec une entaille de 20 à 22 m de profondeur, enfin un système de drainage de rizières et de champs cultivés dans la partie occidentale et centrale. Dans l'axe de l'incision principale de la partie est du poljé, on observe les systèmes de terrasses et de remplissages (**photo 78**). Les terrasses de crues torrentielles annuelles en période de mousson dépassent + 2 m. Des terrasses de + 8 à + 10 m sont emboîtées dans un remplissage principal argileux (+ 18 m à + 24 m). (**fig 94 A, B, C, D**)

1. Micromorphologie et fonctionnement

Une coupe du remplissage principal a été étudiée et échantillonnée au fond du talweg vers 900 m. Elle présente, de la base au sommet, une coupe naturelle épaisse de 24 m.

1) L'unité principale de base, de 10 m de puissance, montre des varves grises argileuses de décantation de crue, à lits de graviers de composition variée, des lits de clastes noirs et de charbon de bois liés à l'érosion d'horizons Ah de sols.

Vers - 22 m, les varves grises sous le premier niveau de graviers sont formées de quartz (certains de grande taille et corrodés), dans un plasma argilo-silteux squelettique (éch. 51 A - lame 24 170). Le squelette est composé de microquartzites, d'éléments de remplissages anciens remaniés, microlités et quartzeux, de roche schisto-ligniteuse, de calcaires micritiques altérés du Trias. La masse de fond est composée de quartz, d'éléments grisâtres (micro-shales) et de nombreux cristaux de chlorite (?). Le plasma argileux est composé d'argiles rouges orientées face/face ou d'argiles fibreuses orientées bord/face ou polyorientées. La masse argileuse claire a des pigments ocres ou noirs (x 500), bactériens ou organiques. On observe aussi des algues filamenteuses noires et rouges (**photo 79**).

Vers - 20 m, des varves fines gris-marrons sont situées sous le deuxième niveau de graviers à clastes noirs (éch. 51 B - lame 24 171). Elles montrent une masse de fond argileuse, marron-rouge, à pigments organiques (x 500) et motifs de biréfringence plus ou moins orientés. Des fissures sont remplies de microquartzites et de silicites. Le squelette est formé de dolomicrite grise, de charbon ligniteux, de matière organique mélanisée, de petits fragments de Cambrien rouge, de cristaux verts (chlorite?) et de grains de quartzites altérés. La partie inférieure est microlitée avec des graviers, des quartz roulés et des petits charbons de bois. Le plasma argileux, microorienté, avec des fissures horizontales de dessiccation, contient des algues brunes et bleues, et à partir de - 5 cm des argiles rouges ferrobactériennes. Dans la partie moyenne, on observe des microcutanes d'argiles ferrugineuses. Dans les trois premiers centimètres, on note une concentration de cutanes d'argiles avec des pellicules charbonneuses, ce qui dénote une évolution à l'air libre et donc signale vers 19,97 m de profondeur un paléosol enterré dans le dépôt. Dans la partie terminale, les gros éléments charbonneux ou mélanisés et les pigments noirs sont notables. Un remplissage microlité dans les 4 cm supérieurs ravine la partie centrale. Il est typique de coiffes microstriées, caractéristiques des sols gelés, avec une alternance de quartz et de particules organiques (éch. 51 B - lame 24 171 bis).

Vers - 12 m, des varves grises sont localisées sous une terrasse grossière. On observe (éch. 51 C - lame 24 172) des varves grises à passées de quartz plus claires et des auréoles d'hydromorphie soulignant les passages quartzeux plus grossiers. Dans la partie inférieure, de grands tests d'algues rouges, avec de nombreux pigments bactériens noirs des dinoflagellées (**photo 80**) et de belles colonies ferrobactériennes (**photo 81**). Les lamines sont organisées par les ferrobactéries. Le système de lamine vers - 4 cm montre à la base une lamine détritique de saison d'inondation, puis des lamines algo-bactériennes condensées, dans un milieu oxygénant où l'activité photosynthétique est possible. Le passage d'organisations ponctuées et des organisations filamenteuses se situe vers - 3,5 cm. Le problème de la saisonnalité est posé par cette organisation : d'une part un changement dans la chimie et sans doute la profondeur du plan d'eau, d'autre part un probable réchauffement et une saisonnalité déjà organisée par la mousson d'été.

2) Entre - 12 et - 10,50 m, une unité intermédiaire est formée par une terrasse torrentielle grossière de 1 à 1,50 m de puissance.

3) Entre - 10,50 et - 0,50 m, une unité supérieure épaisse de 10 m est constituée de varves colluviales ocres limono-argileuses à limoneuses fines, avec des horizons loessiques intercalés. Les sols actuels à horizon Ap, épais de 50 cm, terminent la séquence. Enfin, la terrasse grossière subactuelle présente un emboîtement de 1 m.

2. Le rôle du climat et de l'homme dans l'érosion des sols

A - 22 m, la séquence démarre durant une période très froide qui pourrait correspondre chronologiquement à la base de la coupe des varves marrons de Dadong datée C¹⁴ de 19 000 ans environ. Cependant, comme elle enregistre très tôt une oscillation climatique froide, elle est sans doute plus récente. Sur la base d'une vitesse de sédimentation calculée sur les lamines, la séquence totale du remplissage principal serait comprise entre 9 000-9 500 et 15 000-16 000 ans.

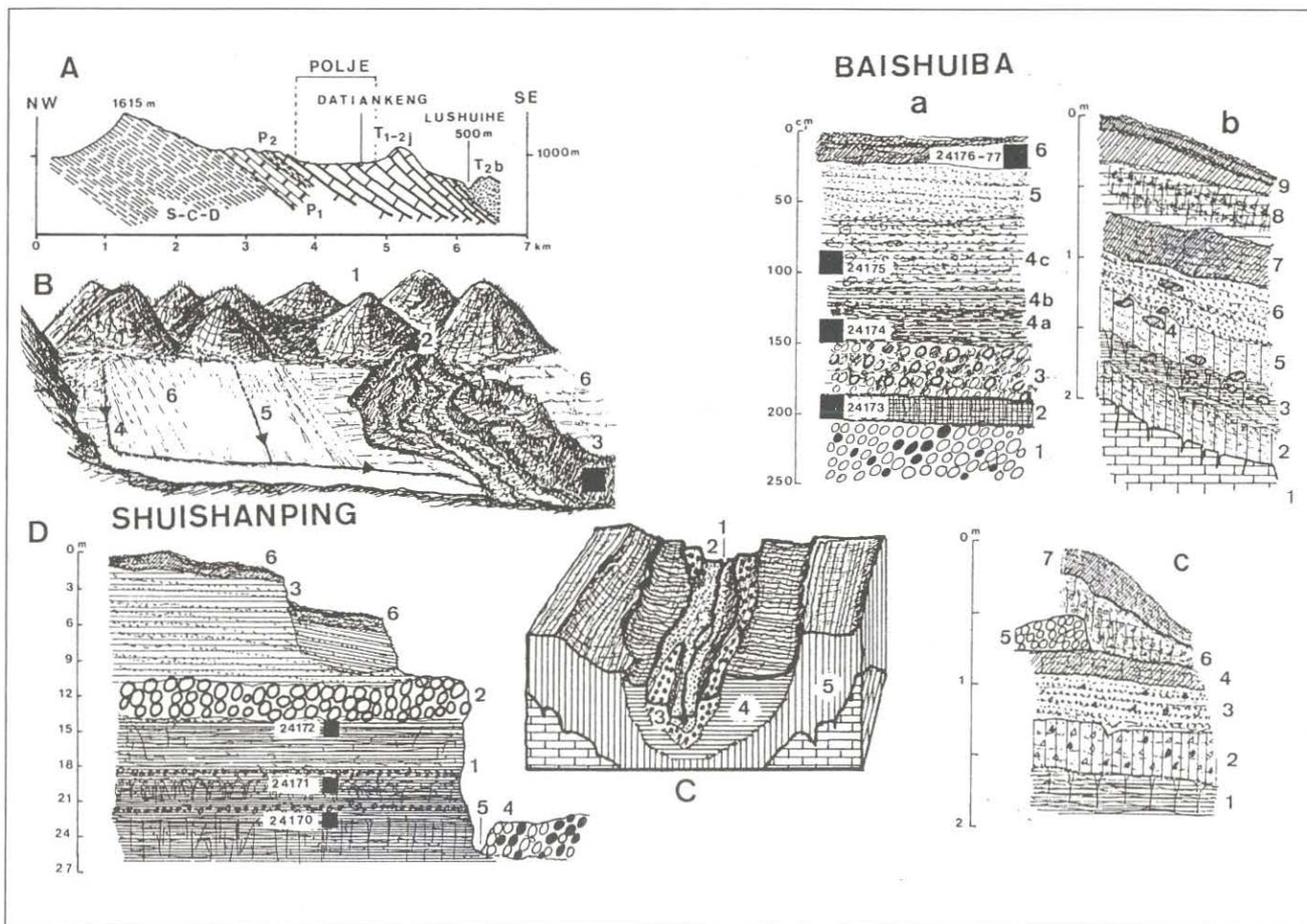


Figure 94 : Les remplissages des poljés de Shuishanping (Hefeng) et Baishuiba (Xianfeng).

The deposits of Shuishanping (Hefeng) and Baishuiba (Xianfeng) poljes.

A, B, C, D : zone de Shuishanping - Datiankeng.

A. Coupe géologique du poljé de Shuishanping (5 km au nord de Hefeng).

B. Morphologie schématique du poljé de Shuishanping, vue en direction de N335° vers 1000 m. 1 : karst conique. 2 : canyon. 3 : ravinement entre 20 et 22 m ; 4-5 : drainage ; 6 : rizières et champs cultivés.

C. Bloc-diagramme des systèmes de terrasses et de remplissages du poljé dans l'axe de l'incision principale. 1 : écoulement actuel ± torrentiel. 2 : lit actuel à galets et blocs. 3 : terrasses de crues annuelles en période de mousson (+ 2 m). 4 : terrasses + 8 à + 10 m. 5 : remplissage principal du poljé (+ 18 à + 24 m).

D. Coupe du remplissage du poljé au fond du talweg vers 900 m et échantillons étudiés. 1 : unité principale de base (8 à 10 m), varves grises argileuses de décantation de crues, à lits de graviers, avec des lits de clastes noirs et de charbons de bois liés à l'érosion d'horizons Ah. Varves grises sous 1er niveau de graviers (éch. 51 A - lames 24 170 et 24 170 bis). Varves grises fines sous 2ème niveau de graviers à clastes noirs (éch. 51 B - lames 24 171 et 24 171 bis). Varves grises sous terrasse grossière (éch. 51 C - lames 24 172). 2 : unité intermédiaire d'une terrasse torrentielle grossière (1 m à 1,50 m). 3 : unité supérieure (10 m), varves colluviales ocre limono-argileuses avec des horizons loessiques intercalés. 4 : terrasse grossière subactuelle. 5 : talweg. 6 : sols actuels à horizons Ap enterrés des terrasses de culture.

a, b, c : zone de Baishuiba.

a. Coupe du remplissage au niveau du lit de la rivière de la résurgence de Bailongdong (amont perte, vers 690 m). 1 : terrasse fluviale à galets. 2 : niveau hydromorphe Bh dans remplissage argileux gris (éch. 57 A - lame 24 173 entre 190 et 200 cm). 3 : terrasse grossière à graviers oxydés avec horizons versicolores de battance de nappe. 4 : remplissage principal argilo-limoneux et varves. 4a : à la base, niveau verdâtre à bleu argileux (éch. 57 B - lame 24 174, transition argiles gris-bleu à argiles gris-ocre entre 150-136 cm). 4 b : argiles limoneuses gris-ocre ± humides. 4 c : limons argileux plus ocres avec passées rouges ± rubéfiées (éch. 57 C - lame 24 175, transition argiles limoneuses grises à argiles ocres à charbons de bois entre 100-96 cm). 5 : limons gris cendrés à charbons de bois (éch. 57 D - lame 24 176, transition niveau supérieur Ah et argiles du remplissage vers - 15 cm). 6 : horizon Ah des terrasses de rizières (éch. 57 D bis - lame 24 177 entre 0 et 15 cm).

b. Coupe amont rive gauche vers 715 m. 1 : calcaire à plaquettes du Permien. 2 : nappe I de colluvions limono-argileuses ocres. 3 : remplissages argileux gris. 4 : galets ± roulés. 5 : nappe II de colluvions limoneuses ocre-jaune. 6 : nappe III de colluvions limono-sableux supérieurs ocre de versants. 7 : horizon Ah2 gris-noir ± colluvial d'un sol brun forestier enterré. 8 : ancienne terrasse cultivée ocre à éléments rubéfiés. 9 : horizon Ah1 ± colluvial gris-noir. horizon Ah / Ao.

c. Coupe de la terrasse récente emboîtée dans l'ensemble de la séquence. 1 : remplissage argileux principal. 2 : 1ère nappe ocre colluviale. 3 : 2ème nappe colluviale. 4 : horizon Ah2 d'un sol brun. 5 : terrasse cultivée enterrée. 6 : terrasse alluviale grossière emboîtée. 7 : horizon Ah1 cultivé.

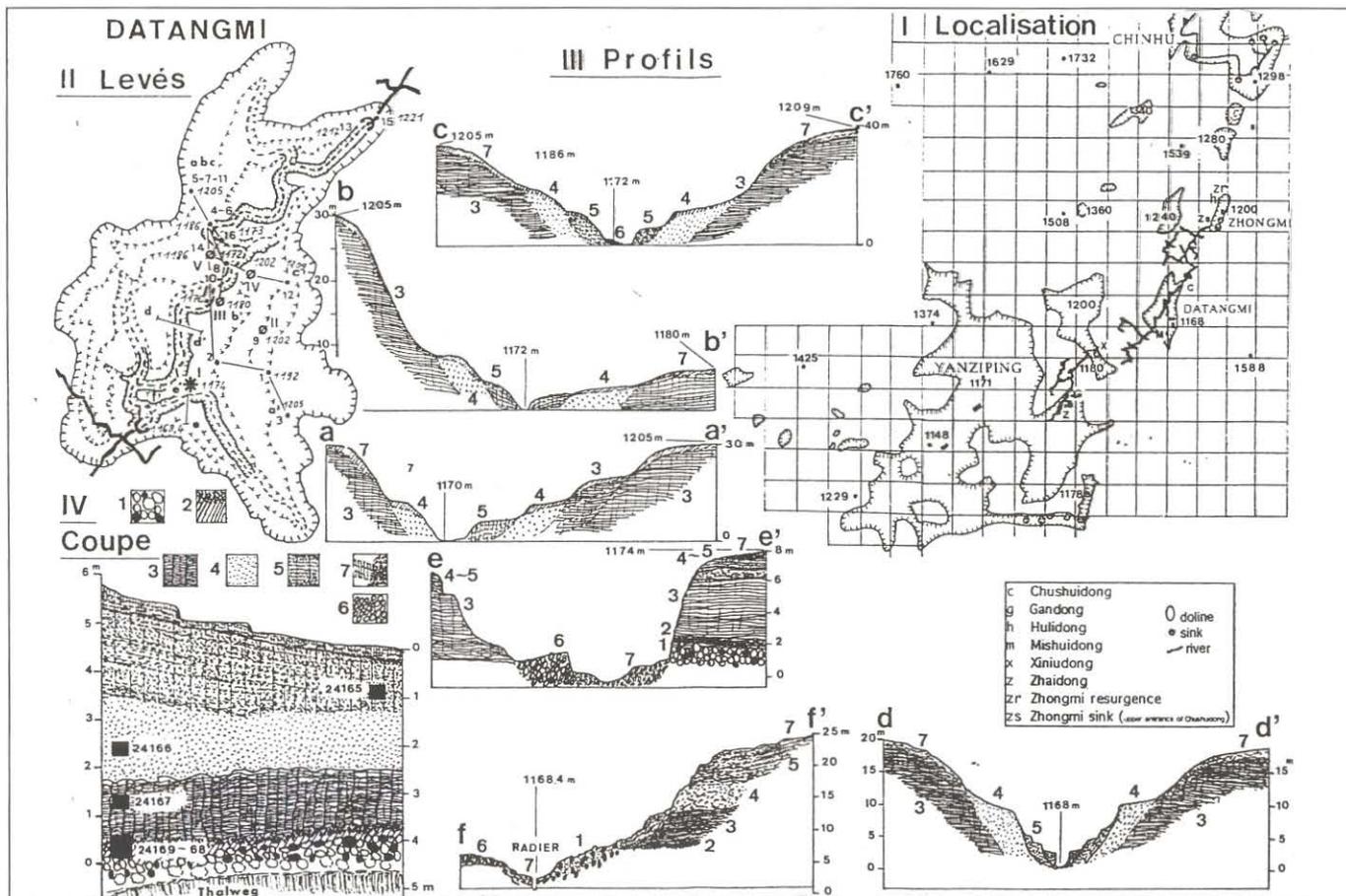


Figure 93 : Les remplissages du poljé de Datangmi (zone de Yanziping, Hefeng).

The deposits of Datangmi polje (Yanziping area, Hefeng).

I. Localisation des poljés de Qinghu, Datangmi et Yanziping.

II. Morphologie du poljé de Datangmi, localisation des levés topographiques et de la coupe étudiée. I-II-III-IV-V : stations de visées. 1 à 15 : visées à la règle de 2 m ; localisation des coupes topographiques aa', bb', cc', dd', ee' et ff' ; * : localisation de la coupe étudiée.

III. Profils topographiques et morphologiques levés dans le poljé de Datangmi.

IV. Coupe du remplissage principal à 100 m au NE du ponor de Mishuidong, au niveau du radier actuel d'un affluent rive gauche et localisation des échantillons. 1 : terrasse alluviale caillouteuse à galets ± altérés. 2 : horizon hydromorphe verdâtre et contact avec la terrasse, niveaux à charbons de bois (éch. 41 C 4 - lames 24 169 et 24 168, 440-460 cm). 3 : horizon prismatique très argileux dans une unité de varves rouges, avec au sommet un paléovertilsol et à la base une plinthise, horizon versicolore à granules de fer (éch. 41 C 3/4 - lame 24 167, 400-420 cm). 4 : unité de varves ocre limoneuses (éch. 41 C 2 - lames 24 166 et 24 166 bis, 300-320 cm). 5 : unité argilo-limoneuse à passées ± colluvionnées, ocre à gris, à varves discrètes ocre (éch. 41 C 1 - lame 24 165, 80-100 cm). 6 : localement basse terrasse grossière (+ 1 m). 7 : terrasses cultivées à horizons Ap enterrés et loess colluviaux, localement radier et terrasse de débordement actuelle.

nombreuses traces d'hydromorphie avec du fer bactérien et un litage très frustré des silts fins. Le squelette est composé d'éléments variés : schistes cristallins, phyllades (?), grains de sols rouges, quartz, chlorite et de nombreuses particules fines de charbon de bois et de matière organique mélanisée. Les argiles ont des motifs de biréfringence en microlattes en chapeau de cartes et seules les grandes paillettes de mica sont orientées, ce qui atteste une énergie (ou une thermocline) dans le milieu de dépôt. Le fer semble avoir migré dans le profil après le dépôt et on observe une légère dissolution.

4) Entre 380 et 100 cm, une grande unité homogène de varves ocre limoneuses montre une porosité vésiculaire de dégazage dans la moitié supérieure vers 315 cm (éch. 41 C 2 - lame 24166 - 310-320 cm) avec des pollens, des spores, des éléments reproducteurs d'algues, des charbons de bois grands ou plus fins et des pigments bactériens. A la base, vers 317-318 cm, on observe une zonation liée à l'hydromorphie et de grandes fissures dans les 2/3 inférieurs (entre 313 et 320 cm). La partie supérieure entre 310 et 317 cm montre des lamines de silts avec particules charbonneuses et vers 315-317 cm un léger granoclassement (éch. 41 C 2 - lame 24166 bis). Les quartz sont très fins, ± homométriques et d'origine hydroéolienne. Ils sont granoclassés avec une orientation des particules charbonneuses et

argileuses. On observe de nombreuses particules d'érosion des sols rouges souvent en nodules. Le captage de pollens assez fréquents (x 500) témoigne de l'extension du plan d'eau, comme l'assemblage argileux en lattes qui devient plus planaire. On observe également des invaginations ± horizontales de colloïdes ferrugineux qui attestent un fonctionnement hydromorphique, avec des auréoles de fer turbide et des corona ferrobactériens. On peut identifier deux types d'algues rouges et bleues (chlorophycées et cyanophycées) et des charophytes (?). Elles attestent un développement notable du plan d'eau durant cette période.

5) Dans la partie supérieure, entre 100 et 25/50 cm, une couche argilo-limoneuse, présente des passées ± colluvionnées, ocre à gris, et des varves discrètes ocre. Entre 80 et 100 cm, l'unité homogène à varves ocre (éch. 41 C 1 - lame 24165, 90-100 cm) montre des assemblages silto-squelettiques avec des lits de quartz fins et des grains d'argiles ferrugineuses et de nombreuses tâches brunes (matière organique), ocre (fer avec des amas ferrobactériens) ou très sombres (manganèse). La porosité alvéolaire est liée au dégazage et la porosité fissurale à la dessiccation dans un plasma argileux encore plus orienté et planaire. Le fait marquant qui semble légèrement postérieur à la sédimentation est la présence de fentes en coin liées



Photo 72 : Résurgence de Chushuidong et rivière Datanghe traversant le poljé de Datangmi et recoupant un système complexe de remplissages épais de 40 m à certains endroits.

The Datangmi polje (and the resurgence of Chushuidong) is covered by a thick blanket of laminated thin sediments.

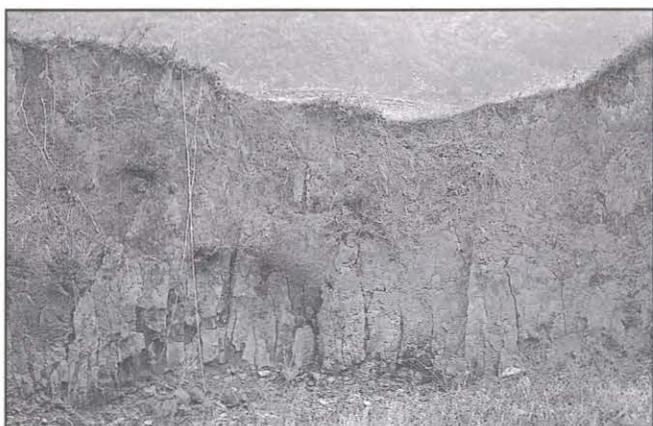


Photo 73 : Le remplissage principal d'argiles varvées (prismes verticaux) repose sur une basse terrasse (galets). Il atteste un fonctionnement initial en conditions froides. Des niveaux d'inondation sont bien marqués par des marbrures d'hydromorphie dans la coupe visible ici sur 6 m.

An old pebble terrace (at the bottom) is covered by a thick loamed deposit.



Photo 75 : Les particules charbonneuses s'intensifient et diminuent en taille ; elles sont mélangées aux séquences rythmées de produits d'érosion qui transitent sur les versants. Ech. 41/C3, lame 24 167, lum. pol. non analysée, obj. 2,5 x 3,2. échelle 1 cm = 523 μ

Little charcoals (thin section) in the middle of the thick laminated deposit.

LES REMPLISSAGES ANTERIEURS AU "DRYAS RECENT" DU POLJÉ DE DATANGMI (Hefeng, Hubei)

Les poljés montagnards sont des pièges à sédiments et des enregistreurs de l'histoire rurale. Refuge des minorités Tujia, ils ont enregistré les modifications climatiques et sociales de l'environnement, en particulier les ruptures dans l'équilibre du milieu karstique. La sédimentation dans les poljés, qui commande celle des cavités, dépend de la pluviométrie, de la dimension du bassin versant, du taux de couverture végétale et pédologique, etc. Les remplissages réagissent aussi aux paramètres climatiques généraux, avec une augmentation du taux de sédimentation durant les périodes humides et une diminution pendant les périodes froides. Par comparaison avec la séquence souterraine des varves rouges de Dadong (sans influence humaine), on observe une augmentation du taux de sédimentation dans la partie supérieure des remplissages, lorsque l'action de l'homme devient prépondérante. La composante anthropique accélère ou contrarie la tendance climatique, suivant qu'on se situe en période à fort ou à faible taux de sédimentation. (clichés et analyses des lames minces Simon Pomel)



Photo 74 : Dès le début du remplissage du poljé, des charbons de bois sont mélangés aux produits d'érosion des sols. Ech. 41/C4 (1), lame 24 168, lum. pol. non analysée, obj. 10 x 3,2. échelle 1 cm = 131 μ

Charcoal (on thin section) at the bottom of the thick laminated deposit.

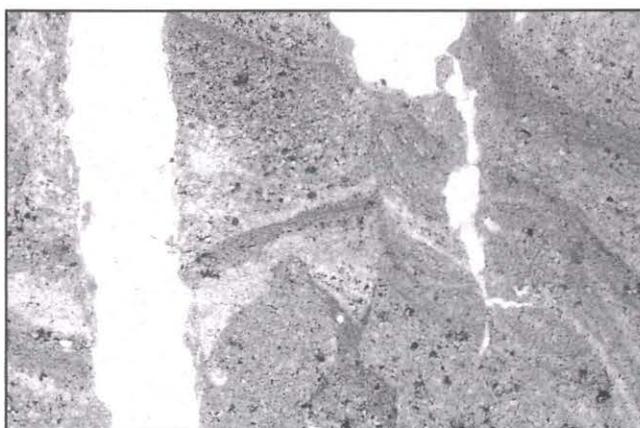


Photo 76 : Dans la partie supérieure du dépôt varvé de Datangmi, on observe des coiffes microstriées et fragmentées dans des argiles et des limons riches en quartz, indicateurs de conditions très froides (sans doute l'équivalent du "Dryas récent" vers 10 000 ans BP). Ech. 41/C1, lame 24 165, lum. pol. non analysée, obj. 2,5 x 3,2. échelle 1 cm = 523 μ

Marks of periglacial conditions on the top of the laminated deposit.



Photo 77 : Vue générale du poljé de Shuishanping qui est drainé vers la perte de Datiankeng et dont la plus grande partie est contrôlée, irriguée, drainée et cultivée. On observe la profonde incision dans des remplissages épais de plus de 25 m.
The Shuishanping polje with a little gorge in the thick loamed deposits just before the Datiankeng ponor.



Photo 78 : Les remplissages indiquent une déstabilisation lors de la mise en valeur des versants (brûlis) au début du Néolithique chinois. L'incision récente, contemporaine de la guerre sino-japonaise, a soutiré les sols dans l'endokarst (perte de Datiankeng). Le remplissage principal montre une séquence de plus de 25 m ravinée par des terrasses qui racontent l'histoire rurale du secteur.
The thick deposits of Shuishanping polje indicate the man impacts (fires, wars) on the rural context.



Photo 80 : Test de dinoflagellées dans le remplissage holocène du poljé de Shuishanping attestant vers - 12 m, après le dépôt d'une terrasse grossière, l'inondation du plan d'eau et une bonne oxygénation du milieu. Ech. 51/C, lame 24 172, lum. pol. non analysée, obj. 10 x 3,2.
Alga dinoflagelles (thin section) in the main holocene deposit of Shuishanping polje.
 échelle 1 cm = 131 µ

LES REMPLISSAGES HOLOCÈNES DU POLJÉ DE SHUIZHANPING (Hefeng, Hubei)

Dans les remplissages de poljés, les algues sont des indicateurs du régime hydrique. Ces algues sont des fournisseurs et des consommateurs d'oxygène, et leurs pigments sont déterminables par une étude colorimétrique fine. Les teneurs en caroténoïdes et en phéophytines sont de remarquables indicateurs qui réagissent à la chimie des eaux, au pH, à la profondeur du plan d'eau, aux apports en cendres et en poussières. La turbidité du plan d'eau modifie la transparence et les processus de photosynthèse. Les cendres et les charbons de bois peuvent fournir des apports en éléments nutritifs (Ca, K, Na, P, Si). L'extension du plan d'eau modifie aussi les capacités de captage des poussières distales, volcaniques ou autres. (clichés analyses des lames minces Simon Pomel)

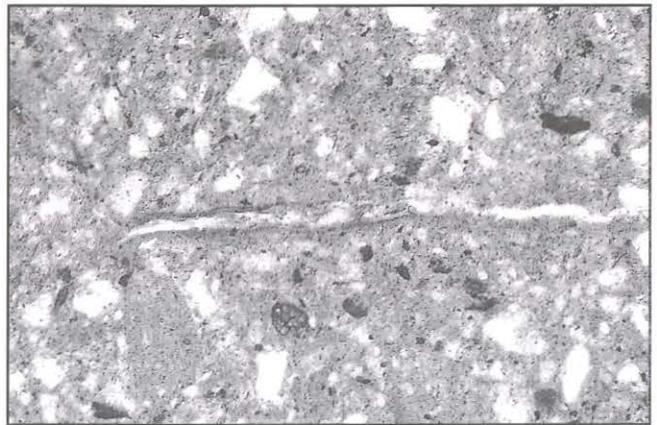


Photo 79 : Algues rouges dans une masse de fond de limons, de quartz, des particules de sols et de charbons de bois. Varves grises à niveaux de graviers à la base du remplissage principal du poljé de Shuishanping vers - 22 m de profondeur. Ech. 51/A, lame 24 170 A, lum. pol. non analysée, obj. 10 x 3,2.
 échelle 1 cm = 131 µ
Red algae (on thin section) at the bottom of the main thick loamed deposit (- 22 m).



Photo 81 : Détail d'une colonie alguo-bactérienne filamenteuse dans le remplissage holocène vers - 12 m attestant une bonne oxygénation et un probable réchauffement du milieu. Ech. 15/A1, lum. pol. non analysée, obj. 10 x 3,2. échelle 1 cm = 131 µ
Detail of a bacterian-algal colony in the holocene deposit (-12 m).

Vers - 20 m, un arrêt de l'inondation marque une évolution pédologique en condition froide plus sèche qui pourrait représenter le Dryas récent. Vers - 12 m, on observe un approfondissement du plan d'eau et un réchauffement. La terrasse supérieure représenterait le début de l'Holocène.

Il est plus délicat de caler les varves ocre supérieures : Holocène, Néolithique, âge du fer ou période antique ? Compte tenu d'une récurrence fraîche, mais non sèche, attestée par les limons hydroéoliens dus au décapage des couvertures fines des sols podzoliques jaunes, il pourrait s'agir d'une crise sociale majeure dans l'histoire de la mise en valeur régionale. Ensuite, le drainage du poljé et le système sédimentaire semblent contrôlés par les aménagements. L'impact de l'homme sur l'érosion des sols, par une intensification des pratiques de l'agriculture sur brûlis, est attesté dans ce remplissage ; avec à la base du profil, les indices d'une éventuelle coexistence d'un système de chasse avec un système agraire.

C. L'EXEMPLE DU POLJÉ DE BAISHUIBA (XIANFENG HUBEI)

1. Coupes, description

Le poljé de Baishuiba est localisé vers 690 m près de la résurgence de Bailongdong dans des calcaires du Cambrien (**photo 82**). Trois coupes ont été étudiées pour préciser la nature du remplissage du poljé, les apports des versants et les processus d'incision récente.

- La coupe à l'amont en rive gauche vers 715 m permet de préciser les formations de pentes sur 200 cm. On observe de la base au sommet :

- + des calcaires à plaquettes du Cambrien vers 200 cm ;
- + une nappe I de colluvions limono-argileuses ocre entre 170 et 200 cm ;
- + un remplissage argileux gris avec des galets +/- roulés entre 150 et 170 cm ;
- + une nappe II de colluvions limoneuses ocre-jaune entre 120 et 150 cm ;
- + une nappe III de colluvions limono-sableux supérieurs ocre de versants entre 90 et 120 cm ;
- + un horizon Ah2 gris noir épais +/- colluvial d'un sol brun forestier enterré entre 60 et 90 cm ;
- + une ancienne terrasse cultivée ocre à éléments rubéfiés entre 30 et 60 cm ;
- + un horizon Ah1 +/- colluvial gris noir entre 10 et 30 cm ;
- + un horizon Ah / Ah entre 0 et 10 cm.

- La coupe de la terrasse récente emboîtée dans l'ensemble de la séquence indique qu'après un remplissage argileux principal complexe, une 1^{ère} nappe ocre colluviale se dépose, puis une 2^{ème} nappe colluviale avec un arrêt de la sédimentation et le développement d'un horizon Ah2 épais de sol brun. Des terrasses cultivées sont enterrées avant une reprise de l'érosion et le dépôt d'une terrasse alluviale grossière emboîtée, l'horizon Ah1 cultivé est actuel (**figure 94 a-b-c**).

2. Micromorphologie et fonctionnement

La coupe la plus complète du remplissage est située dans le talweg au niveau du lit de la rivière de la résurgence de Bailongdong juste à l'amont de la perte (vers 690m). La roche-mère est constituée d'une silixite calcaire du Cambrien à filons de calcite à sparite dans un faciès fin de type shale microlité (lame 57/G).

De la base au sommet, sur 240 cm la stratigraphie permet de préciser le fonctionnement du remplissage principal.

(1) A la base entre 240 et 200 cm, une terrasse fluviatile à galets.

(2) Entre 190 et 200 cm, un niveau hydromorphe Bh dans un remplissage argileux gris.

Sur lame (**Echantillon 57 A - lame 24 173**) on observe à la base un niveau de gravier (microquartzites, calcaires du Cambrien) avec un ciment argilo-squelettique quartzueux fin et des revêtements argileux. De fins fragments de charbon de bois sont pris dans le

ciment. Le squelette est constitué de calcaires micritiques altérés, de grès altérés. La base est très riche en produits pédologiques issus de sols rouges (argiles ferrugineuses et schistes).

Vers - 193,5 et - 192,5 cm on observe de gros fragments de charbons de bois, de petits fragments étant dispersés sur l'ensemble de la séquence.

Au sommet de la lame vers -190 cm, des pores de dissolution et une fragmentation polyédrique affectent le ciment rouge et des tests d'algues brunes avec des amas de fructifications sont des indicateurs limniques, comme les nombreuses auréoles d'hydromorphie.

(3) Entre 190 et 150 cm, une terrasse grossière à graviers oxydés montre des horizons versicolores de battance de nappe.

(4) Entre 150 et 100 cm, un remplissage principal argilo-limoneux est formé de varves marrons, avec à la base, un niveau verdâtre à bleu argileux. Vers 136-156 cm on observe une transition d'argiles gris bleu à des argiles gris ocre, puis des argiles limoneuses grises ocre +/- humides, des limons argileux plus ocres avec passées rouges +/- rubéfiées.

- Sur lame (**Echantillon 57 B - lame 24 174**) on observe des silts quartzueux un peu plus grossiers qu'au dessous, avec présence de quartz éolisés fins anfractueux ou ovoïdes, quelques sablons de quartz ronds, des particules charbonneuses, des éléments de roche-mère ferruginisée.

Dans la partie supérieure de nombreux filaments algaires arqués et des tests algaires complets : dinoflagellées type *Euglenia* vers - 149 cm et - 148,5 cm, type *Closterium* vers - 140 cm. De nombreuses chlorophycées sont présentes avec des chloroplastes formant un réseau de nombreux pyrénoides (type *Cladophora*) et sans doute des Charophytes (?). On observe également de nombreux stades de développement et de division des appareils reproducteurs d'algues rouges (en particulier vers -147,5 cm) et des spores.

On observe six microséquences de la base au sommet :
- entre 156 et 153,5 cm, une unité à niveaux bactériens noir, brun ou rouge abondants, avec des tâches d'oxydation et des algues ;
- entre 153,5/151,5 cm, 151,5/150 cm et 150/149,5 cm trois séquences avec enrichissement saisonnier de matière organique ;
- entre 149,5 et 148,7 cm, une séquence plus organique et bien laminée ;
- enfin entre 148,7 et 146 cm, une séquence très algale.

Les lamines sont organisées en doublet saisonnier annuel (**photo 83**) avec :

(a) une lamine claire à quartz fins, attestant des eaux peu turbides (hiver ?), avec des tests d'algues brunes érodées et des spores (automne ?) et qui se terminent par une pellicule condensée avec des argiles grises (fin hiver ?) ;

(b) une lamine très turbide, avec charbon de bois, éléments de sols érodés, fer et argiles et surtout développement algale (pluies et mousson d'été). On observe des écarts de croissance entre 20 lamines en 50 mm et 16 lamines en 12 mm dans la partie centrale.

Cette séquence dans l'ensemble plus argileuse que précédemment et très organogène, atteste des conditions hydroclimatiques et d'oxygénation favorables au développement algale et à la végétation des berges et surtout une période importante de développement du plan d'eau.

(5) Entre 100 et 60 cm, un remplissage limoneux ocre montre une transition d'argiles limoneuses grises à des argiles ocres à charbons de bois entre (100 et 96 cm). Sur lame (**Echantillon 57 C - lame 24 175**), on note des graviers dans la partie inférieure avec un plasma plus silteux, la présence de gros charbon de bois (**photo 85**), de microquartzite et des argiles contenant moins de fer réduit. Le plan d'eau semble toujours notable, et bien que les tissus algaires soient toujours abondants (nombreux corps centraux non identifiables). On observe moins de dinoflagellées (cependant *Euglenia* vers - 97 cm et un autre type en voie de division vers -93 cm). On observe des poches avec appareil reproducteur vers - 95 cm et de rares diatomées vers - 92 cm. Présence également de spores. Il semblerait que le milieu soit devenu plus oxydant et que le plan d'eau diminue, avec une augmentation du taux de sédimentation et une diminution du taux de matière organique.

**LES REMPLISSAGES
POST-"DRYAS RECENT" DU POLJÉ
DE BAISHUIBA (Xianfeng, Hubei)**

Dans les remplissages de poljés et de l'endokarst, les charbons de bois sont des indicateurs du rôle de l'homme (pression anthropique) sur les paysages. L'étude des charbons de bois est donc d'un intérêt primordial pour définir le type de végétation des bordures des poljés. L'anatomie des bois a souvent enregistré les contraintes subies par le milieu. Couplées aux études de profils, les études anatomiques permettent de préciser les déstabilisations, les périodes de pratique de brûlis et de les dater par C¹⁴. Les charbons de bois archéologiques sont aussi des indicateurs des types d'arbres domestiqués et des usages des arboriculteurs. (clichés et analyses des lames minces S. Pomel).

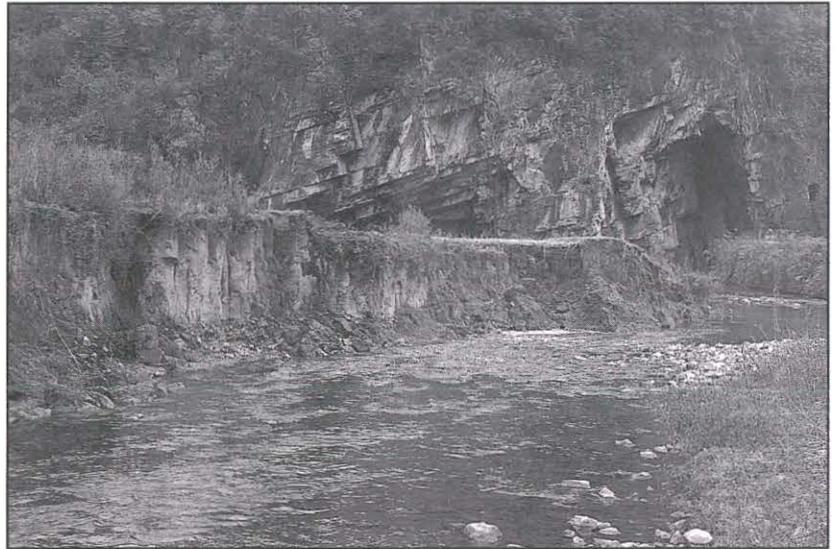


Photo 82 : Vue générale du remplissage de l'aval du poljé de Baishuiba drainé vers une perte. La rivière, issue de la résurgence de Bailongdong (distillerie de maïs), traverse la partie aval du poljé où elle est très polluée.
The main deposit of the Baishuiba polje (downstream).

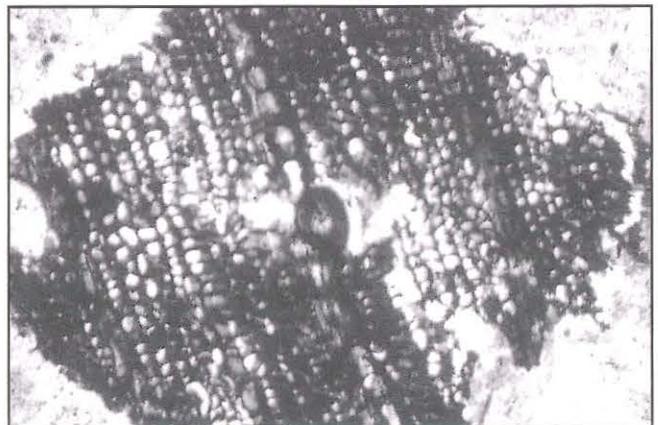
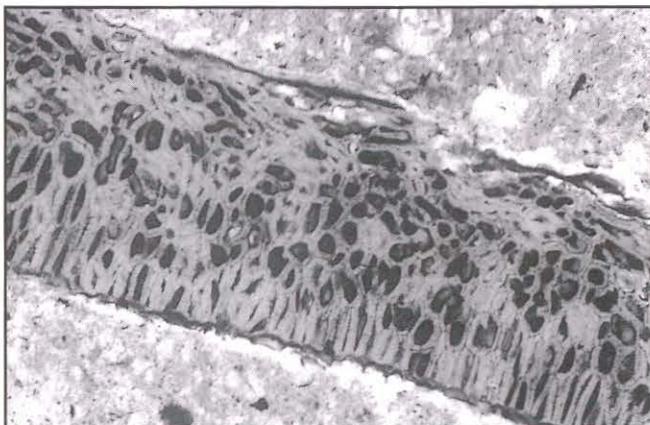
Photo 83 : Lamine d'été très turbide (au centre), avec algues (en particulier des dinoflagellées), charbons de bois, éléments de sols et argiles ocres, séparée par deux lamines d'hiver claires à quartz fins et carbonates gris (en haut et en bas) dans l'unité de remplissage entre - 150 et - 100 cm. Ech. 57/B, lame 24 174, lum. pol. non analysée, obj. 2,5 x 3,2, échelle 1 cm = 523 µ
Summer turbid lamina (middle) between two winter clear laminae (thin quartz and carbonate).



Photo 84 : Grand tissu algairé dans le remplissage limoneux ocre entre - 100 et - 60 cm. Ech. 57/C, lame 24 175, lum. pol. non analysée, obj. 10 x 3,2, échelle 1 cm = 131 µ
Algal tissue in the loamed deposit between - 100 and - 60 cm.

Photo 85 : Charbon de bois de tronc abondant dans le remplissage ocre entre - 100 et - 96 cm. Ech. 57/C, lame 24 175, lum. pol. non analysée, obj. 10 x 6,3, échelle 1 cm = 45 µ
Charcoal in the ochre deposit between - 100 and - 96 cm.

Charcoal in the ochre deposit between - 100 and - 96 cm.



(6) Entre 60 et 15 cm, des limons gris cendrés à charbons de bois présentent une transition avec un niveau supérieur Ah et les argiles du remplissage vers - 15 cm.

La lame mince entre 15 et 7 cm (**Echantillon 57 D - lame 24 177**) montre des algues rouges avec des charbons de bois dans une masse de fond à quartz, schistes et Cambrien altéré. On observe de nombreux charbons de bois à la base. Les algues sont présentes avec leurs éléments reproducteurs, des masses cellulaires allongées (- 9 cm), de nombreuses dinoflagellées (- 8 cm) et surtout des Ciliées (type Vorticelles dans la partie supérieure). Durant cette période le taux de sédimentation augmente, entre 2,5 et 2,4 mm/an et les conditions hydrochimiques changent, d'autres colonies algaires prennent le relais.

(7) Entre 0 et 15 cm, un horizon Ah des terrasses de rizières. Dans la partie supérieure entre 0 et - 7 cm (**Echantillon 57 D bis lame 24 176**), on observe des graviers et des charbons de bois (vers - 3 cm et - 7,8/- 8 cm) avec de nombreuses algues Ciliées (type Vorticelles), de très grosses dinoflagellées vers - 7 cm. Les tests algaires filamenteux sont abondants : cils ou serpentins. A la base (- 7,8 cm) les tests cyanobactériens sont présents. Dans la partie sommitale (- 2 cm) sont présents de grands tests de Charophytes (?). Le taux annuel de sédimentation atteint 3,6 mm et le milieu est sans doute influencé par le fonctionnement d'inondations saisonnières régulières et la riziculture d'inondation (?).

3. Interprétation : les indicateurs limniques des crues et des décrues ; le rôle du climat et de l'homme dans l'érosion des sols durant l'optimum holocène et les vicissitudes du contrôle d'un grand poljé

La séquence de Baishuiba est intéressante car elle représente un enregistrement de l'optimum holocène (s.l.) pour le remplissage principal marron sur des terrasses alluviales. La fourchette calculée sur le comptage des lamines est comprise entre 6000-6500 et 8000-8500.

Ce remplissage est intéressant car il a enregistré par ses associations algaires (DANGEARD, 1933) les oscillations du plan d'eau. L'étude des caroténoïdes et des phéophytines devrait permettre de préciser à l'avenir l'histoire du système durant la période holocène. On sait, par exemple que les Cyanophytes sont riches en pigments bactériens de types Myxoxanthopyll, Echinon et Canthaxanthin, les Dinophycées en Peridinin, les Euglenophyta en Diadinoxanthin etc... (d'après ZÜLLING, cité par SCHULTZE, 1994). Les algues et les bactéries jouent également un rôle fondamental dans le système géochimique et dans la genèse des carbonates (KRUMBEIN, 1979) et c'est là un champ d'études futures.

Le fait le plus notable concerne la faible épaisseur du dépôt principal, au total moins de 10 m malgré un taux de sédimentation annuel moyen non négligeable et qui augmente dans la partie supérieure de 1,2 à 2,5 mm/an. Cette faible sédimentation totale serait le fait du contrôle précoce des ponors pour éviter l'inondation des habitations, dans un poljé qui n'a pas manqué d'être habité et cultivé très tôt. Des recherches sont à poursuivre en ce sens.

Les séquences sont aussi marquées par de nombreuses discordances et un système d'auto-vidange du poljé dans le karst profond pendant le fonctionnement du remplissage. Une étude prochaine des remplissages de la cavité de Bailongdong devient donc nécessaire.

IV . Intérêt des sols et des remplissages des poljés et corrélation avec l'endokarst

La complexité des profils pédologiques ne doit pas masquer leur intérêt, car ils représentent les amonts du système hydrosédimentaire des remplissages. Les périodes de développement de la pédogenèse associée à la recolonisation végétale sont des moments favorables au filtrage karstique et au concrétionnement. Les périodes de décapage

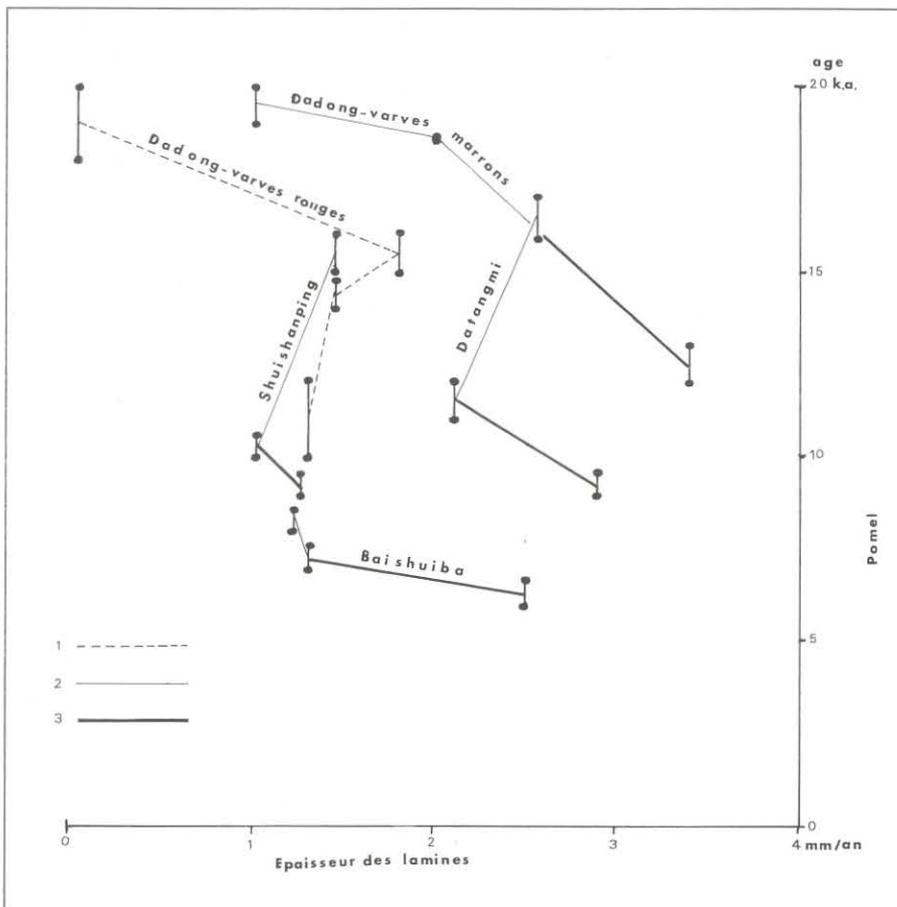


Figure 95 : Les remplissages de cavités et de poljés, indicateurs climatiques et anthropiques.

The cave and polje deposits, indicators of climate and man impact.

A. Sédimentation annuelle mesurée sur lamines au microscope (x 25, x 100, x 500) en fonction de la profondeur dans les remplissages (moyennes des mesures).
B. Estimation de l'âge en fonction de l'épaisseur totale des remplissages et du taux de sédimentation annuel mesuré (moyennes des mesures).

DAD-R : varves rouges de Dadong.
DAD-M : varves marrons de Dadong.
DAGMI : remplissage du poljé de Datangmi.

SHUI : remplissage du poljé de Shuishanping.

BAI : remplissage du poljé de Baishuiba.

1 : tendance sédimentaire de référence (taux de sédimentation) avec impact de l'homme négligeable en raison de l'âge du remplissage des varves rouges de Dadong.
2 : tendance sédimentaire avec effet climatique.
3 : tendance sédimentaire avec effet anthropique.

AGE	SEDIMENTS	REPLISSAGES SOUTERRAINS	REPLISSAGES DE POLJÉS
Avant 1944 et Période Mao	Terrasses récentes	Varves brunes à porcelaine et charbons de bois (14C)	Remplissages gris
XVIIIème siècle ou plus ancien	Terrasses historiques fines	Varves ocre	Remplissages ocre
Holocène	Terrasses fines à grossières	Incision /terrasses grossières concrétionnement	Remplissages marrons de Baishuiba
Tardiglaciaire 18 000-12 000 ans	Moyennes terrasses	Varves marrons de Dadong (C14)	Remplissages marrons de Shuishanping, Datangmi, Dadong
Quaternaire Moyen à ancien > de 0,250 m.a.	Paléosols Hautes terrasses	Varves rouges de Dadong	Remplissages rouges de Qinghu (?)

Tableau 12 : Corrélation entre les remplissages des poljés et les remplissages souterrains au Hubei-Hunan

et de crises climatiques et sociales sont au contraire des moments de décapage, de soutirage et de piégeage des particules fines. Il est évident que pour la période récente plusieurs crises historiques sont enregistrées. Du fait du décapage ancien des profils, les capacités de rétention, de filtrage et reconstitution des stocks fins et organiques sont réduits, si bien que les profils réagissent assez rapidement et en connexion plus ou moins synchrone sols-poljés-cavités.

Les remplissages de poljés ont enregistré l'histoire récente de l'environnement, en gros depuis 20 000 ans, en servant de réceptacle pour les sédiments résultant de l'érosion des sols. L'analyse séquentielle permet donc d'établir une corrélation avec les dépôts souterrains comme la coupe des varves marrons de Dadong qui a l'avantage d'être datée entre 19 000 et 13 000 ans environ. Une chronologie relative des crues, des surcreusements et des aménagements agraires sera donc possible.

A. L'ANALYSE SÉQUENTIELLE DES REPLISSAGES DE POLJÉS

- **L'étude hydroclimatique comparée avec l'endokarst** : Les remplissages des poljés de montagne ont permis de préciser l'histoire de l'environnement récent en Chine centrale. L'étude des séquences et des microséquences comparées à celles des remplissages de l'endokarst montre que la sédimentation initiale est sous le contrôle des paramètres climatiques généraux :

1) augmentation du taux de sédimentation durant les périodes d'amélioration climatique, de fortes interactions de la mousson et d'humidité croissante (comme entre 18 000-20 000 ans et 15 000-16 000 ans) ou vers 7 000-7 500 et 8 000-8 500 ans ;

2) diminution du taux annuel, au contraire durant les périodes de péjoration climatique, sans doute de faibles interactions, entre 15 000-16 000 et 10 000 ans, avec quelquefois de fortes récurrences froides et sèches vers 20 000 et vers 10 000 ans, toujours marquées par de faibles taux de sédimentation.

Les remplissages réagissent aux données hydroclimatiques générales telles qu'elles sont enregistrées dans les séquences plus anciennes au cours d'autres cycles climatiques quaternaires (varves rouges de Dadong) et en l'absence d'impact anthropique notable. On observe que les améliorations climatiques sont plus rapides que les péjorations, fait déjà constaté dans les enregistrements océaniques. Le

résultat le plus important est que les remplissages réagissent à des données locales liées aux couvertures végétales et pédologiques et aux impacts anthropiques. C'est le cas en particulier avec une augmentation du taux de sédimentation annuelle. Celui-ci contrarie la tendance évolutive générale entre 16-17 000 et 12-13 000 à Dadong, entre 11-12 000 et 9 000-9 500 à Datangmi et entre 10-10 500 et 9 000-9 500 à Shuishanping. Il amplifie la tendance générale durant la période holocène (s.s.) entre 7 000-7 500 et 6 000-6 500 à Baishuiba. Ces données préliminaires soulignent que poljés et cavités fonctionnent comme des impluviomètres et sont aussi des interfaces remarquables pour jauger les impacts anthropiques. L'impact de l'homme sur l'accélération du taux de sédimentation dans les poljés (**fig. 95**) est à mettre en rapport avec la diminution de la vitesse de concrétionnement dans les cavités (**chap. 6 fig. 82**).

- **Les enregistrements des surcreusements, des crues et les aménagements agraires** : Les enregistrements des poljés et des sols ne sont malheureusement pas continus, car le soutirage karstique commande aussi le surcreusement et les inondations. Le niveau de base local est rarement un fond de poljé, c'est le réseau sous-jacent. La nappe phréatique qui commande l'altération est rarement celle du profil. Enfin les aménagements de longue période sont autant de modifications apportées au taux de sédimentation des poljés ou des cavités, aux variations de l'hydromorphie, quand ce n'est pas un effet direct sur la découverte des profils avec la déforestation, les feux et l'agriculture. En Chine centrale, dans des montagnes au contact avec les peuplements Thaï et Han, les aménagements ont très tôt combinés agriculture sur brûlis et culture d'irrigation, terrasses de pentes et rizières.

B. ESSAI DE CORRÉLATION ENTRE LES REPLISSAGES DES POLJÉS, DE L'ENDOKARST ET L'ÉVOLUTION PÉDOLOGIQUE ET VÉGÉTALE

Plusieurs problèmes demeurent dans la corrélation des sols, des remplissages de poljés et des dépôts souterrains. Il y a d'abord un problème de lithostratigraphie : quelle est la signification des emboitements et des étagements dont on observe l'imbrication dans l'ensemble des dépôts ? Les étagements sont-ils toujours synonymes de variations climatiques dans un paysage d'élaboration de terrasses par l'homme ? Les emboitements sont-ils révélateurs d'une diminution

globale du taux de sédimentation dans un paysage où l'homme retient les sédiments fins pour son usage ?

C'est en fait poser la question des prises et déprises rurales et du contrôle des remplissages. Il semble qu'à Baishuiba, comme à Yanziping, Longtanping et dans le poljé de Wantan, les aménagements soient très anciens. On peut aussi se poser la question de savoir si la crise holocène n'est pas une crise néolithique et si elle a été si négative pour l'environnement, dans la mesure où il y a eu contrôle précoce de la sédimentation. Les périodes de déprises n'ont pas manqué dans une histoire chinoise longue et chaotique (cf. **chap. 11**). Les explosions démographiques qui ont doublé quelquefois la population en moins d'un siècle ont profondément bouleversé les sols et la végétation et provoqué plusieurs crises d'érosion : remplissages marrons, ocre et gris. Certains demeurent encore à étudier et à caler. Enfin les relations entre pédogenèse, fourniture en turbides et taux de sédimentation ne sont pas clairs. Il n'est pas possible de préciser actuellement ces relations pour la période récente, le seul profil exokarst-endokarst étudié en détail, celui de Dadong, étant trop ancien. Les jalons manquent et il est prématuré de préciser les corrélations entre pédogenèse, crises sociales, aménagements agraires et agriculture (**Tableau 12**).

Conclusions :

les étapes de l'évolution générale

Les sols et les remplissages des poljés sont des jalons des évolutions climatiques, surtout depuis les derniers 20 000 ans. Ils ont enregistré la crise climatique froide du Dryas récent et l'Holocène plus humide et plus chaud que l'actuel. La saisonnalité est bien enregistrée dans les microséquences de lamines des remplissages et des spéléothèmes (**chap. 6**) et les effets des périodes d'interactions avec la progradation vers le nord de la mousson humide. En terme de bilans hydrologiques, les remplissages donnent des indications fondamentales sur le fonctionnement du karst durant ces périodes clés. Très tôt les montagnes ont été soumises à la pression des agriculteurs de "ray" et à une intensification de leurs systèmes. La dégradation des couvertures a ses jalons dans les remplissages des poljés et des cavités.

Le rôle des crises sociales demeure encore à préciser, surtout pour la longue période historique pour laquelle on manque de jalons sûrs. Le dépouillement d'archives et des datations C^{14} seront nécessaires pour préciser certaines hypothèses, en particulier l'âge des remblaiements ocre et des colluvions enterrés dans les profils. Une étude socio-historique demeure également nécessaire dans le cadre de chaque poljé et de son bassin-versant, et surtout dans les grottes qui demeurent les archives terminales du géosystème et de l'écosystème.

