

Les tiankengs ou puits géants chinois

Paul COURBON

Cet article a été rédigé après la lecture des articles écrits par les docteurs Xuewen Zhu et Weihai Chen et par Tony Waltham dans *Speleogenesis and Evolution of Karst Aquifers*, journal scientifique « on line ». Enthousiasmé, je contactai aussitôt Tony Waltham et Richard Maire qui doivent être chaleureusement remerciés pour l'aide qu'ils m'ont apportée.



Vue aérienne de Xiaozhai, on aperçoit le chemin qui descend de 300 m dans le puits. Cliché Zhu Xuewen.

Les puits géants ou mégadolines

Mégadoline, nom surprenant ! Quand on nous parle de dolines, nous imaginons aussitôt une cuvette située sur un plateau calcaire. Les flancs de la cuvette ont des pentes raisonnables qui nous permettent d'y descendre à pied sans difficulté !

Or, le terme mégadoline a été employé pour des puits énormes dont les parois verticales nécessitent l'emploi d'agrès. Sans doute est-ce une genèse proche : création suite à l'effondrement d'un vide souterrain, qui a valu à ces deux phénomènes la racine identique de doline, le « méga » signifiant énorme. Mais, comme nous le verrons plus loin, cette dénomination est remise en cause, surtout après les découvertes faites en Chine.

Le terme « mégadoline » est relativement récent, il a été introduit en France après les expéditions françaises en Papouasie-Nouvelle-Guinée, mais Richard Maire ne sait pas par qui ! Il préfère le terme « puits géant ». Les premiers puits géants à être révélés aux scientifiques du monde occidental furent las Golondrinas en 1967, el Sotano del Barro, en 1972, tous deux au Mexique, puis la Sima Mayor de Sarisariñama au Venezuela, en 1974, qui fut redescendue en 1976. Pourtant, dès 1968, Kris Borough et Kevin Read avaient descendu celui de Minye, en

Papouasie-Nouvelle-Guinée, sur 60 m de profondeur, mais cette découverte était restée confidentielle. En 1972-73, une expédition australienne dirigée par Mike Bourke descend la mégadoline d'Ora, toujours en Nouvelle-Guinée-Papouasie. Le même Mike Bourke participe à une expédition britannique en 1975 [2 et 4]. Grâce à sa documentation et à sa collaboration, une expédition de reconnaissance française explore en 1978 les puits géants de Naré et de Minye qui font l'effet d'une bombe dans le monde spéléologique. Les publications de Richard Maire feront alors connaître le phénomène des puits géants ou mégadolines en France, bien qu'en 1981 [6], il n'emploie pas encore ce dernier terme.

Au début des années 1980, les géologues observent en Chine des puits énormes, auxquels n'est donnée aucune explication scientifique. Il faut attendre la fin des années 1980 pour voir les Européens prendre conscience de ces phénomènes karstiques hors du commun. En 1989, une expédition franco-chinoise explore le réseau de la Gebihe, dans la province de Guizhou, avec un puits géant de 370 mètres dont le fond est atteint par la rivière souterraine [7 et 8]. Les grands tiankengs de la province de Chongqing, en particulier l'énorme Xiaozhai, sont révélés en 1994.



Longgang, exemple de l'indépendance du tiankeng par rapport à la surface. Situé sur une pente abrupte, il n'est séparé de la vallée adjacente que par une crête très étroite. Cliché Andy Eavis.



Vue aérienne de Dashiwei. Cliché Zhu Xuewen.

Les tiankengs

C'est le nom donné par les Chinois aux puits géants. Étant donné les différences de morphologie, de formation et de conditions hydrogéologiques existant entre ces puits immenses et les dolines, le docteur Zhu propose en 2001 que ce nom soit étendu à tous les

phénomènes karstiques de ce type dans le monde [10]. C'est ce que fera Tony Waltham en publiant un article sur les tiankengs hors de la Chine [11].