LE KARST ET L'ÉVOLUTION DES PAYSAGES AGRAIRES

(Rappel de l'histoire rurale en Chine et zonation des cultures dans les montagnes du Hubei-Hunan)

✓ Simon POMEL

«Ah ils désherbent, ah ils défrichent ! Leurs charrues ouvrent le sol. Des milliers de couples dessouchent, les uns dans les terrains bas, les autres dans les terrains élevés» (Chansons du Che-King).
«Je viens moi aussi de la campagne... La Science et la raison occidentales n'ont pas pénétré dans ces régions, mais les gens des campagnes de Chine ne manquent pas d'opinion sur le monde et la vie» (Han Shaodong, «Femme, Femme, Femme», 1991)

RÉSUMÉ : Les paysages agraires des karsts montagnards de Chine centrale résultent d'une longue et intense occupation humaine. L'évolution holocène et historique des paysages agraires est archivée dans les séquences de remplissages des poljés et dans les remplissages souterrains des ponors (sols érodés, charbons de bois). Les crises sociales ont fortement marqué l'espace rural de ces régions de refuge. Une histoire rurale est proposée pour cette région, berceau de la civilisation Song du sud et terre de riziculture des variétés des riz de montagne. Au cours du XI^{ème} siècle, l'essor rural puis au XVIII^{ème} l'introduction de nouvelles plantes vont provoquer une explosion démographique, une extension des terroirs et le décapage du karst.

L'érosion des sols au cours du XX^{ème} siècle peut être étudiée également à partir du décapage des crypto-lapiés ; ces champs de dents de pierres rendent l'agriculture impossible. Entre 1950 et 1970, la très forte augmentation de la population est responsable d'une forte emprise rurale. Dans les dix années qui suivent la réforme agraire de 1950, les terres sont redistribuées à 300 millions de familles. Les conséquences sont la multiplication des parcelles, l'augmentation de la surface cultivable (donc des terrasses), l'augmentation de la consommation de bois, une intense déforestation et une érosion des sols dans certains secteurs des karsts coniques. Depuis 1980 (réforme économique générale de Deng Xiao Ping), les paysans cultivent une partie plus importante des terres pour leurs besoins personnels et le commerce. Les fonds de poljés, ouvalas et grandes dolines sont occupés par du maïs, des cultures maraîchères, du tabac et du thé. Le riz est cultivé plus bas, au fond et sur le flanc des grandes vallées dans les terrains imperméables du Trias (Hefeng).

De remarquables associations de cultures dans les dépressions karstiques dénotent une utilisation optimum des terroirs et une longue évolution des systèmes culturaux. Les techniques d'assolement et d'amendement sont très sophistiquées et attestent des influences à la fois des cultures Han, Miao et en provenance d'ethnies méridionales, voire une influence récente (culture sous serre plastique). Actuellement on assiste à une légère dépression rurale commencée depuis la fin de la Révolution Culturelle. Cependant, comme le contrôle de la natalité varie selon les communautés (les Tujia ont droit à plusieurs enfants par famille), la pression démographique se poursuit. La déforestation actuelle continue pour les besoins du bois de chauffe (charbon de bois) dans les secteurs les plus reculés, en particulier sur le flanc des canyons et sur les versants escarpés. Des terres nouvelles sont défrichées et des parcelles sur pente se développent sans murs de soutènement, tandis que certains terroirs sont abandonnés depuis la dernière guerre et la période maoïste.

Mots-clés : karst, structure agraire, agriculture, riz, déforestation, sols, érosion, remplissages, poljés, démographie, Révolution Culturelle.

ABSTRACT: KARST AND RECENT EVOLUTION OF THE FARMING LANDSCAPE. The farming landscape of the Central Chinese mountain karst results from a long standing and influential human occupation. The Holocene and Historic evolution is recorded by sediments trapped in poljes and ponors (eroded soils, charcoals). Soil erosion during the last centuries can be studied by investigating the erstwhile buried but nowadays revealed karst. The fields are scattered with "rock-teeth" and difficult to cultivate. In between 1950 to 1970 the population increased quickly and occupied larger areas. Alone during the 1950's some 3 million square kilometres were assigned to peasant farmers, and by and by the area under cultivation was extended to the steeper slopes. Subsequently soil erosion increased despite the building of countless terraces. Additionally, the forested areas were more and more exploited to provide building material, fire-wood and charcoal.

Since Deng Xiao Ping's economic reform in 1980 the peasants predominantly cultivate private fields in hilly areas. The floor of each and every polje, uvala and doline is used to grow corn, vegetables, tobacco and tea. Rice is rather cultivated at lower elevations on the impervious terraces which is found at valley floors and river banks. Another factor is the less restrictive birth control privileges enrolled in favor for the ethnic minorities like the Tujia, where two or three children are allowed. The growing number of peasants extend deforestation to areas of difficult access. New fields are cleared and quite a few are developed even without terracing walls. In a few cases, however, fields cleared during the «Cultural Revolution» have been abandoned.

Keywords: karst, farming landscape, agriculture, rice, deforestation, soils, erosion, infillings, poljes, demography, Cultural Revolution.

ZUSAMMENFASSUNG: Der Karst und die rezente Entwicklung der landwirtschaftlich bedingten Landschaftsformen. Die Landschaft des Gebirgskarstes von Zentralchina ist durch die jahrhundertalte menschliche Besiedlung deutlich umgestaltet. Holzkohlehaltige Ablagerungen in Karsthohlformen gegen Zeugnis von der bis ins Holozän zurückreichende anthropogene Umweltgestaltung, während die Bodenerosion der letzten Jahrhunderte anhand des mittlerweile freigelegten, aber vormalig bedeckten Karstes studiert werden kann. Die mit "Karrenzähnen" verstellten Felder sind nur mühsam zu bewirtschaften. Zwischen 1950 und 1970 besiedelte die stark anwachsende Bevölkerung Chinas neue Siedlungsräume in großem Ausmaß. Allein in den 50'er Jahren wurden von der Landbevölkerung 300 Millionen Hektar neues Ackerland erschlossen. Dabei weitete sich die landwirtschaftliche Nutzfläche auch auf steilere Anbauflächen aus und die Bodenabtragung stieg trotz umfangreicher Terrassierungsarbeiten stark an. Obendrein führte der ansteigende Bedarf an Bau-, Brennholz und Holzkohle zur Plünderung des Waldbestandes. Seit der ökonomischen Reform von Deng Xiao Ping im Jahre 1980 werden auch schwierigst zugängliche Anbauflächen angelegt. Selbst im Gebirge wird der Grund jeder Polje, jedes Uvala und jeder größeren Doline zum Anbau von Mais, Gemüse, Tabak und Tee genutzt und in niedriger gelegenen Gebieten werden die undurchlässigen Talböden und und für den Naß-Reisanbau kultiviert. Ein weiterer Faktor Privilegien für Minoritäten, wie etwa die Tujia, die zwei oder drei Kinder pro Familia erlauben. Die anwachsende Landbevölkerung schlägt selbst in schwierigst zugänglichen Gebieten Holz und immer häufiger werden auch nicht-terrassierte Felder angelegt. In einigen wenigen Fällen jedoch, sind Felder, die während der Kulturrevolution angelegt worden waren, wieder aufgelassen worden.

Stichworte: Karst, Agrikulturlandschaft, Landwirtschaft, Reis, Entwaldung, Böden, Bodenerosion, Ablagerungen, Polje, Kulturrevolution.

第十一章 喀斯特及近代农业景观的演化

华中山地喀斯特区域的农业景观，起源于长期及强烈的人类活动。在溶盆及落水洞的沉积物中记录了全新世及历史的演化。若干世纪以来，土壤侵蚀可籍埋藏石芽被冲刷出露来研究。石芽地难于耕作，1950-1970年期间，人口迅速增长占据了大量土地，耕地扩大到陡坡地，尽管修筑梯田，但仍导致土壤侵蚀，为了修建民居及作燃料而滥伐森林。自八十年代实行邓小平先生的经济改革政策以来，山区农田分给农户耕作。溶盆、溶洼及大型溶斗底部种植杂粮、蔬菜、烟草及茶。水稻则在较低的不透水层分布区的主要谷地的底部及岸边。在少数民族区域尤其是农村，计划生育政策略有不同，但人口仍继续控制。农民继续在偏远地区特别是峡谷岸坡及陡峭山坡处伐树，清理出新垦的耕地或开垦坡地。



Le célèbre géographe chinois Xu Xiake (1587 - 1641) a décrit avec précision les paysages ruraux des karst du centre de la Chine dans son ouvrage monumental "Le Voyage". Reproduction montrant Xu Xiake devant les chutes de Huangguoshu (Province du Guizhou).

D'après "The Atlas of Xu Xiake's Travels, ed. Chu Shao Tang)

Introduction

En Chine, en particulier dans les montagnes karstiques, les paysages agraires ont enregistré les nombreuses crises sociales par le biais des crises érosives, avec à chaque fois des réponses paysannes (**chap. 10**) qui se manifestent par des mosaïques complexes d'aménagements (**photos 86, 87**). Pour ne citer qu'un exemple au nord de Dayong, dans la partie centrale du Hunan, on observe des mosaïques forestières et déforestées depuis la période de collectivisation. Les terrasses cultivées de bas-fond recourent les anciens niveaux de base du karst, preuve de la pérennité des aménagements. Les gammes de sols sont également très dépendantes des séquences d'aménagements, même dans les secteurs actuellement boisés.

Dans les secteurs déforestés, il existe plusieurs périodes de construction des terrasses en réponse aux déstabilisations des versants :

- des ensembles anciens avec des fortifications végétales très élaborées de type bocager sont perchées au-dessus des talwegs et sont soutenues par des murs en grand appareil avec des blasons sculptés, attestant un investissement en travail de type esclavagiste (?) ;
- des aménagements plus récents sont emboîtés dans ce réseau et sont jalonnés par des périodes d'incision peut-être durant le Moyen-Âge chinois et le XVIII^{ème} siècle.

Actuellement le système est tamponné du fait du manque de combustible ligneux et parce que les briqueteries, bien que nombreuses, fonctionnent avec une énorme consommation de charbon ligniteux. La stabilité est à nouveau menacée par les nouvelles cultures sans terrasse.

Comme le montre cet exemple introductif, il est nécessaire de rappeler d'abord les grandes étapes de l'histoire rurale de la Chine tant les jalons de cette longue domestication des paysages sont complexes. D'ailleurs, l'une des manifestations les plus spectaculaires de l'histoire rurale chinoise est la lente sélection des plantes alimentaires ou utiles, leur amélioration ou de leur introduction. L'extrême variété des associations de cultures et l'exploitation optimale des espaces karstiques sont les manifestations captivantes des réponses paysannes. Permanence et adaptation, voilà ce qui caractérise le monde paysan chinois depuis des millénaires.

I. L'histoire rurale en Chine

L'histoire rurale de la Chine se confond avec l'histoire même du pays, et l'histoire des paysages agraires de la Chine centrale se confond aussi avec celle d'une longue domestication de la nature. Elle obéit au grand principe de Laozi (604 à 517 av. J.-C.) fondateur du Taoïsme : "ne faire qu'un avec la nature". Par sa continuité remarquable, elle associe comme la pensée chinoise, le temps et l'espace dans une mosaïque des saisons et des calendriers de travaux. Cette idée que les mutations de la nature sont en relation avec celles des sociétés est apparue entre le III^{ème} et le II^{ème} siècle av. J.-C. (GRANET, 1988). Jamais les Chinois n'isolent l'homme de la société, et la société de la nature. Cette philosophie impose très tôt un système de macro- et microcosmes et donc l'idée d'aménagement. Elle est fondée sur des recettes, en particulier celles du bien public, avec les idées de Confucius, puis avec Tong Tchong-Chou (III^{ème} siècle av. J.-C.) s'impose l'idée d'un gouvernement par l'histoire.

L'histoire rurale coïncide aussi avec l'expansion des Han qui débute entre le III^{ème} et le II^{ème} millénaire av. J.-C. (EICKSTEDT cité par BUCHANAN, 1973), et va peu à peu assimiler les groupes périphériques comme les Thaï. Le premier mouvement réellement colonisateur se situe vers la fin du III^{ème} siècle et le début du IV^{ème} siècle (298-319 ap. J.-C.) et le second se réalise lors de l'invasion mongole au début du XII^{ème} siècle. A partir du Sichuan, des vagues de peuplement totalisant près de 700 000 personnes atteignent le Hubei et le Hunan. Le mouvement parvient à Yichang sur le Yangtse au XIII^{ème} siècle, mais Canton est pénétré dès 255-206 av. J.-C. sous les Tsin. L'apogée est marquée par l'installation de la capitale du Royaume de

Wu entre 222 et 280 ap. J.-C. à Wuchang dans le Hubei. Durant la période de la dynastie des Liang (entre 555 et 586 ap. J.-C.) la capitale est à Jiangling dans le Hubei. Durant la période des Dix Royaumes (entre 935 et 963) la capitale des Ping du Sud, celle du Royaume de Namping est à Jingzhou (Hubei) et celle du Royaume de Chu à Changsha (Hunan) entre 927 et 951. A partir de cette période, le sud demeure un foyer autonome et très important. Le Moyen-Âge chinois, entre le XI^{ème} et le XIII^{ème} siècle, marque les paysages ruraux, transforme les terroirs de collines et de montagnes avant la révolution des nouvelles plantes qui débute au XVI^{ème} siècle (HO Ting-Pi, 1959).

A. UNE LENTE DOMESTICATION DES PAYSAGES

1. Les origines

Les origines des civilisations chinoises sont attestées par des sites de plus en plus nombreux et actuellement reculés par de nouvelles datations. L'homme de Pékin découvert en 1927 en Chine du Nord, *Sinanthropus pekinesis* nommé ensuite *Pithecanthropus pekinensis* (plus de 500 000 ans), a déjà des outils rudimentaires, utilise le feu. Sur le site de Zhoukoudian, découvert en 1923, un *Homo sapiens* pratique inhumation et échanges il y a 20 000 à 30 000 ans.

Les découvertes vont se succéder : en 1957 un Ramapitèque est daté vers 10 millions d'années à Kaiyuan (Yunnan), un *Homo erectus* à Yuanmou (Yunnan) est daté 1,7 million d'années, puis en 1963, un *Homo erectus lantianensis* de 0,6 à 0,7 million d'années, est découvert près de Xi'an (Shaanxi). Le Paléolithique inférieur est jalonné par le site de Zhoukoudian et celui de Shuidongkou au Ningxia. Le Paléolithique moyen est présent sur les sites de l'Ordos, de la vallée de la Fen (Shanxi) et au Guangdong. Le Paléolithique supérieur, en plus du gisement de Zhoukoudian, apparaît au Yunnan et au Guangxi.

La période mésolithique est plus frustrée : peuplement de Changyang (Hubei), au Shanxi, au Guangdong et au Guangxi. Dans l'ensemble il existe un véritable hiatus des cultures épipaléolithiques en Chine (TROLLIET et BEJA, 1986). Dans les régions de la Chine du Sud-Est, cette période correspondrait à l'élaboration des cultures de type «proto-Thaï» qui associent des cueilleurs et des chasseurs. Actuellement elles sont basées sur le travail du bambou, du fer, une longue domestication du buffle, l'agriculture sur brûlis et la riziculture en terrasses, qui sont autant de survivances : il convient d'en retracer les jalons.

2. Le Néolithique chinois

L'expansion néolithique qui démarre entre le IX^{ème} et le VIII^{ème} millénaire avant J.-C. n'aurait pas laissé de traces très précoces en Chine du Nord, mais elle est liée à des phases de peuplement Han. Au III^{ème} millénaire avant J.-C. les peuples constituant les trois ethnies Miao sont combattus par les Han et peu à peu assimilés ; ce sera la marque d'une seconde période très importante pour l'agriculture.

Vers 5 000 av. J.-C. les villages paysans sont brusquement peuplés dans les pays du loess, avec un système agricole déjà très élaboré. Plus de 6 000 sites du Néolithique (9 000 à 2 000 av. J.-C.) ont été découverts. Le plus ancien remonte à 9 360 environ avant J.-C. et ne se trouve pas en Chine du Nord, mais dans le Guangxi (cité par GENTELLE, 1989). Il existe donc un hiatus entre l'homme des grottes et les villages néolithiques en Chine du Nord, villages très peuplés de communautés villageoises nombreuses (BUCHANAN, 1973). Il s'y pratique une culture complexe avec le millet, céréale de base complétée par le riz en provenance de l'Asie du Sud-Est et la domestication du chien, du porc, du mouton et des bovins. Les techniques de poteries sont très évoluées, avec un berceau dans le bassin du Huanghe (Fleuve Jaune). Cependant la poterie apparaît dès le 8^{ème} millénaire avant J.-C. au Japon (cité par BUCHANAN, 1973) et il n'y a pas de raison pour que la technique soit plus tardive sur le continent chinois.

En Asie du Sud-Est plusieurs sites sont occupés très tôt en Thaïlande, «Spirit Cave» entre 11 000 et 5 500 av. J.-C., «Steep Cliff Cave» de 5 500 à 3 500 av. J.-C. et «Banyan Cave» entre 3 500 av. J.-C. et 900 ap. J.-C. Les sites de la vallée de Bang Pakong sont intensément occupés entre 5 800 et 4 500 av. J.-C. avec des traces d'incendies répétitifs. Les graminées résultant des défrichements et associées à l'agriculture sur brûlis font leur apparition vers 4 500 / 4 000 av. J.-C. (HIGHAM, 1989), au même moment où sont attestées des traces de culture de riz sur le site de Hemudu (province du Zhejiang). Sur ce dernier site, les analyses permettent de penser que le riz était déjà cultivé bien avant le début de l'occupation de Hemudu (LIU YUN, cité par HIGHAM, 1989).

Pour CHANG (1981), le plus ancien site de Hemudu est situé au bord d'un lac ; il a fourni en abondance des hoes en os et des tessons. Culture du riz et élevage du porc étaient pratiqués dès la fondation du village, avec quatre occupations successives entre 6 310 et 6 000 ans ($\pm 1 000$) et 5 895 ans BP. Ces pratiques étaient donc déjà répandues et il faut chercher leur origine encore plus loin dans le temps (AKAZAWA, 1990). Au Japon, les sites sont plus tardifs et les chasseurs-cueilleurs adoptent la culture du riz, prouvée par des phytolithes, seulement vers 3 000 ans BP. Cependant, du sarrasin est daté vers 6 600 ans (± 75) BP et des cucurbitacées, des haricots, des petits pois et du mûrier à papier vers 6 030 ans (± 100) BP (TSUKUDA et MORIKOWA, cités par AKAZAWA, 1990). Le plus ancien millet découvert a été cultivé en Chine sur le site de Shuangmiaogou près de Luoyang vers 5 000 ans av. J.-C.

En conclusion, il n'est pas évident comme le signale HARLAN (1987), que la Chine septentrionale soit un centre de domestication des espèces cultivées et de ce fait le foyer initial de néolithisation et d'agriculture en Chine. Beaucoup trop d'espèces proviennent du sud de la Chine : riz, haricots, ignames, flèche d'eau, amande de terre, abrasin, arbre à lard, olivier chinois, néflier, noyer, litchi, châtaigne d'eau, canellier chinois, concombre, poivre chinois, gingembre, abutilon, ramie, thé, camphrier, bambous, arbre à laque, indigo, limettier, bigaradier, pamplemoussier, citronnier, etc. Dans tous les cas, la Chine a constitué un centre très précoce d'émergence du Néolithique avec probablement des liens en Chine du Sud avec les civilisations Hoabinhiennes déjà très élaborées au VI^{ème} millénaire avant J.-C. (GUILAINE, 1989).

Au Moyen-Orient dans la vallée du Jourdain, la ponction des chèvres, les coupes pour le bois d'oeuvre et le combustible pour la chaux ont joué un rôle déterminant dans la détérioration climatique vers 6 000 av. J.-C. après une installation datant de 8 500 ans av. J.-C. (ROLLEFSON, 1994). Un impact anthropique lors de l'intensification des brûlis et des coupes auraient-ils pu contribuer en Chine centrale à la dégradation climatique que l'on observe vers 10 000 ans BP, soit près de 2 000 ans plus tôt ? (cf. chap. 6 et 10)

3. La domestication des plantes

L'agriculture chinoise a été dès le début une agriculture de maraîchage et elle l'est demeurée. L'ancienneté de la domestication des plantes est prouvée en Chine par une abondante littérature. Dans le Livre des Odes, dont les fragments datent du XI^{ème} au VI^{ème} siècle av. J.-C., sont citées 150 noms de plantes, dont 10 variétés d'*Artemisia*, *Panicum miliaceum*, le mûrier, le chanvre, etc. Sur près de 120 espèces de légumes cultivés en Chine, la moitié serait d'origine chinoise (MÉTALIE, 1989). Les cultivars locaux se comptent par milliers et près de 300 espèces d'arbres et d'arbustes sont exploités. La très grande diversité actuelle, bien supérieure à celle observable en Europe (GOUY, 1947) est le signe d'une longue domestication et d'une grande capacité à adopter des plantes nouvelles : succès de l'olivier ces dernières années dans le Hubei ou de la cosoude, plante fourragère.

La domestication des plantes a pu se développer très tôt en Chine centrale. L'Homme a rencontré dans ces montagnes tropicales, soumises aux moussons, une grande variété de plantes et une abondance d'espèces ligneuses constituant des réserves alimentaires : Gymnospermes (pin, cyprès, *Podocarpus*, ginkgo), feuillus (hêtres,

châtaigniers japonais, érables, tilleuls, ailanthes, légumineuses et rosacées arborescentes), palmiers et bambous, etc... De très nombreux arbres fruitiers de variété chinoise sont connus (HAUDRICOURT, 1987) : variétés du nord (poiriers, pommiers, pêcheurs, pruniers, cerisiers, merisiers, aubépiniers, cognassiers, oliviers, jujubiers, noyers, noisetiers, arbres à Pécan, amandes du ginkgo et des conifères) ou espèces du sud (kaki, bibassier, litchi, actinidie, wampi, nagé et agrumes).

En même temps que la domestication du porc, l'homme néolithique sélectionne les ignames (*Dioscorea batatas* et *D. japonica*) et les taros (*Colocasia antiquorum* et *Amorphophallus konjac*). Une céréale, le panic (*Setaria italica*), était très connue au Néolithique en Chine et en Europe (HAUDRICOURT, 1987). La variété des légumes cultivés est étonnante et leur multiplicité atteste le passage du stade de ramassage à celui de la protoculture. La liste ne pourrait être exhaustive : navet chinois (*Brassica napiformis*), kudzu, souchet chinois (*Eleocharis tuberosa*), crosne, lotus d'eau, hydropyre, *Ustilago esculenta*, liseron d'eau, mâcres, lis comestibles, choux chinois, ciboule, oignon et ail chinois (*Allium macrostemum*), laitue, melon chinois, chrysanthèmes, fuki, asperge tubéreuse, rhubarbe officielle (plante cultivée pour ses vertus médicinales et exportée en occident avant le XV^{ème} siècle), etc... Certains ont été introduits anciennement : moutarde-salade, aubergine, concombre, ail (*Allium sativum*), épinard, etc...

Les céréales sont variées et propagées à la période préhistorique : certaines sont probablement originaires d'Extrême-Orient (millet et Panic), mais un millet archaïque, le païdza, est encore cultivé en Chine. Au millet vont s'ajouter le soja au nord et le riz au sud. L'orge a été domestiqué à partir d'*Hordeum agrocithon*, comme l'Avoine à partir d'*Avena fatua*. Le Sarrasin a sans doute été sélectionné dans les montagnes de la Chine occidentale à partir de *Fagopyrum tartaricum*... Le blé serait parvenu d'Iran par le Turkestan. L'influence de l'Occident s'est manifesté à trois périodes principales (HAUDRICOURT, 1987). Au Néolithique, depuis l'Iran avec l'introduction du Boeuf et du Cheval, puis à l'âge du bronze (Dynastie Chang) avec l'arrivée du Blé, puis de la charrue (Dynastie Tchéou). Le sorgho parviendrait en Chine au début de notre ère. Le culte du végétal (bambou, orchidées - *Cymbium*, chrysanthèmes) est mentionné sous les Tang (618-907) et le ginkgo est parvenu jusqu'à nous planté dans l'enceinte des temples. Une autre période capitale est le XVI^{ème} siècle avec la découverte des Amériques. Le maïs, originaire du Mexique, a été introduit au XVI^{ème} siècle et a concurrencé les millets traditionnels. Le Voyage de Marco POLO qui traverse une partie du Hubei en direction du Sichuan et la publication de la carte du Vénitien RAMUSIO G.B. (1485-1557) seront des époques importantes pour les contacts. De 1517 à 1520, l'ambassade de Tomé PIREs, herboriste mort en 1524 à Pékin, est un moment capital pour les échanges.

Il existe un riz gluant employé pour l'alcool et les gâteaux, un riz de montagne et le riz ordinaire inondé. Avant d'être cultivé, le riz ordinaire (*Oryza sativa*) poussait comme une mauvaise herbe (type *O. nivara*) dans les champs de taros depuis le Bengale jusqu'aux Philippines. On compte 40 000 cultivars de riz en Chine sur les 120 000 actuellement connus dans le monde (cité par GOUROU, 1984). C'est une preuve supplémentaire d'un foyer de domestication en Chine. Sur le site de Songzi, à Shanghai, des restes de riz ont été datés vers 4 000 av. J.-C. et dans le Zhejiang vers 3 300 av. J.-C. (HARLAN, 1987). Dans le Henan, à Miaotikou, le riz est daté entre 3 880 et 3 280 avant J.-C. (TE-TZU CHANG, cité par GOUROU, 1984). Il est probablement encore plus ancien sur le site de Hemudu. La riziculture inondée pratiquée par les populations préchinoises était peu intensive. Cependant ces agriculteurs mettent progressivement au point les techniques intensives, dans certains cas au contact avec des populations chinoises : labour à la charrue, planage à la herse, irrigation, repiquage, fumure (GOUROU, 1984). Au XI^{ème} siècle de notre ère, les Chinois importent du Vietnam un riz hâtif qui révolutionne leur système de production.

PAYSAGES AGRAIRES ET TERROIRS

Les Tujia représentent une population plus importante que les Han dans les Montagnes du Hubei. Leur agriculture très diversifiée (riz, thé, tabac, légumes, blé d'hiver, pommes de terre, maïs) est associée à l'élevage du porc et à toutes les formes d'artisanat et de petits métiers. Le système traditionnel est menacé par le développement urbain, la déprise rurale postérieure à la révolution culturelle et la course accélérée à la consommation. Identités naturelles, les karsts sont aussi le siège d'identités culturelles et les témoins de l'histoire rurale des Tujia au contact avec les populations Han et les populations proto-Thaï dont les Tujia sont issus, dans le berceau de la civilisation Song du Sud. Lors des croissances démographiques du XIII^{ème} et du XVIII^{ème} siècles, les paysages agraires ont subi de fortes pressions, comme c'est le cas lorsqu'ils ont servi de refuge et de base durant la guerre sino-japonaise et la Longue Marche.



Photo 86 : Les champs de lapiés sont des indicateurs des périodes de colonisation rurale, comme ici dans la région de la doline de Hahulu à l'amont de la perte de Donghe (Hefeng). Durant les phases de colonisation Han ou les périodes de guerres ces montagnes ont vu s'installer des réfugiés et des résistants qui ont exploité à fond les lapiés alors couverts. L'histoire des champs de lapiés raconte ainsi à la fois les crises de l'environnement, les crises sociales et les crises pédologiques. (cliché S.P.)

Karren are indicators of soil erosion by human impact (near Donghe, Hefeng).



Photo 87 : Contrôle de la vallée de Donghe (Hefeng) avec endiguement des berges et développement de la riziculture. En saison des pluies, la rivière peut débiter plusieurs dizaines de m³/s. (cliché S.P.)

Embankments in the Donghe valley (Hefeng).

Le riz présente une tendance à taller abondamment et se prête à la sélection. Plante tropicale, il est apte à prospérer aux latitudes moyennes. Comme le blé, le riz pratique une photosynthèse qui aboutit à la formation de C3, le maïs et le sorgho étant des plantes à C4 se comportant mieux aux températures élevées. On a ainsi proposé (WHYTE, cité par GOUROU, 1984) de relier la souplesse adaptative du riz aux changements climatiques qui se sont produits en Asie des moussons et en Chine centrale et méridionale, tant pour les températures que pour les pluies durant l'Holocène. Il y a lieu de réfléchir à cette question posée précisément pour le changement climatique qui intervient entre 15 000 et 10 000 ans BP (cf. chap. 6 et 10). Ces changements, marqués par plus d'humidité et plus de contrastes saisonniers, avec l'installation d'une mousson active et des interactions d'hiver, auraient pu favoriser la naissance des plantes annuelles, plus souples et meilleures productrices que les plantes-souches pérennes. En effet, le riz a besoin de 1 000 à 1 200 mm d'eau durant la période végétative, sa capacité de diffusion de l'oxygène est 10 fois supérieure à celle de l'orge et quatre fois supérieure à celle du maïs, il prolifère dans les terrains détrempés et supporte bien les sols acides, mais il est exigeant en azote (20 kg d'azote étant nécessaire à une récolte de 1 000 kg). Le développement bactérien et des algues bleues, attestés dans les poljés de Chine centrale au début de l'Holocène (cf. chap. 10), a pu favoriser la domestication de la plante. Ce processus est d'ailleurs largement utilisé par le déversement de fougères aquatiques (azolles) qui organisent une symbiose avec les algues (GOUROU, 1984).

Parmi les légumineuses, le soja est indigène, comme l'adzuki (*Vigna angularis*) et le hassiü (*Stizolobium Hassjoo*), d'autres haricots sont allochtones. Le soja est mentionné en 664 av. J.-C. sous les Zhou. Les plantes oléagineuses (radis, chanvre) sont nombreuses en Chine et surtout les arbustes : tong, abrasin ou *Aleurites cordata* dont l'huile produit le noir de fumée, base de l'encre de Chine. De nombreuses épices (poivres, cannelle, canis étoilé) ont été domestiquées en Chine, les textiles (Ramies, *Abutilon avicennae*), les palmiers, sagoutiers, mûriers, et les tinctoriales (*Polygonum tinctorium* bleu, *Strobilanthes flaccidifolius*, *Rubia cordifolia*, et *Lithospermum erythrorrhizon* rouge). *Astragalus sinicus* est utilisé comme engrais.

Le thé (*Camellia sinensis*) semble une boisson assez récente, mais cependant originaire de Chine méridionale et du Sud-Ouest.

La domestication du riz, parmi toutes les espèces sélectionnées, a nécessité et favorisé très tôt une dimension sociale et religieuse (fécondité) avec le renforcement des liens collectifs. Elle a suscité la division du travail (aménagement de terrasses d'inondation, usage de l'eau en commun, main d'oeuvre abondante et divisée). Elle a exigé une conception gestionnaire précoce des espaces agraires (intensivité, rotation, fumure, contrôle de l'eau en drainage et en irrigation). La domestication du riz a été le moteur et l'expression la plus patente de la néolithisation précoce. Cela favorisera un fonctionnement sans hiatus de l'histoire rurale chinoise. L'intensivité de l'agriculture chinoise est un vestige actuel de cette lente évolution : 4 200 kg de padi à l'hectare contre 2 050 pour l'Inde (BUCK, cité par GOUROU, 1984), mais au prix de 200 jours de travail par récolte (AUBERT, 1981, cité par GOUROU, 1984). Cependant il n'est pas du tout certain qu'il n'y ait pas eu de transition entre les agricultures de « ray » (sur brûlis) et l'intensivité des rizières, particulièrement dans les poljés karstiques. L'écobuage a certainement été pratiqué très tôt pour planter des variétés d'*Oryza montana*, directement sélectionnées des espèces sauvages.

4. La médecine des plantes

La médecine chinoise est un indicateur actuel patent de l'ancienneté de la domestication des plantes. Bien que la biomédecine soit devenue médecine officielle en 1912, la médecine traditionnelle des plantes n'a pas disparu et elle témoigne de l'ancienneté et de la permanence des pratiques de la phytothérapie : l'armoise qui embaume les cliniques d'acupuncture en est un exemple. L'encyclopédie de la pharmacopée traditionnelle chinoise (2 700 p.), publiée en 1977, répertorie 5 767 substances utilisées (MORGENSTERN et al., 1990). Actuelle-

ment une centaine d'espèces médicinales sont cultivées et plus de 4 000 proviennent de la cueillette. Parmi les plus importantes : la salsepareille, l'opium (*Papaver somniferum*), le ginseng (*Panax ginseng*), le savonnier, les arbres à cire (*Sapium sebiferum*), à laque (*Rhus vernicifera*), le camphrier (*Cinnamomum Camphora*). La médecine s'intègre dans une étiopathologie, mais elle a recours à une pharmacothérapie complexe basée sur une combinaison des produits naturels suivant les anciennes techniques taoïstes (DESPEUX, 1989). La Chine est ainsi un foyer ancien de domestication des plantes de ramassage et d'agriculture et il a rayonné. La pérennité de la civilisation chinoise a favorisé la variété des espèces et l'agriculture chinoise devrait avoir succédé sans hiatus au simple stade de cueillette surtout des plantes d'eau (cas de la mâcre ou châtaigne d'eau, de la sagittaire et du riz), mais aussi de la bardane, du plantain et des fleurs alimentaires (chrysanthèmes et lis). Cette longue évolution a pu mûrir en Chine centrale, dans un secteur de contact écologique et humain assez exceptionnel.

Par contre, dans l'histoire rurale chinoise, on est frappé de la faible part faite à l'élevage, à l'exception du buffle. Malgré les multiples contacts avec des populations d'éleveurs, voire des soumissions à des pasteurs, les Chinois n'ont guère développé l'élevage, bien qu'il n'était pas négligeable à l'origine. SION (1923) signale l'existence, au II^{ème} siècle de notre ère, de grands haras et des troupeaux de moutons. L'intensivité de l'agriculture aurait sans doute joué un grand rôle dans l'élimination des pâtis. Finalement la fidélité des civilisations agraires chinoises à leur mode de vie a fini par en assurer la permanence et cela malgré une histoire démographique et sociale fort mouvementées.

5. Explosion démographique et échanges des plantes ?

Durant la longue période antique et surtout après le règne d'Alexandre, de nombreuses plantes parviennent assez rapidement en Chine : luzerne et vigne vers 126 av. J.-C. (mais il existait des espèces indigènes de *Vitis* et de *Medicago*), noix, concombre, poix, épinard, haricots, ciboulette, coriandre, figuier, safran, sésame et grenade en provenance d'Iran entre le II^{ème} et le VII^{ème} siècle ap. J.-C. (LAUFER, cité par HARLAN, 1987). Ces contacts sont directs ou dus aux voyageurs et navigateurs arabes. Les Chinois apprennent des indiens à bouillir le sucre en 647, de l'Égypte à le raffiner à l'époque mongole. Le coton d'Inde, encore un luxe impérial au VI^{ème} siècle, n'est guère répandu avant le XIII^{ème} siècle (SION, 1923).

En revanche, les plantes chinoises mettent beaucoup de temps à s'étendre hors de leur patrie : le riz est encore inconnu en Europe avant la fin du règne d'Alexandre ! Certaines, comme le pêcher, demeurent longtemps inconnues de l'Occident ou ne s'expatrient qu'avec l'arrivée des navigateurs européens. Nous n'avons malheureusement que peu d'informations interprétables durant les périodes antiques et médiévales des échanges botaniques.

Au cours du temps, la population chinoise a augmenté lentement jusqu'à son niveau actuel. En l'an 2 ap. J.-C., la population était estimée à 59,6 millions ; en 1393 à 60,545 millions, soit aucune augmentation en 14 siècles ! En 1542 : 62,6 millions et en 1600 : 150 millions, soit un doublement en 160 ans. En 1700 : 150 millions, à nouveau stagnation, avec les révoltes populaires à la fin des Ming et la conquête mandchoue (1644) ; en 1779 : 275 millions et en 1794 : 313 millions, un doublement. A deux reprises, la population a doublé en quelques dizaines d'années. La première augmentation s'est produite au XI^{ème} siècle et la seconde au XVIII^{ème} siècle (HO Ping-Ti, 1959).

Au Moyen-Âge, on se perd en hypothèses, mais l'intensification des techniques agraires et la modification du régime foncier seraient responsables de la croissance démographique, durant une période allant du IX^{ème} au début du XIII^{ème} siècle, la population doublant pour atteindre 120 millions. L'occupation mongole, entre 1220 et 1368 aurait provoqué au contraire une très forte chute (CARTIER, 1989).

Durant la période moderne, le phénomène de croissance (le jésuite Matteo RICCI et les géographes du XVII^{ème} siècle font état de

200 millions) aurait suivi l'introduction par les marins portugais de divers végétaux cultivables provenant d'Amérique. Les arachides, les pommes de terre, mais également le piment (*Capsicum*) et les tomates poivrées, le tabac (*Nicotina rustica* péruvien et *Nicotina tabacum*), le coton, la patate douce (*Ipomoea batatas*), le haricot noir (*Phaseolus*), la courge (*Cucurbita pepo*), le figuier de Barbarie (*Opuntia ficus indica*) sont introduits. Le cas le plus connu est celui du maïs qui est parvenu par voie terrestre (route de la soie) et maritime. L'agriculture n'a plus été confinée au delta des rivières et aux plaines, où l'irrigation nécessaire à la culture du riz était possible ; les cultures de ces nouvelles espèces se sont développées à flanc de colline, aux dépend de la forêt, en provoquant l'érosion des sols, progressivement devenus improductifs.

La totale allochtonie de certaines plantes dites américaines n'est cependant pas absolument démontrée. La faible exploitation des sources écrites chinoises demeure encore une cause d'imprécision (METAILIE, 1992). Certaines plantes sont d'introduction ancienne telle la vigne et la luzerne ramenées d'Asie centrale par l'ambassadeur Zhang Qian mort en 114 av. J.-C. L'arachide ("*ginseng né de fleur*"), dont les paysans chinois ont développé plus de 300 cultivars, est signalée en 1504 à Shanghai et elle est mentionnée en 1655 dans le Jiangsu, ce qui accrédirait une origine maritime. Cependant des graines auraient été trouvées dans un site néolithique et les textes en font mention en 1368, au XI^{ème} siècle, voire au IV^{ème} siècle (METAILIE, 1992). Pour le maïs ("*sorgho de jade*") mentionné dans l'édition du Banca gangmu de LI SHIEHEN en 1596), l'origine étrangère n'est pas remise en question, bien qu'une poterie à moulage d'épis ait été trouvée dans une tombe de la dynastie des Han (206 av. J.-C. à 220 ap. J.-C.) par ZHANG MINKE (cité par METAILIE, 1992). Certaines minorités du Sud de la Chine ont certainement cultivé depuis très longtemps des variétés de maïs gluant à petits épis. Le tournesol ("*chrysanthème-tourne-vers-le-soleil*") aurait été introduit entre 1573 et 1620 par des moines des régions occidentales, comme la tomate ("*kaki rouge*") (METAILIE, 1992). Cependant des tombes de la dynastie des Han occidentaux (206 av. J.-C. à 25 ap. J.-C.) renferment des graines de tomates (XU, cité par METAILIE, 1992).

Il faut également être sceptique sur la réalité d'une véritable "explosion démographique" au XVIII^{ème} siècle car les données provinciales étaient lacunaires et on aurait des cas de déformations patentes ou des données contradictoires dans les sources accessibles, tant dans les registres du XVIII^{ème} que dans ceux du XIX^{ème} ou du XX^{ème} siècle (CARTIER, 1989). Il n'en demeure pas moins une expansion de la population et des mises en cultures durant le XVIII^{ème} siècle ; et leurs effets sont bien visibles dans les paysages (infra).

B. LES ÉVÉNEMENTS AGRAIRES ET DÉMOGRAPHIQUES ANTÉRIEURS AU XX^{ÈME} SIÈCLE

La vie dans les campagnes du Hunan a été scandée par des peintures, des estampes et des poèmes : chasses dans les forêts giboyeuses (317-420), régulièrement incendiées (408) ; famines dans les campagnes (365-427), malgré la culture du riz précoce (410) ; élevage des vaches et des moutons (698-759 ou 701-761), et dans la solitude des montagnes, peuplées de monastères et d'ours (773-819), landes des aires de charbonniers (772-846), où sévit l'érosion et les éboulements (grand éboulement entre 701 et 762).

Entre 1622 et 1715, les poètes décrivent les durs propriétaires fonciers, les brigands et les marchands du Hunan et l'abondance des moines et des monastères. A partir des relations des missionnaires les paysages chinois sont décrits comme trop peu dépourvus d'espaces non cultivés : pas de boqueteaux, pas de chemins ruraux où flâner au XVIII^{ème} siècle (CANTILLON, 1755, cité par GOUROU, 1984).

Différence avec les années 80 et ses montagnes de céréales, ses mers de coton, ses lacs de colza, mais permanence des produits et des pratiques : haricots fermentés, conserves de sel, fromage de soja, ail, alcool de maïs, pincettes à feu et culte des ancêtres.

1. Les étapes de la domestication des paysages : introduction des techniques, migration des populations et réformes agraires

(d'après BAI SHOUYI, 1988 et 1993, BOZAN et al., 1985 ; ELISEEFF, 1987 ; GROUSSET, 1994 ; ROUX, 1993 ; TROLLIET et BEJA, 1986)

Il existe des périodes-clés de pressions sur les paysages du fait de révolutions techniques ou d'instabilités sociales complexes.

a. La Chine antique

Sous la dynastie des Xia (du XXI^{ème} au XVI^{ème} siècle av. J.-C.) Lei Zu Yu fait connaître l'élevage des vers à soie, lutte contre les Miaos en utilisant des armes en bronze et combat les inondations.

* **L'âge du bronze (1700-500 av. J.-C.)** : Chasse, pêche et cueillette sont pratiquées dans un milieu plus doux et plus humide qu'aujourd'hui et encore épargné. C'est la période des cités-palais murées et des empiètements du royaume de Chu sur le bas Yangtse. Sous la dynastie des Shang (du XVI^{ème} au XI^{ème} siècle av. J.-C.), les techniques du bronze sont très élaborées et l'agriculture joue un rôle dominant. La culture du millet, du blé, du mûrier et l'élevage du ver à soie se développent et s'intensifient, l'élevage étant devenu



Photo 88 : Labour à l'aire sur les pente de la doline aménagée à l'amont de la cavité de Tiankengcao (Wufeng). Cliché S.P.

Near Tiankengcao cave on the Changbuxi area (Wufeng).

secondaire dans une société esclavagiste. La dynastie va durer 600 ans et parvenir dans le sud jusqu'aux régions de la province du Hubei. Qi empereur de la 1ère dynastie est le premier semeur de Ji (millet commun) qui est plus facile à cultiver que le Shu (millet glutineux) et fournit un grain propre à la consommation.

A l'époque des Zhou de l'ouest (du XI^{ème} au VIII^{ème} siècle av. J.-C.) et de la dynastie des Zhou de l'est (du VIII^{ème} au III^{ème} siècle av. J.-C.), surtout à partir de 100 av. J.-C., on assiste au développement de la riziculture irriguée dans l'état de Chu. L'agriculture irriguée sédentaire serait plus tardive et contemporaine des techniques du fer. L'essor de la production agricole est liée également au progrès des instruments aratoires, à l'augmentation des espèces cultivées et de l'échelle de l'exploitation agricole, surtout à la hiérarchisation foncière. L'attribution de fiefs dans le Hubei après les campagnes orientales des Zhou de l'Ouest va modifier profondément les premiers systèmes agraires et aura un retentissement important dans la modification des paysages.

*** L'organisation de l'espace et le développement de la métallurgie (VI^{ème}-III^{ème} siècle av. J.-C.) :** L'introduction du fer et des techniques de fonte «dans la foulée» vont donner une autre dimension à l'agriculture : période de vastes défrichements et de grands travaux.

A partir de 770 av. J.-C., période des Hégémons (770 à 476 av. J.-C.) puis lors des Royaumes Combattants (Zhanguo) de 750 à 221 av. J.-C., les pouvoirs se déplacent vers l'est. L'usage du bronze était répandu en Chine du Sud dès le VII^{ème} et le VI^{ème} siècle av. J.-C.. Le passage de l'âge du bronze à celui du fer, qui se produit dès le IV^{ème} siècle av. J.-C. en Chine centrale et en Chine du Fleuve Jaune, n'a pas manqué d'avoir un fort impact sur les paysages forestiers. C'est une véritable révolution, surtout après 221 av. J.-C., mais le fer était connu vers 513 av. J.-C.. La métallurgie de la fonte remonte en Chine au VI^{ème} avant J.-C.. Cette période est fondamentale pour la naissance du monde paysan. L'idéologie paysanne sera développée par les adeptes de Mo Zi (entre 480 et 390 av. J.-C.), lui-même héritier de Confucius (552-479 av. J.-C.). Dans la province du Hubei cette période est bien illustrée avec les vestiges du tombeau du prince Yi (V^{ème} siècle av. J.-C.) et ses 2,5 tonnes de cloches en bronze (MORGENSTERN *et al.*, 1973). La ponction sur les forêts a été considérable. (photo 88)

La modification des instruments aratoires et le développement de l'agriculture est notable sous les Royaumes Combattants (III^{ème} au I^{er} siècle av. J.-C.). Apparaît alors une nouvelle classe de propriétaires fonciers qui louent la terre aux cultivateurs directs contre paiement en rente ou en nature, avec un système de fermage. Ce système va favoriser la conquête de terres nouvelles. La modification de la propriété foncière engendre le développement de l'économie locale, surtout dans la région de Chu (Hubei). Cette principauté s'étendait sur tout le Hubei, le Hunan, le Anhui, le Jiangsu, le Zhejiang et une partie du Henan, du Sichuan et du Guizhou. La principauté de Chu jouera un rôle capital dans le développement du Sud. L'usage d'outils en fer pour les activités agricoles devient très important vers 400 av. J.-C. et l'utilisation de la fumure organique, la rotation des cultures, les doubles récoltes et l'agriculture intensive comme les grands projets d'irrigation datent du III^{ème} siècle av. J.-C. (HO, cité par HARLAN, 1987).

A la fin de l'époque des Hégémons et des Royaumes Combattants, la suppression des fiefs va voir la mise en place du système des provinces et des districts. Les ingénieurs hydrauliciens s'attaquent alors à l'aménagement des cours d'eau.

b. Les dynasties des Qin et des Han, les trois Royaumes, les dynasties des Jin et les dynasties du Sud et du Nord (III^{ème} siècle av. J.-C. au VI^{ème} ap. J.-C.)

Ces dynasties sont fondamentales pour la naissance des techniques agraires avec la publication des traités d'Agronomie : Fan Sheng ou Chih Shu au I^{er} siècle av. J.-C., ou Chi Min Yao Shu au VI^{ème} siècle de notre ère. Entre 246 et 210 av. J.-C., la fin de morcellement des

principautés marque le début de la dictature des propriétaires fonciers et de la vente libre des terres. Entre 209 et 207 av. J.-C., les taux de fermage peuvent atteindre 2/3 des récoltes. Les impôts et corvées pour la construction des routes, la grande muraille, les tombeaux... vont gréver en priorité le monde paysan, provoquant la grande révolte de 209 av. J.-C. C'est l'époque de démolition des forteresses et des fortifications des villes et des remparts. Les routes impériales et le trafic fluvial désenclavent peu à peu les campagnes.

*** La Chine impériale (206 av. J.-C. à l'an 2 ap. J.-C.) :** C'est la grande période de la «géométrie du pouvoir» (TROLLIET et BEJA, 1986). et de l'organisation de l'espace Han. De 200 av. J.-C à 200 ap. J.-C., la dynastie des Han domine le monde rural et façonne un véritable impérialisme agraire. Les peuplements locaux (aborigènes du sud) vont alors se réfugier dans les montagnes sous la pression des Han. Ces migrations verticales des populations, souvent déplacées par force, marquent une période cruciale pour l'histoire rurale.

Sous l'Empire des Han de l'Ouest (206 av. J.-C à 24 ap. J.-C.), les révoltes se multiplient et Liu Bang est chef des insurgés paysans. Les acquis sont modestes et non durables, ces mouvements sont récupérés, car basés sur des concessions. Cette période est cependant celle d'un essor économique et social, du fait de la répression des marchands spéculateurs. Acquis de courte durée, l'accumulation des terres se renforce sous la centralisation de Wudi (140 à 87 av. J.-C.). Les marchands réalisent des forages pour l'eau et pratiquent le salinage. Les forges d'Etat apparaissent et sont contemporaines d'importantes conquêtes vers l'ouest (Perse et Inde) et de contacts avec les cités de l'Empire Romain. L'accumulation des terres et les lourdeurs de la rente foncière, de la capitation, des impôts sur le fourrage, les monopoles du sel et du fer, les corvées (jusqu'à 60 j/an) sont autant d'éléments du malaise paysan. La question des terres sera aggravée vers 50 av. J.-C., avec la remise en question de la disponibilité des terres incultes ou même publiques (cas des terres près des jardins impériaux) allouées aux paysans et pratique de l'appropriation. A partir de 30 av. J.-C., les calamités naturelles successives engendrent des famines (avec des cas d'anthropophagie) et de graves crises sociales. En l'an 2 ap. J.-C., il existe 60 millions d'habitants et les terres cultivables sont de 63,5 millions d'hectares. Par la réforme de l'an 9 ap. J.-C., l'état devient propriétaire du sol et la vente privée des terres est interdite. L'état contrôle les prix et la vente des esclaves est interdite. En l'an 22 après J.-C., la non application provoque de grandes révoltes paysannes.

Sous l'Empire des Han de l'Est (25 à 220 ap. J.-C.) est effectué le relevé des terres pour vérifier la rente foncière et libérer les esclaves. Les provinces montagneuses du Hubei et du Hunan, comme celles du Sud, sont peu à peu intégrées à l'état chinois il y a deux millénaires (vers 111 av. J.C.) avec l'expansion des Han. Au départ les Han ont rencontré des civilisations du riz et du poisson, partout où se pratique l'agriculture sur «cendres chaudes» (SCHAFER, 1967, cité par BUCHANAN, 1973). Cette sinisation progressive de la plus grande partie de l'espace chinois n'a aucun équivalent colonial au monde. Elle a été réalisée à la faveur d'une «énorme concentration paysanne» selon l'expression de TEILHARD DE CHARDIN. A partir de 58-75, la prospérité économique et sociale permet la restauration des réservoirs, l'extension des exploitations dans les bassins et les poljés. L'énergie hydraulique est utilisée pour les soufflets des fonderies de fer et les papeteries. La fabrication de porcelaine en série et du papier par Cai Lun avant 121 de notre ère — mais l'invention du papier date déjà de 2 siècles — modifie profondément l'économie et nécessite des sources d'énergie nouvelles ou des exploitations plus intensives. A partir des années 90 et surtout au II^{ème} siècle, les crises économiques engendrent les révoltes des étudiants, puis en 184 la révolte paysanne des Turbans jaunes (Huangjin).

Sous les trois Royaumes et sous les Jin de l'Ouest (entre 220 et 280 ap. J.-C.), la diminution de la population rurale est freinée, avec un relèvement sous les 3 Royaumes, période marquée par un retour à une philosophie de la nature. Dès 280, l'Empire unifié favorise un système de distribution des terres entre 280 et 290.



Photo 89 : Préparation de la culture de pommes de terre avec amendement de fumier de porc et bande alternée avec du trèfle qui sera ensillé vert dans le poljé de Changleping (Wufeng). Cliché S.P.
Preparation of the potatoes culture (manure) in the Changleping polje (Wufeng).

* **L'Empire éclaté** : La grande période de troubles et de razzias provoque la désertion des terres, surtout en plaine et la recherche de refuges en montagne. A partir de 386 durant la période des 16 Royaumes se produit une grande poussée vers le Hubei et le Hunan.

La période des Jin de l'Est et des dynasties du Sud (317-420), Song (420-479), Qi (479-502), Liang (502-557) et Chen (557-589) est marquée par les migrations de réfugiés du nord qui s'installent en colons dans le sud, avec défrichage de terres incultes, surtout en montagnes et dans la région des lacs du Hubei. Les réfugiés apportent des techniques avancées, introduisent des produits comme le thé, la porcelaine et les cotonnades.

Entre le IV^{ème} et le VI^{ème} siècle de notre ère, le centre culturel et économique de l'Empire bascule en Chine du Sud.

* **La réunification et l'apogée de l'Empire (580-907)** : La réunification vient du nord et l'extension spatiale de l'Empire devient considérable. Introduit vers les premières années de notre ère, le Bouddhisme fait alors alliance avec le Confucianisme pour provoquer le renforcement de la dynastie féodale et engendrer une perte de l'influence taoïste. Les monastères se développent dans le sud et acquièrent des terres. En 534 on compte 30 000 temples sur l'ensemble du pays et plus de 2 millions de bonzes. Les monastères jouent une importante fonction foncière et usurière dans le monde rural.

c. Les dynasties des Sui et des Tang, les cinq dynasties, les dynasties des Song et des Yuan (VI^{ème} au XIV^{ème} siècles)

A l'époque des Sui (581-618), la construction du grand canal nord-sud et le partage des terres contribuent aux échanges, à l'accroissement de la production agricole et à l'augmentation de la population. Les révoltes de plusieurs millions de paysans renversent la dynastie des Sui en réponse aux enrôlements dans les expéditions contre le roi de Corée.

Sous les Tang (618-907) sont réalisés de grands travaux agricoles et c'est un véritable âge d'or qui commence. Les industries minières et salicoles (dans le Sichuan) se développent. Une nouvelle appréciation des paysages méridionaux se manifeste par l'expérience acquise dans les conquêtes au cours des IV^{ème}, V^{ème} et VI^{ème} siècles. L'introduction de graminées et de légumes, l'ouverture des marchés asiatiques occidentaux, l'influence des arabes en Chine centrale et occidentale, l'introduction du papier en Europe par les Arabes, modifient profondément les systèmes économiques. Les monastères bouddhiques possèdent de vastes domaines avec fermes et

moulins à eau et pratiquent des prêts à usure auprès des paysans. Cette période est bien représentée par les sculptures du site rupestre de Dazu au Sichuan.

A l'époque des Sui et des Tang, un nouveau modèle de charrue est lancé, avec un timon recourbé et donc plus mobile. Il rejette les mottes des deux côtés et facilite le labour profond. Pendant la Dynastie des Wei du Nord, un semoir permet de recouvrir les graines et sous les Tang les faucilles à croissant remplacent les anciennes. De nombreuses améliorations s'élaborent : sélection des semences, préservation et amélioration de la fertilité, multiplication des binages d'aération et favorables à la rétention d'eau. L'artisanat est très actif et les aciéries mettent au point de nouvelles techniques. Epoque de maturité pour le papier, la porcelaine et la construction navale, ces deux dernières étant grandes consommatrices de bois. Dans le domaine hydrologique "Le livre des Eaux" date de l'Époque des Trois Royaumes, mais un commentaire de 65 ou 472-527 décrit plus de 430 ouvrages sur ce sujet. Les rapports féodaux vont aussi peu à peu assimiler les ethnies non chinoises et une nouvelle classe de propriétaires fonciers non aristocrates émerge. "Que les Han et les minorités profitent mutuellement de leurs contributions positives permis d'activer les forces productives de la société et d'assurer la prospérité à l'économie nationale" (BAI SHOUYI, 1988).

A l'effondrement des Tang (fin de 907), durant les 5 Dynasties (907-960), les paysans abandonnent certaines terres incultes et les montagnes servent à nouveau de refuge. Les villes du nord déclinent et celles du sud se développent.

* **La nouvelle société (960-1271)** : C'est une période-clé de création d'une véritable classe des marchands et de naissance de la diaspora (Hakka).

La Chine est unifiée sous les Song du Nord (960-1127) et le pouvoir est encore plus centralisé. Le gouvernement favorise les travaux hydrauliques et encourage le défrichage accru des terres. Le système devient bureaucratique et la concentration des terres demeure inchangée. Sous les Song du Sud (entre 1127 et 1279 ap. J.-C.), le développement des mines de charbon pour pallier à l'épuisement du bois et alimenter les fonderies de fer, et surtout la naissance d'une véritable industrie de la céramique et des porcelaines encore plus perfectionnée, vont modifier considérablement l'environnement. Le développement de l'industrie textile, des papeteries, de l'artisanat des laques et de l'imprimerie, et l'apparition des ateliers publics (fonderies et tissages) marquent une étape dans la modification des

systèmes économiques. Durant cette période, les grandes migrations des Han surtout vers le Hubei, transforment les structures agraires locales et permettent le développement des cultures sur pentes, par introduction d'espèces de riz nouvelles. CHEN-TSUNG (998-1022) contribue à propager de nouvelles variétés de riz originaire du Champa, résistant à la sécheresse, précoce et permettant deux récoltes par an (cité par ETIENNE, 1974).

L'implantation des Han traduit un compromis pour le sud : la période précédente représentant la victoire des hommes du loess, cultivateurs du blé, sur les riziculteurs. La réforme de Wang Anshi (1019-1086) instaure un système d'impôts selon la superficie (péréquation), de prêts sur récolte (loi sur la période de pousse). La loi sur l'exemption des corvées n'est pas appliquée, avec pour conséquence des insurrections paysannes jusqu'en 1121. En 1210, le célèbre ouvrage Keng-tche-tou décrit les techniques agraires.

C'est une période d'apogée pour le Sichuan avec le développement de la ville rebaptisée "Double fortune" (Chongqing) par l'empereur Zhaodun des Song du sud (1127-1279) ; période florissante de fabrication de la poudre, de déboisement pour la charpenterie de marine et de culture du kapok.

La plus grande invention après la période des Sui et des Tang est l'imprimerie qui atteint une haute perfection entre 1023 et 1063, avec la publication des traités de Pharmacologie, d'Histoire et d'Agronomie.

*** La conquête mongole (1280-1368) :** A cette époque commence une période d'ouverture aux influences les plus lointaines, de vigoureuse réorganisation de l'espace et d'un rééquilibrage nord-sud. La condition paysanne s'aggrave, car le système mis en place par les Mongols fonctionne surtout au profit des villes. Famines et jacqueries atteignent la Chine centrale lors de la prise de Pékin en 1215, après que la cour impériale se soit réfugiée au Hunan. Un million d'hommes abandonnent leurs terres dans cette province. La révolte des Manteaux Rouges dure jusqu'en 1223 avec le massacre de 30 000 insurgés (ROUX, 1993).

Après la conquête, l'objectif des Mongols est d'élargir au détriment de l'agriculture la zone de pastoralisme et partout les terres cultivées reculent. A partir de 1234, l'offensive est menée contre les Song avec une attaque du Hubei en 1236, mais c'est l'échec devant les foules paysannes. La campagne victorieuse de 1256-57 passe par le Hunan à la fin de 1257 et en 1273 les villes de Xiangjiang et Fanchang au Hubei tombent. En 1279, la Chine est conquise et Khubilai s'attache très vite les cadres Song et instaure un système de "sécurité sociale" à partir des excédents agricoles. C'est une période importante de développement de l'artisanat et de contact avec l'Occident. L'expulsion des Mongols part de la Chine du Sud et des provinces rétives du Hubei et du Hunan dès 1359. Les paysans vont y jouer un rôle fondamental.