Un essai de classification et de définition est alors entrepris [10]. Le nom de tiankeng ne pourra être utilisé

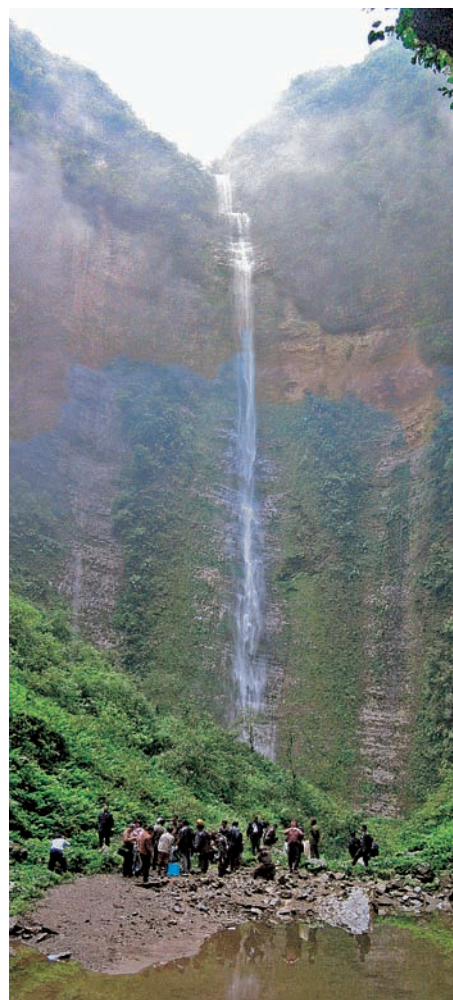
que pour les cavités ayant plus de 100 mètres de profondeur et un volume de plus d'un million de mètres cubes ! Ce choix est arbitraire, mais il devait être fait. De plus, la cavité devra être entourée, entièrement ou dans sa majeure partie, de parois verticales. La

verticalité des parois différencie le tiankeng de la doline ; nous verrons plus loin qu'il y a d'autres différenciations. Avec ces spécifications, on dénombre actuellement 49 tiankengs en Chine et 33 dans le reste du monde !

Autre spécification, elle aussi arbitraire, mais nécessaire, le docteur Zhu propose un rapport entre la profondeur et la largeur qui devra être compris entre 0.5 et 2 ($0.5 < p/l < 2$). Cela devrait signifier que lorsque la cavité est deux fois plus profonde que large, cette cavité est un puits. Par contre, la profondeur d'un tiankeng doit être supérieure à la moitié de sa largeur. Des tiankengs plus étroits ($p/l > 2$), sont qualifiés d'immatures, c'est le cas de las Golondrinas qui pour moi est un peu en marge des tiankengs classiques. Avec une érosion avancée de leur profil ($p/l < 0.5$), les tiankengs sont



Photographie prise du fond du puits géant de Shenying, profond de 285 mètres à l'endroit le plus haut de l'orifice. Cliché Chen Weihai.



L'une des trois cascades tombant dans le tiankeng de Qingkou. Elle va ressortir à l'air libre à travers une grande galerie. Cliché Tony Waltham.

qualifiés de dégradés : c'est le cas de Lusé (Nouvelle-Bretagne). Nous nous approchons alors de la mégadoline.

En ce qui concerne la Chine, toutes les données nécessaires à la morphométrie des tiankengs sont issues de levés photogrammétriques à partir des photographies aériennes. Dans certaines zones, les Chinois disposent d'excellentes cartes au 1/10 000. Il faut aussi ajouter que le fond de nombreux tiankengs est accessible par des rivières souterraines ne nécessitant pas l'emploi de cordes. C'est le cas des deux plus profonds ! Leur région karstique a fait l'objet d'un développement touristique et des visites permettent d'admirer les puits par le bas !