Sous les Cinq dynasties, les Song et les Yuan, la production est entravée par les guerres incessantes et le Sud renforce son avance. La sériculture devient une activité auxiliaire importante et sont pratiquées de plus en plus de cultures intercalaires et aménagées de terrasses de pentes. En 1149, CHEN FU écrit son traité d'Agriculture qui systématise les techniques rizicoles. Entre 1295 et 1300, WANG ZHEN fait une place à part à l'outillage agricole. De remarquables progrès sont réalisés dans le domaine minier, de la céramique et des cotonnades, surtout des découvertes technologiques : aimant et boussole, imprimerie à caractères mobiles, canon, pharmacologie, etc. Les régions frontalières participent de plus en plus au système féodal chinois et sous les Yuan les captifs reconstituent de fait une classe d'esclaves. La période est surtout marquée par un développement jamais atteint jusqu'alors du réseau de communication et d'un tissu serré de relations avec l'extérieur.

d. Les dynasties des Ming et des Qing (XIV^{ème}-XX^{ème} siècle)

*** Stabilisation de l'espace sous les Ming (1368-1644) :** Le fondateur de la dynastie entreprend une œuvre gigantesque de reboisement et

d'organisation du cadastre, sous un régime très autocratique, mais avec une grande conception du rôle de l'état dans les interventions économiques. Zhu Yuanzhang, monté sur le trône en 1368, favorise le recrutement des réfugiés paysans pour la culture des terres incultes, fournissant boeufs et semences. Il encourage les soldats-défricheurs, jusqu'à 70 % dans certaines garnisons frontalières, mais 2/8 dans les régions intérieures.

Puis c'est l'expansion maritime chinoise et l'émigration vers l'Insulinde. On assiste à une forte concentration des terres, l'apparition de la rente foncière en argent et au développement de l'industrie manufacturière (fonderies, tissage, imprimerie, laques et porcelaines, construction navale). A la fin de la dynastie, les révoltes paysannes sont liées à une trop forte accumulation des terres, en particulier les terres publiques (plus de 1/7^{ème} du total). Elles démarrent à l'occasion de calamités socio-naturelles en 1628 et du fait de la corruption de la dynastie. Les ouvriers s'organisent en corporations et un courant nouveau porte vers les sciences naturelles (traité de Botanique en 1518-1593). La chute de la dynastie des Ming est marquée par la montée des Mandchous et les troupes paysannes prennent le pouvoir en 1644 (Grans Shun) avant d'échouer.

La période de grands travaux hydrauliques a débuté sous l'empereur Ming HONG WOU : en 1395 plus de 50 000 projets auraient été menés à bien d'après NGEOU-YANG HÜAN (1273-1357) qui consacre un traité en 1351 (cité par GOUROU, 1984). Le XIII^{ème} est une période de colonisation agricole dans le sud, en particulier à Hong-Kong (CHIU et SO, cité par GOUROU, 1984). Sous les Song, on compte 20 variétés de riz cultivées dans le bas Yangtse : précoce, tardif, glutineux ou non. C'est la période de l'introduction du coton. La surface cultivée passe de 25 millions d'ha en 1400 à 33 millions en 1600 et à 49 millions en 1685, 63 en 1766 et 81 en 1873. Le Moyen-Âge chinois est donc une période d'évolution de l'agriculture et du fait des défrichements massifs, d'intense érosion (ETIENNE, 1974).

La Chine est découverte par les Portugais en 1513, mais dès le XIV^{ème} siècle IBN BATUTA (1304-1369) rapporte des récits de voyageurs attestant le faible rôle de l'élevage (poules, oies et moutons rares). C'est cependant le voyage de Marco POLO (1271-1295) qui fit connaître la Chine à l'Occident. Vulgarisé par le Vénitien G.B. RAMUSIO (1485-1557), les écrits de POLO effleurent la Chine centrale dans un périple entre Xi'an et Pagan par le Sichuan (DREGE, 1989). Bien que légendaire, le récit fourmille de détails intéressants : description de l'utilisation du charbon, distribution de blé et mention des conquêtes de Gengis Khân en 1268, pratique de l'élevage et des cultures de rhubarbe et de gingembre dans les zones montagneuses du Yangtse et de la vallée de Han, avec les céréales classiques (blé, orge, millet, panic et riz) (T'SERSTEVENS, 1978, POLO Marco, ed. 1980).

Les contacts avec les européens et les missions jésuites se multiplient (LECRIVAIN, 1991) : elles sont capitales dans l'évolution des contacts. En 1552 François Xavier se rend en Chine et la carte de RICCI est présentée à Pékin en 1601. En 1640, toutes les provinces ont entendu parler du Christianisme. Puis SHALL devient mandarin en 1650 avant d'être condamné à mort en 1665. Jean-Baptiste Du HALDE (1674-1743) réalise une description démographique de l'Empire de Chine et un Atlas de la Chine (1735). Cette "Description Géographique, Historique, Chronologique, Politique et Physique de l'Empire de la Chine et de la Tartarie Chinoise" devient l'œuvre de base pour la connaissance des occidentaux. Entre 1609 et sa mort en 1641, XU XIAKE, géographe chinois, entreprend de multiples périples, en particulier un voyage de quatre ans entre 1636 et 1639 qui lui permet de décrire avec précision les paysages de la Chine du Sud et du Hubei-Hunan et les minorités ethniques qu'il rencontre. Il décrit en particulier les aménagements agraires qui s'intensifient dans les montagnes du karst durant cette période.

*** La dernière dynastie des Qing (1644-1911) :** En 1741, la Chine couvre 12 millions de km² et compte 143 millions d'habitants, autant que l'Europe, mais déjà 300 millions en 1790 alors que la

population européenne n'atteint que 193 millions en 1800. Période capitale d'extension de nouveaux terroirs agricoles et des productions, elle engendre un surcroît de recettes fiscales et suscite donc des guerres expansionnistes. Corruption et dilapidation vont achever le règne (1796-1820) et provoquer le soulèvement des Han et en 1774 l'insurrection des Miaos du Hunan-Guizhou, puis celles des sectes du Hubei. Fermage-capitation, accumulation des terres et autocratie mandchous sont de mise. Durant les Qing l'exploitation des mines et surtout du charbon prend son essor et des germes du capitalisme apparaissent (manufactures de thé et de soie).

Cette période capitale d'effondrement du taux de mortalité et de progression de la production agricole engendre une pression démographique et de nouvelles migrations du Hunan et du Hubei vers le Sichuan. La vague de colonisation et de déforestation très active en Chine centrale et du sud s'accompagne du développement des cultures commerciales nouvelles.

Les surfaces cultivées augmentent rapidement pendant les premières années de la dynastie des Ming. En 1383 la moitié des terres cultivées sont des terres nouvellement mises en exploitation, qui totalisaient 12 millions d'hectares. En 1393, l'ensemble des surfaces cultivées atteignent 57 millions d'ha. Une régression se signale en 1581, où il ne reste plus que 46,9 millions d'ha, qui est le maximum atteint pendant la dernière période de la dynastie des Ming. En 1661, au début de la dynastie des Qing, les surfaces cultivées couvrent 36,7 millions d'ha et s'étendent progressivement jusqu'à 52,9 millions d'ha en 1812, soit 6 millions d'ha de plus qu'en 1581. Cependant elles demeurent inférieures de 4 millions d'ha à celles de 1393, car en fait ce sont surtout des terres nouvelles qui sont conquises pour les cultures de rentes au détriment d'autres terroirs.

Sous les Ming on introduit d'autres variétés de riz dans le Hunan et le Hubei ; le coton se répand, le mûrier, le théier, les plantes tinctoriales (indigo, safran, carthame), les fruitiers, la canne à sucre, les oléagineux (sésame, arachide, aleurite), mais surtout "les américaines", comme le maïs ou la patate douce très productifs, le tabac. Porcelaine, sel, fer et fonte (dont celle du zinc) prennent un essor considérable à l'époque Ming-Qing. Le Compendium publié en 1578 par LI SHIZHEN est à la fois un traité de Médecine et un recueil de Botanique expérimentale. XU GUANGQI (1562-1633) publie un Traité d'Agriculture qui insiste sur les amendements (photo 89) et la culture des plantes vivrières, souci principal durant cette période d'expansion démographique. Sous les Qing la science chinoise se trouve en contact plus étroit avec l'Occident et les conceptions capitalistes

Durant la période Qing se manifestent les premières rébellions autonomistes et l'irruption des puissances occidentales avec la guerre de l'opium en 1839-1842 qui illustre la naissance d'une société semi-coloniale. Le conflit est lié au fait que l'artisanat domestique est étroitement lié à la production paysanne en Chine. En conséquence il n'existe pas de débouché pour les textiles anglais. La Compagnie des Indes Occidentales organise alors la contrebande de l'opium pour payer les achats de thé et de soie, jusqu'à l'interdiction de 1839 et la destruction de mille tonnes d'opium.

De grandes vagues d'émigration vont vidanger l'empire Qing de ses forces. Certaines annexent des territoires proches : la Mandchourie ponctionne ainsi plus de 10 millions de Han avant 1890 et en 80 ans l'espace pastoral est transformé en domaine agricole. D'autres sont lointaines : période cruciale de naissance de la diaspora chinoise en Asie du Sud-Est au moment où l'Empire est en déliquescence, avec l'émigration de près de 10 millions de chinois entre 1880 et 1900.

L'Empire sombre alors dans le chaos et le monde rural est totalement déstabilisé avec une situation de semi-colonie entre 1870-1880, surtout durant le conflit sino-japonais de 1894-1895. Le mouvement paysan des Boxers s'intensifie avec les interventions étrangères de 1900.

2. Les révoltes paysannes dans le Hubei et le Hunan

Elles sont nombreuses, sanglantes et affectent des masses importantes de paysans (BOZAN et al., 1985). Trois grands ensembles de soulèvements ont marqué l'histoire rurale, provoquant presque chaque fois la chute des dynasties, mais il n'est pas question d'être exhaustif :

- vers la fin de la dynastie des Qin (en 209 av. J.-C.) ;
- à la fin de la dynastie des Sui et de la dynastie des Yuan ;
- à la naissance des Trois Empires (Han, Tang et Ming).

En 22 ap. J.-C., la non application de la réforme agraire de l'an 9 provoque de grandes révoltes dans la contrée de Xinshi (district de Jingshan dans le Hubei), dans celle de Pinglin (au nord-est du district de Suixian dans le Hubei). Des révoltes paysannes se produisent également en 184, 399 et 495 ap. J.-C., ces deux dernières liées à l'arrivée des colons du Nord.

La grande insurrection à partir de 860 ap. J.-C. culmine en 874. Partie du Henan, elle pénètre au Hubei, puis progresse vers le sud-est jusqu'à Guandong, avec retour par le Hubei. Elle atteint Anhui et le Henan.

A partir de 1840, la guerre de l'opium fait rage et la Révolution des Taiping est déclenchée par les paysans en 1851 et elle marque la fin de la domination des Qing. La guerre paysanne des Taiping



Photo 90 : Four à charbons de bois au fond du canyon-perde de Donghe (Hefeng). Les arbres de bonne taille deviennent rares et les paysans vont les couper sur les flancs escarpés des vallées. Cliché R.M.

Charcoals oven in the bottom of the Donghe blind canyon (Hefeng).

démarre sur une situation de disette alarmante et en 1853 l'armée des Taiping s'empare de Wuchang au Hubei et après une expansion se retire à nouveau dans le Hubei-Hunan en 1854-55 avant de poursuivre la lutte contre les Qing jusqu'en 1868. De nombreuses révoltes de minorités vont suivre cet exemple (cas des Miaos). Cette période est celle de grands bouleversements dans les campagnes, surtout en Chine centrale totalement désorganisée pendant 1/4 de siècle (1844-1868), avec pratique de la terre brûlée, exploitation sauvage et rapide des terres par manque de produits alimentaires de base.

Les mouvements des Yi He Tuan (Boxers) sont menés par des paysans en 1900 avant l'épopée de la Grande Marche dont les appuis seront situés au Hunan-Hubei. Il faut noter que chaque opération paysanne procède d'une parfaite connaissance géographique des bases-refuges montagneuses du Hubei, du Hunan ou du Guizhou et que le karst a joué un rôle fondamental dans le fonctionnement et l'appui des révoltes. L'histoire des paysages agraires nous apprendra, à l'avenir, les impacts que ces révoltes ont eu sur les prises et les déprises des terres, sur la déforestation et l'érosion des sols.

C. LES DÉSÉQUILIBRES DU XX^{ÈME} SIÈCLE

De la fin du XIX^{ème} siècle au milieu du XX^{ème} siècle, la population chinoise a été sous le coup des grandes ponctions catastrophiques. Par exemple, la rébellion des Taiping, entre 1851 et 1864, a fait 20 à 50 millions de morts. La sécheresse de 1877-1878 est responsable de 9 à 13 millions de morts. Entre 1937 et 1945, la guerre a provoqué la mort de 6,5 à 13 millions de personnes. Enfin, la prise du pouvoir par Mao, en 1950-1952, est à l'origine de 3 millions de morts. La ponction totale représente ainsi entre 48,45 et 98,075 millions de personnes (GENTELLE, 1974).

La ponction la plus considérable se produit durant les fameuses années 1960 et 1961 qui sont marquées dans les courbes de la natalité et de la mortalité par des pics impressionnants (LARIVIERE et SIGWALT, 1991). Cette catastrophe politique et démographique est la conséquence directe du Grand Bond en Avant avec 30 millions de morts en deux ans, une diminution globale de la population de 1,5 % et une mortalité anormale de 30 % (LE BRAS, 1982). En réaction, en 1963, on note un record historique inverse avec un accroissement naturel de 33%. A partir de 1962, le blocage autoritaire de la population des villes répercute tout l'accroissement démographique sur les campagnes où la surface moyenne cultivée par famille tombe à 6 mu soit 0,4 ha. A partir de 1973, la limitation des naissances devient efficace partout.

1. La guerre civile, la Chine populaire, la réforme agraire de 1950 et le Grand Bond en Avant

Au début du XX^{ème} siècle, la grande misère des campagnes chinoises, la congestion démographique, l'usure, le banditisme et les calamités conduisent à un véritable chaos qui culmine avec l'invasion japonaise en 1938.

Après la Révolution bourgeoise de 1911 et la naissance en 1921 du Parti Communiste chinois, le 1er octobre 1949, la République Populaire de Chine est créée. C'est la période d'essor du capitalisme au cours de la première guerre mondiale avec le développement des filatures, le progrès des sciences occidentales et la concurrence avec les produits occidentaux. Tabac, soie et thé sont en baisse et les importations de coton augmentent.

Les mouvements paysans se développent à partir des bases du Hunan-Hubei en 1925. En mai 1926, Mao prend la tête de l'Institut National du Mouvement paysan et le mouvement se développe à partir du Hunan ; au début de 1927, il gagne tout le pays. En août 1927, l'insurrection donne naissance à l'armée populaire et des insurrections se produisent pendant la moisson d'automne dans le Hunan et le Hubei. La guérilla de Mao démarre dans le district de Liuyang dans le Hunan. Après l'échec des soviets ruraux en 1928, les communistes vont prendre appuis dans les forteresses naturelles montagneuses. La longue marche de l'Armée rouge, "Anabase" de près de 100 000 hommes, va s'enfoncer dans ses 15 bases retranchées paysannes des

karsts du Hunan, du Hubei et du Guizhou et finalement l'emporter en octobre 1935, après un périple de 12 500 km en un an.

La guerre sino-japonaise de 1837 à 1945 va également utiliser les bases résistantes des montagnes karstiques. En 1940 la population des bases anti-japonaises atteint 100 millions de personnes. Entre 1941 et 1942, la politique des japonais de "tout brûler, tout piller, tout massacrer" déclenche une vague de défrichage et de culture intensive dans les populations des régions libérées, pour résoudre les problèmes de ravitaillement, avec une politique de réduction des fermages, en même temps qu'une guerre des mines dans les zones montagneuses. Entre septembre 1945 et septembre 1946, 4,3 millions d'hommes dont 1,2 de l'Armée Populaire entrent en action et il faut les nourrir sur les terroirs exigus des karsts de montagne. Durant cette période, les prix des denrées vont augmenter de 1 800 fois du fait de la pénurie et des difficultés de ravitaillement et cela jusqu'à la rédition du Japon (BOZAN et al., 1985). Cette urgence va engendrer une exploitation agricole "à la sauvette" pour palier aux carences du ravitaillement de millions d'hommes. Elle a des conséquences encore visible dans les paysages : les sols sont intensément érodés et les poljés et les cavités se remplissent (cf. chap. 6 et 10).

Dans tous les cas, sans l'action des paysans pauvres des karsts chinois, il est probable que la guerre n'aurait pas été gagnée et la réforme agraire qui a suivi n'aurait pas été menée à bien. L'enquête menée par MAO en 1927 dans le Hunan le met bien en évidence par anticipation.

La réforme de 1950 a d'abord exproprié les propriétaires fonciers avec 800 000 exécutions selon Edgar FAURE. Puis les terres sont redistribuées : 40 à 47 millions sur 107 millions d'ha et 100 millions de familles chinoises sont pourvues d'un lopin de terre, soit 300 millions de paysans pauvres. En 1957, la population est organisée en brigades et 700 000 grandes coopératives. A la fin de 1958, les quelques 740 000 coopératives sont absorbées dans 26 000 communes populaires, regroupant chacune environ 20 000 personnes. Elles sont fractionnées vers les années 1960 et atteindront vers 1967 le nombre de 780 000 (CHIAO MIN, 1967, cité par BUCHANAN, 1973). Les coopératives et surtout les communes ont permis une utilisation rationnelle de la main d'œuvre, surtout dans le monde rural. Elles ont modifié la structure atomisée des communautés paysannes et ont de ce fait permis des investissements collectifs considérables. Malgré des succès initiaux en 1953, la réforme agraire aboutit à un morcellement de la terre, parcelles voisines de 1/15^{ème} d'ha d'où la nécessité de regrouper. Le regroupement de 1955-56 engendre de nombreuses dérives : le cheptel est souvent abattu au lieu d'être donné à la coopérative, les investissements en travail s'effectuent mal et en 1957, la production agricole stagne malgré l'utilisation de 858 000 tonnes d'engrais et 188 000 tonnes de matière active (ETIENNE, 1974). Les paysans sont souvent employés à plein temps à des travaux de terrassement sur des pentes trop fortes dont l'utilité est discutable. Les quotas sont rarement respectés (BERGERE, 1987). Dès l'hiver 1957-58, 100 millions de paysans dépensent 9 milliards de jours-travail (DUMONT, 1974). Les rizières récupérées sur des sols trop marécageux donnent des rendements très bas et du fait des déclenchements érosifs, les poissons (compléments protidiques) se sont raréfiés. Les récoltes n'atteignent presque jamais les prévisions et les annonces officielles. Il existe un écart et un retard entre la "récolte biologique" et la "récolte engrangée" provoqués par l'incapacité des communes à moissonner toutes les récoltes et par un gaspillage accru (YUAN-LI WU in BUCK, 1966, cité par BUCHANAN, 1973). De 1952 à 1971, la hausse des productions végétales alimentaires est de 60 %, mais la population a augmenté d'au moins 45 %. La sécheresse de 1972 confirme la fragilité de l'agriculture au Hubei et au Hunan en particulier (ETIENNE, 1974).

La décision est prise de déclencher le Grand Bond en Avant et ses conséquences désastreuses sur la rentabilité du travail et la production. Malgré de bonnes conditions naturelles, la récolte de 1958 est voisine par tête de celle de 1957. La famine de 1960 aurait tué une vingtaine de millions de personnes (16 à 28 millions pour les experts occidentaux et 13 millions pour les sources chinoises, BERGERE,

1987) et cela avec des semences qui ont bénéficié de 2 millions de tonnes d'engrais et de 443 000 tonnes de matière active (JUNG-CHAO LIU, cité par ETIENNE, 1974). Sur une récolte de grains de 146 millions de tonnes, il ne serait resté aux paysans après livraison à l'état que 97 millions de tonnes, soit 187 kg/hb/an. Il n'est donc pas sûr que la production par travailleur ait été plus élevée en 1970 qu'en 1930, car la production avait doublé, mais la population aussi (GOUROU, 1984). Pendant trois ans, les campagnes chinoises sont complètement désorganisées. La consommation de grains par tête passe de 204 kg/an en 1957 à 163,5 kg en 1960. En 1961 la famine se conjugue aux épidémies et le taux de mortalité qui était de 25,4 % en 1960, reste à 14,4 %. En 1977, un membre du bureau politique du Parti reconnaît que 100 millions de chinois sont au bord de la famine (LI XIANNIAM, cité par BUCHANAN, 1973).

Cependant il faut observer que durant la période de préparation des récoltes de 1960-61, les paysans chinois irriguent en 18 mois deux fois plus de terres (BUCHANAN, 1973) que durant les 8 000 ans de riziculture antérieure ! Il est probable que sans cet investissement en travail unique dans l'histoire de la planète en un temps aussi court, les effets sur les récoltes auraient été différents.

2. La période de Deng Xiao Ping (1980)

Dès 1978, une décollectivisation est amorcée pour diversifier la production avec un encouragement aux "foyers spécialisés" ; on en compte 25 millions en 1984. De 1978 à 1983, la production de grain augmente de 23 %, avec 8,7 % en 1982 et 9,2 % en 1983. Les cultures industrielles atteignent des taux de croissance records entre 1978 et 1983 : 114 % pour le coton, 102 % pour les oléagineux et 50 % pour le thé et s'amorce alors une politique de "quitter le travail de la terre sans quitter le terroir" (Litu bu lixiang). L'application plus souple la Charte agricole en huit points (labours profonds, développement de l'irrigation, semis serrés, amélioration du matériel, utilisation accrue des engrais, sélection des semences, protection des cultures, amélioration des méthodes de cultures et de la gestion des exploitations) va donner ses fruits.

Le succès de la stratégie de réajustement et de l'initiative privée est aussi en partie liée à un accroissement de la consommation d'engrais multipliée par deux entre 1978 et 1983 (LEMOINE, in GENTELLE, 1989). Dès 1982, l'accent est mis sur l'amélioration de la productivité plutôt que sur le plein emploi (LEW, in GENTELLE, 1989). La décollectivisation entraîne la disparition des étiquettes de classes et en particulier restitue les droits sociaux aux propriétaires terriens lors du partage des terres de 1982 (PIERQUIN-TIAN, in GENTELLE, 1989). Les paysans s'organisent en équipe de travail et passent des contrats et la division du travail tend à s'amoindrir. En revanche, le déclin du rôle des femmes apparaît comme une conséquence du retour au foyer, le chef d'exploitation redevenant le chef de famille (BERGERE, 1987).

La décollectivisation agricole libère 180 millions de familles, soit 800 millions de ruraux et engendrent un système de fermage avec des succès immédiats : les campagnes s'enrichissent et se désenclavent et une part croissante de la production est commercialisée (35 % des grains en 1984 contre 20 % en 1977). Les revenus paysans passent de 135 yuans par personne et par an à 355 entre 1978 et 1984 (AUBERT, 1989).

Depuis, les effets bénéfiques de la réforme agraire de 1978-1980 sont épuisés, la production stagne et l'initiative privée est défaillante. En 1985, avec la levée des monopoles d'état, le système des contrats remplace les livraisons obligatoires et les productions stagnent du fait de la non-maintenance de prix conventionnés. Les emblavures diminuent par rapport au niveau record de 1984 avec de fortes et brutales oscillations du fait que le négoce privé est encore peu organisé ; et les campagnes demeurent très atomisées face aux administrations locales (AUBERT, 1989). Le revenu paysan augmente encore en 1987 (465 yuans), mais c'est le fait de revenus non agricoles. La pauvreté rurale demeure : est pauvre celui qui vit avec moins de 300 kg de grains et moins de 300 yuans par an, soit environ

100 millions (10 % de la population). 60 millions de chinois sont affectés de maladies endémiques et les migrants ruraux (30 millions en 1989) ont pu atteindre 120 millions en 1993. Le total des emplois créés ne devait pas dépasser 30 millions (de BEER, in GENTELLE, 1989).

Dans les années à venir, le "dégraissage" des industries en mal de rentabilité devrait jeter sur le marché plus de 50 millions de chômeurs chaque année. De plus, l'économie privée dans les campagnes est devenue fort disparate. Dans le Sud, la pression des hommes sur la terre est lourde et la taille des exploitations a diminué vers 0,3 - 0,6 ha, mais les 2 ou 3 récoltes libèrent des surplus de revenus non agricoles. Par contre, les zones montagneuses ont des revenus strictement agraires. C'est dans ces régions que se trouvent les 70 millions de chinois qui ne disposent pas des 200 kg de grains minimum par an (ETIENNE, in GENTELLE, 1989). Malgré l'entraide spontanée (CHEN YING, in GENTELLE, 1989) et les entraides au financement (PAIRAULT, in GENTELLE, 1989) la situation est devenue précaire et les montagnards sont gravement menacés d'exode vers les villes.

Dans l'avenir, les défis au monde paysan seront de développer l'élevage, d'amender de façon plus rationnelle, mais surtout de gérer l'énorme capital de travail du monde rural dans une économie en mutation et actuellement soumise aux marchés internationaux (AUBERT, in GENTELLE, 1989). La gestion des ressources en eau, le contrôle de l'érosion des terres, le renouvellement des sources d'énergie vont devenir des problèmes de plus en plus délicats à résoudre. Si un exode rural massif irrigue les villes, l'érosion des terres de montagnes sera tamponnée, mais les problèmes d'emploi seront encore plus cruciaux.

3. Les crises actuelles de l'environnement

a. Etat de la déforestation

La déforestation est un phénomène ancien et partout où s'est produite l'expansion chinoise, elle a été systématique, comme une sorte de trait ethnique, l'approche d'un village s'annonçant par la ruine de toute végétation spontanée (SION, 1923). Les forêts tropicales à saison sèche marquée ont été plus faciles à essarter que les autres en raison de leur moindre densité et de la possibilité de les attaquer par les feux de printemps. En Chine défricher ou détruire la végétation naturelle et surtout les arbres était synonyme de cultiver. Dans un système chinois où était prôné le jardin et le champ carré d'un li de superficie (11 500 m²), divisé en neufs carrés égaux, l'arbre était quasiment exclu (GENTELLE, 1974).

L'écobuage a donné très tôt une intensification des cultures indigènes de type "ray" (encore pratiquées par les peuples Kawa ou Jingpo) en ce sens que l'abandon après 3 ou 4 ans n'a pas été respecté. Par ses déplacements, le ray sollicitait un éparpillement des populations. Les insécurité historiques en obligeant à des refuges localisés ont contribué "à fixer et à intensifier". Il n'est pas certain non plus que seules les agricultures très intensives soient génératrices de collectivisme, cas bien connu des Moï. Attendre 10 ans, voire 25 ou 30 ans, a pu devenir irréaliste et très tôt la rotation n'a pas été respectée et la sédentarisation a renforcé le mécanisme. L'écobuage amélioré a ainsi peu à peu conduit aux densités que l'on connaît dans les peuplements des montagnards Miao ou Tujia du Guizhou, du Hubei ou du Hunan. Ce mécanisme a procédé d'une destruction presque totale de l'espace forestier et s'est accompagné de l'aménagement des terrasses avec certainement le développement de la propriété privée, obstacle au maintien d'espaces boisés.

Le fait que 60 % de la superficie actuelle de la Chine aient été incorporés tardivement à l'espace chinois a sans doute retardé pour certaines régions la déforestation totale. En 1949, les forêts couvraient au total probablement 90 à 100 millions d'hectares, soit moins de 10 % de la superficie de la Chine, avec localement des taux très bas. Actuellement la Chine fait encore plus piètre figure avec un taux qui est tombé encore plus bas, 5 à 8 %, car certains auteurs y incluaient les plantations de théiers ! Comparés à l'ex-territoire soviétique, 34 % de vraies forêts, aux Etats-Unis 33 % ou même à l'Inde 22 %, ce taux est

inquiétant même si l'on admet un taux de 9 % (PEZEU-MASSABUAU, 1972) comparé au Japon (68 %). Les forêts du Yunnan, principale réserve, déclinent de 13 % par décennie. Les forêts du Sichuan ont chuté de plus de 30 % depuis 1950, et ces taux sont comparables dans les zones montagneuses qui représentent 40 % du total forestier, 20 % étant dans les zones collinaires.

Ce déboisement généralisé s'est traduit par une pénurie de bois d'œuvre et de combustible. Les besoins en bois d'œuvre ont été estimés à 150 millions de m³ pour la période 1960-1990, ce qui épuiserait en une génération les ressources estimées à 5,5 à 7,5 milliards de m³ (BUCHANAN, 1973). En 1988 les forêts auraient couvert 12 % (?) de l'espace chinois. Lors du 1^{er} plan quinquennal les reboisements ont été de 11,3 millions d'ha. En 1958, 27 millions d'ha ont été reboisés, en avril 1959 plus de 13 millions d'ha supplémentaires. En 1961 et 1962, 1,6 millions d'ha de rideaux sont plantés pour lutter contre le processus de désertification dans les régions ensablées (10 % du territoire). Cela a représenté 40 % des surfaces reboisées. Les plans prévoient cependant un reboisement à 20 % de l'espace total à l'échéance de l'an 2000 avec 66 millions d'ha nouveaux, mais il est douteux qu'ils soient réalisés puisqu'actuellement les investissements de reboisement sont très inférieurs aux valeurs des coupes. En 1965, plus de 30 000 fermes forestières étaient gérées par les Communes et les 3 500 fermes d'Etat géraient environ 30 millions d'hectares de forêts (PEZEU-MASSABUAU, 1972). La décollectivisation les a gravement menacées.

La forte population rurale, le déboisement, la pauvreté posent au paysan un problème difficile, celui du combustible (GOUROU, 1984). Face à ce problème, le paysan ne dispose souvent que de ses chaumes qu'il utilise plutôt comme litière ou fumier et de broussailles. Dans certains secteurs rizicoles particulièrement pauvres en végétation arborescente, les céréales sont même arrachées. Ce dernier point menace gravement le recyclage de la matière organique dans un pays où les engrais humains ne représentent plus en 1981 que 10 % des apports totaux, contre 25 % en 1952. Les densités actuelles (223 h/km² dans le Hubei et 232 dans le Hunan) vont certainement s'accroître, comme les besoins en énergie (annuellement 850 millions de tonnes équivalent charbon). La ponction sur les forêts va donc s'intensifier dans les secteurs des karsts de montagne où il en demeure des lambeaux.

Pour le bois de chauffe et le charbon de bois dont les marchés actuels regorgent (Wufeng), on assiste à la poursuite de la déforestation dans les secteurs les plus difficiles, flancs de canyons, reculés les plus inaccessibles... (photo 90) Cependant l'augmentation de la production et de la consommation de charbon, avec les effets atmosphériques signalés (cf. chap. 12), devrait ralentir la production des charbonniers. La fabrication de briquettes de poussier est devenue pratique courante dans toutes les grandes agglomérations. De ce fait la pollution de l'air est devenue un problème majeur : en 1986 24 millions de tonnes de SO₂ et 22 millions de tonnes de poussières ont été éjectées. 14 millions de tonnes/an sont sans doute liées en grande partie au charbon. Les sources sont aussi riches en produits aromatiques cancérigènes (benzo-pyrene). La pollution est largement alimentée par les 15 millions de tonnes de cendres émises par an dans les rivières du fait des incendies agricoles (GLAESER, in CANNON et JENKINS, 1992). Actuellement les grands consommateurs de bois-énergie sont les fours à chaux, chaque village, chaque unité de ferme isolé en met un en œuvre au moins durant la période de réfection de son habitation. La vague d'amélioration de l'habitat commence par l'utilisation de ce type de mortier, le ciment coûtant souvent trop cher. Il faut ajouter les nombreuses briqueteries.

La Chine compte plus de 800 millions de ruraux (6/10 en Chine rizicole), dont plus de 300 millions d'actifs pour un peu plus de 150 millions d'hectares cultivés. Que deviendraient les métropoles chinoises si on retirait des campagnes près de 400 millions de ruraux estimés non productifs ? Le maintien de la population rurale dans un système d'intensification agricole n'ira qu'en réduisant les jachères, en déforestant encore plus et en amendant. Comment la Chine pourra-t-elle "survivre et développer" suivant l'expression de CAI et

SIGWALT (1993). Le défi démographique chinois est aussi un défi à l'environnement rural dans une Chine où 73,6 % de la population était agricole en 1991.

Au Hubei et au Hunan, la densité de population était respectivement de 290 et de 286 h/km² en 1990 et les taux d'urbanisation ne sont que de 28,9 et 18,2 % sur une moyenne chinoise de 26,2 %. Il sera difficile de ne pas empêcher la population de croître et surtout les villes : l'accroissement annuel des villes moyennes est de 12,9 et 12,3 % respectivement au Hubei et Hunan. De 1982 à 1991, la population urbaine s'est accrue de 90,63 millions et le taux d'urbanisation est passé de 21,13 à 26,37 % pour l'ensemble du pays (CAI et SIGWALT, 1993).

La disponibilité des terres arables par habitant est de 0,1 ha soit le quart de la moyenne mondiale et plus du quart de l'augmentation annuelle du revenu national est consommé par l'augmentation annuelle de la population.

Avec une population qui va atteindre son sommet entre 2030 et 2050, l'arrivée en âge de procréer des femmes nées lors du "baby boom" de 1963 à 1973, la réduction de la disponibilité des terres, la réticence à une limitation des naissances du fait du culte de l'enfant et de la libération des mentalités, un développement de la consommation, l'apparition du chômage et de la délinquance, on ne voit pas comment la Chine va pouvoir respecter son environnement. Dans les campagnes l'érosion des sols va devenir le problème majeur avec l'intensification et la pratique généralisée des cultures de rente, appelée par la nouvelle société de consommation.

b. Erosion et épuisement des sols, rôle traditionnel des terrasses et contrôle de l'eau

Il y a un lien tellement évident entre l'intensité des pluies de mousson et leur puissance érosive (SION, 1928) qu'il est inutile d'insister. Signalons cependant que le Yangtze écoule en moyenne 979 km³/an, beaucoup plus que le Si Kiang (327 km³/an) et le Fleuve Jaune (56 km³/an). Ces valeurs doivent permettre de réfléchir au potentiel érosif d'une partie du bassin-versant que représente les montagnes karstiques de Chine centrale. Après les ravages des Taiping (1851-1864), les montagnes sont déboisées et dépouillées de leurs arènes qui obstruent les rivières. En Chine du Sud, les ravages de la révolte musulmane (1894-1895) ne sont réparés que lentement et les traces sont encore visibles au début du XX^{ème} siècle après près d'un demi-siècle (SION, 1928).

La conquête des pentes est généralisée depuis 1949 et surtout sur les collines défrichées à sols rouges très sujets au foirage qui occupent près de 70 % des surfaces en Chine du Sud (GENTELLE, 1974) et plus de 60 % au Hubei-Hunan. En 1949, la Chine dispose de 21 millions d'ha de terres irriguées, 26 millions en 1955-56, auxquels s'ajoutent 8 millions d'ha l'année suivante et 32 millions en 1957-58 (BUCHANAN, 1973). Cependant de nombreux micro-ouvrages sont mal préparés et sur 1 million de réalisations dans le Hubei, 82 % sont asséchés en 1959. Sur les 71,3 millions d'hectares irrigués annoncés en 1959, seuls les 2/3 sont réalisés.

Entre 1957 et 1977, 210 000 km² de nouvelles terres agricoles sont nécessaires, alors que seules 1 million de km² (10 % de l'espace) sont cultivables. Durant la même période 330 000 km² sont perdus par des aménagements et surtout les érosions, déflations, etc... 40 % des sols sont des sols très dégradés et épuisés, 20 % sujets à l'érosion car très pentus, 9 % sont trop sableux, 8 % engorgés et souvent salés. Dans les plaines du Hubei, alcalinisation et salinisation sont le résultat d'une intense irrigation. Des problèmes de nitrification des profils et des nappes se posent avec les effets de la "Révolution Verte". Surtout de nombreux profils acidifiés (podzolisation) ne jouent plus leur rôle épurateur. Entre 1958 et 1970, les pesticides sont devenus un problème majeur liés à la culture intensive du riz et du coton. La propagation des maladies cryptogamiques via les sols, s'amplifie avec l'eutrophisation des nappes dans les profils. Depuis la Révolution Verte, les insecticides à large spectre engendrent l'explosion de la cicadelle brune du riz en 1970. L'utilisation des fumures azotées accroît les germes pathogènes hébergés dans le sol



Photo 91 : Technique d'irrigation utilisant des petits troncs creusés en rigoles. Cette méthode rudimentaire permet d'irriguer des petites pièces de terre au milieu des champs de lapiés (au-dessus de la perte de Donghe, Hefeng). Cliché R.M.
Irrigation in the karren above the Donghe blind canyon (Hefeng).

(*Rhizoctonia solani*), surtout pour les hybrides nains qui se trouvent près du sol.

L'érosion et la dégradation des terres sont indissociables du contrôle des eaux (photo 91). Si la pénurie d'eau qui menace le nord ne se fait pas sentir de la même façon dans la Chine des moussons, l'irrigation est devenue partout nécessaire pour maintenir les rendements, et les nappes sont de plus en plus polluées en même temps que les retenues s'ensavent. Le lac Dönting, qui couvrait 6 270 km² (10 000 en crue), est réduit à 3 500 km², dont 800 km² de polder, soit une diminution de 60 % depuis 1949 du fait du colmatage par les sols (la surface s'est encore réduite en 1970 à 2 691 km²). Le lac avait déjà dû être reconstitué après les Ming dans la deuxième moitié du XVIII^{ème} siècle à la suite d'une période très sévère de désorganisation sociale et d'érosion des sols.

La province du Hubei est profondément modifiée par les aménagements hydrauliques entre le XVI^{ème} et le XIX^{ème} siècle pendant une période de forte croissance démographique (WILL, cité par GOUROU, 1984). Ces aménagements qui démarrent sous les Song sont précédés d'aménagement de rizières étagées sur les versants. Les incidents sont nombreux surtout lorsque l'attention administrative se relâche (à la fin des Song, de la dynastie mongole, des Ming ou des Mandchou), en particulier en 1788 et récemment en 1981 (avec 23 000 ha inondés) et surtout en 1954. Une dizaine de millions d'hectares de nouvelles terres agricoles délaissées doivent être transformées, mais dans des régions à risques majeurs, en particulier sismiques.

Il n'existe guère de paysages ruraux qui n'aient été modifiés par l'homme en Chine : défrichages rectificateurs des pentes, prairies

artificielles à sols amendés sont des techniques ancestrales. Mais c'est dans le contrôle de l'érosion des sols et dans l'édification des terrasses que les paysans chinois sont passés maîtres. Cependant, depuis 1949, les zones d'impact des sécheresses et des inondations s'accroissent de 65 % (SIGWALT, 1989). La désertification touche chaque année 1,5 millions de km² et la progression est de 0,3 millions de km² depuis 1949. Chaque année 120 000 km² de désert sont progradés. Tous les ans, 30 à 35 millions de m³ de sols transitent par les rivières (DERBYSHIRE, in CANNON et JENKINS, 1992) et les occurrences comme celle de la Rivière Xiao avec 2 800 m³/s augmentent depuis les trois derniers siècles.

La solution des terrasses est bien connue sur des pentes de plus de 35-40°, voire 70° et des dénivelés de plus de 100 m. L'utilisation des rideaux d'arbres avec *Pinus*, *Biota*, *Astragalus*, *Hypophaea*, *Ulmus*, mais surtout le robinier (*Robinia pseudo-acacia*) et les bambous. Ces techniques traditionnelles réduisent les pertes en sols de 75 à 90 %. La largeur des terrasses est variable : 5 m sur des pentes de 25° et 22 m sur des pentes de 5°.

Depuis 1950, la stabilisation des sols est assurée avec des plantes nouvelles (Alfalfa, *Dactylis glomerata*) ou des espèces indigènes très efficaces contre la déflation (*Hedysarum*, *Astragalus*, *Caragana microphylla*, *Larix sp.* et *Salix sp.*). Le contrôle de l'écoulement est assuré par des lacs (lac Tungting, plus de 3 000 km²) et de réservoirs dans le bassin du Yangtse qui reçoit les 3/4 des précipitations totales de la Chine. Rappelons qu'en 1931 les inondations font 135 000 morts. Entre 1949 et 1956, plus de 3 800 km de chenalisation et de diversion sont construits et des méga-projets sont en cours.

Les problèmes écologiques liés à la future retenue des "Trois Gorges" sont cependant loin d'être maîtrisés. Le barrage va avoir 200 m de haut, créer un lac de 2 km de large et 500 km de long, provoquer une remontée du niveau de base de plusieurs mètres et obliger sans doute le déplacement de plus de 50 millions d'habitants. On ne connaît rien des impacts sur la circulation karstique, sur le fonctionnement des nappes, en particulier sur la modification de leur rôle auto-épurateur lié à la remontée du niveau de base dans une région très peuplée. La maîtrise de cette réalisation gigantesque demandera de longues évaluations préalables.

II . La zonation des cultures au Hubei et au Hunan

Les provinces du Hubei et du Hunan constituent depuis longtemps une unité et elles forment jusqu'à la fin de la dynastie Ming la seule province de Huguang. Au moins à partir du XVII^{ème} siècle, elles fournissent en grain le bas Yangtse et en reçoivent les émigrants. Ces régions sont enclavées et les zones cultivées ne représentent que 20 à 25 % des surfaces totales. Surtout montagneuses, elles sont caractérisées par de fortes minorités ethniques (au Hunan 4 %) et des densités de montagnards qui peuvent dépasser 100 hb/km² dans l'ouest du Hubei (LARIVIERE et SIGWALT, 1991). Depuis la généralisation de la décollectivisation en 1982, les micro-exploitations familiales dominant comme partout en Chine, avec une double logique d'économie familiale et de marché et réussissent la performance de nourrir sur 7 % des terres arables du monde 20 % de l'humanité.

Ces dernières années une certaine dégradation des aménagements est observée, mais il demeure un fort investissement manuel ; en effet, seulement 40 % de la surface cultivée est labourée au tracteur et beaucoup moins dans les zones montagneuses. Ces régions sont régulièrement affectées par les catastrophes naturelles, surtout entre 1958 et 1960, mais la stagnation de la production entre 1985 et 1988 représente aussi un certain désengagement de l'état. La production est pour plus de 75 % végétale (le riz représente en 1949, 78 % en poids de l'alimentation du Hunan), avec une croissance récente des oléagineux (colza et maïs) et des cultures maraîchères pour les besoins urbains. Les contraintes pèsent surtout sur le Hunan qui a dû mal à assurer des revenus par la seule agriculture et l'intensivité est bloquée par la pression démographique. Le Hubei est un peu mieux placé avec

une productivité par actif agricole de 1 200 à 1 600 yuan/an contre 650 à 940 yuan/an pour le Hunan, la moyenne chinoise se situant à 994 yuan en 1987 (LARIVIERE et SIGWALT, 1991). La production en quintaux/ha/an est passé de 12 à 36 entre 1400 et 1957 dans le Hubei et de 12 à 36 pendant la même période dans le Hunan, la moyenne chinoise étant passée de 10 à 20 environ (PERKINS, cité par GENTELLE, 1974).

La période de grands défrichements entre 1400 et 1900 voit son apogée au XVIII^{ème} siècle dans le Hubei et le Hunan avec l'introduction massive du blé. L'introduction des plantes américaines se produit dès 1550-1560 avec le maïs et la patate douce et un peu avant avec l'arachide. Ces cultures se généralisent et engendrent dans les collines du Hubei-Hunan des érosions considérables à la fin du XVIII^{ème} siècle, au point que dès le début du XIX^{ème} siècle la culture du maïs est interdite sur les collines du bas Yangtse et c'est justement la période d'implantation massive des théiers.

La réforme agraire modifie profondément les paysages : d'abord le parcellaire et aussi les usages (pacage, glanage, bois). Une spécialisation des parcelles apparaît comme des bâtiments ruraux. La suppression des marchés locaux et leur remplacement par des foires régionales sont durement ressentis. La lourdeur des fermages, jusqu'à 40 % dans le Centre et le Sud, est abrogée et une partie de la plus-value du travail de la terre revient au paysan (suppression de l'usure et introduction des «tontines» de financement). Le blé remplace l'orge et dès le premier plan quinquennal 380 variétés nouvelles sont introduites, avec les consignes de plantations serrées, de destruction des rongeurs (17 millions de rats détruits au Guangdong en 1958).

Sur plus de 5 000 ouvrages hydrauliques datés avec précision d'après PERKINS (cité par GENTELLE, 1974), 1 993 sont réalisés entre le X^{ème} et le XX^{ème} siècle dans les provinces de l'Est, 168 avant le X^{ème}, 315 au X^{ème}-XII^{ème}, 93 au XIII^{ème}, 448 au XIV^{ème}, 157 au XV^{ème}, 314 au XVI^{ème}, 291 au XVII^{ème}, 128 au XVIII^{ème} et 9 au XIX^{ème}. On se rend compte de la part importante joué par l'état durant quatre périodes majeures d'engagement collectif : Song (X^{ème}-XII^{ème}), Yuan (XIV^{ème}), Ming (XV^{ème}-XVII^{ème}) et Révolution Communiste. Dans le Hubei le barrage de Danjiangguo retient 28,3 milliards de m³ d'eau et il a été aménagé comme 57 autres entre 1950 et 1960.

Les karsts de Chine centrale sont caractérisés par un intense aménagement des versants et des dépressions et une exploitation remarquable et ancienne des poljés, avec irrigation et aménagement des pertes. Le bois joue un rôle considérable dans la construction des maisons des minorités Tujia, mais leur implantation, avec un étirement dans le bas des pentes, ou sur les replats à lapiés procède d'un souci de ne pas mordre sur le sol arable, souci qui illustre les mosaïques des zonations de cultures. De nombreux exemples régionaux sont illustrés dans les différents comtés.

A. L'EXEMPLE DU COMTÉ DE SANGZHI AU HUNAN

Le Comté de Sangzhi appartient à la Province du Hunan qui compte 0,42 millions d'habitants, un des plus pauvres de la Chine. La région étudiée est une zone de partage des eaux entre les deux provinces dans un système de structures géoantichinales. Le climat, de type subtropical à hiver frais, est caractérisé par des températures minimales de 0 à -8°C et des maximales de 38°C, une forte amplitude thermique annuelle (40°C) et des pluies de mousson d'été.

La végétation est très dégradée et les forêts conservées sont rares et voisines de 0 %, à l'exception de la réserve de "Badakung Park", avec une forêt relictive à *Pinus*, *Thuya*, *Ginkgo* et différentes espèces relictives ("Old Trees"). Avant 1949, l'espace forestier représentait 90 % de l'espace du comté. Les couvertures pédologiques sont minces et ne représentent que 40 % de l'espace. Les sols sont distribués en de vastes caténa incluant en altitude des lithosols, puis des sols jaune-brun au-dessus de 500 m, fréquents sur les grès et une gamme variée de sols rouges sur les calcaires. Les problèmes d'érosion des sols sont préoccupants, surtout sur les paléosols argileux rouges, souvent allochtones.

Il existe de nombreuses grottes aménagées. Certaines cavités ont un fort courant d'air : Long Tan Ping, Dragon Pool, la condensation de l'air assurant l'approvisionnement en eau des racines dans l'endokarst. Le régime hydrologique saisonnier est particulièrement marqué par de fortes charges turbides enregistrées dans les spéléothèmes et remplissages souterrains, ce qui atteste aussi une forte occupation des sols et une découverte végétale importante et ancienne. Le Comté produit principalement du riz (0,5 millions de kg, 300 kg/ha/an), du maïs, du tabac, de l'arachide et du colza. Les industries sont faiblement représentées et surtout agro-alimentaires (huile de colza), des manufactures de cigarettes, des cimenteries, des exploitations minières de charbon.

1. Des systèmes élaborés de défenses

L'une des premières réponses des paysans aux problèmes posés par leurs systèmes d'agriculture intensive est probablement celui des défenses végétales. Cependant on observe de notables différences régionales dans les systèmes bocagers, liées à l'âge des aménagements, mais aussi à des différences de nature sociale ou ethnique.

A l'amont de Guanyindong (grotte des femmes saintes) qui domine un canyon profond de 300 m, on observe un système de défenses végétales. Le système de fortifications végétales (à *Iris*, *Prunus*, aubépine, *Rosa canina*, robiniers et bambous) est ancien et complexe. D'une part il est associé à un grand mur de soutènement qui contrôle un ravin, d'autre part il a été plusieurs fois réaménagé avec des terrasses plus récentes. Les friches, avec une association de rudérales et d'épineux, représentent une ancienne zone de pâturage. Actuellement les cultures avec écobuage reprennent sur des pentes sans terrasse. Schématiquement on observe les aménagements suivants depuis les plus récents :

- des champs d'écobuage ;
- les levés de terre à robiniers et bambous et les terrasses des fermes ;
- des champs avec des terrassettes ;
- des rizières à grandes levés armés de pierres ;
- des murs en grand appareil associés à d'anciennes défenses végétale à robiniers, *Prunus* et bambous.

2. Des aménagements adaptés à la lithologie

Entre Sangzhi et Hefeng, les aménagements agraires illustrent bien la parfaite connaissance des paysans du comportement lithologique.

Sur le "rougier" du Trias, on observe un contrôle de l'instabilité des versants et du fort colluvionnement. A l'amont sont maintenus des chapeaux de forêts dont les troncs en lisière servent à accrocher les meules. Sur les versants, les terrasses à méga-soutènements sont construites avec des murs enterrés, terrasses souvent réparées et utilisés pour les cultures maraîchères actuelles. Les aménagements récents sur pentes et les terrasses colluvionnées multiples attestent des aménagements continus. A l'aval, les hautes terrasses fluviales argilo-limoneuses sont cultivées et les villages sont installés hors d'atteinte des crues sur une moyenne terrasse grossière. Les gravières sont exploitées récemment, ce qui engendre un sapement des berges. Une coupe en travers d'une vallée vers 250-200 m enregistre les réponses paysannes à la grande instabilité des versants et à l'importante fourniture de matériel : aménagements successifs des hautes terrasses fines avec le contrôle de murs ; édification d'une moyenne terrasse grossière avec des radiers. Les nappes de colluvions sont toujours piégées derrière les terrasses, mais une incision subactuelle menace les aménagements.

Sur les calcaires du Permien inférieur, les réponses paysannes sont fort différentes du fait de la modestie des apports latéraux. Le soutirage soustrait les produits en profondeur et les sols sont limités aux aplanissements et aux poches. Vers 400 m les arbres ont moins de 20 ans et le taillis traditionnel à épineux est exploité sur les terrasses abandonnées à limons et colluvions. Les pentes sont aménagées en terrasses plus récentes avec des champs de lapiés cultivés plus ou

moins couverts. Une coupe schématique des aménagements montre une relation très étroite avec le système karstique : grands versants aménagés en terrasses anciennes à l'aval de porches karstiques, cultures récentes sans terrasses, jardins sur les aplanissements étagés à crypto-lapiés, méga-terrasses rizicoles sur les replats fluviaux dominant les canyons de 100 à 120 m.

B. L'EXEMPLE DE LA RÉGION DE WUFENG (HUBEI)

La région de Wufeng (2 375 km²) est actuellement fortement boisée (70 %) et montagneuse (culmen 2 320 m). En 1980, elle comportait 75 % de bois et seulement 25 % entre 1914 et 1917. La population totale est de 200 000 hb (58 % de Tujia), avec un taux de croissance

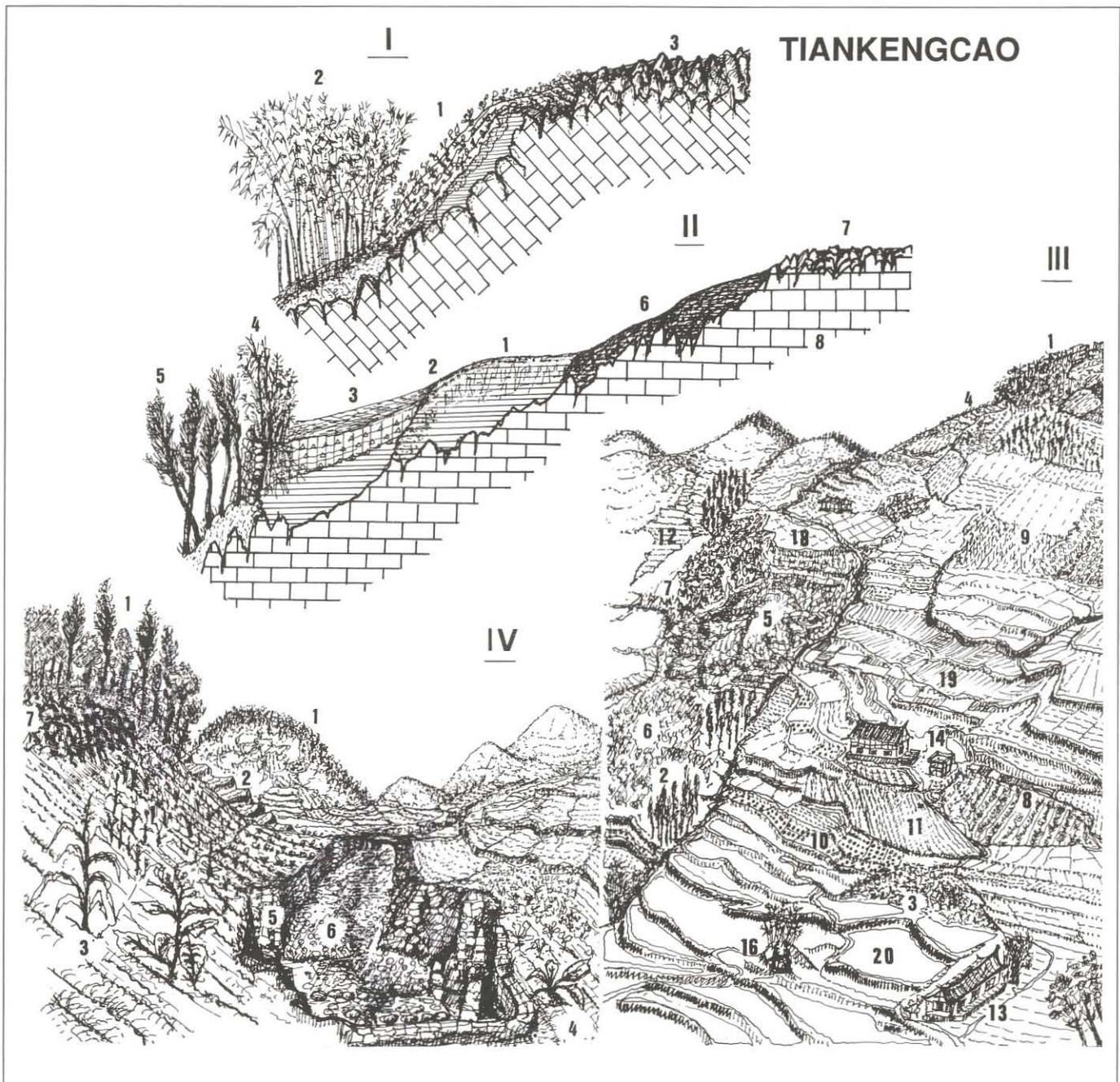


Figure 96 : Les aménagements agraires des dolines et des versants à l'amont de la cavité de Tiankengcao.

Cultures in depressions and cultures on slopes (above Tiankengcao).

I. Coupe des bords de la cavité. 1 : plantation en bandes de tabac. 2 : bambous. 3 : lapiés aménagés avec cultures de légumes.

II. Coupe des versants à l'amont. 1 : sol ocre-rouge décapé sur altérites micacées. 2 : terrasse gommée par l'érosion. 3 : colluvionnement récent. 4 : terrasse subrécente avec bambous. 5 : plantation de résineux. 6 : nappes provenant du décapage des crypto-lapiés. 7 : replat avec reliquat d'altérites. 8 : roche-mère calcaire.

III. Vue perspective des versants de la cavité de Tiankengcao, depuis la rive gauche de la vallée vers 1 270 m. 1 : forêt mixte. 2 : résineux. 3 : friches de moins de 20 ans. 4 : terrasses abandonnées depuis Mao. 5 : "maquis" à épineux (zone surpâturée abandonnée depuis plus de 20 ans). 6 : friches basses abandonnées depuis plus de 20 ans. 7 : champs de lapiés. 8 : culture récente en pente du tabac. 9 : culture récente en pente du maïs. 10 : légumes (choux-radis) sur méga-terrasses anciennes. 11 : blé d'hiver sur méga-terrasses anciennes. 12 : terrasses aménagées depuis moins de 20 ans. 13-15 : fermes. 14 : séchoir. 16 : tombes. 17 : bambous. 18 : paléosurface et potager avec systèmes de fumure. 19 : rizières utilisées pour la culture des légumes ou du blé d'hiver. 20 : rizières au repos.

IV. Coupe des aménagement dans la vallée. 1 : forêt mixte sur cône. 2 : terrasses anciennes. 3 : versants en pentes avec maïs et tabac. 4 : radis-raves. 5 : endiguement. 6 : séchage des fanes. 7 : lapiés.

de 1,1 %. Dans la région de Wufeng seulement 10 % de la surface est cultivée. Les cultures sont très diversifiées sur les plateaux : tabac, thé, maïs, blé, patate, riz, choux, radis-raves et nombreuses plantes médicinales. Dans les vallons la culture de plusieurs types de raves d'hiver est fréquente. L'élevage du porc est omniprésent. Les captages d'eau sont souvent remarquables, avec des systèmes de bassins aménagés

avec de l'argile et des captages en tube de bambous qui servent de conduite jusqu'à des tonneaux. L'hiver, du fait d'une forte condensation atmosphérique et d'un point de rosée le matin, l'air est relativement sec, ce qui nécessite un arrosage pour les légumes. Cependant la forte teneur en limons homométriques (limons éoliens de moins de 10 µm) dans les profils donne une bonne capacité de rétention en eau.

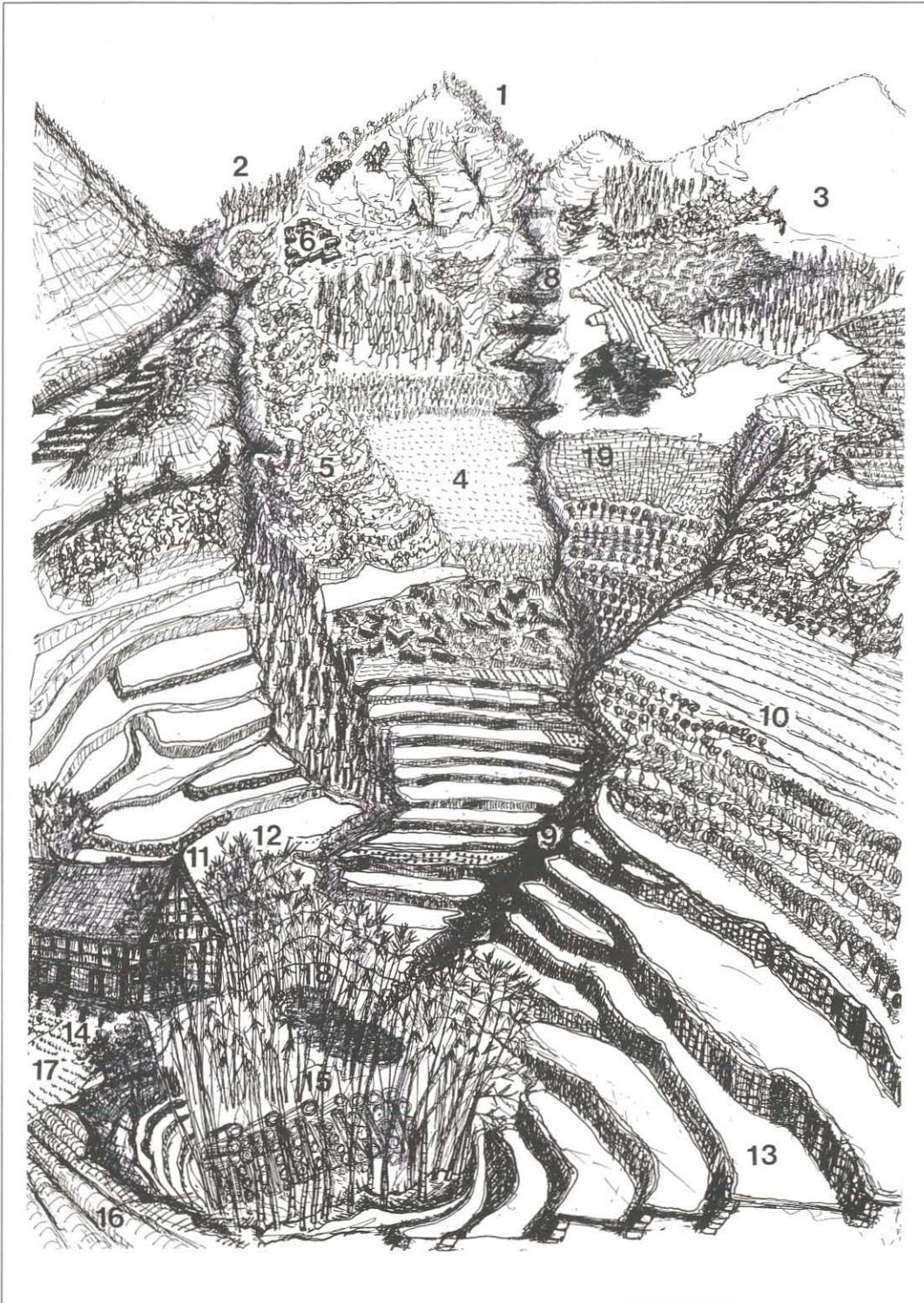


Figure 97 : Perspective de la grande doline aménagée vers 1 180 m au-dessus de la cavité de Tiankengcao. 1 : association de feuillus (châtaigniers). 2 : résineux. 3 : friches anciennes à broussailles. 4 : maïs. 5 : friches à rudérales. 6 : champ de lapiés. 7 : tabac. 8 : contrôle de l'écoulement. 9 : ravinement. 10 : théiers. 11 : ferme. 12 : bambous. 13 : grandes terrasses et rizières. 14 : arbre à "sommeil". 15 : culture des champignons. 16 : labour à l'araire. 17 : légumes. 18 : poner. 19 : champs récents en pente.

1. Les dolines et les versants à l'amont de Tiankengcao (fig.97)

Dans le petit village situé au-dessus de la cavité de Tiankengcao, l'agriculture est très diversifiée (maïs, tournesol, soja, légumes dont le radis-rave, arachide et thé) et associée à l'élevage des poules et surtout des porcs, les fanes de radis étant séchées pour leur servir d'aliment. La culture commerciale du tabac est récente et très développée. Les feuilles sont séchées en grappes empilées sur des cordes, puis assemblées en boîtes. Le maïs sèche dans des au-vent couverts de plastique. Le séchage des fanes de radis est associé à celui des plantes médicinales et du piment. Les fanes de maïs sont récupérées pour servir de litière et de complément fourrager.

Les aménagements récents au-dessus des champs de lapiés sont consacrés aux cultures commerciales (tabac) sur de très fortes pentes, souvent sans terrasse ou sont réservés aux cultures de rente immédiate (maïs). Les légumes sont cultivés sur les anciennes terrasses aménagées. Le contrôle du ravinement dans les radiers est globalement assuré, mais des incisions subrécentes sont fonctionnelles durant la mousson. Le travail s'effectue à l'araire tractée par un buffle (photo 88). Le thé envahit les champs de lapiés sur des placages limoneux ou de sols rouges, issus de l'altération des phyllades. La colonisation des résineux remonte à 20 ou 30 ans. Les arbres plus vieux sont rares. A l'origine la végétation était constituée de différentes espèces de feuillus, en particulier de *Castanus* et de *Laurus*.

Les petits villages sont protégés par des fortifications végétales à base de bambous ou rarement de robiniers. Les barrières végétales de bambous sont utilisées dans un maillage très

lâche et relique dans le compartimentage des parcelles. Les bâtiments sont en pisé avec un pavement basal de pierre et une armature en résineux. Le toit est en tuile, rarement en lauze ou en bardeau. Les aménagements agraires des dolines et des versants à l'amont de la cavité de Tiangkengcao montrent une gamme complexe et très élaborée. Les bords de la cavité (fig.96-I) sont protégés du soutirage par des bambous et le talus est occupé par une plantation en bandes de tabac.

La grande doline située au-dessus de la cavité, vers 1 180 m, montre une mosaïque (fig.97) d'aménagements avec des associations de cultures et des successions complexes de zones boisées, de friches culturales et de parcelles de contrôle du drainage. A l'amont, les versants (fig.96-II) précisent les étapes de mise en valeur. Le sol ocre-rouge décapé sur altérites micacées provient d'anciennes terrasses gommées par l'érosion. Le colluvionnement récent est freiné par une deuxième génération de terrasses et des rideaux de résineux.

Les versants vers 1 270 m (fig.96-III) depuis la rive gauche de la vallée fonctionnent en terroirs avec une rotation des friches. La mise à nu définitive de secteurs de lapiés a été contrecarrée par des jardins miniatures au prix d'un investissement considérable en temps de travail. Seules les buttes coniques conservent des lambeaux de forêt mixte. Les fermes isolées ont chacune leur terroir, mais en association et usage complexes. Dans le fond de vallée (fig.96-VI), les terrasses anciennes sont vouées aux légumes y compris sur les talus. Les versants pentus sont consacrés au maïs et au tabac. Le radier est endigué et à sec en hiver, il est utilisé pour le séchage des fanes de radis.

2. La grande doline à l'amont de Dadong

Dans la doline à l'amont de Dadong, les aménagements montrent des associations très perfectionnées et adaptées à l'exposition et au fonctionnement du karst.

Une vue perspective (fig.98-A-I) depuis la terrasse de «la ferme du bus» illustre la lente domestication du versant Nord. Le contrôle est assuré par des défenses végétales, des terrasses aménagées, des radiers, des plantations en bandes et des mosaïques culturales avec rotation et cultures mélangées (type "cultura promiscua"). La catena (fig.98-A-II) entre 950 et 850 m associe les champs en billons sur lapiés mordant sur les parois de la doline. Des plantations de théiers en courbes de niveau stabilisent les hauts des pentes. Des champs de lapiés à l'aval sont consacrés aux différents légumes. Les champs récents sur les pentes les plus raides sont exploités sans terrassement. A l'aval, des terrasses anciennes sont réutilisées pour les cultures de maïs récentes en ligne dans le sens de la pente. Les aménagements les plus récents engendrent un soutirage actif, mais contrôlé au niveau du ponor par des bambous.

La catena (fig.98-A-III) des sols cultivés est composée au-dessus de 900 m de sols brun-rouge à rouge avec un horizon R/C piégé dans les poches des paléosurfaces et riches en éléments de schistes ordoviciens. Des sols brun-jaune colluviaux et des vertisols colluvionnés à multi-nappes achèvent la séquence. Vers 900 m, le profil-type (fig.98-A-IV) sur 1 m présente un horizon Ah, un horizon A1 à colluvions micacés, enfin trois nappes de terrasses cultivées. Le versant a été maîtrisé plusieurs fois au fur et à mesure que les cultures progressaient vers l'amont. Les terrasses aval sont enterrées dans plus de 2 m de colluvions.

Le versant sud, depuis la ferme située vers 900 m, témoigne d'un contrôle plus ancien et plus élaboré de la doline. Les associations de cultures à blé d'hiver sont intégrées à des mosaïques boisées (fig.98-B-I). La catena (fig.98-B-II) entre 950 et 850 m est la suivante : forêt mixte sur les pentes des cônes, champs récents avec cultures dans le sens de la pente, théiers, céréales et maïs sur les pentes, méga-terrasses avec cultures de légumes, barrière à résineux ébranché, maïs sur les talus des terrassements. Le soutirage est actif et l'intérieur du ponor est colonisé par les bambous. La catena (fig.98-B-III) des sols cultivés est localisée à l'aval des buttes karstiques, au contact calcaires / Ordovicien schisteux. Des racines d'altérites schisteuses sont piégées dans les poches. Des sols complexes à éléments schisteux et colluvions loessiques assurent le raccord avec

les champs de lapiés. Sols brun-jaune à colluvions et vertisols loessiques complètent la toposéquence.

Le profil-type (fig.98-B-IV) vers 890 m indique un fonctionnement plus ancien des nappes colluviales, 2 ou 3 terrasses enterrées et une nappe de limons soutirés depuis les poches du karst. A la base un horizon tronqué à éléments micacés sur un sol rouge (horizon R/C) est plus ou moins colluvionné avec des éléments schisteux altérés. Hauts versants et méga-terrasses initialement rizicoles ont enregistré une mise en culture très ancienne nécessitant un investissement collectif déjà élaboré.

En redescendant vers Hefeng, les aménagements agraires soulignent une colonisation récente des résineux. Les champs récents obéissent aux règles imposées par les quotas de production et non dans le but de sauvegarder les pentes. La catena typique montre cependant quelques restes de défenses végétales à *Prunus*, robiniers, bambous et églantiers observables encore en bord de route ou de sentiers. La mosaïque de forêts de feuillus, de "maquis", de "garrigues" et de friches à rudérales et de plantations de résineux alterne encore avec maïs et tabac, plantation de théiers en courbes de niveau, cultures maraîchères sur terrasses et rizières. Les radiers sont aménagés et chenalisés avec des captages en bambous, mais une grande auréole d'érosion mal maîtrisée cerne la ville.

3. Les versants à l'amont de Donghe

Les versants à l'amont de Donghe sont surtout consacrés au blé d'hiver, avec la pratique de l'écobuage et l'exploitation du bois sur les parties hautes. L'utilisation récente du charbon a rendu caduque certains aménagements, en particuliers des bassins en plein air pour griller le cochon. Ils étaient alimentés par la collecte de fagots. La coupe du bambou est assez réduite dans ce secteur, si bien que les bambouseraies sont de belle venue.

Une vue perspective montre une forêt mixte sur les pentes des cônes karstiques et de vieilles surfaces occupées par des friches boisées exploitées. Les terrasses fonctionnelles sont cultivées en légumes et blé d'hiver et les terrasses abandonnées sont envahies d'une friche à épineux, *Laurus* et *Castanus*, avec des barrières de bambous : c'est une zone de récolte des fagots. La catena vers 400 m précise que la colonisation de *Pinus* est récente et que le système d'exploitation était largement dépendant de la localisation des sols dans les poches et sur les replats des cavités recoupées. Un ancien radier situé vers 400 m, dans une zone boisée à laurier-sauce, bambous, épineux, rudérales et graminées, a encore son captage d'eau et sa station de pompage désaffectée datant de la période Mao ou de la dernière guerre.

L'abandon rural des terrasses daterait de moins de 20 ans et ne semble pas lié à un exode vers les villes, qui serait trop ancien, d'après enquête auprès des paysans. Il s'agit plutôt d'une déprise d'origine volontaire, par décision du Comté, conjuguée aux effets d'une forte dénatalité. Les abords d'une ferme vers 440 m sont très agréables avec ses protections végétales à bambous et grands arbres, tecks et robiniers, ses cultures de case sur lapiés et ses champs de blé d'hiver. Les plantations de théiers viennent buter sur les bâtiments en pisé. La plupart des fermes sont peu peuplées : peu d'enfants et les femmes célibataires sont nombreuses vivant quelquefois avec leurs soeurs. J'ai souvent été invité à prendre le thé vespéral dans ces montagnes du Hubei ! Privilège de l'âge ou seulement parce que j'étais pratiquement le seul "long-nez" hors des trous durant le jour ?

4. Les versants et le fond du poljé de Changleping

Le poljé de Changleping a 10 km dans son grand axe est-ouest. Les formes karstiques sont majeures : plusieurs étagement des cônes de bordure, paléosurface sommitale, cavités recoupées, banquettes de corrosion, seuils avec altérites piégées dans les coalescences de paléovallées affluentes, plusieurs générations de dépôts alluviaux. Changleping est connecté au-dessus de 980-990 m à des appendices sud. Les diverticules de ce poljé de vallée dénotent une activité du réseau souterrain, en particulier entre 950 et 890 m. Le poljé est remblayé par un système de glaciés alluviaux jusqu'à 970 m, au niveau d'un palier karstique.

Figure 98 : Les aménagements agraires et les associations de cultures dans la doline à l'amont de Dadong. Cultures in the Dadong doline.

A. Versant nord (à gauche) - northern side (left) :

I. Vue perspective depuis la ferme du bus. 1 : forêt mixte. 2 : plantation de résineux sur les pentes. 3 : falaise. 4 : ravinement ± contrôlé. 5 : incision et éboulements des versants et des parois. 6 : friches avec bosquets arbustifs. 7 : bambous. 8 : ferme. 9 : défenses végétales; 10 : champ de lapiés. 11 : conifères ébranchés (*Cryptomeria*). 12 : terrasses rizico les. 13 : betteraves. 14 : théiers. 15 : choux et radis. 16 : bananiers. 17 : champs en pente. 18 : lauriers.

II. Catena des aménagements entre 950 et 850 m. 1 : parois calcaires. 2 : champs en billons sur lapiés. 3 : théiers. 4 : lapiés avec différents légumes, champs sans terrassement. 5 : terrasses avec cultures dans le sens de la pente. 6 : maïs. 7 : soutirage actif. 8 : ponor avec bambous.

III. Catena des sols cultivés entre 950 et 850 m. 1 : parois calcaires. 2 : sol brun-rouge à rouge (horizon R/C dans poches) à éléments de schistes des paléosurfaces. 3 : ferme. 4 : sols brun-jaune colluviaux. 5 : vertisols à nappes de colluvions.

IV. Profil-type de sol, bord de route vers 900 m. 1 : horizon Ah. 2 : horizon A1 à colluvions micacés. 3 : trois nappes de terrasses cultivées. 4 : calcaires.

B. Versant sud (à droite) - southern side (right) :

I. Vue perspective depuis la ferme située sur le versant nord vers 900 m. 1 : forêt mixte. 2 : plantation récente de conifères. 3 : fortifications dans la paroi calcaire. 4 : feuillus type *Castanus*. 5 : ferme. 6 : porcherie. 7 : tombes. 8 : maison des jeunes mariés. 9 : théiers. 10 : bambous. 11 : légumes. 12 : laurier. 13 : résineux ébranchés. 14 : champs de lapiés. 15 : entrée de Dadong. 16 : blé d'hiver. 17 : arbre à "sommeil".

II. Catena des aménagements entre 950 et 850 m. 1 : forêt mixte sur les pentes du cône. 2 : champs récents avec cultures dans le sens de la pente. 3 : théiers. 4 : céréales. 5 : maïs. 6 : terrasses avec cultures de légumes. 7 : résineux ébranché. 8 : maïs sur les talus. 9 : soutirage actif. 10 : ponor avec bambous.

III. Catena des sols cultivés entre 950 et 850 m. 1 : cône au contact calcaires / schistes. 2 : altérites schisteuses (R/C) dans poches. 3 : sols à éléments schisteux et colluvions loessiques. 4 : lapiés. 5 : sols brun-jaune à colluvions. 6 : vertisols limoneux.

IV. Profil-type de sol, bord de route vers 890 m. 1 : nappes colluviales. 2 : terrasses enterrées. 3 : limons soutirés des poches. 4 : horizon tronqué à éléments micacés. 5 : sol rouge (horizon R/C) ± colluvionné avec éléments schisteux altérés.

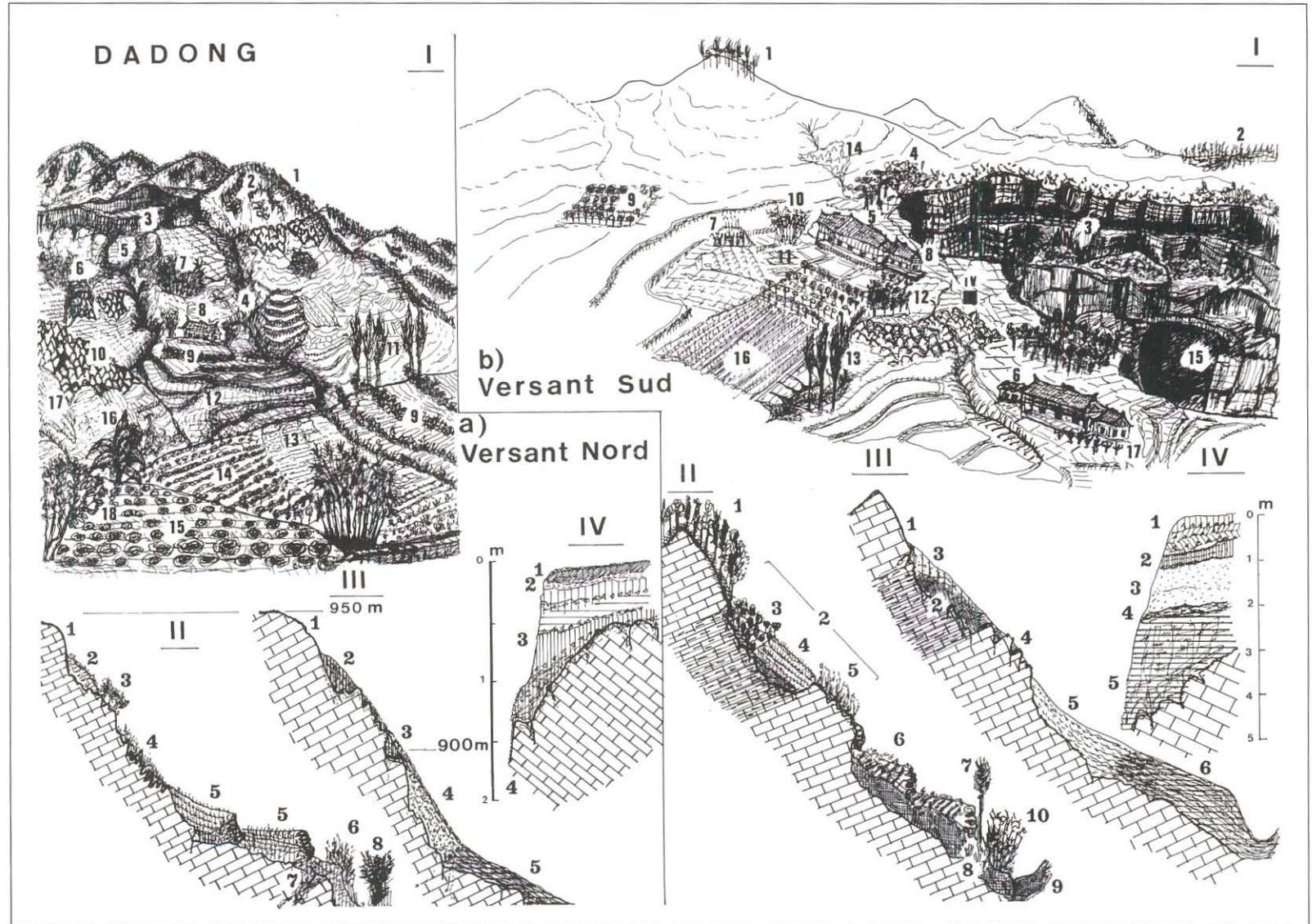


Figure 99 :

Les systèmes agraires du poljé de Changleping.

The agrarian system in Changleping polje.

A. Partie orientale et centrale (à gauche) - eastern and central part (left) :
 I. Vue perspective au-dessus du ponor aménagé vers 950 m. 1 : forêt mixte. 2 : taillis sur terrasses abandonnées. 3 : bambous. 4 : haies. 5 : vallon avec nappes de colluvions. 6 : ponor aménagé. 7 : incision. 8 : route. 9 : village. 10 : ferme. 11 : sol brun alluvial clastique. 12 : nappes fluviatiles de graviers. 13 : sol brun colluvial. 14 : poches. 15 : calcaire.

II. Catena des cultures, avec patates, riz, maïs, tabac, blé d'hiver, colza, cultures mélangées de choux et radis, pêchers et arbre à teinture entre 960 et 970 m. 1 : forêt mixte. 2 : taillis sur terrasses abandonnées. 3 : bambous. 4 : sol loessique jaune-brun. 5 : sol brun-jaune à horizons colluviaux ± vertiques. 6 : citerne. 7 : vertisol à horizons Ap. 8 : chenalisations.

III. Évolution des versants. 1 : vallon suspendu. 2 : incision avec remblaiement principal. 3 : incision de 6-7 m. 4 : aménagement du radier depuis 30 ans, incision actuelle de 2-3 m.

IV. Catena des sols sur les versants entre 1 000 et 950-970 m. 1 : forêt mixte. 2 : sols jaune-rouge. 3 : terrasses abandonnées. 4 : colluvions et limons. 5 : vertisols sur alluvions. 6 : coupe de sols alluviaux-colluviaux (0-2 à 3 m) vers 950-970 m. 7 : route. 8 : radier principal. 9 : ponors aménagés. 10 : luvisols sur alluvions. 11 : sols colluvionnés. 12 : vallons perchés. 13 : altérites et sols rouges des poches.

V. Profil vers 970 m. 1 : colluvions supérieurs. 2 : limons rouge et colluvions. 3 : alluvions.

B. Partie occidentale (à droite) - western part (right) :

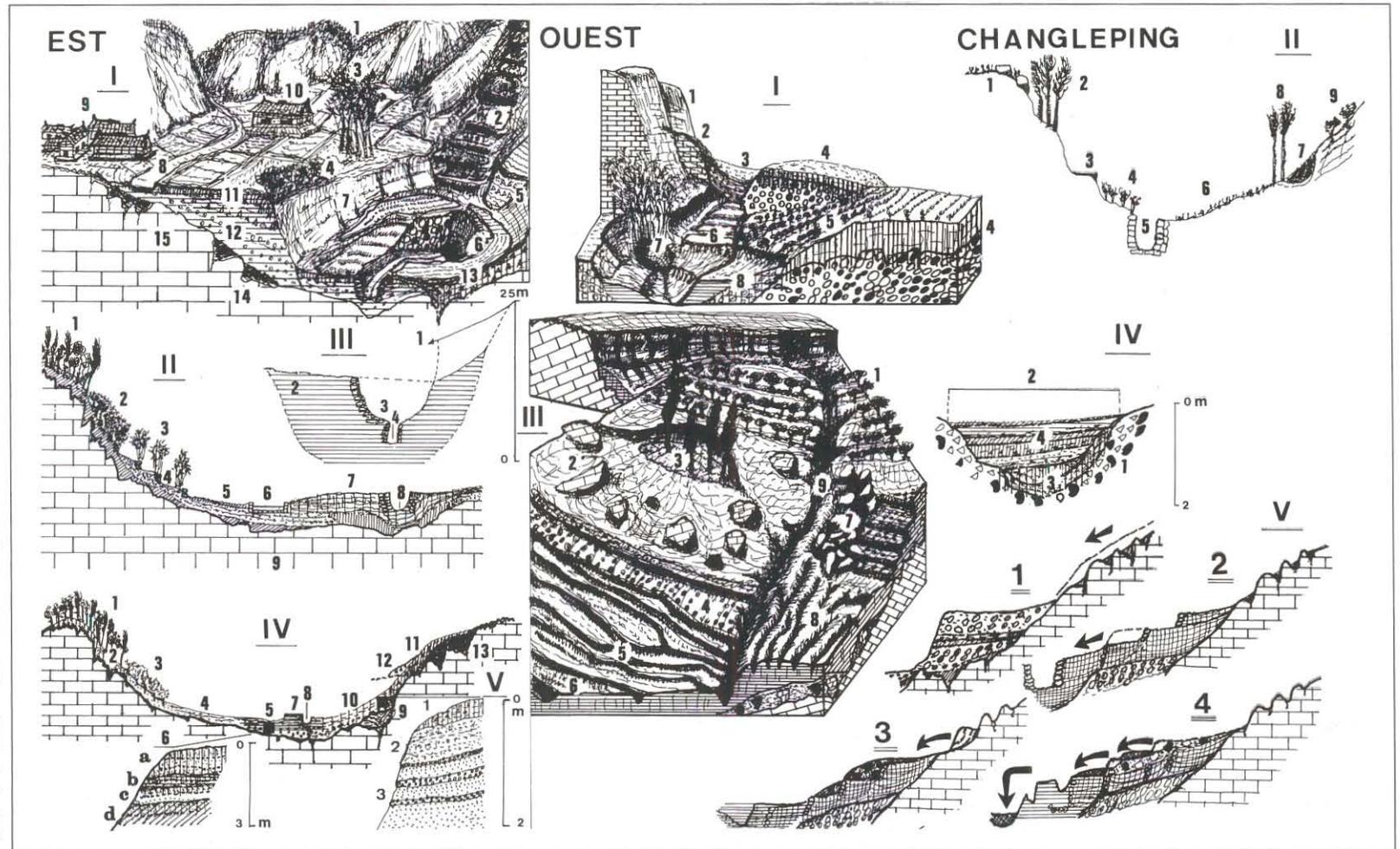
I. Vue schématique. 1 : versants. 2 : banquettes de corrosion. 3 : alluvions. 4 : alluvions grossières avec paléosols à argiles versicolores et plinthite (vers 910 m). 5 : thé. 6 : riz. 7 : ponor et bambous. 8 : raccord incisions holocène et historique.

II. Catena des versants. 1 : radis sur pentes à blocs. 2 : *Cryptomeria* et *Pinus*. 3 : route. 4 : colza en ligne. 5 : radier aménagé. 6 : radis-raves. 7 : foirage. 8 : *Pinus* ébranchés. 9 : théiers dans le sens de la pente.

III. Vue perspective du versant est. 1 : théiers ; 2 : glissement de versants ancien à méga-blocs. 3 : loupe de glissement. 4 : radis-rave. 5 : terrassement. 6 : colza. 7 : crypto-lapiés. 8 : "bad land". 9 : incision récente.

IV. Coupe d'un vallon vers 1 100 - 1 200 m. 1 : éboulements à gros blocs. 2 : incision. 3 : paléosol. 4 : 4 ou 5 nappes d'érosion.

V. Évolution des versants. 1 : décapage, exhumation d'un crypto-karst et terrasse grossière (Holocène-Néolithique ?). 2 : premiers contrôles des versants et endiguement (période antique ?). 3 : foirages et éboulements à mégablocs (Moyen Age ou XVIIIème siècle ?). 4 : reprise de l'érosion et érosion linéaire (période maoïste ?).



- Population et aménagements : La population est de 600 à 700 habitants, surtout des paysans, répartis en quatre villages. L'expansion démographique est contrôlée et limitée à un enfant depuis plus de 20 ans. La ligature systématique des trompes est effectuée à l'hôpital lors de la naissance du premier enfant. Il existe cependant une difficulté de contrôler les zones paysannes montagneuses. L'âge du mariage des filles est récemment abaissé à 20 ans.

Les murs des habitations sont en pisé (tru chiang) ou en brique, avec un soubassement et une sole en pierres. Les toits à 2, 3 ou 4 pans en tuiles ou en bardeau, rarement de chaume, montrent une ouverture latérale triangulaire qui sert pour la ventilation et le séchage du maïs, souvent dans l'avancée des toits. Certaines habitations présentent des galeries, des balcons, des mezzanines externes. Les portes ont des linteaux droits.

Le système de culture est privé, les paysans sont dépositaires des terres, mais non propriétaires. Ils sont gestionnaires, avec des concessions à vie, soumises aux taxes locales. Celles-ci sont importantes, entre 200 et 1 000 yuans/an/hb, y compris les enfants. Elles sont variables suivant les régions. L'attribution des terres se fait localement : 4 à 8 mu par famille (1 mu = 1/15^{ème} ha). Suivant les secteurs, cela représente 1 000 à 1 500 m²/hb, entre 2 304 et 4 608 m² par famille. La production est contrôlée par un système de taxes. La culture du tabac est libre, mais le marché est contrôlé par les manufactures d'achat de l'état.

Le fonctionnement du poljé est totalement sous contrôle anthropique et entièrement aménagé : ponors endigués, chenalisation des écoulements en long et des apports latéraux, endiguement des vallons affluents. On observe un système de réaménagements récents (30 ans ou moins) dans l'axe des écoulements principaux et des grandes érosions linéaires subrécentes. Une période majeure d'érosion linéaire est antérieure aux plus vieux aménagements observés. Elle pourrait correspondre aux grandes déforestations, période de nettoyage du crypto-karst et d'exhumation des crypto-lapiés, avec le soutirage des sols dans l'endokarst. Elle daterait de l'Holocène-Néolithique. L'érosion actuelle n'est pas négligeable, compte-tenu du débit des affluents. Dans le radier, de 2,50 m de profondeur sur 4 m de large, aménagé à l'amont d'un affluent du poljé (vallée de Xiejiaping), la crue d'été dépasse 1 m, soit un débit de 4 m³/s environ.

- Dans la partie centrale et occidentale du poljé, le schéma morphologique montre plusieurs surfaces inter-cônes et des aplanissements intermédiaires à crypto-lapiés découverts. Le dégagement des lapiés s'inscrit dans une grande période d'incision probablement holocène. Les remblaiements historiques sont eux-mêmes réincisés. Les bordures du poljés montrent des formes trapézoïdales sur le flanc des cônes karstiques. Elles jalonnent des failles et passent à des terrasses alluviales à l'aval. Les vallons suspendus portent des terrasses de culture abandonnées.

Les paysans pratiquent deux types de techniques culturales : en planches et en billons pour les choux et les radis (tenep), les raves (luo-pu) mélangés, avec utilisation des levés de terre brûlée (fonction de nettoyage, de fertilisation et de désinfection). L'introduction des petites serres en plastique est récente (3 ans). Les associations de cultures pratiquées par les Tujia sont complexes : culture alternée de radis et de trèfle (shao zi), puis récolte des radis et creusement de sillons avec enfouissement de fanes, de litière (yao ji fei liao) et de lisier de porc. La plantation des patates et la fabrication de billons succèdent à la mise en terre des bandes restantes de trèfle (photo 89).

La catena (fig. 99-A-II) entre 970 et 960 m associe patates, riz, maïs, tabac, blé d'hiver, colza (yo tzae), cultures mélangées de choux et radis (tenep), pêcheurs (tao) et arbre à teinture (chi ou tchi). Elle est organisée avec une forêt mixte, des taillis sur terrasses abandonnées et des bambous sur sols loessiques jaune-brun. Les sols brun-jaune à horizons colluviaux plus ou moins vertiques et les vertisols à horizons Ap complète la séquence avec à l'aval une chenalisation et des citernes. Les pentes au-dessus du ponor aménagé vers 950 m dénotent la complexité du système de gestion du fond de poljé (fig. 99-A-I). La catena (fig. 99-A-IV) est variable suivant les

versants. Entre 1 000 et 950-970 m, une forêt mixte colonise des sols jaune-rouge et des terrasses abandonnées depuis le Maoïsme sur colluvions et limons. Des vertisols de 2 à 3 m d'épaisseur sur alluvions témoignent des déstabilisations actives. La route longe le radier principal et les ponors aménagés. En remontant sur les versants opposés on observe des luvisols sur alluvions, puis des sols colluvionnés, des vallons perchés et des altérites avec des sols rouges dans les poches karstiques.

Quatre périodes sont ainsi mises en évidence sur les versants (fig. 99-A-III) : 1) un façonnage de vallons suspendus ; 2) une grande incision avec remblaiement principal ; 3) une incision de 6-7 m ; 4) un aménagement du radier depuis 30 ans avec une incision actuelle de 2-3 m. Cette évolution est illustrée par une coupe morphologique au niveau de la ferme. La pente du remblaiement principal est faible (1-5 %) et les vallons déconnectés sont aménagés en amont de l'incision historique. Un profil (fig. 99-A-V) vers 970 m montre des colluvions supérieurs sur des limons rouge et des colluvions inférieurs avec à la base des sédiments alluviaux. Sur le versant nord d'un autre ponor aménagé vers 950 m, la position du remblaiement alluvial grossier est précisé par rapport à un ancien seuil. Des terrasses vers 950-960 m sont bien visibles sur les versants exposés au sud. Abandonnées depuis moins de 20 ou 30 ans, elles ont été réaménagées vers 1967-1968 d'après les dires des paysans.

- La partie occidentale du poljé et la vallée de Xiejiaping :

Dans la partie occidentale du poljé le ponor est aménagé entre 940-950 m, avec un radier principal (950 m) de 7 m de large, un radier emboîté de 1,50 m de large et un système de vasques. Les aménagements (fig. 99-B-I) sont complexes sur les versants du poljé à banquettes de corrosion. Les terrasses alluviales caillouteuses à paléosols, vers 910 m, sont cultivées en thé et riz. Les ponors sont contrôlés par des bambous. Le raccord est très clair entre deux niveaux d'érosion (érosion holocène et incision historique). Dans un champ de colza associé au trèfle, les paysans utilisent le fumier de litière de porc et les fanes de radis-rave pour les cultures en billons.

Une vallée affluente (Xiejiaping) est gérée en grande catena (fig. 99-B-II) avec des cultures de radis-raves sur les pentes à blocs et des rideaux à *Cryptomeria* et *Pinus*. Le colza (yo tzae) est cultivé en ligne au-dessus du radier aménagé. Les radis sur le versant opposé se localisent à l'aval de loupes de foirage mal contrôlées par des *Pinus* ébranchés et les théiers dans le sens de la pente. De notables différences existent entre les deux versants. Sur le versant ouest (fig. 99-B-III) les murs sont enterrés sous des colluvionnements récents et le contrôle ne s'effectue qu'à l'aval. Sur le versant est, les plantations de théiers sont aménagées à l'amont d'une loupe de glissement. Les cultures de radis-rave occupent les éboulis de blocs d'une coulée ancienne bordant des champs de lapiés à "bad lands". Les terrassements sont cultivés en colza. Ces observations suggèrent quatre périodes d'évolution des versants : 1) éboulements à blocs et aménagements anciens ; 2) loupe de glissement ancienne ; 3) aménagements récents ; 4) érosion linéaire récente. Au niveau d'un vallon situé entre 1 100 et 1 200 m, une coupe (fig. 99-B-IV) précise l'ancienneté de l'éboulement à gros blocs sur lequel un paléosol est enterré par plusieurs nappes d'érosion.

L'histoire de l'évolution des versants de la vallée affluente de Xiejiaping peut être résumée par un schéma (fig. 99-B-V) qui se retrouve dans les remplissages du poljé de Changleping :

- (1) décapage des versants et exhumation d'un crypto-karst avec sédimentation d'une terrasse grossière (Holocène-Néolithique ?) ;
- (2) aménagement des premiers contrôles de versants et endiguement à l'aval (période antique ?) ;
- (3) foirages des versants et éboulements à mégablocs (période historique, Moyen-Âge ou XVIII^{ème} siècle ?) ;
- (4) reprise de l'érosion en loupes et érosion linéaire liée aux aménagements sur les fortes pentes (période maoïste et post-maoïste ?).

C. LES SYSTÈMES AGRAIRES DE LA RÉGION DE HEFENG AU HUBEI

Le Comté de Hefeng appartient à la province autonome du Hubei et dépend de la préfecture d'Enshi. Il compte 206 000 habitants, dont 18 000 à Hefeng pour 2 889 km², avec une forte proportion de minorités (53 %), Miaos et Tujia, quelques Mongolias et Tong du Vietnam du Nord et des Yaos. Les Han représentent le reste du peuplement. La région est une zone refuge exceptionnelle, surtout dans la partie sud-ouest (Shintando) attestée par de nombreuses archives, (d'après Mr. DJO archiviste du comté). La surface utile est assez réduite (300 000 mu, soit 19 800 ha), les zones forestières et les friches boisées représentant 45 % des surfaces.

L'espace est consacré à la production de bois, de tabac (7 500 t/an), de thé célèbre déjà sous la dynastie des King, le "Kong Fu Tea" (4 000 t/an), exporté en Thaïlande et dans différents pays dont les USA, de riz (15 000 t/an), de maïs (35 000 t/an) surtout importé d'autres comtés et dont la production est maintenue. La production de pommes de terre (20 000 t/an) est actuellement stable, alors que les légumes sont en expansion. L'élevage du porc est en croissance. La surface utile agricole est largement commandée par les données de la lithologie et du relief. La fumure organique (lisier de porc et fanes) est croissante et les techniques largement pratiquées, par contre les nitrates sont très peu utilisés. Les villes ont entre 10 000 et 30 000 habitants et la population urbaine représente 15 % de la population totale.

L'énergie est surtout d'origine hydroélectrique, soit 450 000 kw/h de capacité, avec une production de 310 000 kw/h. Les 26 productions minérales sont concentrées surtout dans le sud du comté : charbon, marbres, cuivre, plomb, zinc, vanadium, or et phosphates dans les karsts du Cambrien inférieur. Le sélénium (réputé anticancérigène d'après les autorités locales) est présent dans les gisements du Permien à l'ouest du Hubei et il est fixé par les plantes, en particulier le thé. L'exploitation de pierres d'ornement, dans les gisements du Silurien et du Cambrien-Ordovicien, s'effectue en liaison avec le Département de Géologie de l'Université de Wuhan et la Britain Royal Academy. La plus proche université est Anshun. Les importantes ressources de pyrite permettent la production de sulfures et de sulfates. Les industries chimiques sont peu développées et peu transformantes.

Le grand changement dans l'économie intervient en 1949. La population et les infrastructures étaient très modestes avant 1949 : environ 500 familles, pas de routes (actuellement 1 200 km), et pas d'électricité. Avant 1949, 40 % de la population vivaient d'agriculture. Actuellement, 90 % de la population habitent de nouvelles maisons, mais il existe une réelle difficulté à élever le niveau de vie. La croissance démographique est de 1,1 %/an. Le produit brut depuis la Révolution Culturelle est de 2,2 milliards de yuans/an.

1. Les versants du poljé de Datangmi

Sur les pentes qui mènent au poljé, vers 1 250 m, on observe en décembre des friches boisées à Shunshu (*Pinus*), Shashu (*Cunninghamia*) et Luicha (*Cryptomeria fortunei* Hödebrenk, taxodiaceae), avec une association d'aubépine et de champs de maïs sur les pentes sans terrasse. Les habitations ont une charpente en bois très ouvragée avec des montants courbes et des toits en lauzes. Abreuvoirs, réservoirs et conduites sont également en lauze. Les champs sont épierrés et gagnés sur les zones de lapiés. Au sommet de l'ensellement qui mène au poljé, un reliquat de couverture pédologique humifère brune est piégé par les terrasses aménagées pour la culture des légumes. Palmiers et surtout bambous sont utilisés en protection des soutènements bâtis. Sous les bambouseraies, la culture des champignons noirs sur bûches est une pratique courante. Vers 1 255 m, on observe les systèmes de protection des bambous dans les champs de maïs, de blé ou de radis-raves avec des murs et des défenses végétales (aubépine et églantine). Dans un ensellement calcaire vers 1 320 m, près de la grotte-tunnel (Tantanmag Sijanyan), la ferme isolée a exploité la zone boisée, ce qui a provoqué un grand foirage du versant.

2. Les versants du poljé de Yanziping

Dans l'extrémité nord du poljé, les associations de cultures sont très élaborées : cultures mélangées de thiers et de choux, cultures de maïs et de blé d'hiver alternées avec des pommes de terre. Les adrets sont consacrés aux thiers et aux patates alors que les ubacs sont réservés aux cultures légumières. Les paysans exploitent la forêt mixte de feuillus pour le bûchage et les fagots (coupes de recépage). En cette fin d'année, c'est l'époque de tuer le cochon et les paysans s'improvisent experts-tonneliers pour confectionner de vastes baignoires pour recueillir le sang ou bien encore tailleurs de pierre pour les auges à cochon.

Une catena en travers de la branche sud-est du poljé, vers 1 200 m, montre un versant nord avec des résineux, des thiers, des légumes (radis-raves) et un radier aménagé. Sur le versant sud, les paysans cultivent des champs de pommes de terre et sur les terrasses limoneuses différents légumes, maïs et blé d'hiver.

3. La doline de Xiangshuidong et le Puits du Moulin

La doline de Xiangshuidong est une doline absorbante vers 1 070 m dans un système de karst conique et de surfaces surbaissées. Entre 1 075 et 1 040 m, des forêts occupent le flanc des cônes avec séchoirs à tabac et palmiers à l'aval. Dans les calcaires à plaquettes du Trias inférieur affectés d'un pendage de 50 à 60°, les lapiés sont cultivés en pommes de terres en buttes avec la pratique des feux de désinfection et d'amendement. Des zones sont occupées par des graminées et le débroussaillage affecte de nouveaux secteurs inclinés. La perte est aménagée avec des bambous.

Les bords raides du Puits du Moulin vers 1 100 m sont plantés de jeunes thiers et de rideaux de Djiaoye (herbe à cornets ou nomi) (photo 92). Les sommets de versants sont occupés par une association de résineux (*Cunninghamia*, *Cryptomeria* et *Pinus*) et les bords extrêmes du puits par des bambous.

4. Les aménagements entre Longtanping et Hefeng et entre Hefeng et Wufeng

Longtanping est une commune populaire de 8 000 habitants dont 4 000 travaillent dans l'agriculture et 250 sont membres du parti. 9 000 mu sont cultivés (sur 200 000 mu de terres), dont 2 000 en tabac, 3 500 en riz, 3 500 en maïs pour une production en 1992 de 1 000 tonnes de riz, soit 4 200 kg/ha en une seule culture par an. Le bois de *Cedrus* est utilisé pour la construction. Les charpentes sont en résineux avec des supports entrecroisés. Les anciennes poutres sont réutilisées, preuve d'une certaine pénurie en bois d'oeuvre. Les chaises sont fabriquées avec un résineux de type *Abies*. La cuisine des paysans vers 800 m d'altitude, avant la grande descente de Hefeng, montre un four bâti avec une bassine en fonte incorporée et fonctionnant au bois.

Entre Hefeng et Wufeng, on observe de nombreuses traces de brûlis entre 1 950 et 2 000 m dans un karst conique façonné dans les calcaires du Trias. Les flyschs sont occupés par des friches et des plantations de *Cryptomeria*. Les vallées sont surimposées. La catena montre à l'amont une forêt mixte sur sols à horizon Ah et plusieurs horizons A, des placages discontinus de limons et d'anciennes terrasses à vertisols compactés. Les longs versants dénudés sont occupés par des champs de lapiés. Les aménagements récents sur les pentes et les cultures de légumes mordent sur les versants sans aucun terrassement. Une coupe illustre le fonctionnement des vertisols compactés colluvionnés avec des éléments de Trias. Les murs de soutènement en méga-blocs ont été rehaussés par des terrasses en réponse à deux phases de décapage du crypto-karst et de dégageage des lapiés.

D. LA RÉGION DE XIANFENG DANS LE HUBEI

Le Comté de Xianfeng compte 334 000 habitants, surtout des Tujia et des Miaos (60 % mélangés), les mariages entre ces deux ethnies étant fréquents. Xianfeng est la ville la plus importante, et le maire est à la

fois directeur du comté et représentant de la préfecture de Shanshi. Cette zone montagneuse a une forte spécificité : les forêts représentent 65 % de l'espace et c'est une des régions les plus boisées de Chine. L'altitude maximum est de 1 770 m.

- **L'agriculture** est basée sur le tabac (400 t/an), le thé (2 000 t/an), le riz (150 000 t/an non exporté), le maïs. Le riz est cultivé dans les bassins et les poljés. Le tabac est fameux, parmi les trois meilleurs de Chine. Introduit à partir de 1973, il est exporté. La culture du thé est pratiquée au-dessus de 1 000 m sur les mêmes sols que le tabac. Ces deux cultures ne sont pas alternées. La surface irriguée est locale, près des rivières. Un programme de la F.A.O. a permis le développement des réservoirs pour l'extension des cultures irriguées. Le riz couvre 200 000 mu pour une seule récolte par an. Durant la saison froide, se pratique une association à pommes de terre, colza, blé d'hiver, trèfle (pour l'alimentation des porcs). Les fermes sont privées, mais coexistent des coopératives plus ou moins villageoises.

- **Les industries** reposent sur le tabac, la chimie et la production agro-alimentaire (manufactures de thé, distilleries d'alcool de riz et de maïs, conserves de porcs, en particulier production de cochons de lait, congélation) et quelques industries de matériaux de construction et des cimenteries. Le revenu brut est de 4,3 millions de Yuans/an, l'agriculture représentant 60 %. Le comté est encore en expansion compte tenu des faibles surfaces cultivées.

- **Le poljé de Baishuiba** a enregistré l'histoire type des crises et des réponses aux crises. Il a valeur d'exemple en Chine Centrale et les corrélations avec les remplissages de l'endokarst permettent de proposer une chronologie provisoire (cf. chap. 6 et 10).

(1) Il y a plus de 8 000 ans, un remblaiement principal avec inondation, érosion, soutirage de sols et colmatage du poljé serait lié à l'intensification de l'agriculture «ray» sur les versants.

(2) Il y a environ 6 000 ans, la reconquête forestière et le développement de la pédogenèse vont contribuer au concrétionnement et probablement au ravinement des dépôts dans le poljé, avec de premiers aménagements de terrasses inondables.

(3) Entre 4 000 et 3 000 ans avant nous, un arrêt du concrétionnement et de la pédogenèse, une érosion et un soutirage des sols sont probablement liés à des mises en culture des versants.

(4) Au Moyen-Âge (XIII^{ème} - XIV^{ème} siècles ?), une grande phase de déforestation et d'aménagements agraires sur les pentes provoquent érosion et soutirage des sols.

(5) Durant la période moderne (XVIII^{ème} siècle ?) se produit une deuxième grande phase d'érosion et de soutirage des sols et d'aménagements du poljé. C'est une période majeure d'installation du réseau de drainage et d'irrigation.

(6) Pendant la guerre (avant 1950) ou durant le Grand Bond en Avant, une troisième phase décape et soutire les sols pendant une période d'exploitation des pentes les plus raides.

(7) Actuellement on observe 2 m d'incision par rapport aux canaux d'irrigation antérieurs qui sont donc partiellement déconnectés du réseau principal.

Conclusions :

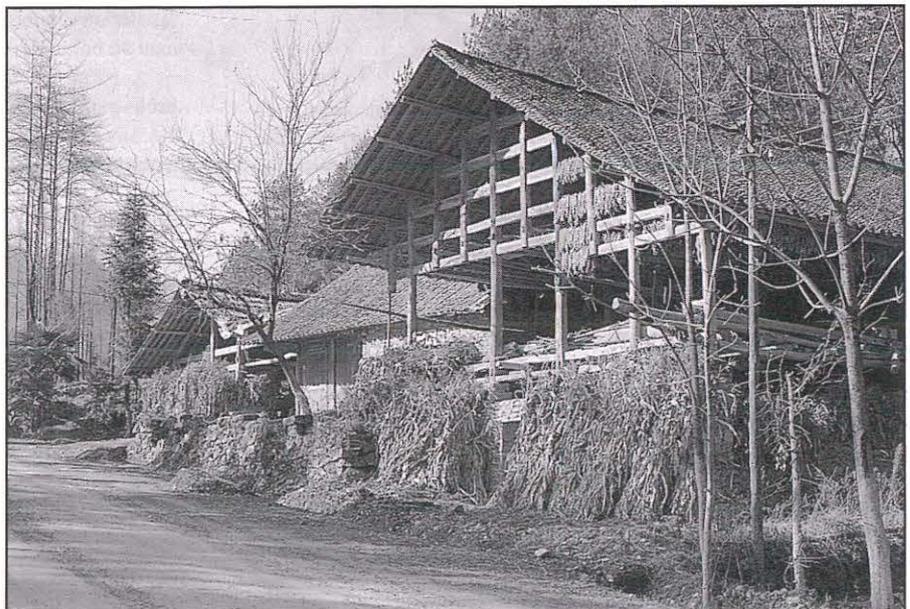
Vers des crises de l'environnement et des genres de vie ?

Depuis des millénaires les paysans chinois se sont adaptés aux crises naturelles ou sociales en trouvant des solutions ingénieuses et en élaborant des mosaïques de paysages. Mais depuis 1949, le bilan des gaspillages des ressources naturelles est accablant malgré des réalisations indubitables. La dernière guerre et la période Mao ont provoqué une crise écologique sans précédent dans l'histoire rurale. Il faut remonter au tout début de l'Holocène et à la conjugaison d'une crise climatique et du premier grand impact anthropique, pour trouver un équivalent à l'ampleur des nappes érosives. Depuis 1949, le doublement de la population, la concentration d'industries polluantes et la poursuite de la déforestation ont menacé l'équilibre paysan. La surface cultivable a été depuis réduite de moitié entre 1957 et 1986 (SIGWALT, 1989).

Le paysan chinois a toujours fait preuve d'une grande souplesse adaptative : foncière avec une collectivisation/décollectivisation accélérée, vestimentaires après la réforme agraire de 1952. Le statut de la femme chinoise, profondément modifié après 1949, a joué un rôle déterminant dans cette remarquable faculté d'adaptation. Durant le "Grand Bond en Avant", 40 millions d'entre-elles quittent leurs maisons durant la seule année 1958 (SUYIN, 1975). De grands changements de mentalités sont intervenus avec la réforme de DENG XIAOPING en 1980 et plus récemment avec l'introduction de la société de consommation. Ils illustrent la souplesse et la fragilité des sociétés chinoises, mais avant tout sa continuité paysanne.

Actuellement, on ne voit guère comment la Chine va résoudre le binôme contradictoire environnement / développement. Ce sera avec une modification profonde des genres de vie dans une Chine rurale où l'objectif millénaire a toujours été de "Vivre" (HUA, 1994) ●

Photo 92 : Maison en bois avec toit en bardeaux et séchage des fannes de maïs et des feuilles de "Diaoyé" (plante à cornet alimentaire) sur les bords du puit du Moulin (Hefeng). Cliché S.P. Typical house in Yanziping area (Hefeng).



L'EXPLOITATION DU KARST PAR L'HOMME

✓ Jean-Pierre BARBARY, Bernard COLLIGNON, Richard MAIRE, Simon POMEL et ZHANG Shouyue

RÉSUMÉ : Dans les karsts montagnards de Chine centrale, l'homme a commencé par habiter ou se réfugier dans les cavités naturelles. L'histoire des grottes-refuges est très complexe dans une région qui a résisté aux diverses mouvances et aux déplacements de population. Les minorités Miao et Tujia demeurent célèbres pour leur résistance et leurs révoltes paysannes. Le karst montagnard a toujours été exploité en période d'insécurité. Les forêts sont demeurées longtemps des réserves en bois de chauffe ou pour le développement de la métallurgie (bronze, fer, fonte, puis acier), avant l'exploitation des mines de charbon. Aujourd'hui encore, de nombreuses entrées de cavités servent à abriter des bergeries, des maisons et des lavoirs. Les poljés, les ouvalas et les flancs des dépressions sont aménagés pour les cultures depuis des siècles. Les ressources en eau sont utilisées pour la consommation en eau potable et l'irrigation des cultures (captages, barrages souterrains). Des distilleries sont installées dans les porches de grottes-émergences. L'exploitation souterraine des nitrates, très développée avant 1960, a pratiquement disparu. En revanche, les carrières et les cimenteries se multiplient avec le développement de la construction et l'augmentation de la population. Le tourisme karstique, en particulier les grottes aménagées, commence à se développer. Dans le Nord Hunan, signalons la grotte de Jiutiandong (Sangzhi) qui est l'une des plus belles de Chine, mais elle est peu visitée à cause de sa situation. *Mots-clés : exploitation, aménagement, ressources naturelles, forêt, grotte-refuge, nitrate, charbon, barrage souterrain, grotte aménagée, tourisme.*

ABSTRACT: THE EXPLOITATION OF KARST BY MAN. Some of the first men took refuge or dwelled in the caves found in Central China's mountain karst. Up till now houses, stables, pens or washing-places can be found in the entrance areas of many caves. The floors and flanks of countless poljes, uvalas and dolines were have been cultivated for centuries. Water resources are tapped for drinking water and irrigation. There are many subterranean dams and water deviations. Distilleries are installed in cave entrances. Almost disappeared are the extensive nitrate works which flourished till 1960. With the booming development quarries and concrete works grow fast. Karst tourism, especially to caves, becomes more and more popular. One of the most beautiful show-caves of China is Jiutiandong (Sangzhi county, North Hunan) which, however, is visited due to difficult access by a limited number of visitors only.

Keywords: natural resources, forest, cave, nitrate, coal, underground dam, show cave, tourism.

ZUSAMMENFASSUNG: DIE AUSBEUTUNG DES KARSTES DURCH DEN MENSCHEN. Schon lange fand der Mensch Schutz und Wohnraum in den Höhlen der zentralchinesischen Karstgebirge. Noch heute sind in Höhleneingangsbereichen Häuser, Ställe, Brennereien, Waschplätze, usw., in Gebrauch. Während Karstquellen für Trinkwasser und Bewässerung angezapft werden, sind selbst tief im Innern der Höhlen zahlreiche Staudämme und Ableitungen angelegt worden, während die bis etwa 1960 florierenden Salpetergewinnungsanlagen heutzutage fast vollständig aufgelassen worden sind. An der Karstoberfläche sind die Grundflächen und Flanken der Poljen, Uvalas und Dolinen seit Jahrhunderten kultiviert und neuerdings entstehen im Zuge des gegenwärtigen Wirtschaftswunders zahllose Steinbrüche und Zementfabriken. Außerdem gewinnt der Karst und Höhlentourismus eine immer größer werdendere Bedeutung. Die vielleicht schönste Schauhöhle von China ist wohl die Jiutiandong im Bezirk Sangzhi, Nord Hunan. Sie ist schwer erreichbar und hat daher eine beschränkte Anzahl von Besuchern.

Stichworte: Bodenschätze, Naturschönheiten, Wald, Höhlen, Nitrat, Kohle, unterirdischer Staudamm, Schauhöhlen, Tourismus.

第十二章 喀斯特开发与人类

华中喀斯特山区洞穴曾被人类用于居住及避难。直至今日，在某些洞口可以发现羊圈、房子或洗涤处。多少世纪以来，溶盆、溶洼及溶斗的斜坡上被垦为耕地，水资源用于生活供水及灌溉，修建了许多地下水库及治理工程，暗河出口建酒厂。1960年以前，洞穴中采硝还较普遍，现在几乎很少见到。随着建筑物及人口繁荣，采石场与水泥厂正在迅速发展。喀斯特旅游事业，特别是洞穴旅游也正在发展之中。桑植九天洞是中国最美丽的洞穴之一。

Introduction

En Chine centrale et méridionale, le karst fait partie de la vie des hommes, peut-être plus que partout ailleurs dans le monde, et cela depuis des temps reculés. En effet les reliefs karstiques couvrent des centaines de milliers de km², dans une des régions les plus anciennement peuplées du globe, et surtout ils présentent des ressources utilisables nombreuses. Ainsi en est-il des richesses minérales (pyrite, charbon, nitrates), des sols de poljés et dépressions pour les cultures, des refuges et abris constitués par les innombrables grottes (habitats, enclos, forteresses), enfin des potentialités industrielles (barrages souterrains, hydroélectricité, éoliennes dans les cavités) et touristiques (grottes aménagées). Le calcaire est lui-même exploité directement pour la fabrication du ciment. Mais la pression anthropique en milieu rural est importante depuis des siècles si bien que les réserves forestières s'épuisent, les sols cultivées sont menacés par l'érosion et les eaux karstiques sont fortement polluées.

La conservation de l'environnement karstique de Chine centrale et méridionale est donc devenue une priorité pour la vie et la survie des populations indigènes, notamment certaines minorités montagnardes importantes comme les Miao ou les Tujia. Ces régions superbes, symbolisées par l'originalité de leurs paysages karstiques et l'étonnante diversité des aménagements agraires, sont aujourd'hui un milieu test pour l'étude de l'évolution de l'environnement rural soumis à une pression humaine ancienne et actuellement très forte.

Pour comprendre le contexte historique et les enjeux actuels, nous développons quelques aspects typiques de l'exploitation et de la mise en valeur du karst montagnard chinois : les anciennes grottes refuges, les anciennes exploitations de nitrates, l'utilisation actuelle des grottes par les paysans, les grottes touristiques, enfin les ressources en eau. Quant à l'utilisation des sols pour les cultures, nous renvoyons le lecteur aux **chapitres 10** (sols) et **11** (paysages agraires).

I. L'utilisation ancienne des grottes et leur fonction de refuge

En Chine karstique on utilise les grottes depuis des temps immémoriaux. Elles ont bien entendu une fonction refuge, d'abord comme abri naturel contre les éléments naturels, ensuite comme refuge par rapport aux ennemis potentiels. En outre, les grottes de vastes dimensions, ou plus modestes, ont été exploitées depuis des siècles pour la production de sels de nitrates.

A. LES GROTTES À HABITATS PRÉHISTORIQUES

Les montagnes karstiques de Chine centrale et méridionale sont habitées depuis plusieurs dizaines de milliers d'années au moins comme le montrent les fouilles effectuées dans les grottes. Cela tient sans doute au climat relativement favorable et surtout à l'abondance et à la taille des abris naturels constitués par les vastes porches de grottes (proximité de sources ou accès à la rivière souterraine). Cette étroite dépendance entre l'homme et la grotte est telle qu'aujourd'hui encore la grotte peut servir d'habitat pour l'homme et d'enclos pour les bêtes.

En 1992, un site préhistorique de grande dimension, datant du Paléolithique moyen (50 000 ans au moins) a été découvert dans une grotte du district de Pan, dans le Guizhou. D'après l'examen des fouilles, les préhistoriens ont déterminé une vingtaine d'outils de pierre taillée dont un élément possède les caractères typiques de débitage de la civilisation européenne du Levalloisien. En outre ont été découverts des dents et des os fossiles de mammifères aujourd'hui disparus comme les mammoths, les rhinocéros de Chine, les tapirs géants. Cette nouvelle découverte, dans une région qui possède des milliers de sites potentiels, montre le travail considérable de fouille qui reste à entreprendre pour mieux apprécier l'âge, l'ampleur et les caractères de ces peuplements précoces.