Nota : Ces données proviennent de listes dressées par Xuewen Zhu et Weihai Chen en ce qui concerne la Chine et par Tony Waltham en ce qui concerne le reste du monde. Tongtian serait le puits appelé Gebihe par R. Maire, lors de l'expédition franco-chinoise de 1989 [8].

Ce sont des données géomorphologiques, donnant les profondeurs par rapport au point haut et au point bas de l'orifice. Les spéléologues donneraient la profondeur par rapport au point d'amarrage, en général au point bas. Il faut aussi noter que Zacatón et Kukumbu ne correspondent pas au rapport profondeur/largeur défini plus haut. Zacatón est un tiankeng « immature », Kukumbu un tiankeng « dégradé ». Enfin Crveno Jezero est à moitié noyé, alors que Zacatón l'est entièrement.

En 1953, avec 3 millions de m³, la salle de la Verna était le plus grand vide souterrain connu au monde. En regardant la dernière colonne, la comparaison laisse pensif ou abasourdi !

Liste des Tankiengs de plus de 300 mètres de profondeur [12]

Nom	Province ou pays	Longueur x largeur (mètres)	Plus grande profondeur	Plus petite profondeur	Volume 10 ⁶ M ³
Chine					
Xiaozhai	Chongqing	625 x 535	662	511	119
Dashiwei	Guangxi	600 x 420	601	511	75
Haolong	Guangxi	800 x 600	509	185	110
Taipingmiao	Chongqing	180 x 180	420	300	10
Xiashiyuan	Chongqing	990 x 545	373	50	32
Daluodang	Chongqing	240 x 220	372	282	10
Tongtian (Gebihe)	Guizhou	310 x 130	370	360	7
Longgang	Chongqing	350 x 170	350	250	9
Jiaole	Guangxi	750 x 400	325	283	67
Dachang	Guizhou	550 x 180	320	160	10
Baidong	Guangxi	220 x 160	312	263	6
Chuangdong	Guangxi	370 x 270	312	175	12
Hors de Chine					
Minye	PNG-Nlle Bretagne	350 x 350	415	363	26
Naré	PNG-Nlle Bretagne	150 x 120	310	270	5
Kukumbu	PNG-Nlle Bretagne	1 000 x 700	300	280	75
Crveno Jezero	Croatie	450 x 450	528	528	30
El Sotano	Mexique	420 x 210	455	310	16
Las Golondrinas	Mexique	300 x 130	378	333	5
Cenote Zacaton	Mexique	115 x 100	350	330	3
Sarisariñama	Venezuela	340 x 300	315	295	21

Genèse des tiankengs

Dans la liste ci-dessus, nous remarquons que tous les tiankengs se trouvent principalement dans des régions chaudes avec des précipitations élevées et un couvert végétal abondant. Des rivières allogènes sont absorbées par le karst pour générer de grands cours souterrains. Les tiankengs chinois se trouvent au sud du pays, dans les provinces de Guizhou, Guangxi et Chongqing, elles aussi chaudes et humides, comme en Papouasie. Seule exception, le Crveno Jezero en Croatie, dont nous verrons la genèse ; il faut noter que la Slovénie et l'Italie recèlent aussi des tiankengs, mais moins profonds.

Le point de vue de Richard Maire [6]

En 1981, Richard Maire avait donné une première explication de la formation des puits géants de Papua-

sie-Nouvelle-Guinée. Avec 5 mètres de pluies par an permettant la formation de rivières souterraines très importantes, un couvert végétal riche en humus et donnant un pH très acide à l'eau d'infiltration, la formation de cavités géantes n'avait rien d'étonnant. L'effondrement du plafond de vastes salles aurait créé un gigantesque cône d'éboulis, vite « digéré » et déblayé par la rivière. Étant donné la vitesse de dissolution mesurée, Richard Maire estimait la durée de formation de ces cavités entre 200 000 à 300 000 ans.

Celui de Xuewen Zhu et Tony Waltham [10] (figures 1 et 2)

En 2006, Xuewen Zhu et Tony Waltham reprennent la même hypothèse : le tiankeng est un effondrement sur un vaste passage souterrain ou une très grande salle. Une importante rivière souterraine est l'élément essen-

tiel d'un tiankeng actif, car c'est le seul moyen d'évacuer les énormes volumes de roches effondrées, soit par dissolution, soit comme sédiments clastiques. C'est aussi le moyen de saper les parois de la galerie ou de la salle souterraine [10].

La verticalité ou le devers des parois sur la plus grande partie des tiankengs justifie l'effondrement qui les a créés. Dans les couches à faible pendage, les parois verticales se développent de préférence dans un calcaire fort et massif où les fractures d'origine sont proches de la verticale. Cela exclut la présence de tiankengs dans les zones à fort pendage.

L'effondrement du plafond d'une cavité implique une désagrégation prolongée du toit qui amène une progression ou une « migration » de la cavité vers le haut. Pour cela, une longue séquence de détachements

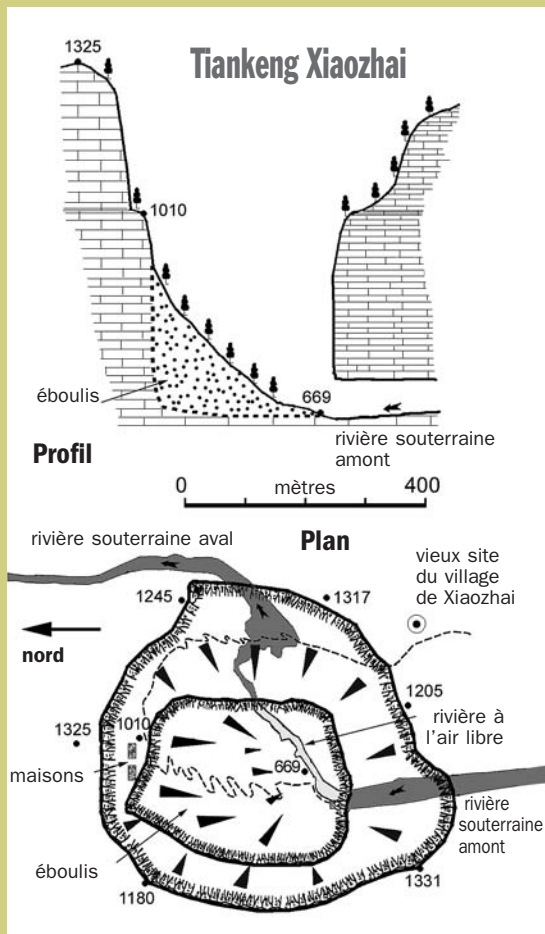


Figure 1 : Plan et coupe de Xiaozhai. Issus de Cave and Karst Science (BCRA), vol.32 n°2+3, 2005.