Dans la Chine du SW, au sud du Yangtse, on connaît actuellement plus d'une douzaine de sites importants du Paléolithique.



Photo 93 : Grotte de Xiaoheidong (Zhijin, Guizhou), fortification barrant la galerie à 200 m de l'entrée. Cliché Guizhou 86.
Xiaoheidong cave (Zhijin, Guizhou), fortification situated 400 m inside.

Toutefois, les indices d'une agriculture précoce, avant le Néolithique, n'ont pas été trouvés semble-t-il, même si certains auteurs envisagent cette possibilité (CHANG, 1977, in PANNEL et MA, 1983). Nos propres recherches effectuées dans le comté de Wufeng (Hubei), en particulier dans la grande coupe des varves marrons de la grotte de Dadong, semblent indiquer une occupation humaine de la montagne qui est calée entre 18 000 et 13 000 ans BP (C¹⁴ pour la base). En effet l'étude micromorphologique des varves montre la présence de microcharbons de bois qui attestent l'existence de brûlis qui ont peu de chance d'être uniquement d'origine naturelle à cause de leur répétition annuelle sur des millénaires (voir chap. 6). Ces brûlis pourraient indiquer une agriculture précoce associant élevage et peut-être quelques cultures. Il est intéressant de noter que de tels traces de brûlis, répétitifs ou non, n'ont pas été retrouvés dans la grande coupe des varves rouges, localisée pourtant dans la même grotte, mais d'un âge beaucoup plus ancien estimé entre le Quaternaire ancien et le Pliocène.

Cette hypothèse pour la Chine centrale est mieux étayée dans certains sites hoabinien de l'Asie du SE, notamment en Thaïlande, en Chine du Sud et au Vietnam avec le site éponyme de Hoa Binh. Ces sites, datés du Paléolithique supérieur, présentent des indices d'une agriculture précoce. C'est le cas de "Spirit Cave", en Thaïlande, dont les fouilles ont révélé des plantes domestiques ou semi-domestiques comme les haricots, les châtaignes d'eau et les gourdes (GORMAN, 1972, in WHITEHOUSE, 1978).

B. LES GROTTES REFUGES ET GROTTES FORTERESSES DE LA PÉRIODE HISTORIQUE

Grotte refuge et grotte forteresse sont deux appellations qui font appel à un seul et même concept : la grotte en tant que milieu refuge en période de trouble. Ce phénomène de grande ampleur se vérifie dans les milliers de grottes que comptent les karsts tropicaux et subtropicaux de Chine. Par exemple, les grottes-tunnels, associant plusieurs entrées et accès à la rivière souterraine, sont devenues des lieux propices pour construire de véritables forteresses souterraines. Certains bastions naturels étaient pratiquement imprenables à condition de disposer de vivres. La plupart ont servi d'habitat temporaire au gré

des invasions et des incursions de brigands. Au XX^{ème} siècle, durant la guerre civile, elles ont été encore utilisées pour se réfugier, défendre l'accès d'une vallée et cacher des armes ; et il n'est pas impossible qu'elles servent à nouveau dans le futur car l'histoire est un éternel recommencement.

Dans les montagnes du Guizhou, du Hubei et du Hunan, les grottes refuges sont légion. On observe deux grands types de refuges souterrains : les grottes fortifiées et les grottes cachées, mais les deux fonctions peuvent se compléter. Dans le premier cas, la fonction refuge est remplie par les fortifications qui complètent la protection naturelle. A Xianfeng (Hubei), par exemple, une grotte fortifiée a été observée en pleine falaise près de la perte de Luoshuidong (**chap. 3**). Dans le comté de Zhijin (Guizhou), les exemples de fortifications souterraines sont fréquents. Il y a d'abord les grottes tunnels, comme à Luochu (Santang), qui présentent des murailles des deux côtés de la grotte, avec en plus un accès à la rivière souterraine protégé par une autre muraille. Il existe aussi de nombreuses grottes fortifiées à une seule entrée ; c'est le cas de Xiaoheidong située en rive gauche de la Yijiehe. L'entrée de la cavité, de modestes dimensions (9 m de large sur 2,5 m de haut), a l'avantage d'être cachée par la végétation ; un petit muret barre l'entrée ; mais c'est à 200 m à l'intérieur, dans le noir absolu, que l'on découvre une fortification impressionnante dans une galerie large de 50 m et haute de 25 m. La muraille, haute de 4 à 5 m, est située au sommet d'un escarpement d'une quinzaine de mètres qui protège toute la largeur de la galerie (**photo 93**) ; derrière se développe un lac qui servait pour s'alimenter en eau. La cavité se poursuit ensuite sur plus de 2 km dans une vaste galerie de sorte que la technique de l'enfumage n'était guère possible dans une cavité aussi importante (**Guizhou 86, p. 38**). Cette grotte servait manifestement de refuge temporaire pendant les périodes de guerre.

Toujours dans le comté de Zhijin (Guizhou), à quelques kilomètres de Xiaoheidong, des abris spectaculaires ont été aménagés sur des vires perchées, au plafond du canyon souterrain de la Liangchahe : on ne peut les atteindre qu'en escaladant sur une trentaine de mètres des échelles et des mas de perroquets en bambous, facilement escamotables en cas de péril (**Gebihe 89, p. 28**). Certaines grottes forteresses ont également été aménagées en raison de leur intérêt stratégique. C'est le cas de Xixiedong, ou "grotte de la pente ouest", situé dans le comté de Luodian, au sud du Guizhou. Cette vaste cavité, longue de 1,7 km, possède un porche NW et un porche SW qui dominent de 100 à 150 m deux vallons ; ils sont défendus par d'importantes fortifications larges de 25 à 30 m (**Guizhou 86, p. 77**). Cette situation dégagée et en hauteur permettait de voir venir les éventuels agresseurs.



Photo 94 : Habitation construite dans un porche à proximité du gouffre de Dukong, dans le secteur de Dadong (Wufeng, Hubei). Cliché J.P.B.

House built inside a porch, near Dukong cave (Dadong area).

Mais la fonction refuge peut être remplie uniquement par le caractère éloigné et caché de la grotte. On observe ainsi un exemple très instructif près de Xianfeng (Hubei), dans le gouffre de Hongshepan, ou "grotte de la strate rouge". Il s'agit d'une vaste doline d'effondrement, inclinée à 45°, de près de 200 m de profondeur (**chap. 3**). Elle présente au fond une vaste salle en partie éclairée par la lumière du jour qui présente les ruines de plusieurs habitations anciennes remontant à la fin de la dynastie des Ming (XVI^{ème} et XVII^{ème} siècle). Pendant cette période, les révoltes paysannes contre le pouvoir impérial ont été nombreuses, en particulier la dernière, fomentée dans les montagnes du Hubei, et qui a finalement renversé les Ming en portant la révolte jusqu'à Beijing en 1644. Dans ce contexte d'instabilité sociale, la situation naturelle d'un tel gouffre refuge — éloigné des sentiers, hors de vue et peu accessible — constituait une véritable défense naturelle, d'autant plus que ces habitations disposaient d'une petite rivière souterraine à proximité. Mais cette situation particulière avait aussi son revers pour la vie quotidienne : nécessité de monter et descendre la doline au moins une fois par jour pour travailler aux cultures situées aux alentours et conditions de vie souterraine relativement insalubres. A cette époque la montagne était encore habitée par des tigres qui semaient la panique, en particulier pendant les hivers rudes. "*Tigres et loups rôdent ici en plein jour*" raconte XU XIAKE (trad. J. DARS, 1993, p. 262) lors de son périple dans le Hunan en 1637.

On connaît aussi des exemples de vieux temples fortifiés, aujourd'hui abandonnés, situés vers 1 800 m d'altitude dans les immenses falaises du Daguanshan, dans le comté de Wuxi (Sichuan). Les accès sont particulièrement difficiles : sentiers abrupts, vires étroites, murailles protégeant l'entrée des cavités perchées, passerelles en bois suspendues en plein vide pour rejoindre des grottes normalement inaccessibles (**Gebihe 89, p. 62**). En 1637, à la fin de la dynastie des Ming, XU XIAKE relate la présence de bonzes vivant ou venant étudier dans des grottes reculées situées dans le pays de Chu, au SE du Hunan (XU XIAKE, traduit par J. DARS, 1993, p. 266). Cette fonction de grotte temple est fréquente en Asie du SE et se poursuit jusqu'à nos jours, en particulier dans d'autres pays comme la Malaisie.

C. LES GROTTES ANCIENNEMENT EXPLOITÉES POUR LES NITRATES

L'invention de la poudre noire 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, et cela jusqu'en 1960 environ. Aujourd'hui, les exploitations

fonctionnelles sont très rares à cause de la fabrication des explosifs industriels, mais aussi des engrais artificiels. En 1986, une exploitation de nitrate fonctionnait encore dans la grande galerie d'entrée de Daxiaodong, ou "grande grotte du nitrate", située dans le comté de Luodian, au sud du Guizhou (**Gebihe 89, p. 193**).

Autrefois, le critère d'exploitation était double, du moins en apparence : présence d'eau et de nitrates. Les paysans lessivaient la terre dans de grandes cuvettes maçonnées et recueillaient l'eau de percolation pour la faire évaporer et recueillir les sels nitrés. Les remplissages riches en nitrates étaient ainsi mélangés à l'eau dans une cuve circulaire de quelques mètres de diamètre. A la base, un drain permettait à l'eau laiteuse de s'écouler dans une série de petits bassins étagés et chauffés dans lesquels la solution était progressivement concentrée par évaporation. Devenue épaisse, cette solution était ensuite écrémée, puis par évaporation totale, on récupérait les sels de nitrate.

Une quantité «industrielle» de grottes ont été ainsi exploitées pour leurs nitrates, et nos pérégrinations souterraines ont permis d'observer d'anciennes exploitations situées près des entrées, mais également très loin sous terre ou dans des secteurs périlleux. En fait, chaque grotte d'une certaine importance avait son ou ses fours à nitrates. Dans la grotte de Gandong, qui fait partie du profond réseau de Zhaidong, près de Yanziping (Hefeng, Hubei), une ancienne exploitation de nitrate a été redécouverte à plus d'un kilomètre de l'entrée. Pour s'y rendre, il faut emprunter, après les grandes galeries du début, un petit réseau labyrinthique et très étroit, entrecoupé de petits puits. Celui-ci donne accès à une salle inclinée assez vaste renfermant une ancienne exploitation. Dans ce cas précis, on peut se demander si c'est uniquement la présence d'un faible écoulement d'eau qui justifie un lieu aussi éloigné et aussi peu favorable car d'une part il faut transporter à dos d'homme les remplissages nitrés pour les purifier, et d'autre part la grotte de Gandong renferme de l'eau dans le tunnel d'entrée (lac en période sèche). Il est donc possible que des exploitations refuges aient été installées loin sous terre pendant les périodes de guerre et d'instabilité. Cela paraît d'autant plus évident qu'il existe parallèlement des grottes forteresses, mais aussi d'anciennes caches d'armes, comme la grotte du Général dans le comté de Wufeng (Hubei), et datant de la guerre civile.

Près de Wufeng, dans le vaste réseau de Dadong (la grande grotte), des installations pour l'exploitation des nitrates sont étagées en rive droite, un peu à l'intérieur du porche haut de 100 m. Elles ont été abandonnées au cours du XX^{ème} siècle. Les dépôts nitrés étaient acheminés à dos d'homme ou de mulets sur un ou deux kilomètres parfois ; pour se faire, une large galerie très basse de plafond à été creusée sur plusieurs centaines de mètres, d'abord pour exploiter ces remplissages nitrés, mais aussi pour atteindre d'autres dépôts situés derrière.

II . L'utilisation actuelle des grottes

Les grottes sont utilisées aujourd'hui à des degrés divers. Les exploitations de nitrates ont pratiquement disparus ; par contre on observe encore des habitats troglodytiques permanents. On commence même à exploiter l'air souterrain pour produire de l'électricité. Enfin, de multiples grottes sont aménagées pour le tourisme et de nombreux projets sont en cours : chaque comté digne de ce nom doit avoir sa grotte touristique.

A. LES GROTTES À HABITATS PERMANENTS

Les grottes servant d'habitat permanent existent encore aujourd'hui, surtout en pleine montagne, mais elles deviennent moins courantes. Dans la province du Guizhou, dans le secteur de la grotte-tunnel de la Gebihe, nous avons déjà signalé l'existence d'un véritable village d'une quinzaine de maisons installés sous terre, à l'abri d'une immense voûte en plein cintre, de 70 m de large sur 35 m de haut (**Gebihe 89, p. 206**). Malheureusement la résurgence de la Gebihe se situe à plus

d'une heure de marche ; aussi un savant système de gouttières en bambou a-t-il été construit pour recueillir les gouttelettes tombant des stalactites.

L'aménagement intelligent des petites cavités sèches en maison permanente peut s'observer çà et là dans la montagne. Ainsi, entre Wufeng et Dadong (Hubei), près de la vaste doline d'effondrement de Dukong, un porche de 8 m de large sur 3 m de haut a été transformé en maison. La voûte sèche sert de plafond, le mur d'entrée est en bois et en pisée tandis qu'un autre mur intérieur ferme la maison. La galerie continue derrière et un espace a été laissé au-dessus du mur du fond pour laisser passer la fumée du foyer. Cette maison indestructible était habitée en 1989 par un vieillard et sa petite fille. A l'intérieur, ce dernier avait mis de côté son propre cerceuil qu'il avait fabriqué. Voilà une façon pratique et philosophique de prévoir l'avenir sans être à la charge de quiconque ! Les occidentaux que nous sommes en prennent pour leur grade...

Dans le comté de Sangzhi, le large porche de la grotte de Zhangjiadong abrite plusieurs maisons, des enclos pour les bêtes (porcs, volailles, ânes) et un lavoir situé en contrebas à l'intérieur de la grotte (**chap. 4**). Pendant l'été, qui est très chaud et pluvieux, la cavité donne une ombre appréciable tandis que pendant l'hiver la cavité souffle un air chaud. Voilà un exemple parfait d'utilisation de la géothermie, plus exactement de la spéléothermie, et cela bien avant les recherches savantes faites en Occident.

Enclos et bergeries sont assez fréquents dans les porches de grottes : signalons le cas de la grotte du Général, dans le comté de Wufeng (Hubei), qui présente un vaste porche aval très favorable au parcage des bêtes. Par contre la ferme, avec son toit de bardeaux, a été construite au milieu des cultures avec le traditionnel buisson de bambous à proximité et les fagots de bois pourris pour la culture des champignons noirs gélatineux. La plupart de ces maisons isolées dans la montagne sont aujourd'hui reliés par des fils électriques ; mais il s'agit d'un aménagement sommaire, effectué avec des fils de fer tendus à hauteur d'homme à travers champs. Toutefois le progrès est immense compte tenu du grand nombre d'écarts, et l'on comprend la nécessité de produire de l'électricité à l'échelon local en utilisant les multiples potentialités du karst (**cf. infra**).

Dans quelques cas, on connaît l'existence de routes qui utilisent des grottes-tunnels. Citons l'exemple de Luchuanyandong, "La route à travers la grotte", cavité de 1,8 km de développement qui traverse de part en part un petit chaînon en cinq étages distincts, dans le comté de Zhijin (Guizhou). La galerie principale intermédiaire, longue de 300 m et large de 10 à 15 m, a été aménagée pour permettre le passage de véhicules (**Guizhou 86, p. 40**).

B. LES ÉOLIENNES SOUTERRAINES

A notre connaissance, l'exploitation du «vent» souterrain pour produire de l'électricité n'a jamais été réalisée dans le monde. Mais en Chine, l'utilisation des potentialités karstiques va en se développant. Ainsi, une éolienne a été construite récemment dans une grotte située dans le comté de Longshan, au sud de Dayun, dans l'ouest du Hunan. Cette cavité, appelée Guifengdong, ou "grotte du vent des esprits", présente une circulation d'air importante qui a poussé une équipe locale de techniciens à installer un équipement pour produire de l'électricité à l'échelon local, dans une zone habitée par la minorité Miao. Ce type d'installation, plus original que les microcentrales installées sur les multiples cours d'eau et résurgences, montre une mise en valeur intelligente de toutes les ressources karstiques en favorisant les aménagements locaux.

C. LES GROTTES TOURISTIQUES

Actuellement, en Chine, il existe plus de deux cents grottes aménagées pour le tourisme, réparties dans presque toutes les grandes régions karstiques. Leur niveau d'aménagement est cependant très variable ; certaines présentent des sentiers bien tracés, des trajets en barques, mais avec un goût qui ne correspond pas forcément aux critères

occidentaux ; d'autres ne possèdent même pas l'électricité. En réalité on peut considérer qu'il existe seulement soixante-dix cavités qui méritent le nom de grottes aménagées. Certaines d'entre elles reçoivent plus d'un million et demi de visiteurs par an ; ce sont souvent des cavités qui ne sont pas, et de loin, les plus belles ou les plus spectaculaires. Elles ont simplement l'atout de se trouver dans des zones fortement peuplées, près de grandes villes, où le niveau de vie et les communications sont mieux développés que dans les montagnes reculées où se situent pourtant les plus belles cavités.

Ainsi, deux des plus belles grottes aménagées du pays, et probablement du monde, Dajidong (Zhijin, Guizhou) et Jiutandong (Sangzhi, Hunan), restent peu visitées à cause de leur situation, les communications entre les grandes villes et les régions karstiques n'étant pas développées. La fréquentation est essentiellement chinoise et locale, et le nombre de touristes étrangers demeure encore extrêmement faible. En outre l'aménagement tout comme le commentaire des visites font plus appel à l'imaginaire qu'à une vulgarisation scientifique des phénomènes karstiques souterrains, pourtant spectaculaires en Chine. Aucun aménagement n'a encore mis en valeur toutes les activités humaines liées aux cavités, par exemple les exploitations de nitrate ou les habitats troglodytiques. Bien sûr cela ne correspond peut-être pas encore aux attentes du public chinois.

Une chose est sûre : des responsables de comtés sont de plus en plus conscients de l'intérêt que représentent le karst et les grottes, et nous avons pu le constater à Hefeng ou à Yichang par exemple. Cela signifie que le nombre des cavités aménagées va se multiplier dans les prochaines années, ne serait-ce que par un esprit d'émulation entre les comtés et provinces. La Chine n'est plus fermée comme autrefois et l'on commence à mieux circuler, sans parler de l'information télévisuelle et de la publicité qui se développent à grands pas. C'est dans ce contexte de fort développement que s'inscrit l'exploitation énergétique et touristique du karst chinois où vivent, ne l'oublions pas, des centaines de millions de personnes.

III . Les barrages et captages souterrains

Les barrages et captages souterrains sont une spécialité chinoise et sont surtout utilisés pour l'irrigation, mais parfois pour l'hydroélectricité. Leur nombre total est inconnu, mais il doit dépasser plusieurs milliers. En Chine centrale on connaît surtout des exemples dans le Sichuan. Souvent, il s'agit de petites constructions destinées à irriguer quelques pièces de terres. Par exemple, dans la grotte de Longwangdong, dans le comté de Wuxi, 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. L'eau ressort ainsi 20 m plus haut que la résurgence naturelle et permet de mieux irriguer les rizières. Dans le comté de Jiangbei (Sichuan oriental), un réservoir souterrain de 20 millions de m³ se développe dans un aquifère karstique anticlinal. Un petit barrage a été construit dans le tunnel d'accès à la rivière souterraine (YUAN DAOXIAN, 1981).

Dans les provinces karstiques de Chine du Sud, les barrages souterrains sont plus nombreux. 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 1 452 ha. (YUAN DAOXIAN, 1981). La même technique est utilisée à Santang, dans le comté de Zhijin (Guizhou), avec la grotte-tunnel de Luochu. Ici un canal dérive l'eau de la rivière souterraine et emprunte la bordure d'une salle d'effondrement, puis d'un aven et traverse la barre calcaire par un tunnel artificiel. L'eau permet ainsi d'irriguer des champs voisins. Dans le comté de Shanglin (Guangxi), le réservoir de "Dalongdong" est à une autre échelle : d'une capacité de 120 millions de m³, il permet d'irriguer 11 220 ha ! Celui-ci a pu être rempli simplement en bouchant une petite tige.

Dans les montagnes du Hubei (comté de Hefeng), la magnifique grotte émergence de Donghe possède une rivière souterraine connue sur plusieurs kilomètres de long (chap. 1). Le débit de celle-

ci fluctue en gros entre 0,25 m³/s pendant la période la plus sèche à près de 50 m³/s en hautes eaux. Or cette eau souterraine a été captée à plusieurs kilomètres sous terre (alt. 400 m) par un tunnel artificiel afin de bénéficier d'une dénivellation suffisante pour la conduite forcée qui rejoint l'usine hydroélectrique située à 200 m d'altitude. Le 5/12/92 le débit au captage souterrain était de 1,1 m³/s. La station, construite entre 1985 et 1987, est un modèle du genre dans le Hubei ; mais la production d'électricité est insuffisante en hiver à cause de l'étiage. Pour construire le barrage et le captage à plus de 2 km sous terre, une voie d'accès a été aménagée par une autre entrée naturelle située plus en amont. Dans cette grotte-gouffre, de près de 200 m de profondeur et de 1 km de long, un chemin a été taillé dans le rocher, en particulier dans l'immense salle terminale qui surplombe la rivière d'au moins 80 m.

IV . L'exploitation du charbon et les poussières atmosphériques

Quand on visite la Chine l'hiver, on est frappé par la pollution en poussières qui règnent, non seulement dans les grandes agglomérations, mais aussi dans les petites villes. Le problème est simple : l'hiver chinois est caractérisé par un temps stable, anticyclonique, qui favorise le stationnement des pollutions, en particulier les poussières sulfureuses issues de l'utilisation du charbon pour les besoins domestiques. Une étude préliminaire de ces poussières a été effectuée dans plusieurs villes karstiques du Hubei et du Hunan et le long de plusieurs routes ; elle permet de comprendre pourquoi ces régions karstiques de Chine sont des nids remarquables pour l'éclosion des formes diverses de gripes et affections respiratoires qui essaient largement chaque année dans le monde, en particulier en Europe (ex : la grippe du Guizhou) : en somme un terrain idéal pour les biologistes !

A. L'EXPLOITATION DU CHARBON ET DU CHARBON DE BOIS

Les veines de charbon sont nombreuses dans les provinces karstiques de Chine et sont largement exploitées depuis 1980, année où DENG XIAO PING a permis l'exploitation artisanale du charbon par les paysans, ceci pour développer les régions montagneuses. Quinze ans après, des milliers de petites mines sont exploitées, souvent dans des conditions difficiles. Mais c'est une question de survie : le bois de chauffe devient rare et le charbon est une aubaine pour ces populations pauvres. Source d'énergie abondante, le charbon permet de se chauffer, de cuisiner, de faire fonctionner les briqueteries, etc.... Pour les centrales thermiques, on utilise le charbon provenant des grandes mines d'état qui produisent chacune plus de 10 millions de tonnes par an. En 1985, les régions karstiques du centre et du sud produisaient 15 % environ de la production nationale, mais cette proportion est probablement supérieure aujourd'hui (Encyclopedia of New China, 1987).

Le principal problème posé par les petites veines de charbon est sa très mauvaise qualité. La quantité de carbone organique est d'environ 25 à 30 %, le reste étant constitué d'impuretés minérales, en particulier des matières soufrées qui donnent à l'eau circulant par exemple sur des déblais charbonneux une très forte acidité et à l'air une richesse en poussières sulfureuses favorables au développement des bactéries et des algues microscopiques.

Dans les comtés visités de l'ouest du Hubei et du nord du Hunan, le charbon de bois est encore largement utilisé dans les petits villages et écarts car les forêts, ou du moins ce qu'il en reste, ne sont pas totalement épuisés (il s'agit de forêts secondaires) ; toutefois les réserves en bois s'amenuisent et l'exploitation du bois s'effectue dans des lieux de plus en plus reculés et abrupts, par exemple sur les flancs et au fond des canyons : Donghe (Hefeng) et gorge de Chaibuxi (Wufeng). Mais la déforestation est beaucoup plus avancée dans le Guizhou comme dans la zone de Santang (comté de Zhijin) où la forêt a totalement disparu et laisse apparaître les célèbres shilin ou "dents de pierres".



Photo 95 : Filtre atmosphérique n°7 en station fixe du 4 décembre 1992 vers 19 h au 8 décembre vers 8 h à l'hôtel de Yuyangguan (Hubei) (cliché S.P.).
Atmospheric filter (4/12/92) used to trap dusts in Yuyangguan (Hubei).

Si le charbon de bois est peu polluant, par contre il n'en est pas de même pour le charbon qui est de plus en plus utilisé dans les agglomérations et à proximité des routes principales. Dans les provinces du Guizhou et du Sichuan, où les veines de charbon sont plus nombreuses, son utilisation est généralisée et pose des problèmes d'accoutumance.

B. L'ÉTUDE DES POUSSIÈRES

Durant le séjour au Hunan et au Hubei 10 stations de prélèvements de poussières ont été réalisées suivant la méthode des filtres de gaz enduits de glycérine (COUR, 1974). Sept prélèvements représentent des fluxages de poussières en arrière du bus durant les trajets et trois prélèvements sont ceux de stations fixes (**photo 95**) durant les séjours à l'hôtel (**fig. 100**). Les filtres ont été rincés à l'alcool et les fractions solides récupérées sur filtre et montées sur lames minces dans le baume du Canada pour examen au microscope polarisant, grossissement 25, 100 et 500 ; 17 lames minces ont été étudiées. Dans certains cas des portions de filtres ont directement été montées sur lames. Les résultats analytiques préliminaires sont les suivants :

- Filtre 1 : station fixe à l'hôtel de Sangzhi (Hunan)

du 21/11/92 vers 19 h au 24/11/92 vers 7 h (60 h)

. *Lame 1/A* : particules charbonneuses brûlées, particules argileuses ferrugineuses rouges, débris de sols rouges, rares quartz éoliens, cristaux de calcite, cristaux de calcite ± amorphe (?), baguettes rouges de wüstite ou d'hématite (?) et probablement minéraux cuprifères.

. *Lame 1/B* : fibrilles charbonneuses noires, particules noires ± rondes (carbone), débris de sols polycristallins et rares éléments ± amorphes, grosses particules de charbon et quartz.

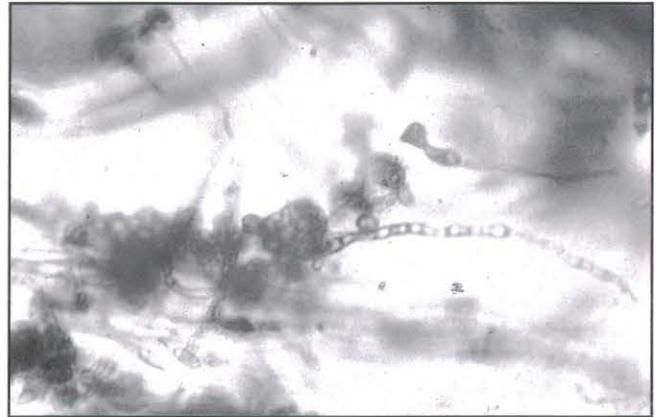


Photo 96 : Détail des colonies filamenteuses bactériennes sulfatées avec un bourgeon fixé sur des particules de charbons sulfureux. Filtre 7 de la station fixe de Yuyangguan du 4 au 8 décembre 1992. Lame 7/B, lum. pol. non analysée, obj. 50 x 3,2. (cliché et analyse S.P.) échelle 1 cm = 26 μm

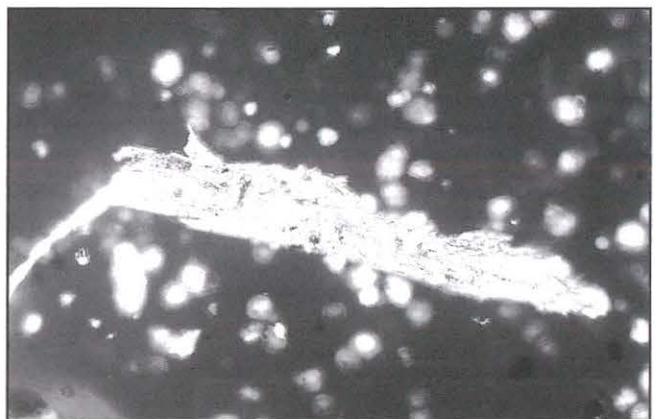


Photo 97 : Test siliceux indicateur des feux de nettoyage en hiver au Hubei, dans les poussières du filtre 10 de la station fixe de l'hôtel de Hefeng entre le 17 et le 29 décembre 1992. Les phytolithes sont souvent les seuls macrorestes conservés dans les sols et les remplissages des pays tropicaux. Datable par luminescence (TL et OSL), ils sont des indicateurs des types de végétation, des feux et de remarquables fournisseurs de silice dans les profils. On observe également de nombreux cristaux de quartz et de calcite et des cristaux de soufre jaune. Lame 10/A, lum. pol. analysée, obj. 10 x 3,2. (cliché et analyse S.P.)

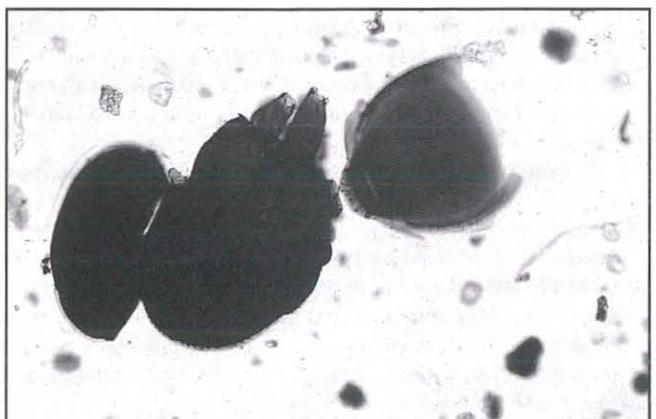


Photo 98 : Test organique d'un Acharien, abondant dans les poussières des maisons, prélevé dans le filtre 10 de la station fixe de l'hôtel de Hefeng entre le 17 et le 29 décembre 1992. Les poussières des habitations sont favorables au développement de nombreux achariens qui sont les vecteurs de multiples dermatoses. Lame 10/A, lum. pol. non analysée, obj. 10 x 3,2. (cliché et analyse S.P.) échelle 1 cm = 131 μm

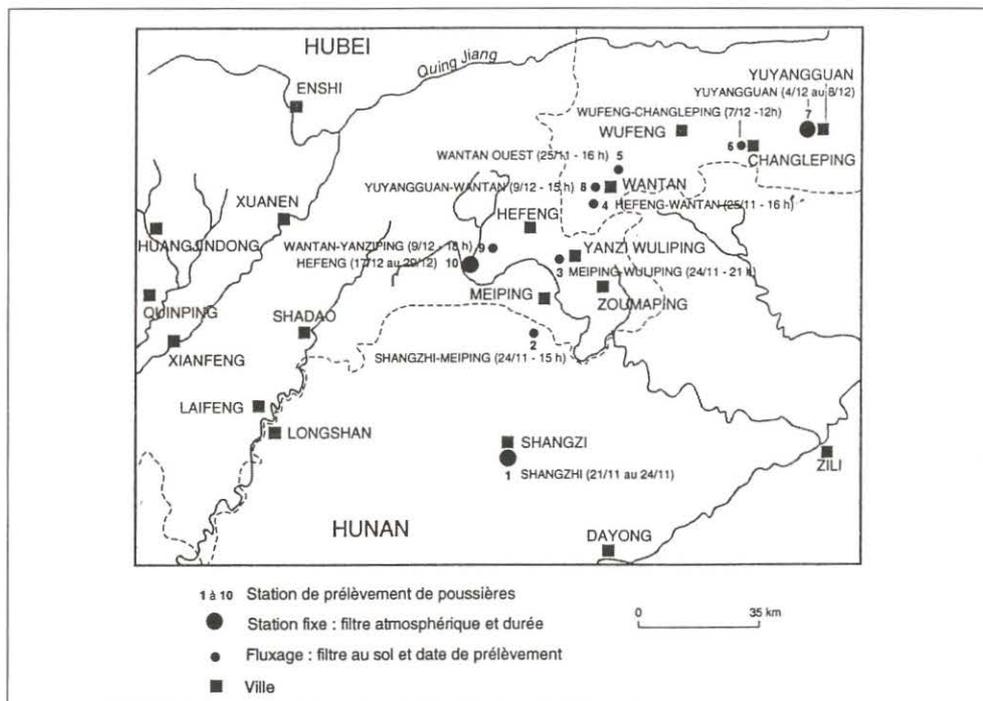


Figure 100 : Carte de localisation des filtres à poussières installés dans le Hubei et le Hunan entre le 21 novembre et le 29 décembre 1992.

Situation map of the dust filters, 21/11 to 29/12/92 (Hubei and Hunan).

. *Lame 1/C* : amas noirâtres ± fibreux (charbon), plaquettes rouges (minéral cuprifère), sphérules jaunes de soufre (x 500), cristaux verts (chlorite ou minéral de cuivre ?)

. *Lame 1/D* : soufre, minéraux bleus de covellite (CuS), différents débris pédologiques, bille de carbone...

Le filtre atmosphérique a piégé durant une période de 60 h environ très peu de débris de roche-mère du Trias régional (roches clastiques, marnes et calcaires marneux). On observe surtout les produits d'érosion des sols et des contaminations urbaines (soufre, carbone, particules de charbon). On observe une légère contamination en poussières depuis la grande mine de phosphorite de Zuoma (?) ou une zone plus proche de carrières dans le karst avec les minéraux associés des paragenèses du cuivre. La région est peu industrialisée et les contaminations des cimenteries sont marquées par de fines particules de calcaire amorphe.

- **Filtre 2 : fluxage entre Sangzhi (Hunan) et le nord de Longtanping-Sud Meiping**, prélèvement le 24 novembre vers 15 h (environ 50 km).

La lame 2 montre des éléments de roche-mère calcaire fraîche, des particules de calcaire altéré, des débris de roches dolomitiques fraîches, des quartz frais et altérés, des amas argileux, des débris pédologiques, de nombreux éléments riches en matière organique, du charbon de bois. Dans un secteur complexe formé de calcaires et de dolomies cambriennes avec des bancs de cherts, les poussières sur un trajet de 50 km sont surtout composées des produits de décapage de lithosols. Le nord du Hunan est marqué par le décapage très avancé des couvertures végétales et pédologiques à l'exception du secteur des Tianzi Mountains (HUAYI PUBL., 1988 et IFP, 1992) du fait de l'intensification de l'agriculture sur les pentes et les effets des feux. Les sols sont ainsi très sensibles au ravinement et à l'exportation des poussières.

- **Filtre 3 : fluxage entre Meiping et Wuliping**, prélèvement le 24/11/92 vers 21 h à 41 km de Hefeng vers 1000 m d'altitude (environ 40 km).

La lame 3 montre de très fins cristaux de dolomies, de nombreuses micrites et argiles dans la masse de fond très fine et argileuse, des argiles abondantes, des produits pédologiques très altérés, des quartz éoliens, de la matière organique mélanisée, des charbons de bois et 10 à 20 % d'éléments de sols brûlés. Dans une région montagneuse de roches cambriennes calcaires, les poussières au sol sur 40 km sont

caractérisées par une abondance de particules argileuses et de silts calcaires avec une prépondérance de particules de sols incendiés transportées par le vent.

- **Filtre 4 : fluxage entre Hefeng et l'ouest de Wantan**, prélèvement le 25/11/92 vers 16 h (environ 50 km).

La lame 4 révèle des argiles dans une masse de fond ± carbonatée, de nombreux nodules noirs, rouges et bruns provenant de différents horizons de sols, des amas noirs et éléments de sols argileux jaunes, une masse de fond plus fine et plus argileuse, des particules plus usées et des débris de sols plus abondants que sur la lame 3, de nombreux quartz anfractueux, des quartz à extinction roulante (microquartzites du Dévonien), enfin 10 % de particules noires fibreuses et charbonneuses ± usées. Dans une région de roches clastiques du Silurien et du Dévonien, les poussières au sol sur 50 km sont surtout formées par un apport en produits remaniés des différents horizons pédologiques issus de l'érosion des sols rouges et jaunes du synclinal de Hefeng et du grand poljé de Wantan. Cette région est très sensible à l'érosion hydrique et les sols sont souvent remobilisés par les processus hydroéoliens actifs.

- **Filtre 5 : fluxage atmosphérique nasal à l'ouest de Wantan**, mouchoir personnel prélevé le 25/11/92 vers 16 h (environ 50 km).

La lame 5 montre de nombreux flocons argileux coagulés par du soufre et des silts fins polycristallins, carbonatés et siliceux piégés dans les mucus des fosses nasales. On observe également des colonies sulfato-bactériennes abondantes fixées sur les amas de poussières. Les poussières atmosphériques issues de l'érosion des sols de la zone synclinale et du poljé de Wantan sont sans doute coagulées par des aérosols sulfatogènes. Les sulfates permettent le développement de micro-colonies de sulfato-bactéries qui attaquent les muqueuses. Elles provoquent l'irritation des fosses nasales et de la gorge, obligeant de fréquentes expectorations. Elles sont des vecteurs nutritifs de nombreux microbes pathogènes provoquant des gripes, rhinites, rhino-pharyngites, etc. La cause pourrait en être l'utilisation intempes-tive de charbon ligniteux pour l'énergie industrielle et domestique.

- **Filtre 6 : fluxage entre Wufeng et Changleping**, prélèvement le 7/12/92 vers 12 h (environ 20 km).

La lame 6 montre des particules très fines avec des silts de dolomies grises, des grains de pyrite de fer, de rares particules métalliques bleues de covellite (CuS), des particules de sols rouges ferrugineux et

de nombreuses poussières noires, brunes et grises non calcaires (poussières d'usines ou de cimenteries ?), présence de billes de carbone. Dans une région de roches dolomitiques grises du Cambrien, les poussières au sol sur 20 km sont surtout celles du décapage des dolomies grises et des couvertures ferrugineuses rouges non calcaires. La présence de particules métalliques, de cuivre, de billes de carbone serait liées aux contaminations urbaines et industrielles locales de la région de Wufeng et en particulier des produits d'extraction minière (production de pyrite et de cuivre) et des cimenteries (?) (HEFENG, 1992)

- Filtre 7 : station fixe à l'hôtel de Yuyangguan du 4/12/92 vers 19 h au 8 décembre vers 8 h (85 h).

La lame 8/A montre des colonies bactériennes sulfatées avec un nucleus et des développements filamenteux emboîtés et annelés ; la lame 8/B de nombreuses colonies de sulfato-bactéries filamenteuses piégées dans les trames du filtre ; la lame 8/C des particules minérales très fines et des particules de matière organique très brune (composts), de nombreux tests de colonies sulfato-bactériennes filamenteuses, des particules très rouges de tests ferro-bactériens et de nombreux débris de cuivre et particules d'hémato-sidérite ; enfin la lame 8/D (idem) avec des tests sulfato-bactériens abondants. Dans un secteur de roches clastiques du Silurien et du Dévonien, les poussières durant 85 h sont surtout liées à la pollution sulfatogène des charbons ligniteux ainsi qu'à une pollution industrielle éjectant du cuivre (?). Les apports atmosphériques distaux sont de la matière organique fine issue du vanage des sols à nu durant cette période hivernale (sans doute composts des rizières et des zones de maraîchage). La proximité de la rivière favorise le développement des filaments algo-bactériens qui colonisent rapidement les nutriments des particules de composts transportées par le vent avec l'aide des aérosols sulfatés libérés dans l'atmosphère.

- Filtre 8 : fluxage au sol entre Yuyangguan et Wantan, prélèvement le 9/12/92 vers 15 h (environ 100 km).

La lame 8 révèle de nombreuses plaquettes rouges (cuivre), des cristaux de quartz, de calcite et de dolomie, quelques grosses particules charbonneuses, des amas à gels siliceux dans une masse de fond argileuse (produits des cimenteries ?). Dans une région de roches clastiques du Silurien et du Dévonien, les poussières au sol sur 100 km sont caractérisées par la présence de produits fins de décapage des roches locales et de la présence de produits des activités extractives (cimenteries et carrières).

- Filtre 9 : fluxage au sol entre Wantan et l'ouest de Yanziping, prélèvement le 9/12/92 vers 18 h (environ 20 km).

La lame 9 montre de nombreux quartz éoliens et altérés, des cristaux de dolomies, des éléments de microquartzites, des débris de phyllites et de schistes, des éléments du Trias, des débris polycristallins (sols), des débris noirs, des éléments de sols jaunes, des amas noirs et bruns à rouges, de petites particules de sulfate de calcium et de rares plaquettes rouges (cuivre ?). Les poussières au sol sur un trajet de 20 km reflètent les roches-mères locale : Trias calcaire et dolomitique et les reliquats des couvertures schisto-phylliteuses. On observe l'importance des apports éoliens et pédologiques fins et le nourrissage en sulfate de calcium. Il pourrait être lié à la remobilisation du gypse à partir des nappes évaporant dans les zones de riziculture des grands poljés du synclinal de Yanziping.

- Filtre 10 : station fixe à l'hôtel de Hefeng du 17/12/92 vers 15 h au 29 décembre vers 10 h (283 h).

La lame 10/A révèle des microquartzites, des quartz de roche-mère schisteuse, une bille de verre jaune, du soufre, une bille de carbone et un agglomérat de billes de carbone, des fragments charbonneux noirs, de rares cristaux de sulfate de calcium, des quartz éoliens, un test siliceux d'opale, des phytolites, des éléments brisés d'achariens... La lame 10/B indique la prépondérance d'éléments charbonneux noirs et montre de la pyrite de fer, des billes de carbone, du verre brun, des

cristaux de soufre fixés à des particules charbonneuses, une bille et une plaquette jaunes (soufre ?), une bille et une plaquette bleues (CuS ?)... La lame 10/C est identique et présentent de nombreux éléments de pyrite de fer. Les contaminations atmosphériques durant 12 jours (283 h) à Hefeng représentent un excellent marqueur d'une pollution urbaine classique avec des apports modestes des roches-mères du Trias et des apports éoliens en quartz et en gypse. La contamination principale est urbaine et provient des fumées issues de la mauvaise combustion de charbon pyriteux, qui engendrent des aérosols et la minéralisation du soufre tout en favorisant le développement des achariens.

Les résultats préliminaires attestent de zones plus sensibles à l'exportation des poussières pédologiques et surtout les effets nocifs des rejets de fumées sulfatogènes liées à la combustion de charbons de mauvaise qualité. Ils ont une incidence non négligeable sur l'apparition d'infections rhino-pharyngées tenaces. L'étude des poussières en micropétrographie directe sur filtre est une voie nouvelle et très prometteuse. Avec des moyens très peu onéreux, elle permet de faire un bilan assez fidèle : 1) des apports atmosphériques locaux et distaux au système karstique ; 2) de la part entre l'érosion hydrique et éolienne dans le décapage des couvertures pédologiques ; 3) des contaminations urbaines et industrielles. Elle nécessitera à l'avenir d'être couplée aux études palynologiques, comme celles utilisées au Sahara (SCHULZ et POMEL, 1990), et de passer au stade quantitatif pour représenter une estimation fiable.

Conclusion

L'exploitation actuelle des grottes, en Chine centrale et méridionale, présente une diversité remarquable : habitats pour l'homme, enclos pour les bêtes, exploitation de nitrates (rares), barrages et captages (irrigation, hydroélectricité), éoliennes, routes, aménagements touristiques... On observe même des cultures dans d'anciennes grottes dont les plafonds ont disparu. Cette relation étroite entre l'homme et le karst remonte au Paléolithique avec l'occupation des premières grottes, puis la fonction refuge s'est développée largement au cours des périodes troublées de l'histoire de Chine, et cela jusqu'au XX^{ème} siècle avec la guerre civile. Aujourd'hui, les multiples fortifications souterraines et les exploitations de nitrate sont les témoins privilégiés de cette utilisation intensive des grottes au cours des derniers siècles, notamment lors des révoltes paysannes qui se sont développées dans les montagnes du Guizhou, du Hubei et du Hunan.

Aujourd'hui, les karsts de montagne de Chine centrale témoignent d'une intensification de l'agriculture avec le développement des cultures sur pentes, avec les risques d'érosion induits. Dans le même temps, le développement des agglomérations se traduit par une pollution atmosphérique due aux poussières et fumées dégagées par la combustion d'un charbon de mauvaise qualité très sulfureux. L'étude des poussières, en ville et sur route, a permis de mettre en évidence le rôle néfaste de ces aérosols dans le développement de colonies bactériennes, et constitue une approche nouvelle dans l'étude de l'environnement. Quand on visite la Chine l'hiver, on est frappé par la pollution en poussières qui règnent, non seulement dans les grandes agglomérations, mais aussi dans les petites villes. Le problème est simple : l'hiver chinois est caractérisé par un temps stable, anticyclonique, qui favorise le stationnement des pollutions, en particulier les poussières sulfureuses issues de l'utilisation du charbon pour les besoins domestiques. Une étude préliminaire de ces poussières a été effectuée dans plusieurs villes karstiques du Hubei et du Hunan ; elle permet de comprendre pourquoi ces régions karstiques de Chine sont des nids remarquables pour l'éclosion des formes diverses de gripes et affections respiratoires qui essaient largement chaque année dans le monde, en particulier en Europe (ex : la grippe du Guizhou) : en somme un terrain idéal pour les biologistes...

Quatrième partie

L'EXPÉDITION

✓ Jean-Pierre BARBARY, Bernard COLLIGNON, Simon POMEL

RÉSUMÉ : Au cours des trois expéditions (Guizhou 86, Gebihe 89, Donghe 92), nous avons visité 12 comtés dans 4 provinces (Guizhou, Sichuan, Hubei, Hunan) et exploré plus de 150 cavités développant au total 161 km. Tous ces résultats sont le fruit d'un véritable échange culturel entre spéléos européens et scientifiques chinois et plus encore d'une confiance et d'une amitié solides.

Parmi les régions visitées, on peut souligner les cavités remarquables. Dans le Guizhou, signalons le réseau fabuleux de la rivière Gebihe (Ziyun) avec ses énormes galeries (jusqu'à 150 m de haut), ses puits gigantesques (370 m, 210 m) et la salle des Miaos (700 x 215 x 70 m), la seconde de la planète. Dans le comté de Zhijin, le synclinal de Santang (150 km²) présente 14 cavités topographiées, dont Santangdongqun (7,2 km). Plus loin, la rivière Yijiehe a un parcours semi-souterrain original (grottes-tunnels, dolines d'effondrement, tronçons de canyon), puis disparaît dans le gouffre de Daxiaocaokou (2 929 m, - 235 m). Dans le comté de Luodian, nous avons repéré une gigantesque doline au fond de laquelle confluent deux rivières. Dans le Hubei, l'anticlinal de Changleping recèle 40 km de galeries explorées, dont Donghe (4 828 m, - 270 m), Longdong-Yanzidong (5 692 m, + 147 m), l'énorme grotte-perte de Dadong (10 932 m, ±314 m) et les gouffres alpins de Dongxitiankeng (5 807 m, - 382 m) et Tiankengcao (- 230 m). Dans le Sichuan (Wuxi), l'aspect «alpin» est symbolisé par une structure plissée remarquable, des canyons profonds (Daninghe) et se traduit par un potentiel dépassant 1 600 m dans le synclinal oriental de Wuxi (regard à - 150 m).

Au total, des expés peinardees, mais soutenues, avec souvent un froid glacial. Des sorties 5 jours sur 6, et une course continue contre la montre à cause des horaires imposés par les chauffeurs et les cuisiniers. La gastronomie chinoise, c'est une cuisine raffinée, variée et bien équilibrée. L'environnement médical est modeste, mais il y a des dispensaires un peu partout. Les campagnes chinoises étant très peuplées, la plupart des eaux sont polluées. Il est donc impératif de traiter l'eau de boisson ou de la bouillir, ce que font systématiquement les Chinois. Les petites misères rencontrées sont les rhumes, gripes, bronchites, otites. Depuis 1985, les expéditions de spéléologues occidentaux se sont multipliées. Des centaines de kilomètres de galeries, souvent dans des cavités aux dimensions colossales, ont été topographiées et ont fait progresser le développement et la profondeur des cavités. Mais il ne faut pas oublier le travail en profondeur effectué par nos collègues chinois, et rappeler que celui-ci a débuté il y a 400 ans avec l'infatigable explorateur Xu Xiake. Nous publions enfin les listes des plus longues et des plus profondes cavités de Chine ainsi que celles des grands puits et des grandes salles. Certaines données sont à confirmer et à affiner. A notre connaissance, au début de 1994, 68 cavités dépassent les 2 km de développement, ce qui est peu au regard de l'immense potentiel chinois.

ABSTRACT: THE EXPEDITION. In the course of the three expeditions Guizhou 86, Gebihe 89 and Donghe 92 altogether more than 150 caves with a total of 161 km of mapped passage length were visited in 12 counties of the provinces Guizhou, Sichuan, Hubei and Hunan provinces. The success resulted from a veritable cultural exchange between Chinese and European scientists and cavers in addition to an understanding of mutual confidence and devoted friendship.

In each of the areas visited, remarkable caves were investigated. In Guizhou, for example, the fabulous underground river Gebihe was found in Ziyun county to hold up to 150 m high galleries, giant pits of 210 and 370 m depths and the world's second largest underground room, the Miao Chamber which is measuring 700 by 215 by 70 m in length, width and height. In Zhijin county, the syncline of Santang covers an area of 150 square kilometres and holds 14 mapped caves, the largest of which is the 7.2 km long Santangdongqun. Additionally the semi-subterranean course of the river Yijiehe was explored, which consists of a series of natural bridges, collapse dolines and gorges associated with the cave Daxiaocaokou (2.929 m/-235 m). In Luodian county, two underground rivers joining at the bottom of a giant doline were explored (on the map only!). In Hubei province, in the Changleping anticline, 40 kilometres of cave were mapped, e.g. Donghe (4.828 m/-270 m), Longdong-Yanzidong (5.692 m/+147 m), the sinkhole Dadong (10.932 m/±314 m) and the alpine caves Dongxitiankeng (5.807 m/-382 m) and Tiankengcao (-230 m). In Wuxi county of Sichuan province, the alpine aspect of karst was investigated in a geological situation of folded structures with deep canyons like the Daninghe which offers a depth potential of 1.600 m (explored to -150 m) in the eastern Wuxi syncline.

As a whole the expeditions happened in a warm atmosphere despite of the rather glacial hotel room temperatures. Out of six days five were spent somewhat struggling with time to cope with time-tables imposed by drivers and cooks, for the Chinese gastronomy is both refined and varied. The medical infrastructure is modest but there are dispensaries found every once in a while. Since the Chinese country side is densely populated, most of the water is polluted, and it is a must to boil all drinking water, as it is systematically done by the Chinese themselves. The apparently unavoidable sicknesses caught by the expedition members were colds, coughs, stiff necks, and the like.

Speleological researches by Westerners have substantially increased since 1985, and subsequently dozens of spacious cave kilometres have been explored and mapped to result in knowledge on longer and deeper cave systems. In this connection one should remind of the underground studies undertaken by the Chinese colleagues, which already started 400 years ago by the untiring geographer and cave explorer Xu Xiake.

Finally a registry is given which lists the largest pits and subterranean chambers in addition to the longest and deepest caves of China. Some of the data given, however, need confirmation. To our knowledge, altogether 68 caves longer than 2 km were explored at the end of 1994. Nevertheless, only a small part of the immense Chinese cave potential is considered.

ZUSAMMENFASSUNG: DIE EXPEDITION. Im Verlauf der drei Forschungsreisen Guizhou 86, Gebihe 89 und Donghe 92 wurden in 12 Bezirken der Provinzen Guizhou, Sichuan, Hubei und Hunan in mehr als 150 Höhlen über 161 Kilometer von Höhlengängen kartiert. Dieser Erfolg war das Ergebnis von gelungenem Kulturaustausch zwischen Chinesischen und Europäischen Wissenschaftlern und Höhlenforschern, der auf gegenseitigem Verständnis und guter Freundschaft basierte.

In jeder der besuchten Gegenden wurden bemerkenswerte Höhlensysteme gefunden. In Guizhou zum Beispiel, im Bezirk von Ziyun, der unterirdische Höhlenfluß Gebiße mit seinen mehr als 150 m hohen Gängen, mit seinen Riesenschächten von 210 und 370 m Tiefe, und dem 700 m langen, 215 m breiten und mehr als 70 m hohen "Salle des Miaos", dem zweitgrößten Hohlraum der Erde. Im Bezirk Zhijin, wo die Synklinale von Santang ein Gebiet von 150 km² umfaßt, wurden 14 Höhlen kartiert, darunter die 7,2 km lange Santangdongqun. Außerdem wurde der halbunterirdische Verlauf des Flusses Yijiehe erkundet, bei dem Naturbrücken, Einbruchsdolinen und Schluchten im Zusammenhang mit der Höhle Daxiaocaokou (2.929 m/-235 m) stehen. In der Provinz Hubei wurden in der Anticlinale von Changleping 40 Gangkilometer in verschiedenen Höhlen kartiert, z.B. in der Flußhöhle Donghe (4.828 m/-270 m), im Höhlensystem Longdong-Yanzidong (5.692 m/+147 m), im Schluckloch Dadong (10.932 m/±314 m) und in den alpinen Höhlen Dongxitiankeng (5.807 m/-382 m) und Tiangkengcao (-230 m). Im Bezirk Wuxi der Provinz Sichuan wurden in einem alpinen, von der Daninghe-Schlucht durchzogenen Gebiet mit gefalteter Geostruktur und einem Tiefenpotential von 1600 Höhenmetern Höhlen bis zu 150 m Tiefe erkundet.

Im Großen und Ganzen fanden die Expeditionen in warmer Atmosphäre statt, auch wenn die Hotelzimmer gelegentlich eher glaziale Klimata aufwiesen. An fünf von sechs Tagen lebte man mit den Uhrzeigern um die Wette um den Terminplänen der Fahrer und Köche gerecht zu werden, denn die chinesische Küche Gastronomie ist schließlich vielfältig, raffiniert und ausgeglichen. Weil das Land dicht besiedelt ist, ist praktisch alles Wasser verunreinigt und muß, wie es in ganz China geschieht, unbedingt abgekocht werden bevor es genossen werden kann. Die medizinische Versorgung ist bescheiden aber das Netz der Krankenhäuser ist dicht geknüpft. Die Erkrankungen der Expeditionsteilnehmer beschränkten sich im Wesentlichen auf Schnupfen, Husten, Heiserkeit, usw.

Die höhlenkundliche Forschung in China hat seit 1985 durch westliche Forschergruppen einen Aufschwung erhalten, bei dem dutzende von Gangkilometern erkundet und kartiert wurden, wobei vor allem der Wissenstand von langen und tiefen Höhlen wuchs. Dabei dürfen jedoch keinesfalls die Leistungen der chinesischen Speläologen übersehen werden, die bereits vor 400 Jahren mit dem unermüdlichen Geographen und Höhlenforscher Xu Xiake ihren Anfang fanden.

Zu guter Letzt soll an dieser Stelle eine Liste der längsten und tiefsten Höhlen Chinas veröffentlicht werden, wobei auch die großen Schächte und unterirdischen Hohlräume aufgelistet werden. Manche Daten bedürfen allerdings der Bestätigung. Obwohl erst ein kleiner Teil des chinesischen Höhlenpotential erfaßt worden ist, gibt es nach dem gegenwärtigen Stand des Wissens Ende 1994 immerhin 68 Höhlen mit mehr als 2 km Länge.

结 束 语

尽管获得了上述成果,但是从考察到资料整理及成果编写等一系列组织是极为困难的。合作双方共同的问题是如何获得经费资助。目前在中国洞穴考察的消费水平对双方来说均是高的。这影响到不能有更多的洞穴学家到中国来考察,也使中国洞穴学家得不到充分的后勤保障及良好的工作环境。中国方面也了解这一点,并企图寻找解决的方法。但是情况是复杂的,在目前中国向市场经济转轨的情况下,彻底解决也有一定难度。尽管如此,当想起“滴水穿石”这句中国谚语时,我们相信,问题终究会得到妥善解决的。

项目的组织需要花费许多时间,需要有耐性及能力,而这是基于具有发现及探索的激情。

多学科的洞穴考察,获取基础资料,并进行基础理论研究,并在洞穴资源、水资源、喀斯特生态环境及经济开发等方面取得经济效益将是今后努力的方向。

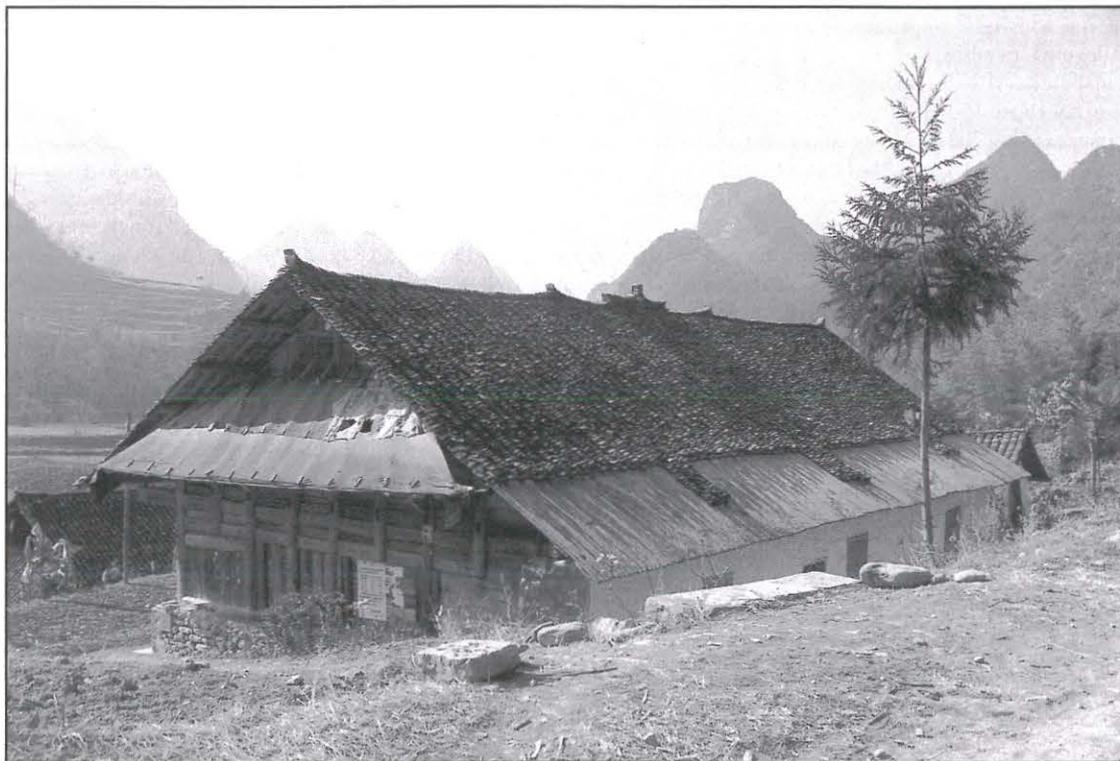


Photo 99 : Grande et superbe ferme Tujia près du poljé de Taiping (Hefeng, Hubei). Cliché J.W.B.

Introduction

Pour mieux situer le contexte, nous développerons ici les aspects pratiques de l'expédition proprement dite, des notes techniques en passant par la pharmacie. Cette partie peut constituer une intéressante source de renseignements pour les spéléos d'exploration qui traînent leurs bottes des campagnes de France aux karsts lointains. Pour ceux qui attendent des écrits plus vivants sur la vie de nos expéditions et toutes les savoureuses anecdotes et récits d'explorations, qu'ils se rassurent, c'est en projet !

Donghe 92

PROGRAMME (du 17/11/92 au 13/1/93)

du 17/11 au 20/11 voyage de France à la première zone
du 21/11 au 23/11 comté de Sangzhi
du 24/11 au 25/11 liaison Sangzhi/Wufeng
du 26/11 au 8/12 comté de Wufeng
le 9/12 liaison Wufeng/Hefeng
du 10/12 au 29/12 comté de Hefeng
le 30/12 Hefeng/Xianfeng
du 31/12 au 3/1/93 comté de Xianfeng
le 4/1 liaison Xianfeng/Sangzhi
du 5/1 au 8/1 comté de Sangzhi
du 9/1 au 13/1 retour vers la France via Canton et Hongkong

SANTÉ

Les conditions de vie

Qu'est ce qu'on caille !

Quand on pense à la Chine, on voit des images de paysans courbés sous le soleil dans les rizières. Mais cette expédition se déroulait en hiver (novembre à janvier), vers 1 000 m d'altitude (500 à

1 500 m) et dans le centre du pays, en zone subtropicale pourtant (29° latitude nord). Autrement dit, le soleil ne nous a jamais écrasés, et nous cherchions plutôt à capter quelques-uns de ses rayons pour combattre un froid glacial. Il a gelé une nuit sur deux dans les régions explorées et nous gardions la doudoune pour dîner. Bref, nous étions peut-être proches du Tropicque, mais le climat était plutôt celui du Vercors en automne.

Une expé peinarde, mais soutenue :

Ce ne fut pas l'enfer vert (ni jaune ou brun d'ailleurs). Les journées spéléo dépassaient rarement 10 heures et nous n'avons jamais sauté une nuit. Alors ? Farniente ? Non. L'expé a gardé en fait un rythme très soutenu, avec une sortie pratiquement 5 jours sur 6, et une course continuelle contre la montre, à cause des horaires imposés par les chauffeurs et les cuisiniers. Mais comme ces journées avaient toujours une longueur raisonnable (retour en voiture oblige), nous avons toujours pu récupérer pendant la nuit et attaquer le lendemain en pleine forme.

La gastronomie chinoise, ce n'est pas du pipeau !

L'alimentation d'un spéléo en Chine, ce ne sont pas des larves du bananier, ni des plats lyophilisés. C'est une cuisine raffinée, variée et bien équilibrée (même si nous n'y retrouvons pas certains de nos aliments préférés comme les laitages ou les viandes rouges). Bref, pas besoin d'emporter quoi que ce soit. On trouve dans les moindres villages de quoi se faire de bonnes ventrées. Et cette bonne alimentation est probablement pour quelque chose dans la "pêche" que nous avons gardée tout au long de l'expé, et elle nous a armés contre les infections.

Un environnement médical modeste :

La Chine est fière, et à juste titre, d'une politique de santé publique plus efficace que dans bien d'autres pays du Tiers Monde. Il y a des infirmiers et des dispensaires un peu partout dans les campagnes, et ils font des tournées jusque dans les hameaux les plus reculés. Par exemple, quel ne fut pas notre étonnement de voir un infirmier venir ausculter les petits vieux à Hahulu, qui nous semblait vraiment le bout du monde civilisé !

Cela dit, les montagnes du Hubei sont isolées, les routes mauvaises et l'hôpital régional n'a pas grand chose à voir avec un C.H.U. selon les standards européens. S'il existe donc en Chine une excellente médecine de base, permettant de soigner un milliard de paysans, il ne faut pas compter y trouver des infrastructures trop performantes pour soigner un grand blessé polytraumatisé. Gardez-le en mémoire avant de tenter toute "connerie".



Photo 100 : Une expé pas tout à fait peinarde... Avec de la pluie froide et de la neige dans les rizières à 300 m d'altitude. Ici en janvier 93 près de Sangzhi (Hunan). Cliché J.W.B.

Tableau 14 (p. 210 et 211) : La pharmacie d'expédition.

PLAIES		
SPARAPLAIE, COMPRESSES STERILES, SPADRAP	X	
STERISTRIP	X	fine bandes collantes pour refermer de petites plaies
PRECISE	X	agrafeuse permettant de refermer proprement une plaie ouverte, même importante (cuir chevelu) ; retirer les agrafes après cicatrisation (8 à 10 jours)
TULLE GRAS	X	non collant ; pour les brûlures
BETADINE	X	désinfectant et anti mycotique à appliquer sur toute lésion cutanée
ELASTOPLAST	X	bande élastique très solide et arrache poils ; nécessite des ciseaux
COHEBAN	X	bande auto-adhésive (même dans l'eau) non collante, se découpant à la main
CISEAUX, PINCE A EPILER, THERMOMETRE, SERINGUES ET AIGUILLES STERILES	X	
CONTUSIONS ENTORSES (douleurs articulaires)		
GELDENE	1 t	pommade anti-inflammatoire et antalgique
PROFENID GEL	0	pommade anti-inflammatoire et antalgique
<i>et bandage pas trop serré avec COHEBAN plus antidouleur par voie buccale si besoin, plus anti inflammatoire si gros oedème</i>		
CONTRACTURE TENDINITE LUMBAGO		
SRILANE	1 t	pommade anti inflammatoire
<i>plus antidouleur par voie buccale si besoin, plus anti inflammatoire si blocage important</i>		
PIQURE D'INSECTE		
DIPROSEPT	0	pommade anti-allergique
NERISONE	0	pommade anti-allergique
<i>plus application de BETADINE éventuellement</i>		
MYCOSES CHAMPIGNONS		
AMYCOR	0	pommade anti mycotique (orteils, aine, intérieur des cuisses,...) 1 fois/j
ALLERGIES		
CLARITYNE	0	traitement de base anti allergique par voie orale / 1 à 2 fois 1
CELESTENE	0	injectable / traitement d'urgence des allergies violentes avec oedème respiratoire
INFLAMMATION OEDEMES		
<i>en complément des traitements d'affections ORL / Contusion /...avec inflammation</i>		
NAPROSYNE**	0	traitement de base anti inflammatoire par voie orale / 1 à 2 fois 1
PROFENID**	0	nettement plus costaud / 3 fois 1
MYOLASTAN	0	spécifique inflammations musculaires (lumbagos) / 1 à 2 fois 1 (sommifère)
DOULEURS		
DAFALGAN (=PARACETAMOL)	2 b	2 à 3 fois 2
CATALGINE** (= ASPIRINE)	1 b	2 à 3 fois 1 (y compris en bains de bouche pour les rages de dents)
<i>en cas de très forte douleur, dernier joker</i>		
DI ANTALVIC	1 b	4 à 6 fois 1 (+ CATALGINE si insuffisant)
INFECTIONS DIVERSES		
TOUX		
RHINATIOL = EXOMUC	1 b	fluidifiant / 2 à 3 fois 1
SILOMAT	3 b	anti tussif / 3 à 6 fois 1
<i>Après 48 h ou en cas de fièvre associée, on passe aux antibiotiques</i>		
ANTIBIOTIQUES GENERAUX		
<i>Niveau 1 (toutes infections ORL / Bronchites / abcès /...)</i>		
CEPAZINE = ZINNAT	8	(attention : dérivé pénicilline) / 2 fois 1 pendant 5 jours
CLARAMID = RULID	0	(si allergie à pénicilline) / 2 fois 1 pendant 5 jours
<i>Niveau 2 (en cas de persistance de fortes fièvres, abcès pulmonaire ou autre grave)</i>		
CEFODOX = ORELOX	0	(attention : dérivé pénicilline) / 2 fois 1 ou plus si nécessaire

PALUDISME		
NIVAQUINE	0	premier jour : une prise ensuite 3 par jour le lendemain et le surlendemain, puis 1 par jour
<i>** Attention : contre indication si antécédent récent d'ulcère à l'estomac ou gastrite sévère</i>		
HEMORROIDES		
GINKOR	0	voie orale / 2 fois 2
CIRKAN	0	suppositoire
<i>+ éventuellement anti-inflammatoires et anti douleurs</i>		
DIARRHEES		
IMODIUM	4 b	favorise l'absorption d'eau par le tube digestif / 1 après chaque selle liquide et on arrête dès que les selles redeviennent consistantes
<i>+ en cas de douleurs compléter par</i>		
DEBRIDAT	0	antispasmodique spécifique tripes / 6 fois 1
SPASMOPRIV	0	antispasmodique plus général et plus costaud / 3 à 6 fois 1
<i>si la diarrhée est associée à des fièvres, selles sanguinolentes</i>		
INTETRIX	2 b	4 à 6 fois 1 pendant 4 J
CONSTIPATION		
<i>IMPORTAL</i>		
PARAPSYLLIUM	0	oral / 2 fois 1
VOMISSEMENTS NAUSEES		
MOTILIUM	0	oral / 2 à 3 fois 2 / avant repas
DESINFECTION EAU		
HYDROCHLONAZONE	2f	1 comprimé par litre, attendre 30 minutes avant de boire
YEUX (CONJONCTIVITES)		
BIOCIDAN	0	collyre antiseptique et antidouleur/valable 15 jours après ouverture
FUCITHALMIC	0	antibiotique local puissant / 2 fois 1 /se conserve bien
BOUCHE (APHTES)		
IMUDON	0	8 fois 1 / 1 traitement = 2 boîtes
OREILLES (OTITES)		
OTIPAX	0	anti inflammatoire et anti douleur, pour otites non coulantes
NEZ (RHYNITES)		
ISOFRA	0	antibiotique local
PIVALONE	1 f	décongestionnant

Les mesures préventives

Vaccinations :

Tout le monde était vacciné contre la polio et le tétanos, indépendamment de l'expédition d'ailleurs. Pour la Chine, chacun s'était mis à jour en ce qui concerne la typhoïde, mais personne ne s'était fait vacciner contre le choléra, bien que cette maladie existe à l'état endémique dans le sud-ouest de la Chine (malheureusement, le vaccin existant n'est pas très performant). La moitié des membres de l'équipe était vaccinée contre la leptospirose.

Cette dernière maladie est particulièrement grave (un cas mortel lors d'une expédition à Bornéo il y a quelques années et de nombreux cas lors des expéditions aux grottes de Mulu, en Malaisie). Elle est notamment propagée par certains mammifères comme les rats. En Europe, elle touche souvent les égoutiers (et les bouchers). Il est donc utile de s'en protéger avant d'aller patauger dans des rivières souterraines qui servent d'égouts à des milliers d'habitants. Cela avait été particulièrement vrai lors de l'expédition de 1989, au cours de l'exploration des grandes rivières souterraines

de la Gebihe, Santang et Daxiaocaokou. En 1992, nous avons passé encore plus de temps dans l'eau, mais souvent dans des karsts de haute altitude peu habités et où le risque d'infection est donc moindre.

Hygiène alimentaire :

Les campagnes chinoises étant très peuplées, la plupart des eaux sont polluées bactériologiquement, et ceci vaut aussi bien pour les eaux superficielles que pour les eaux souterraines karstiques. Il est donc impératif de traiter l'eau de boisson, en la chlorant (nous avons beaucoup apprécié l'hydrochlonezone en solution) ou en la faisant bouillir (ce que font systématiquement les chinois).

Prévention du paludisme :

Il n'y a aucun risque de paludisme en hiver (les moustiques n'arrivent pas à décoller, les ailes alourdies par le givre !). En été, par contre, la nivaquine et l'emploi de moustiquaires sont recommandés.

Les petites misères rencontrées

Rhumes, gripes, bronchites, otites :

Lors d'une expédition hivernale en Chine, il faut craindre à peu près les mêmes petites misères que chez nous : rhinites, bronchites, gripes, etc. Tout le monde a eu une ou plusieurs rhinites prolongées, accompagnées ou non de toux persistantes qui constituent le lot de toutes les expés spéléos ici. Les affections les plus graves ont été huit bronchites (soignées au ZINNAT) et une otite sévère, (avec perforation du tympan lors du transport en avion).

Diarrhées :

Les diarrhées constituent souvent le principal problème lors des expéditions en région tropicale. Nous n'en avons eu que quatre cas, relativement bénins (deux soignés simplement à l'IMODIUM et deux pour lesquels il a fallu passer à l'INTETRIX). Ce n'est pas mystérieux : la nourriture et l'eau sont pratiquement toujours bouillies en Chine et en plus, nous y étions en hiver, une saison où l'on ne consomme guère de produits crus.

Bobos divers :

Pas grand chose à signaler, sinon quelques plaies sans gravité ; étant donné les difficultés qu'aurait posé un éventuel secours, personne ne s'est permis de prendre de risques. Elles se sont contentées de BETADINE. Une seule mycose observée (pied), mais le froid ne leur est pas favorable. Quelques contusions (cheville, genou) ont été soignées au SRILANE ou au NIFLURIL et NIFLUGEL. Un bel et ô combien douloureux abcès sous une grosse molaire a finalement été éliminé avec une overdose de catalgine et paracétamol et finit aux antibiotiques (heureusement car même le dentiste chinois avait un peu de réticence à aller gratter sous la petite quenotte !). Peu de tendinites observées, malgré la lourdeur des sacs que nous avons parfois portés.

L'ÉQUIPE

Coordonnées

BARBARY Jean-Pierre (J.P.B.) P.S.C.J.A 20 rue P. Brossolette, 69200 Vénissieux (France) 7 ^{ème} Continent, 30 rue L. Bonin, 69200 Vénissieux (France)	P.S.C.J.A
BENAVENTE José (J.W.B.)	P.S.C.J.A
BOTTAZZI Jean (J.B.)	URSUS, Lyon
CHEN Shicai (C.S.)	IGAS, Beijing
COLLIGNON Bernard (B.Co.) Laboratoire d'hydrogéologie, Université d'Avignon 33 rue Louis Pasteur, 84000 Avignon (France)	SCOF, Orsay
FULCRAND Serge (S.F.)	
GEBAUER Daniel (H.D.G.) Marktplatz 32 D-73525 Schwäbisch Gmünd (Allemagne)	H.A.G
JIN Yuzhang (J.Y.)	IGAS, Beijing
MAIRE Richard (R.M.) CNRS, URA 1978 DYMSET, Maison des Suds, Domaine Universitaire de Bordeaux, 33405 Talence cedex (France)	ARSIP/CNRS
MATRICON Sylvain (S.M.)	URSUS, Lyon
ORSOLA Jacques, dit La Rouille (L.R.)	Individuel
POMEL Simon (S.P.) CNRS, URA 1978 DYMSET, Maison des Suds, Domaine Universitaire de Bordeaux, 33405 Talence cedex (France)	CNRS
QI Zhonglin (Q.Z.)	IGAS, Beijing
RÉMY Cyriaque (C.R.)	P.S.C.J.A
SHI Mengxiong (S.M.)	IGAS, Beijing
ZHANG Dachang (Z.D.)	IGAS, Beijing
ZHANG Shouyue (Z.S.) -team leader- Academia Sinica Institute of Geology Karst and Groundwater Research Division POB 9825 Beijing 100029 China	IGAS, Beijing

Portraits

Radioscopie des membres de l'expédition franco-chinoise DING DINGUE DONGHE 92

✓ Simon Pomel

JEAN-PIERRE

Tenue éternelle et gouaille permanente du garagiste, bon sens immédiat, promptitude dans la décision, avec Jean-Pierre "ça usine" dans et hors des trous. Il fait partie de l'espèce particulière des troglodytes flegmatiques passionnés. Sûr dans les montées et les descentes labyrinthiques de fond de trous, impressionnant dans la descente des côtes du Rhône, de Beaujolais ou des vins des Monts du Lyonnais, il redoute cependant les lacets en roue libre, méthode chinoise des bus, version glissée "à la marocaine", mélange du style napolitain au Klaxon, turc en folie et africain des grumiers "s'en-fout-la-mort", truffé de kola... En ce cas, il se transforme en torchère de Feyzin, devient un redoutable conduit à fumée, fort déprécié du Bozzo Occidental, espèce sur laquelle nous reviendrons.

On peut se demander ce qui a attiré et retenu ce garagiste de Vénissieux en Chine. De nombreuses raisons sans doute dans et hors des "dong", mais pourquoi ne pas imaginer qu'un amoureux de la Mécanique — et là je parle de la Mécanique céleste, de celle des fluides et pas seulement des bagnoles — ait été subjugué par cette civilisation qui est à l'aube des techniques, par ces paysans artisans et inventifs, par ces conduits d'hydraulique, ces vasques-chaudrons usinées!

Jean-Pierre, c'est aussi ce mélange délicieux du Gône et du Guignol Lyonnais, toujours prêt à fantaisie et espièglerie, en fait très "chinois", mais dans la sécurité, mélange "étonnant" — il faut y mettre l'accent inimitable des soyeux — de jeu et de maturité, pur produit de la cité des Gaules, notre bonne vieille ville de Lyon. Remarquable chef d'expé, homme de "commerce agréable", comme on disait à une époque en langage châtié. Un peu "feu follet", souvent grave, toujours souriant, jamais démonté, Jean-Pierre BARBARY a su réunir une équipe assez remarquable d'individus à forte, attachante et spécifique personnalité : collection incroyable de "zigomars" représentant un bon nombre d'espèces, voire de familles en voie de disparition, faune endémique constituant le DREAM TEAM DONGHE 92.

RICHARD

Cœur de Lion, l'homme qui dégage le topofil plus vite que son ombre, ce "Luky Luke" des trous est tout sauf un solitaire. Grand troglodyte devant l'éternel, compagnon bougon à ses heures, variété spéciale de "caviste" entomologue des conduits, à la démarche inimitable, il oscille entre l'ours, le chamois et la chauve-souris. Il jouit d'une réputation usurpée de mauvais bougre et de râleur permanent, réputation introduite par quelques individus sur lesquels il exerce une forte ascendance, contestée par ailleurs pour la forme. En fait Richard Coeur de Lion n'a pas l'habitude de fréquenter les routes départementales, ni les autres d'ailleurs et encore moins de se laisser embarrasser par les éléments naturels. Il ne cale que devant les autres et ne sait refuser une demande formulée "dans les formes" évidemment !...

Mis à part, grosse connaissance du milieu naturel, des montagnes, des coins inaccessibles, toujours hors des sentiers battus, partisan inconditionnel des voies directes, de l'essentiel, on pourrait le définir comme un *Troglodytus elementaris* (quand les éléments naturels exagèrent...). Une sainte horreur des villes, comme autant de Sodomes, du superflu, des embroglios, des détours méandriformes (sauf, je suppose, dans les trous), Richard cumule de nombreuses casquettes. Leurs visières ont érodé les couches capillaires temporales et leurs superpositions réitérées ont usé le sommet tonsural, lui donnant un aspect de moine paillard, de rabbin rasé, de farfadet égoutier. Richard MAIRE cumule : la casquette du spéléo - de base - baroudeur, la casquette du spéléo de

pointe - aventurier, une espèce intermédiaire entre la taupe et le rat-taupier, la casquette du scientifique méticuleux et perfectionniste, mais faut pas exagérer quand même et ne pas s'embarrasser de détails, la casquette du Fondateur - Directeur - Rédacteur de revue et la casquette du Patron de laboratoire...

La frite malgré quelques articulations "fritées" par des sacs monstrueux dont lui seul a le secret et est le grand spécialiste, Richard accumule de grandes contradictions — faciles à expliquer et justifier — de redouter la vie en bande et d'être compagnon, d'avoir répulsion des centres urbanisés et d'avoir attirance à relationner, d'éliminer souvent d'un geste l'accessoire et de s'accrocher parfois en pestant contre des détails matériels qui sont futiles. On reconnaît dans ce dernier point un sens infaillible du travail bien fait, mais à la condition qu'il soit rondement mené. Richard possède cette dose de naïveté et d'arrogance qui en fait un redoutable enfant, mais «*nul n'entrera dans le Royaume des Trous s'il ne redevient comme un petit enfant*» (sic...).

Force et fragilité, de toutes les espèces pérennes, espèce rare, menacée, mais toujours là, pour d'autres comparaisons, dans d'autres "coinstauds bizarres". Après Donghe 92 "la très peuplée", Centre Terre 93 "le vide d'homme" du Grand Plateau Papou, mais peut-être que Richard y rencontrera une gorille, qui sait !

BERNARD

Collignon l'Africain pour certains, «Bernard le Conan» pour d'autres, pétri d'un sourire inimitable fendu jusqu'aux oreilles pour tous, ce collinoforme est résistant : espèce à la démarche dandineuse, au verbe spécial, à la verve drolesque... Moitié chevalier médiéval, moitié homme de la Renaissance, le Collignon est né petit et l'est demeuré par enchantement, mélange des 7 nains, rappelez-vous certains, "farceur", "trublion", "simplet", j'ai bien dit simplet, mais au sens enfantin : quand on est petit on

ne compte pas... Bernard ne compte pas, ni sa peine, ni ses sous, ni ses équipements (sic...).

Compagnon remarquable, spécialiste de la semi-provocation quasi-permanente (accent belge très atténué, mais dites quand même KOUAZI), de la "demi"-altercation décapante, mais huilée, de la "véritable" amorce de polémique, du "sérieux" deux pieds dans la bassine d'eau chaude. Mélange de méthode helvétique, type suisse allemand et de la technique flamande, type italo-espagnol, Bernard barbote en permanence au dedans et au dehors des Dong dans un fleuve de loukoum. Bernard COLLIGNON est le seul totalement européen de la bande car il représente à lui seul l'ensemble des pays européens... et du Maghreb bien sûr !

Contact humain direct, souriant, ouvert, immédiat, surprenant, enjoué, "africain noir" quoi, jusque dans l'élasticité du temps, des équipements aussi disent les mauvaises langues d'orties, le Collignon c'est comme les cuvées des grands crus : différent mais pareil à chaque essai. Le Collignon Château Centre Terre Grand Papou 94 ne pourra se mesurer au Castel Dream Team du Domaine Donghe 92, mais il y aura toujours le même goût des grands bourgognes, fraîcheur souriante et rutilante de robe et des premiers contacts, velouté relationnel en culotte de velours fruitée en bouche et coup de barre d'efficacité contrôlée et caramélisée en gorge.

Mais le Collignon ne s'imite pas, ne se décrit pas, ne se catégorifie pas, ne peut se réduire à des caractéristiques d'espèces, individu totalement rétif à la société des dividuals, le Collignonus est un genre à soi seul, que dis-je une famille. Il butine, simplement avec une grande dextérité et un ravissement qui se voit bien sur sa face lunaire de chérubin malin, dans l'espèce des troglodytes, des Aventuriers du Porche Perdu, des Ramoneurs des Ondes, des Echassiers de la Chasse d'Eau, des Égoutiers de la Rivière Jianlibao, avec ses godillots de gavage, ses chaussettes de



Photo 101 : l'équipe Donghe au complet (Noël 92 à Hefeng) dans laquelle s'est illustré le Père Noël alias Simon Pomel... (Cliché J.W.B.)

tyrolien, ses pantalons coupés bien à lui et son parka digne du garagiste de Vénissieux, mais ne résistant pas à la comparaison avec la barboteuse du *Bozzo occidentalis*, espèce sur laquelle nous nous pencherons - à distance - plus tard. Il a certes échappé à la terrible épidémie de Zhaidongomanie qui a justement touché le Bozzo et contaminé le Sylvanus et même le Cyriacos, deux spécimens qui nécessiteront de plus amples développements, mais a résisté, simplement parce que Bernard aime aussi faire d'autres choses, voir et vivre d'autres choses. Il est avant tout éclectique : en pays de paysans, il se devait également de passer du temps dehors et dehors du temps avec sa conception du "jeu de l'élastique", du temps circulaire, de l'occupation non linéaire, qui donnera des choses étonnantes dans le rapport de l'expédition Dingue - Dongue 92.

JACQUES

Il serait vain de comparer Jacques LAROUILLE au Bozzo occidental, espèce sur laquelle nous ne voudrions pas trop insister et pour laquelle nous réservons un tir non groupé. «Rak tam tam le Rouge» représente une espèce voyante, à la verve de chacal, mais au cœur tendre, à la promptitude remarquable à déceler ce qui cloche, avare de compliments, mais généreux dans l'âme, efficace, redoutable dans et hors des trous. Avec la Rouille tout le monde déraille. Il est un peu insuffisant de dire qu'il est décapant, il est corrosif, incisif et presque toujours juste et droit. Espèce par



Photo 102 : Bernard Collignon, avec son sourire inimitable, au milieu des gosses de Yanziping (Hefeng) Le Collignon est un mélange des 7 nains à lui tout seul. (Cliché J.W.B.)

définition indocile, ingérable mais comme les loups c'est une espèce qui a un sens inné du matériel, du solide. Tout dans le Rouge est bataille, cheveux enchevêtrés-couleur vénitienne prétend-il, mais sûrement celle des luttes intestines, des papes Borghia, vision dantesque, une bouche de Pythie, bataille aussi des dents, parsemées en Papouasie, vision d'horreur dantesque, je répète, vision crétoise d'Idéa Antron, une bouche de caviste corrognée, bataille encore des cordes et des équipements, et déséquipement, bataille permanente, comme si le rouge devait démontrer à la face et au cul du monde sa redoutable efficacité.

Jacques a ceci de remarquable, c'est que sans avoir la méthode, ni l'allure du pachyderme, il joue toujours l'éléphant dans un service de porcelaine de Chine. Il rêve aussi de devenir chinois, parce que dit-il «les chinois ne glandent rien», mais il a toujours été chinois sans le savoir. Son don inné du commerce, sa passion des jonques, ses réflexions toujours mûries du genre : « il faut être con pour aller en Chine et en revenir pas complètement changé ». El Oxydo est un être souvent corrosif, toujours incisif, quelquefois gonflant, jamais hors de propos. Il est une étape et un élément nécessaire aux expé. Viendrait-il à l'idée de cuisiner sans

sel ? Est-il possible de confectionner un «Chile con Carne» sans piment ? Le plus remarquable est son sens aiguë de l'observation, il ne rate rien ni personne, mais l'art des managements de la faux est à double sens : qui tranche sera tranché.

Il est impossible de tirer portrait de ce Viking sans le faire à distance. La méthode pointilliste des acupuncteurs de la description, l'impressionnisme léché, ne peuvent lui convenir. Il doit être peint à la Van Gogh, au couteau, avec matière, à plat et tranche vif. Le Rouge nécessite plusieurs couches pour immobiliser le personnage car il échappe toujours. En fait c'est un lutin — et je pèse mes mots — diabolique. Jacques aurait pu être géologue et «pas de ce côté ci seulement», il est matériologue et c'est bien ainsi. La vie d'expé est avec lui un vaste chantier, une saute d'humeur permanente, avec cependant un «talon d'Achille» à ce personnage, une certaine paresse (certaine) naturelle, mais cultivée. Le Rouge a un comportement de groupe totalement différent de son comportement hors groupe !

Comme un *Lupus ornithorenx cavernensis*, mais c'est encore à côté de la plaque, car il aime la mer et en ce cas il faudrait ajouter le genre *Lupus marinus* (loup de mer), souvent diront les mauvais bougres, loup de merde, loubard de merde. La Chine pays de mer, la Chine terre cultivée de merde et avec la merde, la Chine paysage de boue, lui était prédestinée. Il y reviendra peut-être et ce serait bien que ce loup ne se transforme pas trop en *Ursus cavernensis*, pour traîner au-dehors, là où les paysans grattent la terre, là où les terrassiers taillent le sol et le roc pour bâtir ce paysage millénaire de terrasses cultivées étagées. La Chine pourrait-il dire comme dans «l'homme du Mississippi» est un vaste fleuve, trop solide pour être navigué, trop liquide pour être cultivé. L'expé grotte rivière (Donghe) aurait volontiers été transformée par Jacques ORSOLA en fleuve de boue, la reconnaissance en tournoi de jonques, les cordes en haubans, les hôtels glacés en «boat people» et les problèmes de prélèvements résolus : tremper un Bozzo nappé de barboteuse dans l'eau fétide environnante, puis ressortir, essorer, filtrer, passer et repasser et laisser faire le Collignon-éprouvette.

DANIEL

«Daniel et les lions» - ce pourrait être le titre d'une nouvelle du «fruit Donghe 92» - et il se défend avec un sourire ineffable, extrême politesse, queue de cheval enroulée, vieux fichu grand-mère, qui fût jaune, le King du 3 D, le Prince de l'inclinaison / orientation, le Comte de la Topographie. Ce Chevalier Teutonique est campé dans la horde barbare du Team français, avec douceur, simplicité et efficacité. Himalayiste longiforme, grand spécialiste de l'économie, il traverse une expé, comme il choisit un trajet sur les blocs, avec sûreté, parcimonie et excellence. Son refus de la vie de fous urbaine et capitaliste, le mène de la Chine à la Malaisie et à l'Inde, avec de courts atterrissages dans le Jura Souabe de Stuttgart. Il est aux antipodes du Teuton des clichés : d'abord il boit du café, ensuite il parle très doucement, enfin il fonctionne au feeling.

Daniel est une des nombreuses valeurs sûres et précieuses de cette expédition. Il n'est pas nonchalant, il est indien, il n'est pas taciturne ou renfermé, il est posé, mélange d'affabilité retenue et d'émerveillement contrôlé. Homme d'Asie certes, mongol quelque part mais d'avant les hordes, il possède cette qualité rare de savoir écouter et une grande passion pour les sons, une écoute ineffable et symphonique de l'aspect Kitch de toutes les miettes de la vie. Ainsi il est existentialiste, comme l'était Kierkegaard le philosophe danois. En ce sens il me rappelle un autre personnage d'expé, celle du grand désert du Sahara, l'homme des Touaregs, du Ténére, le collègue Erhard, l'homme des pollens, l'amateur franconien de vins fins, l'analyseur africain des miels et des poussières mais ceci est une autre histoire. Revenons en Chine... le manipulateur des carottes... le touilleur de crottes de bique, l'enregistreur des anthologies de Muezin, le Prince de Qzar Hadada en Tunisie... Laissons cela, mais nous le retrouverons un jour en Chine...



Photo 103 : Un fameux trio pris sur le fait par José dans Donghe (Wufeng). Jean-Pierre (au centre) écoute d'un air amusé les élucubrations de Li Rouli (à droite) à l'encontre du Cyriacos, le sourire mitigé... (Cliché J.W.B.)

Daniel est souabe et fonctionne en soupape, toujours en sécurité, toujours avec réserve, réserve de mots, de force, de langage, de pas, trotte-menu efficace. Il suffit de le suivre sur un chemin escarpé pour en reconnaître, à la trace, à la marque, le spécialiste des longs pierriers du toit du Monde. Moitié ordinateur, moitié capteur de sons, moitié archéologue-caviste itinérant, cela fait 3 demi direz-vous, mais c'est justement cette mixture incongrue qui en fait un individu volontairement hors Musée, une espèce pas encore disparue, mais déjà réapparue. Daniel GEBAUER est un ébéniste des grottes qu'il sculpte et ausculte avec ses mesures, marqueteurs des maquettes de restitution parlante, ajusteur des mosaïques de distances et d'angles, sans lui pas de visualisation des trajets accomplis par les lutins infernaux de la bande à MAIRE et PERE BOZZO, pas de restitution des enjambées du Cyriacos, des dandinettes du Collinionus, des galopades de lapies du *Bozzo vulgaris*, des usinages torrentiel monstrueux du Barbariesque, des batailles épuisantes dans les puits du Boucteint Rouge, des baignades et rampades dans la boue du Sylvanus - autre menuisier des caves - des directissimes du cabri Richard, des puits et des passages techniques du Fufu Sergio Leone des «ça marche fort», du José le mousse de l'équipe. Mais n'anticipons pas sur la présentation trop édulcorée et anticipée des associations faunistiques complètes du Team Chine 92. Daniel est à cette équipe ce qu'aurait pu être Vinci à Xu Xiake. Imaginons Léonard avec un Power Book et des cadrans de visées en sautoir, accompagnant le premier karstologue chinois et «Du Monde !»... Décidément le dream du Team dérouté toute tentative sérieuse de dresser un portrait objectif et il faut reconnaître là l'effet pervers du Kitch allemand, un effet Daniel à retardement.

SYLVAIN

Sylvanus homme des bois, amoureux des charpentes, avec lui «ça va mal» mais toujours bien, toujours partant, la pêche, la modestie, le bon sens près de chez vous, l'homme de Haute-Savoie est comme la dame ou les gâteaux du même nom, d'une solide étoffe. Impossible de jauger le spéléo, mais l'homme est bon comme le tilleul, franc comme l'orme, souple comme l'if, varié à la coupe comme le robinier, résistant comme le chêne, droit comme le peuplier, ancré comme le bambou, calorifique et imputrescible comme le Palétuvier, majestueux comme les grands Okoumé ou le Sipo d'Afrique.

Sylvain MATRICON a véhiculé dans cette expé 92 de nombreuses formules qui demeureront : le légendaire «Ah ça va mal !» qui précède ou accompagne les nombreuses pannes des bus pourris, les retards aléatoires (et restez-y !), le sempiternel «Allah Bouf» qui scande les petits déjeuners - réveils et les retours où il a

fallu choisir la bouffe ou l'eau chaude, jamais la bouffe ou l'eau froide. Sylvain a mis bonne humeur, parce qu'il a un contact inné avec les gens, un sens étonnant du dialogue simple avec les gens simples. Comme le Richard il va à l'essentiel et se pose comme à table, en écartant ses ailes et ses coudes, à l'aise Blaise.

Le *Sylvanus* a tombé des trous et pas des moindres, s'est fait de solides amitiés dans et hors de l'équipe, dans et hors des trous. Nature robuste, il n'est pas du bois dont on fait les flûtes, un peu Acacia, pas fayard, surtout Cèdre, le *Sylvanus* n'est pas *trogodytus* ou alors de type pirogue. Il faut dire aussi que les arbres se sont un peu vengés de lui dans les conduites forcées parcourues, au fond des grands réseaux, force est de dire que leur enchevêtrement, paraît-il extraordinaire dans certains passages, ne pouvait être que petit signe amical de compagnie au menuisier. Pour la boue, c'est autre chose, un rappel à la terre, aux relations de jardinier. La boue a été la grande constance de cette expé, la grande compagne dedans et dehors : liquide dans les trous, visqueuse hors des trous, pâteuse dans le «steam-bread» du petit-déjeuner, chiasseuse aussi un peu partout. A voir revenir le Sylvanus de certains trous - la couleur de mon pantalon après les coupes de varves de Dadong ou du poljé de Datangmi, des vases bourrées d'algues rouges de Baishuiba - il était évident que l'adversaire a été pour lui également la boue ; mais l'homme de Savoie en a vu et en verra d'autres... Il sera de la prochaine et je compte bien l'épingler dans une grande forêt pourrie de fumerolles volcaniques !

JOSÉ

Dire tous les bons moments passés avec José, moi le plus vieux, lui le plus jeune, fait penser aussi aux «Aventuriers de l'Arche perdue» ou à certains passages de «Crocodyl Dundee». José le photographe a souvent l'émerveillement des fils de passion. José reste en arrêt devant un enfant, le couple du grand-père et de sa petite fille.

José a aussi passé son temps avec les caméristes au coin du feu des brûlots de Hefeng. Le plus célèbre moment demeurera la séance de coupe-coiffure-massage avec deux brunettes aux mains d'athlète : inimitable... Imaginez en séance publique, un tripotage qui commence à la pointe des cheveux et redescend sous les bras, la nuque je vous dis, le dos, les reins... les articulations des doigts et un curieux étirement des nerfs aux aisselles, bras tendu : redoutable après deux mois d'expé. Autre affaire mémorable, la partie de billard (jeu devenu dans ces régions de Chine une affaire nationale) gagnée contre les militaires à Wufeng le mercredi 9 décembre à 13 h.

José est surtout le compagnon du hors trous, le rare à savourer aussi la vision de ces paysages agraires somptueux. Mélange de gentillesse et de franche légèreté, José a apporté à cette équipe le vent des ailes delta, aussi son insouciance et ses baisses de tonus. On ne peut être toujours au top ! Placé dans le Team, avec une place à part du fait de son âge, mais surtout de son attitude rêveuse, José a été notre correspondant de guerre. Tous les soirs, petite visite pour les fichiers pellicules photo, tâche ingrate, mais accomplie avec sourire et petits mots aimables chaque fois renouvelés.

SERGE

Le Fufu arrivé avec le Bozzo après le début de la bataille a apporté au Team le contrepoint verbal qui manquait face au Rouge, avec sa verve de Méditerranéen et son éternel Walkman. Le *Fulcranus* a trouvé en Chine rurale l'antidote à son penchant pour l'emphase. C'est aussi parce qu'il est espiègle dans l'âme que ces paysans rieurs et joueurs lui ont plu. Serge sans doute est tel qu'il est lui-même au fond des trous, mais dehors aussi et son esprit joueur est souvent mis à l'épreuve. Pour exemple, cette soirée grandiose dans le grand hall du cinéma de Hefeng avec partie de billard dingue Fufu-José-La Rouille contre les «tueurs locaux». Il a bien fallu battre pavillon, mais cela a construit une solide réputation locale. Serge a été compagnon des visites de la vie rurale, compagnon

émervillé des produits chinois, redoutable dans les joutes oratoires, il est surtout celui qui sait tester l'ambiance.

Sa place dans le Team a été celle qui manquait, car le Rouge s'est essoufflé à mettre de l'animation avec les frimats de décembre. Serge est avant tout un homme gentil et prévenant, serviable, bricoleur et il ne peut rater une occasion de mimiquer tout, tous et toutes. En regardant le Fufu, j'avais par avance une opinion sur ce qu'il avait vu ou allait dire. Il a été le thermomètre et la lunette du Dream Team, bien-sûr adapté aux excès dans ce conglomérat d'individus.

BOZZO

Jean Chevalier d'Apocalypse tu demeureras dans mon esprit comme le farfadet de cette expédition. C'est avec émotion que je fais ton portrait, toi le découvreur des coinstauds les moins échanrés de ces karsts chinois. Ta barboteuse a souvent ressemblé à mes mouchoirs ou à mes filtres à poussières, ta tignasse à la mienne. Surtout tu as accompli, comme d'autres, comme le Sylvanus, un travail de base formidable, dans les trous les plus humides.

En cours d'expé, le Bozzo occidental a attrapé un virus chinois et une mutation d'espèce l'a transformé en *Bozzo orientalis*. Je crois en connaître la cause. Sa barboteuse était bourrée de sulfato-bactéries et cette mutation de porteur a engendré une «redoutable» (prononcez à la Barbary) épidémie de recordite, avec des accès de fièvre topophyllique, surtout caractérisée par une Zhaidongomanie galopante. Cette fièvre a fini par avorter 64 km de topographie nouvelle, quelques records...

Pour moi cela a représenté près de 76,5 kg d'échantillons pour l'expé 93-94 et au retour devant mon microscope avec le cumul des échantillons de l'expé 89, finalement plus de 500 km de parcours sur lame mince : exactement 7,4 km au grossissement 25 fois, 94 km au grossissement 100 fois et 435 km au grossissement 500 fois ! (sic)... Si un spécialiste veut bien me dire, lequel est le plus atteint de Zhaidongomanie galopante, le *Richardus*, le *Bozzo* ou le *Pomelus*.

Jean Bozzo, nous sommes tous les deux des fous, complètement fondus et aussi des sages, parce qu'aucun résultat ne s'obtient sans y mettre le prix : le prix des barboteuses et des articulations est-il plus ou moins précieux que celui des yeux ?

CYRIACQUE

Certains diront, que si j'ai placé le Cyriacos à la fin, c'est parce que l'on place ainsi le linge sale dans les courants d'air. Je pense surtout que le linge sale se lave en famille.

Le Cyriacos est inimitable par ses enjambées, son refus de se conformer à la loi du groupe, il n'a pas l'esprit meute : c'est un indépendantiste forcené et il me fait penser aux cristaux de

plagioclases des Antilles qui refusaient de se faire dater par la Thermoluminescence, parce que leurs pièges ne fonctionnaient pas. Ils avaient du «fading».

Le Cyriacos n'a pas toujours joué le jeu de l'expé, mais c'est un garçon remarquable par sa force, son intrépidité et sa passion pour l'artisanat chinois. Il est revenu bardé de hottes-berceaux, d'une machine à coudre, d'ustensiles divers. Ce CYRIACOS demeurera pour moi le compagnon des marchés chinois. Il y a quelque chose d'attachant dans sa démarche et dans son refus systématique de soigner sa grippe. Les bactéries sulfatogènes ont fini par avoir raison de lui, mais pas de sa hardiesse dans les trous.



Photo 104 : Conversation souterraine fructueuse et imagée entre Chen, le Rabelais chinois, et le Collignon, deux hommes sortis tout droit du monde médiéval éternel. (cliché J.W.B.)

LES COLLÈGUES CHINOIS : SHOUYUE ZHANG, YUZHANG JIN, DACHANG ZHANG, MENGXIONG SHI, SHICAI CHEN

Il est difficile de décrire tous les moments précieux, certains hors expé, lors du séjour de SHOUYUE, DACHANG et SHI dans ma maison d'Auvergne, Dachang qui ramasse les fruits du mûrier de Chine en secouant l'arbre, Shi dans ses circuits expectatifs autour des plats qui mitonnent et Shouyue attablé dans une longue discussion avec Jean-Pierre et Richard, malade (retour Mexique-Iran)...

Shouyue ZHANG est précis, efficace, toujours souriant et redoutable de perspicacité. Sans lui, rien ne se ferait. Nous lui devons aussi d'être là, dans ces coins reculés. Il est au Team un puits de savoir et aussi Homme des relations affables. C'est et ce sera toujours une joie profonde de travailler avec ce collègue.

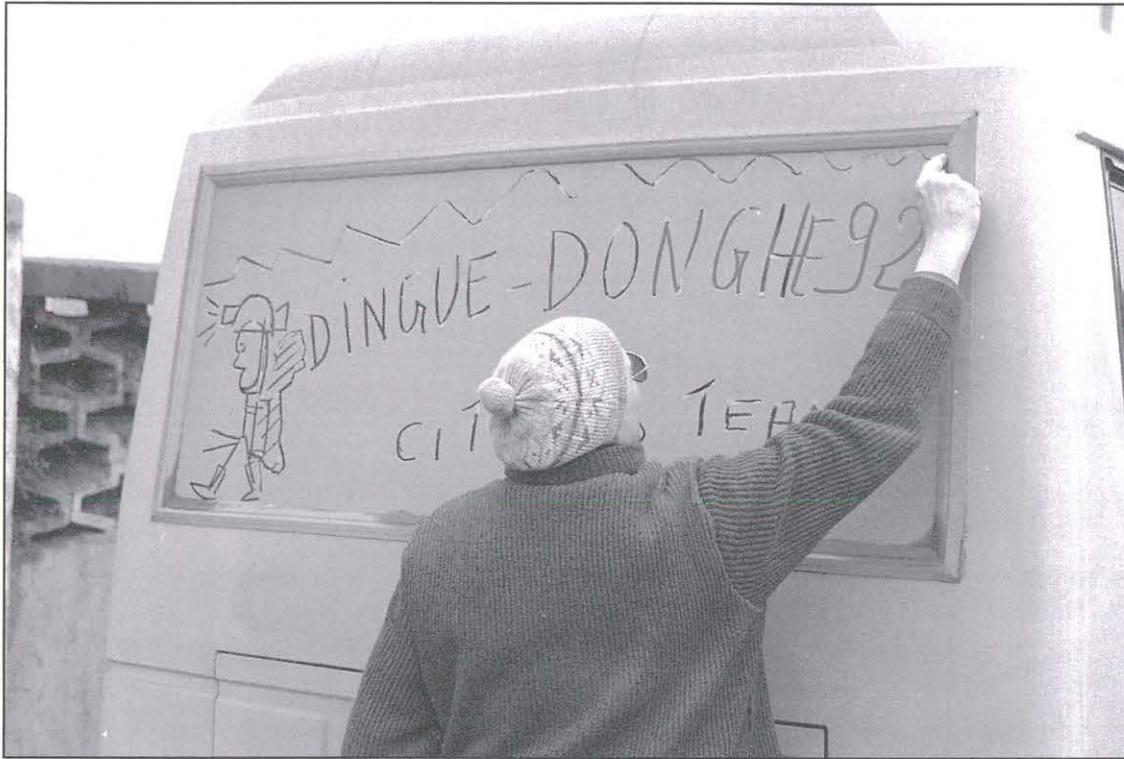
Yuzhang JIN a apporté à cette expédition son sourire, son ouverture d'esprit et son efficacité convaincante. Il est en soi remarquable que Mme JIN ait accompagné cette meute débridée et tous avons en tête sa gentillesse.

Dachang ZHANG a été le farfadet chinois, avec son esprit incisif et ses calligraphies de paysages karstiques, dignes de la grande tradition des

peintres chinois. Dachang a représenté pour nous le pont de génération avec la Chine ancienne, traditionnelle. Dachang est aussi merveilleux de sagacité et d'espèglerie et sa connaissance conjointe de l'Occident (Autriche) en fait un auxiliaire précieux.

Mengxiong SHI demeure toujours aussi précis, efficace et classieux quoiqu'il advienne. C'est finalement le plus «chinois» de la bande.

Shicai CHEN est un Rabelais chinois. Sa démarche de panda, ses expressions joviales représenteront toujours pour moi, ce monde exceptionnel des paysans chinois. CHEN a été mon compagnon dans le grand poljé de Changleping ou les hauts de Tiankengcao, région de Zisuling. Chen a un esprit et une verve accumulés par les millénaires de culture et de révoltes paysannes : il oscille en permanence entre le Manant et l'Empereur. Chen est finalement un homme médiéval, un homme d'allégeance et de fidélité, un homme comme il en existait à l'époque de nos chevaliers d'Auvergne ou de la noblesse chinoise : érudit, gentil, lascar,



Photos 105 et 106 : sur les poussières accumulées - objet d'études ô combien passionnant dirait Li Rouli (cf. glossaire) - Simon Pomel (l'hénaurme pourfendeur de sols et de volcans) tag furtivement la vitre arrière de notre bus chinois. Ci-dessous, son forfait accompli, l'homme au bonnet tente de se dérober au regard et aux caméras, mais José son objectif aux aguets ne rate pas la scène. Au total on a là un bon résumé de cette incroyable bande de zigomars (ou Citron's Team, dixit Fuf) composant Donghe 92. (Cliché J.W.B.)





Photo 107 : Paysanne tujia à l'ouvrage illustrant l'éternelle et laborieuse Chine rurale (montagnes du Hubei). (cliché J.W.B.)

paillard, mais avec une haute idée de sa fonction... Et puis ce charme inimitable, mélange de rouerie et de naïveté. Grand amateur de musique, lorsqu'il m'a conseillé à l'achat de quelques morceaux chinois, il a signalé : «attention à l'opéra de Beijing, c'est la mort du cygne constamment renouvelée !...»

LES PAYSANS, LES CAMERISTES, LES CHAUFFEURS, LES CUISINIERS ET NOS HOTES CHINOIS

Il me faut maintenant résumer le plus difficile, ces contacts fortuits, ces surprises délicieuses au détour d'un chemin, ces moments d'hospitalité inopinée, ces grappes d'enfants au sortir de l'école scandant «*SHIMON, SHIMON*»... Je vous remercie enfants de Jiutiandong qui m'avez enseigné les concepts de base : bonjour, au revoir, maison, champ, riz, culture du riz, grotte, vallée.... enfants qui avez calligraphié mon carnet de terrain.

Je vous remercie femme de la doline de Dadong qui m'avez soigné avec vos herbes après une morsure de chien. Femme et jeune fille de la ferme du versant nord de cette doline qui m'avez fait du thé fort et expliqué comment vous fabriquez vos chaussures.

Je suis ému en pensant à vous, femme de la ferme de la doline aménagée au-dessus de Tiankengcao (Wufeng) qui m'avez apporté une chaise sculptée à haut dossier, celles des vieux, pendant que je dessinais vos aménagements ancestraux, que votre père maîtrisait un buffle rétif et une araire et que je distribuais à vos enfants les petits trésors de père Noël de mon grand sac ; je vous remercie pour avoir couru après moi avec une pomme astiquée par votre fichu...

Je vous remercie Chen Xiao Feng pour m'avoir accompagné sur les hauts de Donghe, pour votre patience pendant que je levais mes coupes de remplissages. Merci de votre délicieux discours en anglais sur la vie, les plantes, la nourriture. Vous m'avez récité des poèmes, chanté des champs de la terre et je vous ai fait voyager dans l'espace et le temps des géologues...

Comment raconter ces miettes d'éternité, cette jeune fille enfant qui venait m'attendre au sortir de l'école dans les incessantes montées et descentes au poljé de Yanziping. Au départ c'était pour porter mon sac, sans doute sur ordre de ses parents, et puis comme je le portais seul, ensuite pour la compagnie. Elle était toujours là à la tombée de la nuit sur le chemin qui mène à

Yanziping... avant les nuées de gamins qui attendaient que je leur apprenne l'alphabet français. Enfants, vous m'avez appris les concepts Chine, plaine, plante, sol, blé, soleil, oreille, nez, yeux, bouche... Tous avaient pris l'habitude de se coller sur le front, les post-it que j'avais distribués. La séance d'écriture se faisait dans le creux des mains et certains repartaient avec la paume serrée...

Petite fille Tan Doug Xai émerveillée par la marionnette métallique de Toscane avec laquelle je l'ai amusé à Datangmi. Enfants Tujia des feux de Yanziping, Wan Ven Bo, Xiant Cha, Junia, June, Sbian Cha, qui m'avez enseigné feu, chaussure, jambon, toupie, montre...

Que dire des séances explicatives pour les plantations des graines de légumes et des tubercules de tulipes et de crocus apportées de Hollande et combien de confidences agraires cela a pu engendrer ? Comment communiquer l'étonnement à expliquer et la surprise à voir comprendre par des paysans, le code couleur des sols que je levais avec passion et qu'ils cultivent avec tant d'amour dans les hauts de Donghe ou les bordures sud-est de Yanziping ? Fermier de Datangmi qui m'avez naturellement secondé dans mon levé topométrique du poljé sans un mot, à distance ; en ayant observé et compris tout ce que je faisais et m'avez ouvert votre maison : «*pourquoi repartir ce soir, puisque tu reviens demain ?*»

Délicieuses caméristes toujours empressées à apporter l'eau chaude du matin et du soir, enfin amis cuisiniers et cuisinières : artistes mère et fille du coriandre à Wufeng, copains de Xianfeng et surtout mes compagnons de travail de Hefeng et votre ingéniosité. Vous m'avez appris dans vos cuisines autant sur le monde paysan que je n'en avais vu dans les champs durant cet hiver rigoureux 93-94 !

Chauffeurs de bus de Wufeng et surtout Nikita tellement sérieuse au début avec son uniforme d'officier de police du Ministère des Affaires Etrangères et qui est peu à peu redevenue la femme chinoise, délicieuse, aimable, policée, serviable et attentionnée qui a tellement facilité notre séjour. Je n'oublie pas les autorités locales et ce mémorable thé-tujia avec en prime la compagnie du réveillon de Noël et l'exercice difficile des chants à capella de l'opéra chinois à 2 ou 3 heures du matin !

Notes

La cuisine du Hubei et du Hunan —

...Comme indicateur de la gestion des karsts

✓ Simon POMEL

INTRODUCTION

Il serait vain et prétentieux de vouloir présenter la gastronomie chinoise qui est un art et une culture ancienne et élaborée, faite de contrastes, d'oppositions et de bouleversements.

L'histoire de l'alimentation en Chine est celle des riches et des pauvres, de l'amélioration des plantes cultivées, des colonisations Nord / Sud et de l'opposition hautes terres / basses terres.

Elle se confond avec la diffusion des plantes : vigne, coriandre, concombre, épinard venus d'Asie Centrale et répandus par les Han dès le II^{ème} siècle avant J.-C. (SABAN, 1989) ; maïs, arachide, patates et piments américains introduits très tôt après le XVI^{ème} siècle ; variétés de riz précoces dès l'an Mille... Certains condiments ou modes de préparation sont des marqueurs : cas du fromage de soja, plante connue et consommée depuis l'Antiquité, mais dont le caillé n'apparaît que vers le X^{ème} siècle (SABAN, 1989). Très tôt alcools et conserves sont fabriqués, mais les mélanges condimentaires, malts, vinaigres, choucroutes et conserves de viandes ou poissons n'apparaissent qu'au II^{ème} siècle avant notre ère.

Des Elégies du III^{ème} siècle avant J.-C. (cité par HOLZMANN, 1989) proposent aux âmes des défunts pour les retenir sur terre, un repas à faire pâlir plus d'un spéléo et à le faire sortir des trous : «*tortues, poulets, porc confit, chien dans son lit d'herbes amères, hachis au gingembre, salade d'armoise, grue rôtie, canard vapeur, cailles bouillies, brèmes sautées, pies marinées, oies vertes grillées...*»

Finalement comme le Français, le Chinois ignore les tabous alimentaires, à l'exception du cheval, mais ses cuisines sont très différentes des cuisines françaises : d'abord le manger à la baguette impose un précoupage et un mode de cuisson rapide avec une subtile alchimie entre le sucré / salé, le doux / amer, l'aigre / doux, le relevé / fade, l'onctueux / râpeux, le craquant / moelleux, le juteux / sec, le chaud / froid...

La texture des plats est une notion typiquement chinoise : nulle part ailleurs une telle variété de croustillant / glissant, moelleux / croquant, fondant / sec qui marient une succession de flatteries de palais et de gosier. Nulle part ailleurs une telle richesse de subtilités à peine contrariées les unes les autres par leur juxtaposition qui les renforcent en plusieurs temps de goût : essayez du gluant / astringent, du râpeux / sucré, du duveteux / acide, du craquant / parfumé...

Nulle part ailleurs un tel foisonnement de recettes de base, une telle démarche respectueuse face aux aliments, à leur préparation et à leur consommation. Le chinois ne parle pas normalement durant le repas, il ne boit pas de thé, seulement des alcools blancs et des soupes. L'attitude au repas est signe que la gastronomie chinoise est une philosophie, un art de vivre et sa dimension sociale est très patente : en Chine «As-tu mangé» précède souvent ou a valeur de «Bonjour». Cuisiner est un moyen d'être homme, de restaurer sa santé, l'aliment étant plus que partout ailleurs, nutriment et médicament.

Le propos sera donc de faire part de notre expérience en Chine Centrale, sous le point de vue du paysan et du cuisinier, en comparant à la cuisine que j'ai pratiquée dans «notre bonne vieille ville de Lyon». La cuisine chinoise est décrite comme un indicateur de la gestion continue des montagnes mais faite de multiples



Photo 108 : Détail du système de cuisson chinois à Zhangjiajie (Hunan). (cliché S. P.)

apports des paysages agraires. Une ultime question sera posée : existe-t'il en Chine centrale une cuisine spécifique du karst, comme il existe une cuisine périgourdine ou ardéchoise ?

I. La gastronomie chinoise, un art de vivre

A. Les recettes de base

La base de la nourriture est la céréale, riz, maïs ou farine de blé sous forme de pâtes. Les patates sont devenues courantes et la variété est centrée sur le nombre de plats d'une association légumes-viandes, légumes-poisson. Le fan ou riz cuit désigne tous les plats de céréales et chifan signifie manger. Le repas est conçu comme une association de ce féculent (zhushi) avec des plats secondaires (fushi). Les variétés régionales sont grandes avec plus de riz et de taros dans le sud et plus de farine de blé ou de sarrasin dans le nord : cuisine pimentée avec canard au Hunan et avec porc au Sichuan, cuisine plus sucrée de Shanghai, cuisine très riche de Canton, cuisine impériale de Pékin...

1. Soupes, potages et bouillons (tang, geng)

Les vraies soupes ont rarement été servies, surtout des bouillons installés sur un réchaud à alcool et qui servent de base à la cuisson des légumes, des choux, salades, fromage de soja ou champignons : bouillon à l'émincé de porc et piment (rousilatang), soupe au chou chinois (baicaitang), soupe au poulet (jitang), potage aux vermicelles (fensitang), potage aux nouilles avec poulet (jisitangmian). Elles achèvent les repas et doivent aider à la digestion, c'est dire l'importance des plantes médicinales dans leur composition.

2. Salades, snacks, hors d'oeuvre (liangban, dianxin, lengpan)

Les entrées froides sont rares et les salades crues absentes, à juste titre pour raison sanitaires. Rouleau de printemps (chunjuan), salade de choux cuits, échine de porc ou divers bas morceaux de porc grillés (chashaorou), salade de concombre de mer, émincé de radis salé ou au gingembre...

3. Les sauces et les épices

Sauce au gingembre ou à la ciboule (jucai) sont courantes, mais c'est la sauce au soja qui tient lieu de sel. Les épices et condiments sont légion : ail, piments, poivre, cannelle, girofle, coriandre, badiane et le glutamate de sodium ou jing introduit par les japonais au début du siècle.

4. Les viandes

Dans les régions visitées, la base est le porc et secondairement le canard. De multiples variétés sont accommodées avec pour principe de cuisson des morceaux, le rissolage, la friture, la cuisson vapeur ou à l'étouffée, les marinades. La cuisson au four est rare est surtout consacré au fameux canard laqué gonflé à l'air.



Photo 109 : Les "chefs" se restaurent autour d'une fondue chinoise : à droite le sympathique et dynamique directeur du Comté de Hefeng, à gauche le professeur Zhang Shouyue, au centre Jean-Pierre et debout notre camériste préférée. (cliché J.W.B.)

Alchimistes de la cuisine (MORGENSTERN et *al.*, 1991), les cuisiniers chinois préparent des viandes toujours intimement parfumées par la saisie rapide dans leur jus des saveurs des ingrédients.

Des mets spéciaux : «le combat du dragon et du tigre» à base de serpent et de chat sauvage dans la cuisine cantonnaise, le canard fumé aux feuilles de thé et de camphrier et cuisses de grenouilles au Sichuan, les pieds de cochon à Shanghai et un peu partout...

Les fondues du Sichuan et des montagnes karstiques sont d'une grande variété et sont un moyen rapide et ingénieux d'utiliser les abats (gésiers de canards, estomacs de boeuf, sang caillé de porc, foie, coeur de volaille ou de pores...). C'est l'occasion de la convivialité.

5. Les poissons

Le poisson (yu) achève le repas avec les soupes et il est signe d'abondance. Ses variétés d'accommodation sont légion : poissons frits, soupes, fourrés, beignets, pâtés, ailerons de requin à Canton, poisson de lacs du Hubei, accommodés au coriandre, au caramel, au soja... La grande cuisine impériale est célèbre pour son poisson mandarin, ses crabes aux feuilles de lotus...

6. Les mets de fête

Les repas rythment l'année et les principales réjouissances dont les chinois sont friands. Au menu figurent des nourritures de circonstance : nids d'hirondelle, ailerons de requin, ormeaux, holothuries. Quelquefois les mets sont spécifiques : spaghettis longs pour les anniversaires d'ancêtre, gâteaux de riz ou de millet glutineux (niangao) pour le nouvel an chinois, ravioli fabriqués en coeur le cinquième jour du cinquième mois, zongzi de farcis avec leurs enveloppes végétales, gâteaux de lune pour les échanges entre amis à la fête de la mi-automne...

7. Les desserts

Le dessert n'existe pas en tant que tel. L'alternance ou le mélange du sucré et du salé au cours du repas, présente de délicieuses pommes au caramel et miel, des mets cantonnais souvent sucrés et fourrés à la pâte de noix, à la fleur de lotus, aux haricots, aux fleurs de chrysanthèmes... C'est surtout une spécialité des petits déjeuners de Canton.

8. Les boissons

Le thé est très varié, noir, vert, fumé ou parfumé et il est connu bien avant l'ère chrétienne, mais se boit à toute heure et normalement

pas au repas. Il est impossible de présenter l'extrême variété des thés chinois. Le thé est la boisson tonifiante par excellence et il participe au grand principe de santé qui commande la cuisine chinoise. Les maisons de thé connaissent à nouveau un regain de popularité, avec des systèmes élaborés et cérémonieux comme le thé-tujia. Une gamme de thé vert, thé au jasmin est distribuée, l'eau chaude étant servie souvent ensuite et à part (Sichuan).

Les alcools sont fabriqués à partir de riz, de maïs et de sorgho et sont consommés avec les plats. Le maotai du Guizhou est célèbre. De nombreux vins sucrés existent et la bière est devenue une consommation courante.

B. Quelques spécialités régionales durant le séjour

1. La cuisine de la région de Wufeng (Hubei)

Les paysans ont une longue pratique de l'accueil et leurs produits sont les révélateurs de leur art de vivre : témoin ce magnifique repas du lundi 7 décembre 1993, dans le poljé de Changleping, composé de tofu (pâte de soja), de pommes de terre sautées à l'ail, de porc émincé. Les tables sont même désinfectées avec de l'alcool...

La cuisine offre une grande variété de façon d'accommoder le porc et une très importante variété de légumes (même en hiver). Un exemple de repas à Wufeng le jeudi 26 novembre : beignet de lotus, porc émincé, association de légumes sautés avec, choux chinois, feuille de radis-raves, céleri, poivrons verts et rouges (type piment doux), riz, frites sucrées, poisson pré-fendillé en treillis avant cuisson puis grillé et ensuite poché dans un bouillon de coriandre. L'oignon et les arachides sont utilisés en cuisine, mais surtout dans le Hunan.

2. La cuisine Miaos de la région de Yuyangguan (Hubei)

Certains repas somptueusement décorés ont été la base de nos repas d'adieu (les 7 et 8 décembre) en particulier le fameux coq fourré au coriandre, avec queue en demi-oeufs durs marinés dans du thé vert (chayedan), décoration de carottes ciselées (huluobo, hongluobo) et de radis (luobo), plumage avec différentes sortes de saucisses et jambon (huotui), lamelles de viande de porc (zhuorou), tête décorée avec un oeuf dur (zhujidan). Répétition avec un papillon en entrée froide le lendemain.

3. La cuisine Tujia de la région de Hefeng (Hubei)

Un exemple de repas, celui du mercredi 8 décembre : arachides sucrées, carpe pochée-grillée au coriandre et au soja, oeufs au sel,

porc émincé au gingembre et à l'ail, champignons frits, magnifique bouillon de poule, morceaux de cabris...

Dans la région on utilise une table en fonte avec feu incorporé qui est très pratique. Les petits restaurants-hôtels de la région ont un parfum «d'épouse et concubine», avec leur cour intérieure carrée, mais un aspect plus pratique avec les grands séchoirs à maïs qui cernent les mezzanines.

Il faudra bien sûr parler de cette expérience inoubliable de la cuisine du repas de Noël 92 avec mes amis les cuisiniers de Hefeng : expérience dantesque et observations précieuses. Ce repas franco-chinois que j'ai préparé avec mes collègues-cuisiniers de Hefeng demeurera dans les annales. Expérience de descente aux enfers aussi redoutable qu'une descente dans les puits humides, mais telle empreinte de chaleur humaine, de convivialité et d'un sourire amusé permanent : un jeu pour tous et toutes. Il faut dire que l'épreuve avait commencé la veille au coin du feu central de la cuisine, noire comme le cul d'un diable, avec alcool et vins... par un bras de fer avec le plus gros des cuisiniers. Il avait des bras comme mes cuisses, mais son levier était moitié de mon avant bras, une fois posé sur le tabouret. Les règles sont strictes et il a décollé le coude du tabouret une fois sa main dans la mienne : il avait perdu... Eclat de rire général, le travail pouvait commencer et les «campe» aussi. Le combattant va demeurer mon fidèle découpeur et aide durant mes 2 jours de travail en cuisine.

4. La cuisine de la région de Xianfeng (Hubei)

A proximité de la province du Sichuan, la cuisine de porc devient dominante et la variété l'emporte : le gras de porc étuvé et poché au sucre du dimanche 3 janvier 1994 restera dans nos mémoires. Il faut dire qu'il était accompagné d'une soupe aux champignons et poissons, d'une polenta de potiron et maïs, de fèves sucrées et d'un bouillon aux topinambours qui servait de trempette pour une association de viande émincée et de crustacés. La spécialité de jambon de porc étuvé dans sa couenne de graisse et caramélisé se consomme avec du potiron sucré, la soupe de porc et champignons, les patates douces frites et le saucisson séché de porc (repas du 2 janvier). Voici, par exemple le menu de mon ami le cuisinier de l'hôtel de Xianfeng du 31 décembre : saucisson de jambon, maigre de porc salé et frit, riz gluant sucré, soja et feuilles de thé grillées, sanglier aux navets, oeufs sauce tomate aigre-douce au coriandre, petites crevettes grillées, fèves, fruits de mer (dont calamars) à la sauce onctueuse (indéterminable), porc séché émincé aux oignons, bouillon au gras de porc, soja et poisson... alcool blanc au sélé-nium. Finalement, cuite mémorable du responsable du tourisme, mais il m'a fallu l'aide de Larouille et surtout de nombreux «cul sec» avec des pintes de bière chinoise, car à l'alcool blanc, il était impossible de terrasser ce professionnel !

La cuisine de Xianfeng est épicée, comme dans beaucoup de régions. Elle utilise beaucoup les pâtes et les instruments en terre pour



Photo 110 : Etendage de pâtes de froment au bord de la route entre Hefeng et Xianfeng. (cliché R. M.)

la cuisson. Cette spécificité est bien reflétée dans le marché du 31 décembre à Xianfeng, avec les étalages d'épices, les nombreuses fabriques de pâtes et le grand déballage de poteries.

II. La cuisine est un indicateur de la gestion des karsts

On peut se poser la question de savoir s'il y a une cuisine spécifique des karsts chinois, comme il y a une cuisine des karsts français ou allemands. Qui a goûté les confits du Périgord est amené à penser à ce type particulier d'immunité gastronomique, à ce mode de cuisson en atmosphère confinée, à ce mode de préparation qui représente un certain mimétisme avec la conservation en grotte ! Qui a vu un Roquefort pensera automatiquement à son affinage et au système karstique avec son réseau «corrogné» de moisissures bleues !

Mais plaisanterie mise à part, la cuisine des karsts de Chine centrale est surtout spécifique d'une longue évolution en survie de sociétés autonomes basée sur le porc, le chou et les radis et c'est le cas du Jura Souabe. L'utilisation du bois (copeaux, fagots) et du charbon de bois est une nécessité pour le type de cuisson rapide et c'est une pression de longue date sur les espaces forestiers. Il n'y a certes pas d'aliments spécifiques des zones karstiques, mais seulement une façon de préparer, autonome, réduite aux plus simples moyens et où se côtoient les vieilles souches culinaires proto-thaï et les implants typiquement chinois. Les montagnes du Hubei et du Hunan sont aussi des refuges culinaires des pratiques paysannes ancestrales : systèmes des flambés-grillés et systèmes à l'étouffé sans doute plus récents. L'économie de l'eau se manifeste également en cuisine dans les modes de cuisson.

La cuisine représente comme partout dans les systèmes traditionnels paysans, la première ponction sur l'environnement et les ingrédients disponibles sur les marchés vont marquer l'ancienneté de la domestication des légumes et les rythmes saisonniers.

Les outils culinaires sont des témoins du savoir-faire paysan et de son ingéniosité.

A. Les principaux ingrédients indicateurs des grandes civilisations agraires

Les marchés abondent à profusion de toutes les variétés de légumes. La présence sur le marché de Wufeng de très nombreux cultivars de choux, radis, raves, carottes, patates, céréales, oignons... démontre la permanence d'un jardinage ancestral, même après la période réductrice de la Révolution culturelle.

De très nombreuses espèces sont intergrades, si bien qu'il est souvent difficile même au goût de distinguer dans la gamme des radis-raves-carottes-rutabagas, dans celle des pommes de terre-patates-topinambours ou dans celle des salades-chicorée-oseille. L'histoire de la cuisine se confond avec celle des plantes cultivées (chap. 11) et au contact entre la Chine du Nord et celle du Sud la gastronomie a intégré les savoirs des civilisations du ray et de la cueillette, cultivateurs et cueilleurs des fruits et des tubercules tropicaux, celles des riziculteurs et spécialistes des légumes, enfin les céréaliculteurs et arboriculteurs, consommateurs de fruits saisonniers des civilisations Han, Mongol ou Mandchou.

B. Les outils et techniques culinaires indicateurs de savoir faire encore à l'écart de la course à la consommation

Les instruments culinaires sont très complexes, avec pour base la grande bassine en fonte ou en fer de type «cul de poule» à fond semi-sphérique appelé wok en Occident. Elle est souvent moulée sur le foyer et pivotante sur armature, ce qui permet un nettoyage à chaud avec une balayette.

L'équipement se compose d'un tranchoir, de louches et d'une grande variété de passoirs, «chinois», écumeurs, racloirs et grand nombre de récipients à étuver...

L'utilisation des instruments culinaires en bois n'est pas spécifique des karsts forestiers, mais elle reflète cependant une

utilisation peut-être plus monospécifique qu'ailleurs. Le métal nuit à la finesse de certains plats, mais surtout il n'entraîne pas dans les modes d'utilisation des civilisations sylvo-pastorales de praticien du ray. Les choses ont changé et les ustensiles métalliques comme les briquettes de charbon ligniteux ont envahi les cuisines, en remplacement des bûches et des copeaux.

Les ustensiles de table sont très souvent en terre ou en porcelaine, ce n'est pas spécifique des karsts bien que les poches de grès ou de kaolin soient là pour fournir la matière première. Pour l'instant les ustensiles de plastiques sont très rares, malgré une course à la consommation qui se manifeste par l'introduction des volumes publicitaires à la télévision (47 % de plus entre 1987 et 1988). Entre 1982 et 1987 la machine à laver a équipé de 16 à 66,8 % des ménages, le réfrigérateur seulement de 0,7 à 19,9 % des ménages. En 1988 les dépenses des familles étaient consacrées pour 53,4 % à l'alimentation (GRANGEREAU, 1989).

Conclusion

...La gastronomie un art et une culture agraires

La gastronomie des karsts chinois est bien manifeste de l'osmose produite entre les différentes civilisations qui ont élaboré ces pays du sud de la Chine centrale. Pays refuges mais non-enclavés, ils ont intégrés les principales composantes du tissu culinaire chinois. Avant tout, la gastronomie montre une véritable dimension agraire faite d'absence de préjugé, d'économie, de préparation rationnelle et d'art d'utiliser les restes : n'est-ce point la qualité cardinale des aménagements agraires des karsts chinois ?

Utilisation de Toporobot

Dans ce genre d'expédition le traitement des données topographiques est un point vital pour la qualité des résultats. Il n'est en effet pas simple de traiter 64 km de galerie dans un temps très court, qui plus est avec une équipe multilingue (4 nationalités) venant d'horizons spéléologiques différents.

Aussi, avec l'expérience des années précédentes où nous avons perdu énormément de temps en France pour le dépouillement et le traitement définitif des données, avons-nous soigné un peu plus cet aspect des choses. Nous avons donc informatisé le traitement des données topo et de ce fait utilisé le concept général et le standard (ou du moins il le deviendra) de notation de la méthode Toporobot. C'est autour de ce concept que c'est développé le programme LimeLight. Même si à l'époque il n'avait aucune facilité pour l'utilisation du topofil (un comble pour des frenchies), nous avons quand même choisi ce logiciel créé par le génial spéléologue suisse Martin HELLER.

C'est dire si le reste des fonctions étaient intéressantes. Ce programme qui rappelle le est encore en version Bêta, c'est-à-dire en phase test, s'est vraiment révélé être l'outil idéal pour ce genre de situation et a fait l'unanimité dans l'équipe, même si beaucoup n'avait jamais mis leurs bottes sur un clavier...

Parmi de nombreuses procédures de fonctionnement possible, nous avons opté pour la méthode suivante en fonction des

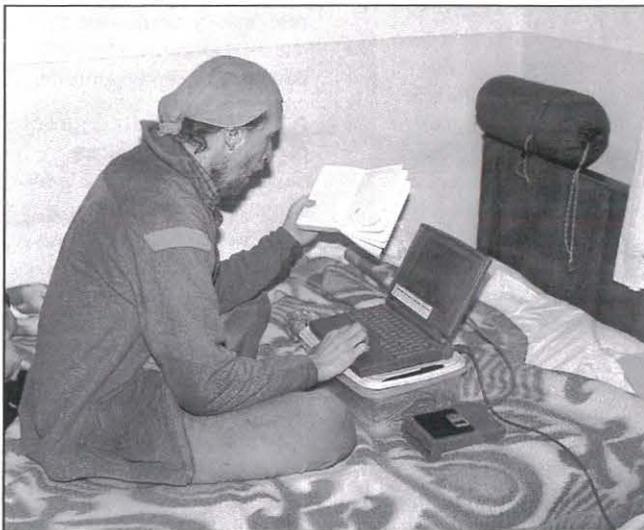


Photo 111 : Daniel Gebauer, grand topographe devant l'Eternel et Bouddha réunis, fabrique les topos en un tour de main grâce à toporobot, le logiciel du génial Martin Heller, et au Power book de Mac si pratique en expé. (Cliché J.W.B.)

paramètres spécifiques de notre expédition et notamment de la limite de précision de notre imprimante (Style Writer). En règle générale la saisie des données s'effectuait sur les machines (2 PowerBook 100) le soir de l'explo à une ou deux personnes. Venait ensuite la relecture et la correction à deux personnes, le traitement des données proprement dites, l'impression des listings des coordonnées et des données, le pointage sur papier millimétré, et pour finir le dessin. Très souvent cette méthode nous a permis de partir en exploration avec en poche la topographie faite la veille : quel confort pour les exploits et quel moyen de communication supplémentaire avec les paysans chinois !

Les conditions météorologiques extrêmes : 5°C et taux d'humidité entre 80 et 90% ont quand même posé quelques problèmes matériels. Les lecteurs de disquette externes avaient tendance à s'enrhumer et l'imprimante n'appréciait que moyennement les feuilles de papier se transformant en chiffon humide. Ces petits problèmes ne sont que des détails, car ce logiciel technique-fabuleux et la méthode de travail qu'il induit nous ont fait gagné énormément de temps et d'efficacité, aussi bien sur le terrain que de retour en France.

Utilisation du GPS

Le GPS ou "Global Positioning System" est maintenant à la portée de tous grâce à de petits boîtiers portables bien connus des pilotes de rallye africain ou en version un peu plus sophistiquée des marins. Bien que notre utilisation se soit limitée à des fonctions des plus rudimentaires (positionnement en statique), il s'est révélé d'une grande utilité pour pallier au manque de cartes qui sont encore difficilement accessibles. Sa mise en oeuvre est simple pour les fonctions de base, par contre il se révèle grand consommateur

d'énergie, piles...piles...

Si la latitude et la longitude semblent être des plus correctes pour le type de données nécessaires à nos travaux, l'altitude reste un point extrêmement faible et demande une utilisation et une interprétation des plus prudentes. Il faut donc utiliser un vrai altimètre.

Même si nous n'avons pas eu ce type de problème en Chine (et pour cause, zones karstiques presque totalement déforestée), il est intéressant de noter que les couvertures forestières denses représentent vite un handicap extrêmement important pour la connexion avec les satellites comme cela a été le cas pour l'expédition «Grand Plateau 93» en Papouasie Nouvelle-Guinée.

En conclusion ce magnifique outil ouvre de nouvelles perspectives et méthode de travail pour notre activité. Ses évolutions futures, baisse des prix notable, miniaturisation, performances le rendront probablement très accessible aux spéléos et c'est tant mieux. Et pour finir nous remercions encore la

société ERTF d'avoir gracieusement mis à notre disposition un de ces appareils qui nous à été d'une grande utilité.

État des explorations en Chine

Historique

En Chine, pour bien comprendre la précocité des explorations des zones karstiques et des cavités, il est nécessaire de revenir sur une

Nom	Comté-PROVINCE	Dénivelé	Exploration
XIAOZHIA TIANKENG	SICHUAN	- 964	BCRA 94
ZHAIDONG-GANDONG	Hefeng-HUBEI	- 552	IGAS-PSCJA 89/92
WUJIADONG	GUIZHOU	- 436	
GEBIHE	Ziyun-GUIZHOU	- 418	IGAS-PSCJA 89
DONGXITIANKENG	Wufeng-HUBEI	- 382	IGAS-PSCJA 89/92
DONGHE	Hefeng-HUBEI	- 366	IGAS-PSCJA 89/92
FENGDONG-CHUIFENGDONG	GUANGXI	- 360	IKG-BCRA 88/89
XINIUDONG	Anlong-GUIZHOU	- 355	
XIAOYANZI	Xingwen-SICHUAN	- 346	IKG-BCRA 92
TIANSHENG QIAO	Xuanwei-YUNNAN	- 335	
DATIANKENG	Hefeng-HUBEI	- 333	IGAS-PSCJA 92
DADONG	Wufeng-HUBEI	± 314	IGAS-PSCJA 89/92
BAISHUI DONG	Jiangkou-GUIZHOU	- 310	
DAPINGDI	YUNNAN	- 306	IGAS
DANGHAI SHUJING	Luodian-GUIZHOU	- 301	IGAS-PSCJA 89/92

Tableau 15 : Les plus profondes grottes de Chine (1995).
The deepest caves of China (1995).

légende chinoise sur la création du monde. Celle-ci raconte que le monde était dans une immense cavité dont le plafond s'est effondré créant ainsi les chaînes de montagnes. Cette légende survit au travers d'un idéogramme qui signifie la pierre, le roc : Shi. Sa représentation graphique montre un bloc en train de tomber d'une paroi de la grotte ; il a ensuite été simplifié un peu dans sa forme actuelle. Outre cette définition, ce terme désigne un autre mot difficilement traduisible que l'on pourrait interpréter comme une énergie vitale ou bien une essence de vie dispensée par la terre aux être vivants. La géomancie désignera rapidement les régions karstiques comme des lieux particulièrement favorables et la quête inlassable de ce bien-être sera à l'origine des premiers travaux sur les régions karstiques.

Dès la période des Printemps et des Automnes (770-475.) on trouve trace de premiers écrits. Durant les dynasties du Nord et du Sud (265 à 581) plus d'une trentaine de travaux sur la géologie et la spéléologie ont été publiés. Parmi eux on peut noter les écrits de l'universitaire Sheng Hong qui entre autres décrit quelques phénomènes de climatologie souterraine notamment la constance de la température dans les cavités «profondes» et ce quel que soit la saison. De l'an 581 à 618 (dynastie Sui) une grande bibliothèque se constitue à Xian on peut y trouver une petite section spéléologie. Au cours de la dynastie Tang (618 à 907) Shi Guangting rassemble des informations sur des cavités dans l'ensemble du pays.

La dynastie Song voit de très nombreux travaux se réaliser, notamment ceux de Fan Chengda (1126-1193) qui écrit un livre exclusivement consacré à une zone karstique, mène une exploration du karst et des grottes de Guilin, et fait la première topographie connue d'une grotte de Chine. Ses travaux scientifiques portent également sur la classification des roches carbonatées. A noter aussi Lu Yu qui fut le premier à explorer la fabuleuse zone karstique des Trois Gorges du Yangtse, et à mener une étude détaillée sur les niveaux d'humidité dans les cavités (d'après Ian D Baren).

C'est à la fin de la dynastie Ming que Xu Hongzu, plus connu sous le nom de Xu Xiake, accomplit son immense travail. Toute sa vie durant il voyage à travers tout l'empire. Ses écrits sont

colossaux : plus de 600 000 caractères dont plus de 90 % consacrés à ses explorations spéléologiques et karstiques. De nombreux articles récemment publiés dans diverses langues commencent à nous faire découvrir un peu mieux son oeuvre. Seul 17 de ses relations de voyage (seulement 50 000 caractères, un travail titanesque) ont été traduites en français par J DARS, mais elles concernent essentiellement des voyages sur des sites remarquables de Chine. A ce sujet on peut noter que d'un point de vue littéraire cette partie de son oeuvre est un monument de la prose de la fin de la dynastie. Malheureusement les notes de son extraordinaire et dernier voyage, une expédition spéléologique de 4 ans, ne sont pas traduites. Un chapitre, que dis je, un livre entier ne suffirait pas pour parler de cet homme hors du commun, sans nul doute précurseur de la spéléologie moderne ; alors j'ai choisi deux petites citations :

- une lettre de son éditeur juste avant son départ pour sa dernière expédition ; "cette année, quelles

contrées vos sandales et votre bâton de voyageur vont-ils arperter ? Vos périple et parcours antérieurs étaient d'ores et déjà des plus considérables ! Présentement voici que de surcroît vous rassemblez vos notes et relations, qui seront des guides pour des voyages ultérieurs et se transmettront à mille générations."

- une phrase de J. DARS (1993) : «...on peut dire qu'il vécut en bonze, qu'il oeuvra en savant et qu'il écrivit en poète...»

De nos jours... pendant les froideurs sino-soviétiques des années 70, les militaires chinois, à la demande des autorités, ont répertorié et exploré sommairement de très nombreuses cavités. Depuis 1985, "tirez les premiers Messieurs les Anglais", les expéditions de spéléologues occidentaux se sont multipliées. En presque 10 ans ce sont à notre connaissance plus de 25 expéditions de toutes tailles (Anglais, Français, Belges, Italiens, Bulgares, Américains, Néo-zélandais, Japonais, Croates...) qui ont foulé le karst du pays du milieu. En règle générale toutes ces équipes ont travaillé en collaboration étroite avec des institutions chinoises. Bien-sûr les résultats ont suivi, et des centaines de kilomètres de galerie, très souvent dans des systèmes colossaux, ont été explorés et ont fait progresser le développement et la profondeur des cavités. Un seul frein à une avancée plus rapide des explorations : c'est probablement une des destinations spéléologiques les plus chères du monde !

Il aura fallu attendre l'année 1987 pour voir naître à Canton le premier club spéléologique chinois comparable aux standards occidentaux (inspiré techniquement et structurellement du modèle américain). La SSSCNU (Speleological Society of South China Normal University), présidé par le sympathique Mo Zhong Da, compte aujourd'hui plus de 200 membres. Ce club dynamique a réalisé en 1988 une expédition conjointe avec les spéléos américains du CRF qui a donné naissance à un intéressante publication. Ce club marque vraiment une étape importante dans la spéléologie chinoise car ces membres ne proviennent pas uniquement des milieux scientifiques et universitaires, il compte aussi de nombreux ouvriers et paysans, signe d'un profond changement social de cette région de la Chine. Bien-sûr une éventuelle structure nationale (fédération) est encore loin car elle se heurte et se heurtera forcément à d'énormes

NOM	PROVINCE	Comté	Village	Dév.(m)	Topo	Exploration
TENGLONGDONG	HUBEI	LICHUAN	Lichuan	33 522	Oui	IGAS-BCKCA 88
XINIUDONG	GUIZHOU	ANLONG	??	17 600	Oui	BCRA
DUOBING DONG	GUIZHOU	XIUWEN XIFENG	??	17 210	??	
DADONG	HUBEI	WUFENG	Songjiahe	10 932	Oui	IGAS-BCKCA 88 IGAS-PSCJA 89/92
MAWANG	GUANGXI	BAMA	??	9 368	Oui	IKG-BCRA 92
ZHUCAOUJING	SICHUAN	XINGWEN	??	8 800	Oui	IKG-BCRA 88/89
ZHAIDONG	HUBEI	HEFENG	Yanziping	8 403	Oui	IGAS-PSCJA 89/92
TIENQUANDONG	SICHUAN	XINGWEN	??	8 100	Oui	IKG-BCRA 92
XIAOZHAI TIANKENG	SICHUAN	FENGJIE	??	8000		BCRA 94
JIUDONGTIEN	GUIZHOU	??	??	8 000	??	??
GEBIHE (Amont)	GUIZHOU	ZIYUN	Gebong	7 746	Oui	IGAS-PSCJA 89
JINLUN DONG	GUANGXI	MASHAN	??	7 213	Oui	
SANTANGDONGQUN	GUIZHOU	ZHIJIN	Santang	7 199	Oui	IGAS-PSCJA 86/89
WANHUAYAN	HUNAN	CHENGZHOU	??	6 745	Oui	
DONGHE	HUBEI	HEFENG	Tangjiapu	6 692	Oui	IGAS-PSCJA 92
BIYUN DONG	GUIZHOU	PANXIAN	??	6 500	??	??
ZHANGJIADONG	HUNAN	SANGZHI		6 243	Oui	IGAS-PSCJA 92
Y331 DONG	GUIZHOU	LIUZH	??	6 113	??	??
DONGXITIANKENG	HUBEI	WUFENG	Changpuxi	5 807	Oui	IGAS-PSCJA 89/92
JIUTIAN DONG	HUNAN	SANGZHI	Shuidong	5 726	Oui	IGAS-PSCJA 89
YANZIDONG LONGDONG	HUBEI	WUFENG	Wufeng	5 692	Oui	IGAS-PSCJA 89

Tableau 16 : Les plus longues grottes de Chine. (1995) *The longest caves of China. (1995)*

problèmes administratifs et relationnels, mais les choses avancent vite.

Le point des explorations

Nous publions ici les listes des plus longues et des plus profondes cavités de Chine qui sont le résultat d'un fastidieux travail de recherche bibliographique.

Les abondants écrits chinois, fort intéressants et souvent très anciens, sont difficilement utilisables car en plus de la barrière de la langue se posent des problèmes de toponymie extrêmement complexes. En outre la concurrence entre certaines institutions chinoises rend la circulation des informations encore plus compliquée. D'autres écrits sont inaccessibles, par exemple les sources militaires. Quant à la bibliographie occidentale, elle est disséminée aux quatre coins du monde, et se trouve principalement dans quelques rapports d'expéditions ou de missions scientifiques.

Certaines données sont donc à confirmer et à affiner et ces listes se veulent exhaustives ; rendez-vous compte 300 cavités dans notre banque de données ! Autant dire une misère ! Que mes

collègues explorateurs me pardonnent s'ils ne voient pas ici le résultat de leur travail, c'est que nous n'avons pas encore trouvé la bibliographie correspondante, c'est avec joie que nous attendons vos informations, vos renseignements !

A notre connaissance, au début de 1994, 108 cavités dépassent le kilomètre de développement, ce qui est peu au regard de l'immense potentiel chinois. Le **tableau 16** présente les cavités qui excèdent les 5 km, le **tableau 15** celles dont le dénivelé dépasse 300 m. Toutes ses cavités se trouvent principalement dans les provinces du sud de la Chine : le Hubei, le Guizhou, le Guangxi et le Yunnan et c'est la province du Hubei qui détient pour l'instant la plus longue grotte du pays, Tenglongdong. Mais de récentes informations font état d'une cavité de plus de 37 km qui vient d'être explorée dans le Guizhou.

Bilan des expéditions 86-92

Au cours des trois expéditions GUIZHOU 86, GEBIHE 89, DONGHE 92 organisées conjointement par le P.S.C.J.A. 7^{ème} Continent et I.G.A.S. : nous avons visité 12 comtés dans

4 provinces : le Hubei (Hefeng, Wufeng, Xianfeng, Yichang, Lichuan) ; le Guizhou (Anshun, Zhijin, Ziyun, Luodian, Pingtang) ; le Hunan (Sangzhi) ; le Sichuan (Wuxi).

Nous avons exploré plus de 150 cavités développant au total 161 km, de quoi faire chauffer les topofils ! Tous ces résultats ont fait l'objet de trois rapports d'expédition, de nombreux articles dans la presse et les revues spécialisées, d'un film T.V. « Dans l'aven du dragon » et bien entendu de nombreuses photos et diapos. Outre les résultats spéléologiques proprement dit, ces trois expéditions lourdes ont été complétées par une expédition de reconnaissance et cinq voyages de nos collègues chinois en France, qui ont pu visiter certaines zones karstiques remarquables et travailler avec de nombreux scientifiques de notre pays au travers de visites et de réunions. Ce projet reste donc avant tout un véritable échange culturel fructueux et plus encore une confiance et une amitié.

Dans toutes les régions visitées, on peut déjà dégager quelques zones vraiment intéressantes et quelques cavités remarquables où un travail considérable reste à faire.

Province du Hubei :

- L'anticlinal de Changleping (Wufeng Hubei) :

Un réseau semble se dessiner, mais les 40 km explorés durant les deux dernières expéditions ne sont qu'une goutte d'eau dans cet océan karstique... Que de travail reste-t-il avant d'avoir une idée plus précise sur cet anticlinal ?

Parmi les cavités majeures on peut citer bien évidemment les deux résurgences principales de l'anticlinal : Donghe (4 828 m, - 270 m) qui draine la partie est de l'anticlinal, c'est elle qui avait prêté son nom à l'expédition et Longdong-Yanzidong (5 692 m, + 147 m) (Gebihe 89) qui sert d'exutoire aux eaux de la partie occidentale du massif. Cette dernière est notamment alimentée par la perte de la rivière Songjiahe qui se jette dans la superbe grotte de Dadong (10 932 m, ± 314 m). Entre ces deux résurgences, que de points d'interrogations, en particulier sur le partage des eaux souterraines qui se situe probablement aux alentours de la zone de la rivière Chaibuxi, c'est-à-dire bien à l'ouest de l'anticlinal. C'est dans cette zone que se trouvent les gouffres alpins de Dongxitiankeng (5 807 m, - 382 m), Tiankengcao et Dongwan ainsi que la grotte de Jiangjundong.

- Le synclinal de Taiping - Yanziping (Hefeng Hubei) :

Dans ce vaste synclinal, s'étendant sur environ 700 km², se développent de gigantesques réseaux et malgré leur importance notre reconnaissance et nos travaux de 1992 ne sont qu'un avant-propos. Nous avons déjà pu distinguer trois systèmes hydrogéologiques majeurs : Taiping, Yanziping et Shuishanping. Plus de 30 km de galeries explorées (cf. chap. 2) dans des cavités extrêmement intéressantes tant au point de vue exploration qu'au point de vue scientifique. Parmi les résultats marquants, on peut citer le réseau de Zhaidong (8 400 m, - 552 m) et la grotte de Donghe (6 692 m ± 366 m). Citons également la superbe perte d'altitude de Datiankeng (1 464 m, - 333 m).

Province du Guizhou :

- Le synclinal de Santang (Zhijin, Guizhou) :

Dans ce synclinal de 150 km² drainé par l'émergence de Luocho nous avons exploré 14 cavités. Un réseau est maintenant matérialisé par 3 cavités majeures, Santangdongqun (7,2 km), Mawotoudong (3,3 km) et la perte de Luocho (1 km), qui s'échelonnent de l'amont vers l'aval entre les villages de Santang et de Luocho. 2 km 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 2 100 m d'altitude. Ici nous

sommes loin des grandes grottes-tunnels spacieuses et sèches ; le réseau de Santang, c'est l'enfer de la boue, le royaume des dunes de boues et des suçoirs sinistres qui rendent la progression éprouvante...

- La rivière Gebihe (Comté de Ziyun, Guizhou) :

Les pertes des rivières Gebihe et Shuitanghe forment le fabuleux réseau de la Gebihe avec ses énormes galeries (jusqu'à 150 m de haut), ses puits gigantesques (370 m, 210 m) et dans la partie aval du système la deuxième plus grande salle de la planète, la Salle des Miaos : 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.

- La rivière Yijiehe (Comté de Zhijin, Guizhou) :

Cette rivière a un parcours semi souterrain remarquable, il est formé de grottes-tunnels, de dolines d'effondrement et de tronçons de canyon (des galeries ayant perdu leur plafond). Avant de résurger dans la rivière Liuchonghe, elle disparaît une dernière fois dans l'extraordinaire gouffre de Daxiaocaokou (2 929 m, - 235 m), un des deux gouffres (Dacaokou : le grand gouffre) mesure 900 m de long, 200 m de large et de 150 à 300 m de haut ; nous avons estimé son volume à 25 millions de m³ !

- Les résurgences de Daxiaojing (Comté de Luodian, Guizhou) :

Dans cette zone nous avons exploré (en 1986) 9,5 km de galeries dans 6 cavités dont Xiangshuidong (4 698 m, ± 193 m), Heidong (1 860 m, ± 106 m), Daxiaodong (2 183 m, ± 172 m). 2 km² explorés sur un bassin-versant qui en compte plus de 1 600 ! Il s'agit de l'un des plus vastes systèmes hydrogéologiques de Chine. C'est dans cette zone que nous avons repéré sur la carte, à un peu plus de 5 km en amont des résurgences, une gigantesque doline au fond de laquelle confluent deux rivières. Nous avons pu la mesurer sur la carte : longueur maximale 2 km, largeur maximale 1,2 km, dénivellation entre le fond et le déversoir : 400 m. Nous avons estimé son volume à 380 millions de mètres cubes. Il s'agit manifestement d'une des plus grandes excavations karstiques reconnue au monde. Elle pourrait contenir quinze fois le puits de Minye (26 millions de m³) en Papouasie Nouvelle-Guinée ! Malheureusement une limite de comté nous séparait de ce fabuleux vide karstique, et nous n'avons pu obtenir faute de temps les autorisations nécessaires ! Elle attend toujours ses explorateurs !

Province du Sichuan :

- Le synclinal de Tongchengba (Comté de Wuxi, Sichuan)

En 1989, nous avons seulement cinq jours pour reconnaître cette zone du Sichuan oriental où nous avons exploré 13 cavités. 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 1 500 m, se traduit par un potentiel hydrokarstique qui dépasse par exemple 1 600 m dans le synclinal oriental de Wuxi ; un regard sur le réseau a été découvert à Sifangdonghetiankeng, à - 150 m, près du village de Tongchengba). Ce potentiel atteint probablement plus de 2 000 m à l'est du Daguanshan. Ce sont les plus forts potentiels karstiques connus de Chine centrale et méridionale. (Jean-Pierre)

Conclusion

Tous ces résultats fructueux ne doivent pas cacher la difficulté à organiser de tels projets. Aussi bien du côté chinois que de notre côté, le problème majeur reste la recherche des financements qui pose un réel problème car la Chine reste malheureusement une des destinations spéléologiques les plus chères du monde. Les tarifs pratiqués sont d'autant plus difficiles à comprendre qu'ils ne correspondent pas du tout au niveau de vie chinois. Ceci est fort regrettable car l'aspect financier interdit à de nombreux spéléologues occidentaux (supposés riches ?) l'accès à ce fabuleux karst chinois.

Certains de nos collègues chinois sont conscients de ces problèmes et essaient de trouver des solutions plus adéquates, mais le problème reste complexe, c'est le moins que l'on puisse dire, quand on connaît un peu l'organisation des rapports commerciaux qui existent dans la société chinoise... Mais ne désespérons pas : un proverbe chinois dit "*l'eau goutte à goutte finit toujours par percer la pierre*" ; c'est tellement vrai dans les immenses karsts chinois !

Pour organiser et mener à termes nos trois expéditions, il aura fallu beaucoup de temps, d'énergie et de patience que seul pouvait soutenir une passion partagée par les deux parties, celle de la découverte et de l'exploration. Car, en plus de cette spéléologie de rêve, la Chine est aussi la terre idéale pour l'exercice de nombreuses disciplines scientifiques dans laquelle le spéléologue de base se trouve impliqué malgré lui et grâce à lui. Il est en effet difficile de séparer ici exploration, topographie et recherche scientifique, tant la découverte de nouvelles cavités donnent envie d'en savoir plus sur l'âge et l'évolution de ces réseaux colossaux, sur le fonctionnement des grandes pertes, sur l'ampleur du soulèvement de la montagne qui fait que vastes tunnels fossiles sont actuellement perchés bien au-dessus des résurgences ! Ici, les millions d'années se télescopent et le spéléologue, en déambulant entre les cônes karstiques et en arpentant les galeries géantes, devient un voyageur du Temps.

Que dire enfin de l'esthétique des montagnes karstiques à pitons et de l'intime relation qui existe en le paysan et les structures agraires qu'il a façonné depuis des millénaires ! Cet âme qui habite le karst chinois est probablement une de nos plus fortes motivations. Ici la montagne et la grotte sont plus vivantes que partout ailleurs dans le monde tant les paysans l'ont apprivoisées depuis longtemps. D'où notre désir d'aller encore plus loin et plus profond, là où personne n'est jamais allé, comme à Donghe de Hefeng, en compagnie de jeunes chinois heureux de découvrir avec nous un monde encore nouveau et si près de chez eux !

✓ *Jean-Pierre Barbary, Richard Maire, Zhang Shouyue*

Glossaire

* : terme cité et défini dans le lexique.

Abrasin : plante oléagineuse (*Aleurites cordata* R. Br.) dont l'huile permet de fabriquer un noir de fumée qui sert à l'encre de Chine ; parmi les autres oléagineux les Tung (*Aleurites fordii* Hemsl. et *A. montana* Wils).

Abutilon : genre de plantes malvacées (*Abutilon avicennæ* Gaertn.) dont la tige et l'écorce ont des fibres textiles, les feuilles des propriétés émollientes et les graines des propriétés apéritives et diurétiques.

Aciculaire : cristal en forme d'aiguille ; dans les téphra* volcaniques les formes aciculaires automorphes* sont souvent liées à l'explosivité.

Actinidie : arbre fruitier (*A. sinensis* Pl.).

Ailanthos ou ailantes : grands arbres qui nourrissent un type de ver à soie différent de celui du mûrier.

Allochtone (rivière) : en hydrologie karstique, rivière dont le bassin d'alimentation amont se situe en zone non calcaire.

Altérite : terme général désignant le résidu d'altération d'une roche ; les altérites, partie décomposée de la roche se distinguent de la partie vivante et plus superficielle qui constitue le sol.

Arènes : résidu meuble d'une roche et composé des éléments cristallins dissociés de leur ciment* ou de leurs engrenages*. L'arénisation des roches calcaires est souvent favorisée par les actions des produits silico-ferrugineux de la couverture non calcaire.

Antécédente (vallée) : vallée ou canyon dont le surcreusement est dû à un soulèvement (voir vallée surimposée) ; l'installation du tracé de la vallée est antérieure au soulèvement.

Argilanes : cutanes* ou accumulations d'argiles dans un profil ou un sédiment.

Automorphe : terme de minéralogie désignant un cristal dont les faces cristallines sont parfaitement exprimées et dont la croissance n'a pas été contrariée par le métamorphisme ou des contraintes dues au manque de place pendant la cristallisation.

Bactéries : l'activité des bactéries sur un sédiment ou dans un sol est souvent associée à des concentrations d'éléments chimiques métalliques ou non (Fe, S, N, Ca...). Les ferrobactéries se nourrissent de fer et provoquant des concrétions ferrugineuses. Les sulfatobactéries font de même avec le soufre et les nitrobactéries avec l'azote. Souvent les dépôts métallifères ou carbonatés sont des bio-concentrations d'éléments dont les laminations* illustrent les épisodes de croissance.

Benthos : ensemble des organismes vivant sur les fonds marins.

Bibassier : arbuste de la famille des rosacées originaire du Japon (néflier du Japon ou *Eryobotrya japonica* Lindl.) et dont les fruits (les bibasses) comestibles sont mangés crus ou en confiture, les noyaux servent à la préparation d'une liqueur.

Bioturbation : modification de la structure* (voire de la texture*) d'un sol ou d'un sédiment par l'action des êtres vivants ; dans le cas d'un sol on parle de pédoturbation par les lombrics par exemple ; les remplissages* endokarstiques sont très faiblement bioturbés et sont donc des témoins particulièrement bien conservés des modes de dépôts.

Boue micritique (ou vase) : sédiment calcaire de précipitation qui peu évoluer par la suite par enfouissement, diagenèse*, pédogenèse.

B.P. : Before Present signifie avant 1950 dans les dates établies par 14C, date de la calibration du rapport 14C/12C dans l'atmosphère et qui sert de référence aux laboratoires ; par exemple 1 000 ans BP = 1 000 ans avant aujourd'hui (1950).

Brèches : roche à éléments anguleux résultant de la fragmentation par des processus mécaniques ou chimiques. La bréchification des roches calcaires est souvent liée à la tectonique ou à des processus complexes d'évolution sous couverture*.

Bûchage : collecte de bois de chauffage.

Calcin : type de concrétionnement ou de ciment* peu épais et microlaminé* se développant dans les entrées de cavités, les abris sous-roche... avec participation biologique fréquente.

Cannelier ou cannellier : laurier originaire des Indes orientales dont on tire la cannelle.

Caroténoïdes : type de pigment contenu dans les végétaux et principalement les algues ; il est principalement fonction de l'oxygénation du milieu dans les sédiments lacustres.

Case-hardening : processus de concrétionnement ou de ciment* pelliculaire à la surface de certains reliefs karstiques en zone tropicale.

Catena : terme de morphopédologie* désignant une succession et une association de sols dépendant de la topographie (par exemple de la plaine à la montagne).

Charophytes : végétaux intermédiaires entre les algues et les mousses.

Chitonique : en micromorphologie*, ciment* ou plasma* fin autour des éléments du squelette* minéral ou éléments de roches.

Chlorophycées : algues microscopiques vertes.

Ciment : un ciment est une substance cristallisée (sparite* ou microsparite dans le cas des ciments carbonatés, fer, manganèse ou sidérite dans le cas des cuirasses) dans la porosité* entre les grains* ou tout autre vide*. On distingue (1) des ciments de milieu noyé (phréatique*) qui ont une épaisseur constante et se développent dans toutes les directions (ciment isopaque) ; (2) des ciments de milieu dénoyé ou battant (vadose*) qui se développent en microstalactites avec une épaisseur variable selon les directions (ciment anisopaque) ; ils sont souvent formés de calcite ou d'aragonite en aiguilles (ciment fibreux). Les ciments phréatiques et vadoses peuvent être interrompus par des épisodes de dissolution et de sédimentation et présenter plusieurs générations (ciment dit polyphasé et syntaxique) Les cristaux peuvent être microsparitiques et monogéniques, présenter plusieurs tailles de cristaux (microsparite précoce et sparite tardive) ; les cristaux peuvent être gros (plusieurs cm) et englober des grains de quartz (texture poecilitique), etc... Les ciments sont donc des remarquables indicateurs* de fonctionnement des conditions hydriques du système karstique.

Classement : paramètre indiquant le tri granulométrique d'un sédiment qui est fonction de la capacité des agents de transport.

Clastes : petits fragments de roches.

Climatmètre : enregistreur de paramètres climatiques dans un sol ou un sédiment. Les

concrétions par exemple enregistrent certains paramètres du climat comme l'activité CO₂ en relation avec l'activité thermique, des sols et de la végétation ...

Colocasia : tubercule de type taros (*Colocasia antiquorum* Schott.) genre d'aroidée servant de nourriture surtout en Océanie (taro) ; les feuilles sont consommées aux Antilles sous le nom de choux caraïbe.

Contaminations solides : particules atmosphériques (éoliennes ou volcaniques) ou turbides qui alimentent les sols ou les sédiments et sont des traceurs du fonctionnement des paysages. Les contaminations servent souvent de chaîne de nutrition au développement bactérien ou de vecteur aux pathologies.

Coplatées : technique agraire de cultures sous couverts plantés d'arbres nourrissant le sol ou le protégeant contre l'érosion pluviale ou éolienne et servant d'ombrelle thermique.

Corona : en micromorphologie, auréole ou couronne (de fer, de manganèse, d'argiles, de sels, de carbonates ...) entourant un élément (c'est un cas de revêtement ou de cutane de type chitonique*).

Cosoude ou Consoude : plante fourragère.

Couverture : recouvrement d'un massif calcaire par des produits non calcaires (nappes de charriage ou d'épandage) souvent peu perméables et dont la compresse humide est facteur d'altération et de karstification.

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. Les crypto-lapiés se distinguent des rainures de ruisellement ou des lapiés de dissolution, souvent linéaires et peu profonds.

Cutanes (coiffes, revêtements, enduits) : accumulations de plasma* ou de matériel fin souvent orienté dans un profil de sol. Les cutanes se présentent souvent comme des modifications dans la masse des matériaux pédologiques et sont composés d'un constituant quelconque du sol. On distingue des cutanes d'argiles (argilanes) ou de limons (siltanes), des cutanes de fer (ferranes) ou de calcite (calcitanes). On distingue des cutanes de micrites* (cutanes calciques, calcitanes) et des cutanes de sparite* (crystallaria).

Cyanophycées : algues microscopiques bleues pouvant former des édifices calcaires appelés stromatolites.

Décantation : processus de sédimentation par densité des dépôts fins lors de l'inondation* d'un poljé ou d'une cavité, dans un milieu de faible énergie.

Diagenèse : lente transformation mécanique et chimique des sédiments en roches sédimentaires par enfouissement (compaction, augmentation de la température, cristallisation...). Les remplissages et les spéléothèmes* subissent une faible diagenèse ce qui renforce leur intérêt comme «boîte noire».

Dinoflagellés : végétaux marins ou lacustres, microscopiques et unicellulaires (plancton), entourés d'une coque siliceuse.

Dolmicrite ou dolomicrite : dolomie microcristalline (= micritique*).

Dolsparite : dolomie macrocristalline (= sparitique*).

Dryas : petites périodes de refroidissement se situant à la fin de la dernière glaciation et au début de l'Holocène. Le Dryas récent («Younger Dryas») est la dernière de ces périodes et se situe vers 10 000 ans BP.

Enaulique (structure) : arrangement du plasma* ou du ciment* dans des vides* ou des chenaux avec assez peu de contact avec les grains du squelette*.

Endokarst : ensemble du karst profond comprenant la zone noyée (ou phréatique*) et la zone dénoyée de percolation et de battement de la nappe (ou vadose*). L'endokarst enregistre les fluctuations de la nappe, le soutirage des sols (remplissages*) et les périodes de concrétionnement (spéléothèmes*).

Engrenés (cristaux) : structure de cristallisation dans les roches, les spéléothèmes ou les ciments dans laquelle les cristaux s'interpénètrent à la manière d'un puzzle.

Enregistreur : milieu assurant la sauvegarde des informations sur le fonctionnement de l'environnement* ; une dépression, un lac, un poljé, une cavité enregistrent un certain nombre de paramètres et assurent un transfert de l'information au cours du temps. Cette fonction «boîte noire» est un concept-opérateur pour toutes les études des paléo-environnements. Du fait de la rapidité de transfert et des faibles modifications (pas ou peu de diagenèse*) après le dépôt, les karsts profonds sont des enregistreurs remarquables de l'environnement.

Environnement (s.s.) : ensemble des données naturelles ou artificielles qui conditionnent la vie et la survie des espèces vivantes, dont l'homme.

Epikarst : tranche de karst qui est zone de transit et sous influence des systèmes pédologiques et végétaux.

Exokarst : karst de surface, visible hors des réseaux (dolines, poljés, ouvalas).

Epirogenèse : lent mouvement de soulèvement d'un continent ou d'un massif.

Fabrique (pétrofabrique ou microstructure) : constitution d'un matériau exprimé par la forme, la taille et l'arrangement des particules solides et des vides. On distingue plusieurs types de fabrique suivant l'importance de l'agrégation de la matrice* (voir matrice, texture et structure).

Fente : forme de retrait dans un matériau ; leur forme donne des indications à la fois sur la texture (contenu en argile), sur les processus (dessiccation / hydromorphie) et sur les étapes (fentes ramifiées indiquant plusieurs générations).

Ferrallitique (sol) : sol rouge, jaune ou violet tropical humide riche en fer et alumine, et pauvre en silice, pouvant évoluer en croûte dure (cuirasse ferrallitique). La plupart des sols ferrallitiques sont des paléosols car dans la zone tropicale humide actuelle ne se forment que des podzols tropicaux.

Ferrobactéries : voir bactéries.

Fersiallitique (sol) : sol rouge méditerranéen ou tropical sec à saisons contrastées riche en hydroxydes de fer et d'aluminium (ne donne pas de croûte). Les sols fersiallitiques des karsts sont toujours totalement décarbonatés et souvent ces fausses «terra rossa» ne sont pas des

reliques de la décarbonatation du calcaire, mais le reliquat de couvertures allochtones* digérées par le soutirage et l'évolution karstique.

Fibreux : voir ciment.

Figuré (élément) : se dit d'une unité reconnaissable à l'intérieur d'une autre par une différence dans l'assemblage des constituants, la présence ou la déficience d'un ou plusieurs éléments du plasma*. Les éléments figurés dépendent de l'échelle d'observation.

Fluvio-karst : désigne un relief associant des formes fluviales (vallées) et karstiques (dépressions).

Foudroyage : effondrement de la voûte d'une cavité naturelle ou d'une galerie de mine.

Fuki : légume (*Petasites japonicus* Miq.).

Fulviques (acides) : acides organiques présents dans les sols.

Géfurique (structure) : en micromorphologie*, éléments reliés par un ciment en pont (ex : ponts de calcite fibreuse dans une brèche)

Géosynclinal : fosse sous-marine qui, par serrage, donnerait une chaîne de montagne.

Géosystème : ensemble interconnecté des données naturelles physiques qui conditionnent la vie dans une unité de paysage. Le géosystème karstique comprend des compartiments (épikarst, endokarst), un amont (le massif) et un aval (piémont au delà de la resurgence) et il est en relation avec le fonctionnement de la couverture végétale et pédologique qui fournissent le CO₂, le niveau de base* qui conditionne le potentiel hydraulique etc...

Ginkgo : arbres chinois remontant à l'ère secondaire. La seule espèce encore vivante est le *Ginkgo biloba*.

Grain : un des constituants d'un sol ou d'un sédiment défini par sa taille et s'opposant à la matrice*. Dans les sols les grains constituent le squelette composé d'un ou plusieurs minéraux différents. Dans les roches calcaires sédimentaires on distingue différents types de clastes* : de roches (lithoclastes), d'organismes vivants (bioclastes), de matériel remanié (intraclastes), de déjections organiques ou de coprolithes (pellets).

Granoclassement : terme de granulométrie désignant la répartition de la taille des éléments par lits dans un sédiment.

Granulaire : voir ciment.

Grumeluse (texture) : texture d'un matériel (micrite* ou sol) dans lequel de petits amas très réguliers sombres sont présents. En général il s'agit soit de micrite fécale soit d'une agglutination par la matière organique* des éléments fins du sol.

Homométriques (éléments) : éléments ayant tous la même taille.

Hydromorphie : caractérise les lieux humides, par exemple les fonds de dépressions mal drainées (sols hydromorphes). Les horizons hydromorphes sont souvent caractérisés par une accumulation d'argiles et l'apparition des tâches de fer sous forme réduite (couleur : gris, bleu ou vert).

Hydropyre : légume (*Zizania latifolia* Turcz.).

Impluviomètre : désigne un réceptacle naturel (ex : dépression) qui enregistre le régime pluviométrique par le dépôt de sédiments ; en ce cas le taux de sédimentation est directement en relation avec les paramètres climatiques et le bilan évaporatoire du secteur.

Indicateur : éléments dans un sol ou un sédiment qui caractérisent les conditions exactes de fonctionnement du milieu. Les lits répétitifs de charbons de bois ou de cendres sont indicateurs de feux et d'incendies intentionnels. Il existe des indicateurs* spécifiques du fonctionnement climatique et des actions anthropiques. L'étude des indicateurs fiables est l'un des domaines de recherche en pleine expansion.

Indochinois (plissement) : orogénèse du Trias.

Inondation : phénomène de mise en eau d'un poljé ou d'une cavité qui permet la décantation* des sédiments fins contenus dans les eaux.

Isotrope : matériau présentant les mêmes propriétés physiques (et optiques) dans toutes les directions (le verre volcanique est isotrope, les cristaux de calcite ou de quartz sont anisotropes).

Konjac : type de taros (*Amorphophallus konjac* Koch.).

Eemien : période importante de réchauffement correspondant au dernier interglaciaire (vers 120 000 ans).

Lamines : système de sédimentation pelliculaire dans les dépôts de décantation. Les lamines sont souvent organisées en doublet qui caractérisent les régimes saisonniers de sédimentation. L'étude des lamines des remplissages* permet de caractériser les saisons lors de la mise en place du dépôt.

Limniques (dépôts) : caractérise les dépôts se formant dans un lac (la limnologie est l'étude des lacs).

Li Rouli : nom chinois d'une espèce de spéléo méridional en voie de disparition, aussi dénommé El Oxido dans les sierras mexicaines, ou La Rouille dans les karsts haut alpins.

Lublinite : cristaux de calcite en fines aiguilles qui caractérisent souvent les ciments vadose*.

Mâcres : plante aquatique cultivée (*Trapa bicornis* L. et *T. bispinosa* Roxb.).

Macrorestes : restes végétaux (tissus, graines, bois, phytolithaires*, charbon de bois* etc...) qui sont conservés dans les sols ou les remplissages et qui donnent des indications sur les plantes cultivées (carpologie), les végétaux (anthracologie*) et donc des indications à la fois climatique et de domestication des paysages par l'homme.

Matière organique : éléments décomposés d'organismes vivants (surtout végétaux) riches en carbone qui se forment à la surface du sol et donne un horizon d'humus. Bactéries* et microfaune contribuent par leur digestion à transformer la litière en humus et donc à la maturation de la m.o.. Les particules transitent ensuite dans les eaux et se retrouvent piégées dans les remplissages* et les spéléothèmes*.

Matrice (ou masse basale, masse de fond) : désigne le matériau fin qui remplit les interstices entre les grains et qui se dépose en même temps qu'eux. Une matrice est microcristalline ou granulaire, mais le terme est plutôt réservé aux micrites qui entourent les particules plus grossières. Le fond matriciel (s-matrix) se compose du squelette*, du plasma* et des vides* élémentaires.

Mélanisées (matières) : caractérise les matières organiques* brûlées dans un sol ; la mélanisation est une minéralisation de la matière organique et en particulier des humates de fer qui deviennent hydrofuges (repoussant l'eau) et stables.

Micritique (structure) : cristallisation très fine pour les roches carbonatées (cristaux de 1 à 4 microns) et par extension pour les spéléothèmes* (1 à 10 microns environ). On distingue 4 catégories de micrites : (1) des boues bioclastiques constituées de micro-fossiles, (2) des boues* ou des vases consolidées en matrice d'origine chimique, mécanique, biologique, biochimique ou physico-chimique, (3) des cristallisations de fines aiguilles d'aragonite,

(4) des plages formées par la «micritisation» de matériel initial plus grossier.

Microfacies : agencement microstructural faisant référence à un milieu ou à une dynamique de dépôt.

Micromorphologie : discipline d'analyse non destructive étudiant la structure et la morphologie des sols, des sédiments, des remplissages à l'échelle microscopique. La micromorphologie fait appel aux notions de microgéométrie dans l'espace et essaye de reconstituer à partir des échelles d'observations et des arrangements entre les éléments, les conditions du dépôt et les évolutions *in situ*.

Microséquence : succession de microfaciès ordonnés suivant la microstructure et pouvant se répéter ; les microséquences indiquent des successions ou des rythmes dans les conditions de dépôt.

Microstromatolitique : structure cristalline en touffes et bandes ondulées de certains concrétionnements karstiques due à une participation de microorganismes (algues, champignons, bactéries*). Les stromatolithes sont surtout formés par des algues calcaires et ces dernières peuvent piéger des éléments détritiques ou servir de support à la précipitation des carbonates de calcium.

Mogotes : reliefs karstiques résiduels désignant généralement les buttes karstiques des régions tropicales (mot originaire de Cuba, Sierra de Los Organos).

Morphopédologie : partie de la géomorphologie étudiant les sols en rapport avec l'organisation du relief (voir notion de catena). La morphopédologie intègre le fonctionnement colluvial du sol et les notions de chrono-catena (séquences de sol en profondeur) et de biocatena (relation sols-plantes).

Mosaïque : tissu agraire complexe en relation avec une parfaite connaissance des potentialités végétales et pédologiques et des conditions écologiques et climatiques.

Mousson : la mousson est un phénomène climatique dynamique saisonnier de franchissement du front intertropical (FIT) au-delà de l'équateur. La mousson tropicale malaise d'été est ainsi la pénétration de l'air océanique humide en Asie du Sud-Est et en Chine du sud. C'est ce phénomène qui étend la «zone tropicale» (s.l.) bien au-delà des limites intertropicales en Asie. La mousson d'été alterne avec une mousson d'hiver fabriquée par l'expansion de l'anticyclone centré sur le massif de l'Himalaya.

Munsell (code) : code couleur raisonné qui caractérise un sol ou un sédiment en intensité de teintes et en chroma. Les couleurs sont des indicateurs de composition chimique : la couleur rouge caractérise la présence de fer oxydé - hématite (le fer réduit étant marqué par des teintes grises, bleues ou vertes) ; le noir ou le gris, marquent la teneur en matière organique ; le blanc indique la teneur en roche calcaire ou en carbonates ; le jaune signifie la présence de limons ou de certains type de fer (goéthite).

Nagi : arbre fruitier (*Myrica rubra* S.).

Néogénèse : transformation chimique aboutissant à la formation d'un autre minéral.

Néolithique : période récente (depuis un peu plus de 10 000 ans) qui caractérise la domestication des paysages par les sociétés humaines, avec plusieurs avancées techniques caractéristiques : agriculture, arboriculture, élevage, artisanats, etc...

Néolithisation : phénomène de domestication des paysages et d'apparition d'une agriculture plus intensive qui remplace peu à peu les stades de chasse ou de cueillette.

Nitrates : sels de l'acide nitrique. Il existe des nitrates de soude ou de potasse naturels (guano des chauve-souris ou des oiseaux) ou artificiels (nitrates de chaux et nitrates d'ammoniaque). Les nitrates sont des engrais remarquables et sont utilisés pour fabriquer la poudre (salpêtre) ; c'est dire leur intérêt pour la survie des paysans des karsts chinois.

Nodules : éléments à limite nette, avec une ségrégation des composants qui le différencie du matériau encaissant et contenant des débris de squelette*. Les nodules sont souvent caractérisés par leur forme ramassée plutôt arrondie. Les nodules peuvent se former *in situ* (nodules orthiques, cas des nodules avec une limite floue ou halo glabulaire), être légèrement déplacés ou remaniés (nodules disorthiques) ou allochtones* (nodules allothiques).

Nutriments : aliments susceptibles d'être assimilés directement pour la faune ou les bactéries* dans un sol, un sédiment ou des eaux. On pense trop souvent que la nutrition de l'activité biologique est basée sur une consommation d'éléments en solution alors que les nutriments sont principalement solides (voir turbides et poussières).

Ooïdes : grain constitué d'un noyau et de plusieurs couches concentriques ou en pelures d'oignons (pisolithes ferrugineux ou oolithes calcaires des littoraux marins). Les oncolithes sont des ooïdes d'origine algale. Dans les sols les ooïdes sont des concrétions de croûtes zonaires* particulières. Les pisolithes vadose* ou perles des cavernes sont des ooïdes à croûte perlitique.

Opale : voir silice.

Païdza : millet archaïque (*Echinochloa frumentacea*).

Paléoclimatologie (paléoclimats) : discipline qui étudie les climats du passé à partir des enregistreurs* et des indicateurs* naturels. L'étude des carottes glaciaires ou océaniques a permis de faire un grand pas en ce domaine en permettant d'établir des courbes des paléotempératures avec les cycles de variation des isotopes de l'oxygène 18O/16O, des isotopes du plomb, du soufre, du carbone, etc... Actuellement les recherches s'orientent vers l'étude des paléoclimats enregistrés dans les sédiments continentaux. Les spéléothèmes* et les remplissages* sont les objets principaux de cette étude dans les karsts.

Paléopédologie : étude des anciens sols ou paléosols. Les vrais paléosols se distinguent des sols enterrés par la connaissance de leur durée d'évolution et la faible action de l'effet cumulatif du temps (sols des tiroirs intervolcaniques par exemple).

Paléokarst : terme qui s'applique aux karsts anciens colmatés.

Palissadique : un ciment palissadique est souvent sparitique ou macrosparitique, il est isopaque* et indicateur de fonctionnement phréatique*.

pCO2 : pression partielle en gaz carbonique (exprimée en %).

Pellet : terme anglais qui désigne une pelote fécale, boulette ou coprolithe de forme sphérique avec un mélange de micrite* et de matière organique*. Dans certains cas les pellets sont des pseudo-sables (argiles agglutinées par des sels ou un liant organique).

Panicum miliaceum : graminée domestiquée.

Pédofaune : faune située dans les sols qui contribue au turn over* à la maturation, à la transformation de la matière organique*, ainsi qu'à la remontée en surface de matières fines (cas des termites).

pH : échelle de 1 à 10 de mesure des interactions entre la solution et les constituants organo-minéraux d'un sol : l'acidité est caractérisée par un pH compris entre 2 et 6,5 et la basicité par un pH en général supérieur à 7.

Phréatique (zone) : partie profonde d'un sol, d'un sédiment ou d'un réseau karstique émergé dont la porosité* est occupée par l'eau de la nappe. Cette eau stagnante à faible vitesse de déplacement conduit à la formation de ciments de cristaux dressés perpendiculairement aux parois et de même taille dans toutes les directions (ciment isogranulaire ou isotrope* et isopaque*).

Phyllades : terme imprécis désignant une formation de schistes ardoisiers et argileux.

Phyllite : minéral du groupe des phyllosilicates (micas, chlorites) ; quelquefois désigne des schistes sériciteux* (vocabulaire anglo-saxon).

Phytokarst : les concrétionnements phytokarstiques se développent dans les entrées des cavités chinoises et contiennent des algues (croissance vers la lumière) ; les algues se développent au contact de la roche et sous une pellicule carbonatée qu'elles nourrissent ; elles attaquent la roche calcaire donnant des formes branchues caractéristiques.

Phytolites ou phytolithaires : petits éléments siliceux de plantes (tiges et feuilles) rencontrés dans les sols. Les tests siliceux sont souvent les seuls restes végétaux conservés dans les sols tropicaux très altérants et lessivants. Les phytolithaires sont de remarquables fournisseurs de silice* dans ces sols et ils contribuent certainement à la dynamique particulière de la silice, à l'acidité des nappes, à la pédogenèse ferrallitique* et à la néogenèse des silicates.

Plasma : partie mobilisable ou ayant été mobilisée et réorganisée et/ou concentrée par des processus pédologiques. Le plasma comprend tous les matériaux minéraux ou organiques, de la taille des colloïdes pouvant être solubles mais qui ne sont pas liés aux grains* du squelette*. Le plasma est caractérisée par des motifs de biréfringence ou des assemblages de biréfringence (b-fabric) qui sont quelquefois visibles en lumière polarisée.

Plasmique (structure) : structure amorphe de la matière minérale, sans orientation, visible au microscope sur des lames minces de roches, de spéléothèmes...

Plinthite : désigne un horizon argileux bariolé versicolore en tâches de plusieurs types de fer et de manganèse, caractéristique de certains sols tropicaux humides.

Polycyclique : matériau avec superposition ou imbrication de cycles se répétant : cycle saisonnier, cycle sédimentation / pédogenèse, cycle stromatolithique*, cycle glaciaire / interglaciaire, cycle mousson* humide / mousson sèche, etc...

Polygénique : matériau dont l'origine complexe ne peut s'expliquer que par la répétitivité de cycles ou de phases différentes.

Polyphasé : matériau qui a subi plusieurs processus avec chacun sa marque (pédogenèse, émigration, action du gel, évaporation, etc...).

Polysaccharides : type de sucres fabriqués par les racines. Les sucres servent à la cohésion des argiles et sont des nutriments bactériens

Porphyrique (distribution) : en micromorphologie (lame mince), éléments (grains, graviers...) noyés dans un ciment ; on parle d'espacement à pas simple, double... pour la distance séparant les éléments.

Poussières : éléments solides transportés par voie atmosphérique et alimentant en produits allochtones* les sols et les dépôts. Les volcans, les déserts (froids et chauds), les marges des grandes calottes glaciaires sont de grands fournisseurs de poussières. Les poussières sont aussi des indicateurs des pollutions urbaines ou de l'érosion des sols par déflation. De nombreux éléments géochimiques sont ainsi restitués aux océans par les continents et à d'autres zones climatiques (cas des carbonates, des lacs, des sels, etc...)

Progradation : pour un delta, avancée progressive vers le large par alluvionnement.

Protoculture : premier stade de culture de plantes chez les populations de la Préhistoire.

Pseudomorphose : remplacement lors de la diagenèse* d'un minéral ou d'une structure organique originel par un minéral nouveau (par exemple, pseudomorphose de cellules végétales par de la calcite ou de la silice, remplacement de cristaux de dolomie par de la calcite ou de la sidérite*).

Quartz : cristal commun de SiO₂ qui compose bon nombre de roches sédimentaires (grès, cristallines (granites, quartzites) ou métamorphiques (schistes cristallins). Le quartz peut recristalliser lors de l'altération de roches et donner des croûtes siliceuses (microquartzites).

Ramie : plante textile (*Bahmeria nivea* (L.) Gaudich. et *B. tenacissima* Gaud.).

Ray, shifting cultivation ou milpa : agriculture sur brûlis.

Refuge : zone de survie* qui sert de forteresse naturelle pendant les périodes d'insécurité (guerres, troubles sociaux). Les karsts-refuges sont des entités naturelles très spécifiques, avec une forte identité. Ils ont permis le développement d'un irrédentisme socio-culturel très puissant, une sorte d'endémisme.

Revêtement : voir cutanes, enduit, voile.

Rhexistasie : phase de déséquilibre (climatique et/ou tectonique) provoquant la destruction du couvert végétal et des sols (par opposition à biostasie = équilibre de la végétation et des sols). Les périodes de rhexistasie sont surtout caractérisées dans les karsts par des remplissages alors que les phases de concrétionnement sont plus spécifiques de biostasie.

Ripisylve : bordure boisée des cours d'eau ; cette usine végétale possède un hyper-système racinaire qui sert de fixateur, de filtreur et d'épurateur pour l'ensemble des paysages amont. La suppression des ripisylves dans les paysages ruraux modernes a donc des conséquences catastrophiques dans ces fonctions épuratrices pour l'ensemble des éléments qui transitent dans l'environnement.

«Rougier» : terme peu employé désignant des sédiments rouges riches en hydroxydes de fer et d'aluminium provenant de l'altération de roches silicatées.

Saccharoïde (structure) : se dit de cristaux ayant la structure du sucre cristallisé (type de structure macrocristalline).

Séricite : très petits cristaux de mica blanc en paillettes.

Shales : roche argileuse ou marneuse (terme anglais).

Sidérite ou sidérose : carbonate FeCO₃ appelé fer spathique, il est souvent présent en pseudomorphose* lors de l'altération des roches dolomitiques sous une couverture silico-ferrugineuse.

Silexites : terme peu précis désignant une roche siliceuse en terrain sédimentaire.

Silex : voir silice.

Silice : SiO₂ présent sous forme cristallisée de quartz, microtrallisée d'opale* ou de calcédoine ou de silice ± amorphe. La silice entre dans la composition de très nombreuses roches sédimentaires, métamorphiques, cristallines ou volcaniques et son rôle est fondamental dans la dynamique de la fabrication des squelettes vivants. Dans les sols tropicaux la silice participe abondamment à la néogenèse des silicates et à l'acidité des profils.

Silts : terme anglais désignant les limons fins (4 à 62 microns).

Silt vadose : sédiment interne carbonaté de la dimension des limons et témoin d'émergence dans les récifs, mais il est présent dans des milieux supratidaux (au-dessus des marées), voire continentaux. Dans les remplissages des cavités il est assez typique de la zone de battement de la nappe à la limite de la zone noyée et dans certaines conduites forcées. Par extension et abus terminologique, ce terme est utilisé par les karstologues et les spéléologues pour désigner des silts des conduites forcées.

Sinien : Etage chinois du Précambrien supérieur (Protérozoïque supérieur) allant de 850 à 600-570 millions d'années.

Soufre : élément naturel présent sous forme oxydée et entrant dans la composition de nombreux corps (sulfates et sulfures) dont le gypse et la pyrite. Il caractérise les karsts issus de roches marines ou de marécages et sa remobilisation dans les eaux doit beaucoup à l'altération de la pyrite ou à l'action des bactéries par réduction du gypse. Présent dans des veines de charbon sulfureux, il est l'un des contaminants majeurs en aérosols et en poussières et provoque des irritations des muqueuses respiratoires.

Sparitique : structure de cristallisation à grands cristaux de calcite ou d'aragonite translucides ou transparents pour les roches carbonatées (plus de 20 microns) et par extension pour les spéléothèmes (10-20 à plusieurs centaines de microns). La sparite peut se présenter sous forme granulaire*, isolée, drusique, fibreuse* ou palissadique*. C'est essentiellement un ciment* initial (orthosparite), mais il existe des recristallisations (pseudosparite). La microsparite désigne des cristaux compris entre 5 et 20 µm.

Spéléothèmes : ensemble des concrétionnements souterrains (terme d'origine anglaise). Les spéléothèmes sont des enregistreurs remarquables des conditions hydriques et de la pCO₂ qui règnent dans les cavités. On distingue des stalagmites / stalactites, des coulées pariétales, des planchers stalagmitiques ou de gours, des perles de cavernes et différents types de fistuleuses et calcons. L'étude raisonnée des spéléothèmes permet de mettre en évidence des cycles et des microséquences qui témoignent de la saisonnalité et des équilibres du karst.

Squelettanes : en micromorphologie, structure formée uniquement par des éléments de squelette.

Squelette (ou grains* du 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 microbréchique). Les grains du squelette d'un sol sont des grains individuels, assez stables, mais facilement déplacés, concentrés, redistribués par les processus pédogénétiques, inclus les grains minéraux et les éléments résistants siliceux ou organiques de taille supérieure aux colloïdes.

Strié (micro-strié) : organisation microlitée par les effets du gel dans un sol ou un sédiment. Les micro-figures sont des tris et des granoclasses* liés aux phénomènes périglaciaires.

Striotubule : canal radiaire ou galerie remplis par du matériel pédologique à squelette* et plasma* sans agrégats mais à structure de base montrant un arrangement directionnel et orienté en relation avec les parois. Cet arrangement est semi-elliptique, avec une structure* en verre de montre, les parois étant grossièrement tangentes à la demi-ellipse formée du squelette et du plasma.

Stromatolites : dépôts de calcaires en mamelons formés par des algues bleues d'origine marines (cyanophycées). Les premiers stromatolites connus ont plusieurs milliards d'années. Il existe des stromato-cutanes ou enduits stromatolithiques dans les fentes de dessiccation, traces de racines élargies.

Structure : organisation figurée des unités élémentaires d'un horizon de sol ou de sédiment qui est marquée par des ensembles géométriques souvent visibles à l'œil nu. On distingue une structure en plaquettes ou polyhédrique qui indique la teneur en argiles et des structures motteuses ou grumeleuses indicatrices des teneurs en matière organique.

Sulfato-bactéries : voir bactéries.

Surimposée (vallée) : vallée ou canyon dont l'incision verticale s'effectue à partir d'une couverture imperméable (les processus de surimposition et d'antécédence peuvent être complémentaires).

Survie : ensemble des stratégies d'adaptation au milieu dans des conditions extrêmes. Dans le monde rural, la survie procède d'une utilisation parfaite des conditions du milieu et de l'invention de techniques élaborées des ressources naturelles. Les karsts de montagne sont des milieux confinés de survie exceptionnels et sont souvent les témoins d'une longue histoire enclavée.

Tardiglaciaire : phase terminale de la dernière glaciation caractérisée par la fonte des glaciers.

Tephra (téphrochronologie) : les tephra sont des éléments volcaniques éjectés lors des éruptions paroxysmales (minéraux lourds ou mésostase / verre volcanique caractéristiques de certains appareils, comme autant de signatures géochimiques et minéralogiques). Le fonctionnement des grandes calderas, éruptions pliniennes ou péleennes, volcanisme andésitique ou épisodes épicalstiques d'édification des volcans boucliers ou des strato-volcans engendrent l'expulsion distale (depuis plusieurs centaines voire milliers de km) de plusieurs km³ de produits dispersés sur de grandes surfaces. La téphrochronologie est la discipline qui étudie ces éjecta comme traceurs régionaux. Outre la fonction chronologique d'échelle régionale reproductible, la téphrochronologie permet de définir le fonctionnement des masses d'air durant une période donnée et de fournir des précisions sur le fonctionnement des saisons, des vents et des moussons.

Texture : mode d'agencement des composants minéraux élémentaires dans un sol ou un sédiment. A l'échelle de l'échantillon la texture est souvent synonyme de granulométrie, par exemple texture argileuse, limoneuse, sableuse, limono-argileuse, sablo-argileuse, argilo-sableuse, sablo-limoneuse, etc...

Théardite : minéral sulfaté Na₂ SO₄ différent du gypse. SO₄

Thermocline : limite nette de température dans un milieu aquatique (lac, mer...).

Tillite : Dépôt morainique ou fluvio-glaciaire ancien transformé en conglomérat, grès varvés (tillites du Sinien)...

Turbide : composant solide fin (argileux, limoneux) contenu dans les eaux. La charge turbide est un indicateur des déstabilisations du milieu karstique durant les périodes d'agression climatique ou anthropique (rhexistasie climatique ou sociale). Les turbides sédimentent dans les poljés ou les cavités pour engendrer des remplissages. Les turbides renseignent sur l'état de la couverture végétale, l'état de la stabilité des sols et l'état de la pollution. De nombreux éléments solides sont composés de charbon de bois, de reliquats de

sols ou de tissus végétaux et de particules métalliques (billes de carbone émis par les voitures, déchets des industries).

Turn over : fonction de renouvellement des particules minérales ou organiques dans les horizons superficiels d'un sol. Cette fonction est principalement liée à l'activité de la pédofaune. L'enfouissement des horizons de surface dans les sols tropicaux est ainsi surtout due à l'activité de la faune du sol.

Usure : l'usure est un paramètre morphoscopique indicateur de mode de transport. Combinée à l'étude des états de surface, la morphoscopie est un précieux apport aux études sédimentaires : par exemple les grains non usés indiquent un faible transport sur une courte distance ou avec des agents faiblement actifs, les grains ronds mats, un agent éolien, les grains émoussés luisants, un transport fluvial ou marin, les grains subémoussés picotés-luisants une action chimique dans les profils.

Vadoses (zone) : partie d'un sol ou d'un sédiment émergée comprise entre la surface en contact avec l'atmosphère et le toit de la nappe phréatique. L'eau circulante détermine la formation de ciments stalagmitiques et de concrétions (ciment orienté ou anisotrope*). La zone vadose dans un karst est souvent définie comme la zone de formation des spéléothèmes.

Varisque (orogène) : importantes phases de plissement au Paléozoïque supérieur correspondant à l'orogène hercynienne.

Varvés (sédiments) : caractérisent des dépôts à structure rythmée, les couples de lamines ayant généralement une signification annuelle (alternance saisonnière).

Vertique (structure) : horizon d'engorgement dans un horizon pédologique, avec accumulation d'argile et apparition de formes de contraintes (stress cutanes) liées aux frictions internes. Un vertisol est un sol situé à l'aval des coteaux*, en milieu confiné ou

engorgé, riche en argiles gonflantes (montmorillonites).

Vide : des grains entassés laissent des vides qui conditionnent la porosité et la perméabilité du sol ou du sédiment. En plus des vides de tassement il existe des cavités et des fentes*. Un vide peut être un vide d'entassement, une bulle de gaz, un vide de dissolution. Les vides constituent un réseau pour la circulation de l'air et de l'eau et leur genèse renseigne sur la mise en place du matériau et son évolution. Les évolutions postérieures peuvent aussi réduire la taille et la morphologie des vides : dessiccation, tassement, pression / dissolution, etc...

Voile : fine pellicule superficielle d'algues filamenteuses ou unicellulaires à la surface d'un sol, d'une lamelle* ou d'une organisation pelliculaire superficielle (O.P.S.). Les voiles peuvent piéger des sédiments (poussières ou turbides) et sont des bio-indicateurs de fonctionnement de surface.

Wampi : arbre fruitier (*Clausena lansium* Skeels.).

Xénomorphe : cristal de forme quelconque et n'ayant aucune face cristalline décelable. En général les cristaux xénomorphes ont subi des contraintes (pression, manque de place ou mauvaises conditions géochimiques de cristallisation).

Yanshan (tectonique de) : orogène polyphasée du Jurassique à l'Eocène responsable des principales structures plissées des karsts de Chine du Sud et du Centre.

Zonaire (ciment ou croûte) : horizon de croûte laminaire, avec de fines laminations de micrites de teinte variable. L'origine de la croûte zonaire est superficielle et attribuée à la calcification d'un tapis algo-bactérien stromatolithique. Lorsque des sols ou des sédiments recouvrent ces croûtes, ils sont colluvionés : en aucun cas la croûte représente un horizon K de sol (horizon d'accumulation de carbonates dans un profil).

Bibliographie

AKAZAWA T., 1990 - Les premiers riziculteurs du Japon. *La Recherche*, n° 218, pp. 142-148.

Anonyme 92 IFPF. ZHANGJIAJIE HUNAN - 1992 - Publication de la Province de Shangzhi (Hunan), 18 p.

Anonyme HEFENG TODAY - 1992 - Publication de la Province de Hefeng (Hubei), 37 p.

Anonyme HUAYI PUBLISHING HOUSE - 1988 - The Tianzi Mountains. *Publ. de la Province de Dayong (Hunan)*, 18 p.

AUBERT CL., 1989 - Décollectivisation agricole : retour du dynamisme et des disparités. *In* : L'état de la Chine. GENTELLE P. (Dr.). *Ed. La Découverte, Paris*, 454 p., pp. 325-328.

AUDRA (Ph.), 1987 - Le karst du Guizhou : approche géomorphologique d'un karst chinois. *Mémoire de maîtrise*, 122 p., Inst. Géographie Alpine, Grenoble.

BAI SHOUYI, 1988 - Précis d'Histoire de Chine. *Editions en langues étrangères, Beijing*, 585 p..

BAI SHOUYI, 1993 - Précis d'Histoire de Chine. 1919-1949. *Editions en langues étrangères, Beijing*, 381 p.

BARBARY (J.-P.), MAIRE (R.), ZHANG SHOUYUE et al. - 1991 - GEBIHE 89 Karst de Chine. *Karstologia mémoires*, n°4, 232 p.

BARBOUR (G.B.) - 1934 - Analysis of Lushan glaciation problem. *Bull. Geol. Soc. China*, vol. 13, 4, p. 649-656.

BERGERE M.C. 1989 - La République populaire de Chine de 1949 à nos jours. *A. Colin, Paris*, 331 p.

BLUNDEN (C.) et ELVIN (M.) - 1983 - Cultural atlas of China. *Phaidon, Oxford*, 237 p.

BONAVIA (J.) - 1985 - A guide to the Yangzi River. 192 p., *China Guide Series Limited, Hong Kong*.

BOZAN J., XUNZHENG Sh. et HUA H., 1985 - Histoire générale de la Chine. *Editions en langues étrangères, Beijing*, 293 p..

BRITISH CAVE RESEARCH ASSOCIATION - 1990 - Caves of Guangxi, China. *Cave Science*, vol. 17, n° 2.

BUCHANAN K., 1973 - L'espace chinois. Ses transformations des origines à Mao Zedong. *A. Colin, Paris*, 351 p..

BULL (P.A.), YUANDAOXIAN and HU MENGJU - 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.

CAI Z. et SIGWALT P., 1993 - Le défi démographique chinois. *Bull. Assoc. Géogr. Franç., Paris*, 2, pp. 150-165.

CAI ZONGXIA, MAIRE (R.), YANG WENHENG - 1993 - Le géographe chinois Xu Xiake un précurseur de la karstologie et de la spéléologie. *Karstologia*, n° 21, p. 43 à 50.

CAMBESSEDES (O.) - 1990 - Atlaseco de poche, édition 1990 (atlas économique mondial). *Ed. du Sériail*, 760 p. (Chine : p. 174-180).

CANNON T. et JENKINS A. (Ed.) - 1992 - The geography of contemporary China (The impact of Deng Xiaoping's decade). *Routledge, London and New York*, 316 p.

CARTIER M., 1989 - L'histoire de la population. *In* : L'état de la Chine. GENTELLE P. (Dr.). *Ed. La Découverte, Paris*, 454 p., pp. 42-43.

CASTANY (G.) et RICOUR (J.) - 1975 - Compte rendu d'un voyage en Chine (12-28/10/75). Rapport 76 DRE 001, *BRGM, Orléans*.

CHANG K.C., 1981 - The affluent foragers in the coastal areas of China. *In* : KOYAMA S. et THOMAS D.H. (Ed.). *Affluent Foragers : Pacific coasts East and West. National Museum of Ethnology, Osaka*.

CHEN CHEN-SIANG - 1984 - China : essays on geography. *Joint Publ. Co., Hongkong*, 379 p.

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 et 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. *China Handbook Series, Foreign Languages Press, Beijing*, 260 p.

COTTERELL (A.) - 1988 - China : a concise cultural history. *John Murray, London*, 339 p.

COUR (P.) - 1974 - Nouvelles techniques de détection des flux et des retombées polliniques : étude de la sédimentation des pollens et des spores à la surface du sol. *Pollen et Spores*, 16, n° 1, p. 103-141.

DANGEARD P., 1933 - Traité d'Algologie. Introduction à la biologie et à la systématique des algues. *Encyclopédie biologique, XI, Ed. Paul LECHEVALIER, Paris*, 441 p..

DARS (J.) trad. - 1993 - Xu Xiake, Randonnées aux Sites Sublimes. Traduit du chinois et annoté, *Connaissance de l'Orient, coll. UNESCO d'oeuvre représentatives, Gallimard*, 391 p.

DESPREUX C., 1989 - Une médecine traditionnelle encore bien vivante. *In* : L'état de la Chine. GENTELLE P. (Dr.). *Ed. La Découverte, Paris*, 454 p., pp. 164-166.

DREGE J.P., 1989 - Marco Polo et la route de la soie. *Découvertes Gallimard, Paris*, n° 110, 192 p.

DROGUE Cl. et BIDAUX P., 1992 - Structural and hydrogeological origin of tower karst in southern China (Lijiang plain in the Guilin region). *Z. Geomorph., Berlin-Stuttgart*, N.F., 36, 1, pp. 25-36.

DUMONT R., 1976 - Chine, la révolution culturelle. *Seuil, Paris*, 220 p.

DUSAR (M.) et 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)

EK (C.), GEWELT (M.) et ZHANG SHOUYUE - 1989 - Carbon dioxide content of cave sediment sand, cave air in China. *Proceedings of 10th Intern. Congress Speleol., Budapest*, p. 63-64.

ELISSEEFF (D. et V.) - 1979 - La civilisation de la Chine classique. *Arthaud*, 629 p.

ELISSEEFF V. et ELISSEEFF D., 1987 - La civilisation de la Chine classique. *Arthaud, Paris*, 504 p.

ETIENNE G., 1974 - La voie chinoise. La longue marche de l'économie 1949-1974. *PUF, Paris. IEDES coll. Tiers Monde*, 357 p.

- 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. et 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., China Caves Project*, 32 p.
- FOGG (T.) et al. - 1989 - The Guangxi Expedition, China Caves Project 1988. *Caves and Caving*, 40, p. 4-9.
- FOREIGN LANGUAGES PRESS - 1989 - Atlas of the People's Republic of China. *Foreign Languages Press, China Cartogr. Publ. House, Beijing*, 114 p.
- FULLARD H. (Ed.), 1968 - China in maps. *George Philip & Son, London*, 25 p.
- GANTER (J.) - 1989 - Preliminary impressions of maps 4.2. *Compass and tape, Quarterly Newsletter (Huntsville : Survey and Cartography Section of the NSS)*, vol. 6, n°4, p. 28.
- GENTELLE P., 1974 - La Chine. *PUF, Paris*, 270 p..
- GENTELLE P., 1989 - L'état de la Chine. *Ed. La Découverte, Paris*, 454 p.
- 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 and 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.
- GOUMY, 1947 - Les légumes. *Traité complet de culture potagère. Manufrance, St-Etienne Ed.* 232 p..
- GOUROU P., 1984 - Riz et civilisation. *Fayard, Paris*, 299 p.
- GRANET M., 1988 - La pensée chinoise. *Albin Michel, Paris*, 568 p..
- GRANGEREAU (Ph.) - 1989 - La course à la consommation. In : *L'état de la Chine, sous la direct. de P. Gentelle, Ed. La découverte, Paris*, p. 140-141.
- GROUSSET R., 1994 - Histoire de la Chine. *Payot, Paris*, 352 p..
- GUILAINE J., 1989 - La Préhistoire d'un continent à l'autre. *Larousse. coll. Essentiels, Paris*, 288 p., pp. 11, 12-13, 124-125.
- HANSHAOGONG, 1991 - Femme, femme, femme. *Ed. Philippe PICQUIER*, 123 p.
- HARLAN J.R., 1987 - Les plantes cultivées et l'homme. Ch. 10 : Le centre chinois. *PUF, CILF, Paris*, pp. 253-271.
- HAUDRICOURT A.G et HEDIN L., 1987 - L'Homme et les plantes cultivées. *Ed. A.M. METAILIE, Paris*, 281 p., pp. 170-180.
- HELLER (M.) - 1983 - Toporobot l'ordinateur au service du spéléologue cartographe / Hölhenkartographie mit Hilfe des computers. *Stalactite (Neuchâtel), Société Suisse de Spéléologie*, (1), p. 9-21
- HERAUD-PINA (M.A.), 1995 - Etude de géographie physique de la péninsule du Yucatan (Mexique). *Thèse, Institut de Géographie, Univ. de Bordeaux 3*.
- HIGHAM C.F.W., 1989 - La civilisation du riz en Asie du Sud-Est. *La Recherche*, n° 207, pp. 178-186.
- HO PING TI, 1959 - Studies on the Population of China 1368-1953. *Cambridge, Massachusset.*
- HOLZMANN (M.) - 1989 - La gastronomie, art et passion. In : "L'état de la Chine", sous la direct. de P. Gentelle, *Ed. La découverte, Paris*, p. 138-140.
- HUA JUEMING - 1983 - Founding. In : «Ancient china's technology and science», *Foreign Languages Press, Beijing*, p. 408-418.
- HUA Y., 1994 - Vivre. *Libre de Poche, Paris*, 224 p.
- HUDELLOT Cl., 1993 - La longue marche vers la Chine moderne. *Découvertes Gallimard, Paris*, 176 p..
- IAN D BAREN - 1988 - Background to modern chinese speleology. In : "SOUTH CHINA CAVES", p. 48-51, Information on the caves and Karst of South China and a report on the 1988 joint expedition between The Institute of Karst Geology, the Speleological Society of South China Normal University and the Cave Research Foundation, ed. by Rondal Rex Bridgemon and Karen Bradley Lindsley, 62 p (en anglais)
- INSTITUTE OF GEOLOGY (Acad. Sinica) - 1989 - Advances in geoscience. *Contributions to 28th International Geological Congress, Washington (july 1989)*, China Ocean Press, Beijing, 434 p.
- INSTITUTE OF THE HISTORY OF NATURAL SCIENCES - 1983 - Ancient china's technology and science. *China Knowledge Series, Foreign Languages Press, Beijing*, 632 p.
- KOVDA V.A., 1960 - Soils and Natural Environments of China. *U.S. Joint Publications, Research Service, Washington*.
- KRUMBEIN W.E., 1979 - Calcification by Bacteria and Algae. In : *Biogeochemical Cycling of Mineral-Forming Elements. TRUDINGER P.A. & SWAINE D.J., Studies in Environmental Science 3, Elsevier, Amsterdam*, pp. 47-68.
- LARIVIERE J.P. et SIGWALT P., 1991 - La Chine. *Masson, Paris*, 316 p.
- LE BRAS H., 1982 - Les quatre politiques démographiques du président Mao. *La Recherche*, 13, n° 139, pp. 1468-1469.
- LECRIVAIN Ph., 1991 - Pour une plus grande gloire de Dieu. Les missions jésuites. *Découvertes Gallimard, Paris*, n° 110, 176 p.
- 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.
- LINYUSHI 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 (éd.) - 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.) - 1990 - La haute montagne calcaire (karsts, cavités, remplissages, Quaternaire, paléoclimats). *Karstologia Mémoires*, n° 3, 731 p.
- 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.), POMEL (S.) et SALOMON (J.-N.) ed. - 1994 - Enregistreurs et Indicateurs de l'Evolution de l'Environnement en Zone Tropicale. *Presses Universitaires de Bordeaux*, 492 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, ed. - 1990 - Teng Long Dong : the longest cave of China. *Report on the first belgian-chinese speleological exped., 1988, Belgian-Chinese Karst and Caves Assoc.*, 46 p.
- MEI ZHENGXING et YAN JINGMIN - 1985 - A preliminary study on cave pearl. *Journal of Guizhou Teachers University*, p. 23-32 (en chinois).
- METAILIE G. 1989 - Des plantes et des hommes. In : L'état de la Chine. GENTELLE P. (Dr.). *Ed. La Découverte, Paris*, 454 p., pp. 62-64.
- METAILIE G., 1992 - Plantes américaines ou plantes chinoises ? Les Plantes américaines à la conquête du monde. *Cahier Outre-Mer, Univ. Bordeaux*, n° 179-180, pp. 408-416.
- MILLS (J.P.) - 1985 - Petrography of selected speleothems of carbonate caverns. *Ph. D., Univ. Kansas*, 47 p.
- MORGENSTERN M., FORSTER-LATSCH H. et M.-L., BEPLER-LIE M.L. et GROBE-HAGEL K., 1991 - La Médecine. In : Le grand guide de la Chine. *Bibliothèque du Voyageur, Gallimard, Paris*, pp.152-157.
- 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.
- PEZEU-MASSABUAU J., 1972 - La Chine. *A. Colin, Paris*, 336 p..
- PHAM KHANG - 1991 - Présentation des karsts du Vietnam. *Karstologia*, 18. Poetry and Prose of Han, Wei and Six Dynasties. 1986 - *Panda Books, Beijing*, 231 p.
- Poetry and Prose of the Tang and Song. 1990 - *Panda Books, Beijing*, 310 p.
- POLO Marco, 1980 - Le deviseement du monde. Le livre des Merveilles. *François Maspéro, La découverte, Paris*, 2 tomes, 557 p.
- POU SONG-LING, 1993 - Le studio des loisirs. *Ed. Sand, Paris*, 317 p.
- 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.
- ROLLEFSON G.O, 1994 - Le Néolithique de la vallée du Jourdain. *La Recherche*, 25, n° 271, pp. 1254-1259.
- ROUX J.-P., 1993 - Histoire de l'Empire Mongol. *Fayard, Paris*, 597 p.
- 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.

Chapitre 3 : LES CAVITÉS DU COMTÉ DE XIANFENG	72
Introduction	73
I. Les cavités du synclinal de Dajichang	75
1. LE FLANC SE DU SYNCLINAL	75
A. GROTTTE FORTIFIÉE	75
B. HONGSHEPAN / LUOSHUIDONG	75
C. DISHUIDONG	77
D. LAOXIAODONG	79
E. YANXIAODONG	79
2. LE FLANC NW DU SYNCLINAL	81
A. YASHANWANDONG	81
B. LANJIADONG	82
C. CHANGDONG	82
D. QINGSHUIPING	83
II. L'antichlinal de Xianfeng	83
A. BAILONGDONG	83
Conclusion :	84
Chapitre 4 : LES CAVITÉS DU COMTÉ DE SANGZHI	85
Introduction	86
I. Les cavités du Permien	87
A. GUANYINDONG	87
B. BANBIANQIU	88
II. Les cavités du Trias	88
A. XIAODONG 2	88
B. SHUANGDONG / ZHANGJIADONG	89
C. XIADONG	92
D. WUJIAWANDONG	92
E. LIANGFENG DONG	92
Deuxième partie : ÉVOLUTION DES KARSTS DE MONTAGNE DE CHINE CENTRALE ..	95
Chapitre 5 : QUALITÉ DES EAUX KARSTIQUES	96
I. Qualité chimique et bactériologique des eaux karstiques	97
A. DES EAUX TYPIQUEMENT KARSTIQUES	97
B. LES ÉQUILIBRES CALCO-CARBONIQUES	97
C. CHLORURES, SODIUM ET POTASSIUM	98
D. LES SULFATES ET LES MINES DE CHARBON	98
E. UNE AGRICULTURE SANS NITRATES	99
F. POLLUTION BACTÉRIENNE PAR LES EAUX USÉES	99
G. LES PLUIES ACIDES	100
Chapitre 6 : RELATIONS ENTRE LES REMPLISSAGES SOUTERRAINS ET LA DÉSTABILISATION DE L'ENVIRONNEMENT	101
Introduction	103
I. Les remplissages ferrugineux rouges anciens liés à une rupture paléoclimatique	103
A. LES REMPLISSAGES DES PALÉOCAVITÉS : INDICATEURS DES VARIATIONS SAISONNIÈRES DEPUIS LE MIOCÈNE	103
1. Exemple de paléocavité au-dessus de Donghe (Wufeng)	103
2. Exemple de la grotte-tunnel perchée de Chuandong (Hefeng)	104
3. Les remplissages de Liangfengdong (Sangzhi, Hunan)	105
B. LA COUPE DES VARVES ROUGES : RÉSEAU FOSSILE DE DADONG (WUFENG)	108
1. Description litho-stratigraphique de la coupe	108
2. Analyse séquentielle, granulométrie et étude micromorphologique	108
3. Ages U/Th, paléomagnétisme et tephrochronologie	111
4. Interprétation paléoclimatique	112
C. LES DÉPÔTS À OSSEMENTS DE TIANKENGCAO (WUFENG)	112
II. Les remplissages récents à limons marrons et charbons de bois : rôle du climat et de l'homme	113
A. COUPE DE LA SALLE DES VARVES MARRONS DE DADONG (WUFENG, HUBEI)	113
1. Description de la coupe	113
2. Description micromorphologique et analyse des lamines	113
3. Datation C14 de la base de la coupe (bois) et corrélation U/Th avec le réseau de Dadong	115
4. Signification générale	117
B. DÉPÔTS À CHARBONS DE BOIS DE CHUSHUIDONG (HEFENG, HUBEI)	118
C. VITESSE DE CONCRÉTIONNEMENT HOLOCÈNE ET FONCTIONNEMENT DE LA SAISONNALITÉ : ANTHROPIISATION PRÉCOCE ET PALÉOOUSSONS	118
Conclusions : le rôle de l'homme et du climat	120
Chapitre 7 : CLIMAT, MORPHOLOGIE ET GENÈSE DES CAVITÉS	121
Introduction	123
I. Caractères du climat souterrain	123
II. Les types de cavités	123
A. LES PERTES DE POLJÉS	124
1. Les systèmes pertes / résurgences des poljés étagés (Yanziping)	124
2. Les grottes-pertes temporaires de poljé	124

3. Les gouffres-perdes temporaires de poljés et de vallées	125
B. LES PERTES DE VALLÉE	125
1. Les gouffres-perdes temporaires et actifs	125
2. Les grottes-perdes temporaires de vallée aveugle	126
C. LES GROTTES-RÉSURGENCES DE VALLÉE	126
D. LES Puits d'EFFONDREMENT	126
E. LES GROTTES ENTIÈREMENT FOSSILES	126
III. Genèse des systèmes karstiques	127
A. ÉVOLUTION DES SYSTÈMES KARSTIQUES ACTUELS	127
B. GROTTES PERCHÉES ET DÉCAPITÉES PAR L'ÉROSION	128
C. EXEMPLE D'ÉVOLUTION GÉNÉRALE DES RÉSEAUX DANS LES KARSTS DE WUFENG ET DE HEFENG	129
Conclusion	129

Chapitre 8 : FORMATION D'UN KARST CONIQUE A PARTIR DE LA COUVERTURE DE FLYSCH130

Introduction	132
I. Les stades morphologiques observés sur le terrain	132
A. LE STADE FLUVIATILE SUR FLYSCH	132
B. LE STADE FLUVIO-KARSTIQUE SUR FLYSCH ET CALCAIRE	132
C. LE STADE KARST CONIQUE SUR CALCAIRE	133
II. Interprétation générale	133
A. MICROPÉTROGRAPHIE DE SÉQUENCES D'ALTÉRATION	134
B. EXEMPLES DE CATENA D'ALTÉRATIONS	134
1. La catena d'altération à l'amont de Tiankengcao (Wufeng)	134
2. Le profil d'altération au-dessus de Dadong	135
3. Le rôle des altérites silico-ferrugineuses dans la karstification et les effets des paléoclimats	137
C. LE RÔLE INTERDÉPENDANT DE LA LITHOLOGIE ET DU BIOCLIMAT	137
D. AGE DES KARSTS CONIQUES DU HUBEI ET DU HUNAN	139
1. Les marqueurs de l'altération crétacé-éocène et la catena du Parc de Zhangjiajie (Sangzhi, Hunan)	139
2. Le rôle de la surrection néogène	141
Conclusion	141

Chapitre 9 : ÉVOLUTION MORPHOLOGIQUE DES KARSTS DU HUBEI

Introduction	144
I. La problématique de la géomorphologie	144
II. Le rôle de la tectonique, du décapage des couvertures et des conditions édaphiques	145
A. RÔLE DES PHASES TECTONIQUES ET DES APLANISSEMENTS KARSTIQUES	145
B. LE RÔLE DU FLUVIO-KARST	145
C. LA GENÈSE DES BASSINS ROUGES	145
D. LE RÔLE DES CONDITIONS ÉDAPHIQUES ET DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES	145
III. Évolution des karsts subtropicaux montagnards du Hubei	146
A. LA ZONE ANTICLINALE DE CHANGLEPING (WUFENG)	148
B. LA RÉGION DE HEFENG	149
Conclusion	150

Troisième partie : L'HOMME ET L'ENVIRONNEMENT KARSTIQUE EN CHINE CENTRALE

Chapitre 10 : LES SOLS ET LES REMPLISSAGES DES POLJÉS MONTAGNARDS

Introduction	154
I. Les couvertures végétales et pédologiques récentes	154
A. L'HISTOIRE DES COUVERTURES VÉGÉTALES ET PÉDOLOGIQUES	154
B. LES ÉCHANGES SOLS / PLANTES ET LES RELATIONS ENTRE L'EXOKARST ET L'ENDOKARST	155
1. Le fonctionnement pédologique dans l'épikarst	155
2. Le fonctionnement pédologique exokarst / endokarst	155
II. Les sols des montagnes du Hubei et du Hunan	156
A. LES SOLS DU COMTÉ DE SANGZHI (HUNAN) :	156
B. LES SOLS DE COMTÉ DE WUFENG (HUBEI)	157
1. Morphopédologie à basse altitude et en altitude	157
2. Les sols des karsts coniques de la région de Zisuling entre 1 400 et 1 100 m	157
3. Les sols du poljé de Changleping entre 900 et 920 m : paléosols, histoire du remblaiement et des terrasses de culture	159
C. LES SOLS DU COMTÉ DE HEFENG (HUBEI)	159
1. Les sols de versants de vallée à l'amont de Donghe	159
2. Les sols des bordures de canyon, région de Donghe II (résurgence et perte)	161
3. Les sols de versants exposés du poljé de Shuishanping	162
4. Les sols des bordures du poljé de Yanziping (1 220 m)	162
D. LES SOLS DU COMTÉ DE XIANFENG (HUBEI)	163
1. La catena à l'amont de la grotte de Laoxiaodong et le systèmes de culture	163
2. Les profils	163
3. Interprétation	163
III. Les remplissages de poljés : enregistreurs des crises sociales et climatiques	164
A. L'EXEMPLE DU POLJÉ DE DATANGMI (HEFENG, HUBEI)	164
1. Description des coupes	164
2. Analyse micromorphologique et fonctionnement du remplissage principal	164
3. Le rôle de l'homme dans l'érosion des sols avant le Dryas récent	167

B. L'EXEMPLE DU POLJÉ DE SHUISHANPING (HEFENG, HUBEI)	167
1. Micromorphologie et fonctionnement	167
2. Le rôle du climat et de l'homme dans l'érosion des sols	167
C. L'EXEMPLE DU POLJÉ DE BAISHUIBA (XIANFENG, HUBEI)	170
1. Coupes, description	170
2. Micromorphologie et fonctionnement	170
3. Interprétation	172
IV . Intérêt des sols et des remplissages des poljés et corrélation avec l'endokarst	173
A. L'ANALYSE SÉQUENTIELLE DES REMPLISSAGES DE POLJÉS	173
B. ESSAI DE CORRÉLATION ENTRE LES REMPLISSAGES DES POLJÉS, DE L'ENDOKARST ET L'ÉVOLUTION PÉDOLOGIQUE ET VÉGÉTALE	173
Conclusions :	174

Chapitre 11 : LE KARST ET L'ÉVOLUTION DES PAYSAGES AGRAIRES

Introduction	177
I. L'histoire rurale en Chine	177
A. UNE LENTE DOMESTICATION DES PAYSAGES	177
1. Les origines	177
2. Le Néolithique chinois	177
3. La domestication des plantes	178
4. La médecine des plantes	180
5. Explosion démographique et échanges des plantes ?	180
B. LES ÉVÉNEMENTS AGRAIRES ET DÉMOGRAPHIQUES ANTÉRIEURS AU XX ^e SIÈCLE	181
1. Les étapes de la domestication des paysages : introduction des techniques, migration des populations et réformes agraires	181
2. Les révoltes paysannes dans le Hubei et le Hunan	185
C. LES DÉSÉQUILIBRES DU XXÈME SIÈCLE	186
1. La guerre civile, la Chine populaire, la réforme agraire de 1950 et le Grand Bond en Avant	186
2. La période de Deng Xiao Ping (1980)	187
3. Les crises actuelles de l'environnement	187
II . La zonation des cultures au Hubei et au Hunan	189
A. L'EXEMPLE DU COMTÉ DE SANGZHI AU HUNAN	190
1. Des systèmes élaborés de défenses	190
2. Des aménagements adaptés à la lithologie	190
B. L'EXEMPLE DE LA RÉGION DE WUFENG (HUBEI)	191
1. Les dolines et les versants à l'amont de Tiankengcao	192
2. La grande doline à l'amont de Dadong	193
3. Les versants à l'amont de Donghe	193
4. Les versants et le fond du poljé de Changleping	193
C. LES SYSTÈMES AGRAIRES DE LA RÉGION DE HEFENG AU HUBEI	197
1. Les versants du poljé de Datangmi	197
2. Les versants du poljé de Yanziping	197
3. La doline de Xiangshuidong et le Puits du Moulin	197
4. Les aménagements entre Longtanping et Hefeng et entre Hefeng et Wufeng	197
D. LA RÉGION DE XIANFENG DANS LE HUBEI	198
Conclusions :	198

Chapitre 12 : L'EXPLOITATION DU KARST PAR L'HOMME

Introduction	200
I. L'utilisation ancienne des grottes et leur fonction de refuge	200
A. LES GROTTES À HABITATS PRÉHISTORIQUES	200
B. LES GROTTES REFUGES ET GROTTES FORTERESSES DE LA PÉRIODE HISTORIQUE	200
C. LES GROTTES ANCIENNEMENT EXPLOITÉES POUR LES NITRATES	201
II . L'utilisation actuelle des grottes	202
A. LES GROTTES À HABITATS PERMANENTS	202
B. LES ÉOLIENNES SOUTERRAINES	202
C. LES GROTTES TOURISTIQUES	202
III . Les barrages et captages souterrains	203
IV . L'exploitation du charbon et les poussières atmosphériques	203
A. L'EXPLOITATION DU CHARBON ET DU CHARBON DE BOIS	203
B. L'ÉTUDE DES POUSSIÈRES	204
Conclusion	206

Quatrième partie : L'EXPÉDITION

Introduction	209
Donghe 92	209
PROGRAMME	209
SANTÉ	209
Les conditions de vie	209
Les mesures préventives	211
Les petites misères rencontrées	212
L'ÉQUIPE	212
Coordonnées	212
Portraits	212

Notes.....	219
La cuisine du Hubei et du Hunan	219
Introduction	219
I. La gastronomie chinoise est un art de vivre	219
II. La cuisine est un indicateur de la gestion des karsts	221
Conclusion	222
Utilisation de Toporobot	222
Utilisation du GPS	222
Etat des explorations en Chine	222
Historique	223
Le point des explorations	224
Bilan des expéditions 86-92	224
Conclusion	226
Glossaire	227
Bibliographie.....	230

Editions GAP

Edition
Micro-Edition
Communication
Publicité

LIVRES Editions GAP

<p>GYMNASTIQUE Maîtrise du corps à la portée de tous 150 F <small>(1995) Gérald Himi</small></p> <p>SPÉLÉOLOGIE Le gouffre Jean-Bernard -1602 m 230 F <small>(1991) Groupe Spéléologique Vulcain</small></p> <p>L'aventure souterraine en Savoie <small>(1993) CDS Savoie</small> 200 F</p> <p>Monts et grottes de Saint-Guilhem-le-Désert 160 F <small>(1993) Daniel Caumont</small></p> <p>Le tour de la Coume Ouarnède en 24 cavités 135 F <small>(1994) Stéphane Boyer - Jean Flandin</small></p> <p>Atlas souterrain de la Provence et des Alpes de Lumière 220 F <small>(1991) Paul Courbon - René Parein</small></p> <p>PLONGÉE SUBAQUATIQUE Guide de préparation aux niveaux 2 et 3 160 F <small>(mai 1995) Paul Villeveille</small></p>	<p>Guide de préparation au niveau 4 165 F <small>(1993) Paul Villeveille</small></p> <p>Guide de préparation au monitorat 120 F <small>(1994) Paul Villeveille</small></p> <p>CANYONING Canyons alpins Le tour de l'Oisans en canyons 120 F <small>(1992) Collectif</small></p> <p>Canyons méditerranéens Les plus beaux canyons de l'Ubaye à la mer 190 F <small>(1993) Bernard Barbier - Bernard Ranc</small></p> <p>RANDONNÉE Le pays du Mont-Blanc 9 itinéraires à travers les paysages et roches du Haut-Faucigny au Mont-Blanc 180 F <small>(1993) Michel Delamette</small></p> <p>Le guide de la réserve naturelle des Aiguilles Rouges Chamonix / Mont-Blanc 190 F <small>(1993) Collectif</small></p> <p>Guide de l'Obiou 170 F <small>(1994) Pierre Barnola</small></p>
---	--

*Collections Sport,
Aventure, Nature...*

*Journaux d'entreprises,
revues, catalogues,
dépliants publicitaires...*

GAP a réalisé cet ouvrage !

RENSEIGNEMENTS
ou COMMANDES à :

Editions GAP
13 rue Lamartine
73490 LA RAVOIRE
Tél. 79.33.02.70
Fax 79.71.35.34

地质

本区属于由上古生界与下中生界组成的鹤峰复向斜。在太平—燕子坪向斜轴部，分布在中三叠世的巴东组碎屑岩，二叠及三叠纪灰岩出露在向斜翼部，呈北东—西南向，东南翼岩层倾角 40° ，西北翼 $20-25^\circ$ 。

地貌

最高峰邻近太平，高出海平面 2326m。是典型的丘峰—溶洼喀斯特景观。山岭绵延方向与褶皱相同，呈北东—南西向。娄水河是这一区域主要的排泄基准，年平均流量 $27\text{m}^3/\text{s}$ ，该河发源于本县，向南流去，切过背斜形成深峡谷。

气候与水文学

在海拔 520m 的鹤峰气象站，年平均温度 16°C ，年平均降水 1687mm。降水量分配是典型的，具长的湿季(四月到九月占全年降水的 77%)，冬季十分干燥(元月份降水量 26mm，为七月份降水量的十二分之一)。十一月到三月在山区有降雪。相对湿度变化从 71 到 89%，可能的年蒸发量为 1037mm。

娄水河流量变化对降水反应迅速，元月份最小流量 $4.5\text{m}^3/\text{s}$ ，七月份最大流量 $54.9\text{m}^3/\text{s}$ 。

燕子坪

地质构造

燕子坪大型向斜，轴向 $\text{NE}50^\circ$ ，长 50km，宽 15km。平面呈钳状，岩层倾角达 40 至 55° 。在鹤峰东面 10km 分为二支，其间出露志留及泥盆系构成的背斜，是三叠纪以后形成的。

向斜核部出露宽阔的三叠纪灰岩(T_1 及 T_2)， 300km^2 的喀斯特位于娄水河的东侧。向斜核部三叠纪灰岩的厚度达 1400m，底部隔水层是二叠纪页岩。

长期的喀斯特演化

区域景观的主要特征是一系列从高于区域基准面 650m 至 800m 的阶梯状溶盆，它们沿着向斜轴或位于其南侧发育，其发育不是构造原因，而是沉积的原因：来自志留纪及二叠纪的页岩及泥盆纪砂岩的风化物质阻塞地下通道及妨碍地下水排泄。

溶盆间的地形是典型的锥状喀斯特，三叠纪薄层灰岩具相对平缓的山坡。一些斜坡上展现出老的隐伏石芽(形成于厚的风化堆积物之下)。这些堆积物剥蚀殆尽，是与人类活动有关的近代剥蚀作用。土已被雨水侵蚀掉，这是由于过度的开垦甚至为了改造小片的土地而被农民直接把土运走。

水文地质

主要的含水层是三叠纪灰岩，底部不透水层是晚二叠世的页岩(P_2)。燕子坪与清湖间约 200km^2 范围内该含水层大部分的水均排向娄水河。

西北和东南边界是二叠纪页岩，东界位于清湖溶盆。这一巨大溶盆中一部分水可能向西流并在中觅出流，以至迅速泛滥，几小时内流量从 3 增至 1000 l/s ，这样的流量不可能仅仅来自中觅与清湖间喀斯特地块，一些水应来自清湖溶盆。

当毁损了许多民居的大规模泛滥以后，顽强的中国农民决定增强清湖溶盆的泄水能力。开凿了一条断面 10m^2 、长 1500m 的排水隧洞至邻谷。

该含水层年均出水量约 $9\text{m}^3/\text{s}$ (300km^2 出露面积及年降水渗入量 1000mm)。万人洞是一个被发现的低位暗河出口，1992 年 12 月的流量为 $1\text{m}^3/\text{s}$ ，其可能排泄来自响水洞及洞河深部的水。在流域面积 70km^2 的洞河北面 3km 娄水河主要支流上还应有另外的暗河出口。在汛期，一些水从万人洞流出，但另一个是主要的汛期暗河，洞河的出口。在洞河的廊道中，象房子那么大的块状砾石为水流所磨光表明洪水水势凶猛。

向斜北部具许多高位溶盆，海拔 1150 至 3000m 间，高于向斜南部 650 至 800m。周围是二叠纪页岩，可能从页岩区带来的泥质冲积物充填在溶盆中，这些溶盆常被淹没，表明地下宣泄不畅通，事实上，我们在中觅、出水洞及觅水洞所调查的最深部分各个雨季充水廊道十分狭窄，好象不是很老。

位于溶盆之间或略高些的地方(出水洞、觅水洞、干洞及洞河)有着很宽广的隧道状洞穴。这些是干燥而

古老的洞穴。他们可能标志出与高出现代基准面 300m 的古老基准面有关的古排泄网位置。

溶盆间水流动情况又是如何呢?在干燥的冬季,水流通过部分充水的狭窄裂隙网,在某些部分,探洞者可能进去(中觅、觅水洞及洞河等暗河),其排泄似乎水量较小的深部含水层。在洪水季节,这些廊道太窄,水位急速上升(洞河达 80m,寨洞超过 200m),然后,水流通过古老的、宽阔的隧道状洞穴。由于表生喀斯特带贮水性弱并且几乎全年都是饱和的原因而迅速淹没,在冬季我们曾见到在 2 天共降了 16mm 的小雨以后,不到 12 小时就产生洪水。

洞穴成因

在燕子坪向斜区域,此次共调查了总长 23km 的 10 个洞穴,其中的寨洞—干洞系统是目前中国最深的,达 552m。大部分洞穴组成单一的从东北向西南的向斜排水洞穴系统,在西南部此次被调查仅有二个出水口,即低水位时的万人洞及洪季的洞河。

最大的洞穴均为古老的隧道状洞穴,现在没有水流或只在夏季才有水流。某些系统也包括有较深的沿裂隙的廊道。在这里有全年性水流,这些廊道一般位于最老的洞穴的南侧,即在现在的常年性暗河出口万人洞这一侧。排泄基准面是娄水河谷(海拔 500m)。在上新世—第四纪期间,随着区域隆起,基准面迅速变化,地下及地表河系统试图适应这一变化,但仍然高于河谷。

太平

一个大向斜

为燕子坪向斜向西延伸部分,是 10km 宽、50km 长的大向斜,轴向 NE65°。南翼较陡,底部平缓,构造形成晚于三叠纪。

在太平地区,向斜核部是三叠纪灰岩(T₁),在基准面娄水河西侧形成约 100km² 的喀斯特地块,灰岩厚度 1400m,但向斜区的大部分已被蚀去部分岩层,岩性为暗色厚层或薄层泥质灰岩。

水文地质

主要含水层是三叠纪灰岩,被下伏的晚二叠世页岩(P₂)不透水层所包围。宽阔的溶盆发育在向斜的核部,由于地层平缓,比燕子坪向斜中的溶盆要宽阔。

含水层出水量约 3m³/s,在 100km² 的灰岩上每年降水入渗透达 1000mm。GEBIHE'89 考察时曾调查的阴泉洞可能是这区域的暗河出口。

水杉坪

地质构造

水杉坪溶盆不象太平和燕子坪溶盆那样位于向斜的核部而是位于燕子坪向斜的西北翼倾向 SE130° 倾角 30° 的单斜构造。溶盆发育在三叠纪灰岩中,下伏二叠纪页岩。

该构造最有趣的喀斯特区由 20km² 的三叠纪(T₁ 及 T_{2j}) 灰岩组成。在鹤峰地区其厚度 1400m,下部为暗色厚层灰岩,上部为薄层泥质灰岩。

水文地质

三叠纪灰岩为主要含水层,上二叠纪页岩为不透水底板,构成西北边界。含水层东北边界为中三叠纪碎屑岩,其水文地质边界可能与盆地的地形分水岭相近。西南为深切峡谷,为主要的排泄区,有许多泉。

灰岩出露宽 2.5km、长 9km,从图上可分四部分:

—大天坑溶盆区:6km²被不透水层覆盖,灰岩露头 7km²,共 13km²。溶盆底部海拔 900m,高出基准面 400m。为一通过暗河向西南部娄水河支流灰岩峡谷排泄的封闭盆地。

—在西南侧,为以同样方式排泄一系列盆地发育区,但是负地形规模均较小,没有典型的溶盆;

—近娄水河岸边无大的封闭盆地,由具有许多小落水洞的小型干谷排泄;

—最低的部位为二条地表河排泄,无大的盆地。该区主要的漏斗及最大的溶盆位于分布最广的非喀斯特露头带上是不足为奇的。我们曾在别处见到类似情况,如东西天坑、洞湾、燕子坪,最大的溶盆及漏斗均位于下游非喀斯特露头区。

对此可作如下解释:

—志留系、泥盆系及二叠系页岩与砂岩风化产生许多砂和粘土,这些沉积物堵塞了漏斗并充填于盆地中;

—大量未为方解石所饱和的水从页岩出露区流来;

一砂和砾石对岩石的磨蚀，甚至在水化学溶蚀能力弱的情况下亦如此。

该含水层年平均出水量近 $0.6\text{m}^3/\text{s}$ (20km^2 露头区及 1000mm 的年入渗量)。

洞穴成因

水杉坪溶盆的溶水洞是一个横断面达 1000m^2 的大竖井，竖井迅速地降低到基准面(我们探查了 900m 长的廊道以后，下降了 220m ，坡度达 25%)。井壁为机械侵蚀被抛光，看上去象峡谷谷壁，其原因在于上游，即该盆地约 50% 位于砂岩及页岩出露区。竖井底是深的湖泊。需攀越许多象房子那么大小的巨型块石。

切入大天坑下游 500m 的大竖井不是进水口，而是位于一个大裂缝上的坍塌竖井。

Composition :

Jean-Pierre BARBARY

Réalisation :

Editions GAP

13 rue Lamartine 73490 La Ravoire

Tél. 79.33.02.70 - Fax : 79.71.35.34

ISBN : 2 - 7417 - 0162 - 8

Imprimé en CEE

Dépôt légal 3^{ème} trimestre 1995