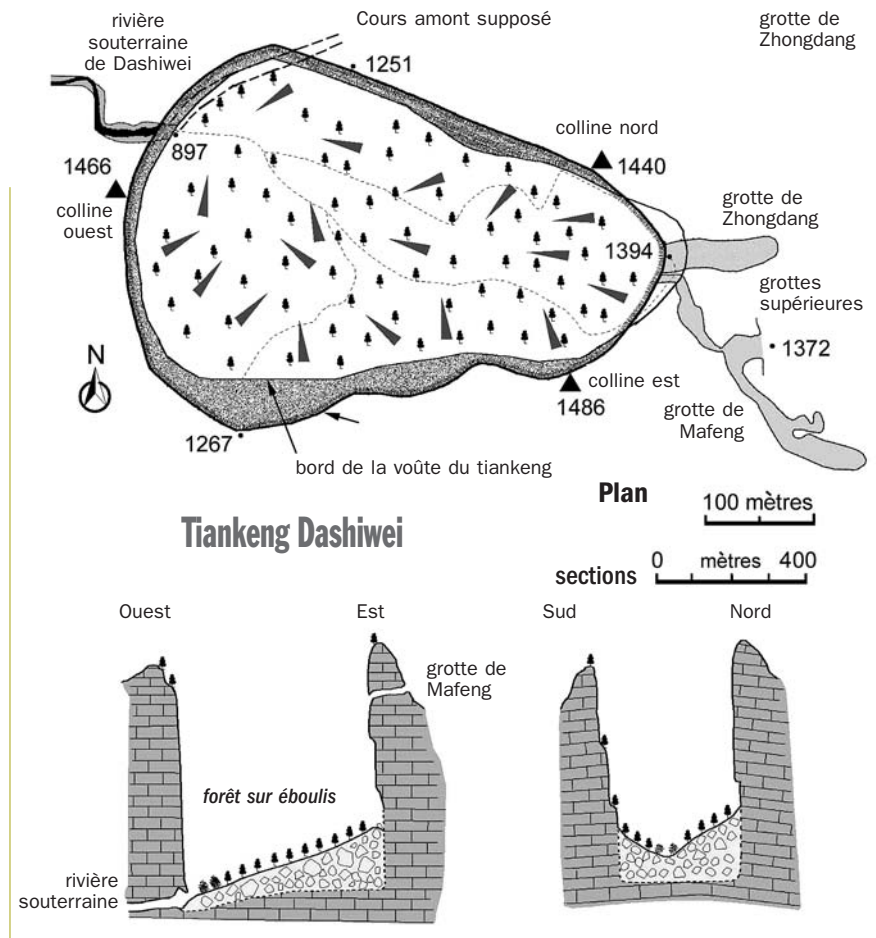


Figure 2 : Plan et profils de Dashiwei. Issus de Cave and Karst Science (BCRA), vol. 32 n°2+3, 2005.

progressifs peut amener la chute de petites quantités de rochers de la zone de compression de l'arc formant la voûte stable du toit. La dernière phase, de l'effondrement total de la voûte n'est alors qu'une suite logique.

Un tiankeng peut aussi provenir d'un effondrement à l'intersection de

plusieurs vastes conduits qui peuvent être d'âges différents. Il peut aussi provenir d'une ou plusieurs faiblesses structurales : fractures ou fissurations verticales ou subverticales. C'est le cas de Xiaozhai où la rivière souterraine intersekte des fractures verticales qui apparaissent comme des failles à

faible rejet. Cela facilite l'expansion du plafond par effondrement et recul des parois (figure 3).

L'effondrement final à partir de la surface peut provenir aussi de la coalescence de plusieurs petits effondrements. Les blocs et pierres effondrés sont toujours évacués par la rivière. Si celle-ci a trouvé une déviation qui contourne les éboulis, ceux-ci restent en place et on retrouve un puits colmaté (figure 4).

On trouve aussi des tiankengs fortement allongés, tel un canyon et qui correspondent à l'effondrement d'une très longue galerie ou à la coalescence de plusieurs salles qui se succèdent de près. C'est le cas des tiankengs de Dacokou et Xiacokou séparés par un pont naturel (figure 5).

Cette genèse des tiankengs exclut certaines formes d'effondrements géants, tels ceux liés aux évaporites au Canada ou en Russie ou ceux liés à des cavités hydrothermales en Oman. L'âge des tiankengs de Chine a été évalué différemment de ceux de Papouasie. L'émergence de l'Himalaya, au début du Quaternaire, a soulevé les karsts du sud de la Chine, permettant en même

Figure 3 : Le plan de Xiaozhai montre l'influence des fractures sur la genèse. Située entre trois zones karstiques, une zone basse a favorisé l'effondrement. Issu de Cave and Karst Science (BCRA), vol. 32 n°2+3, 2005.

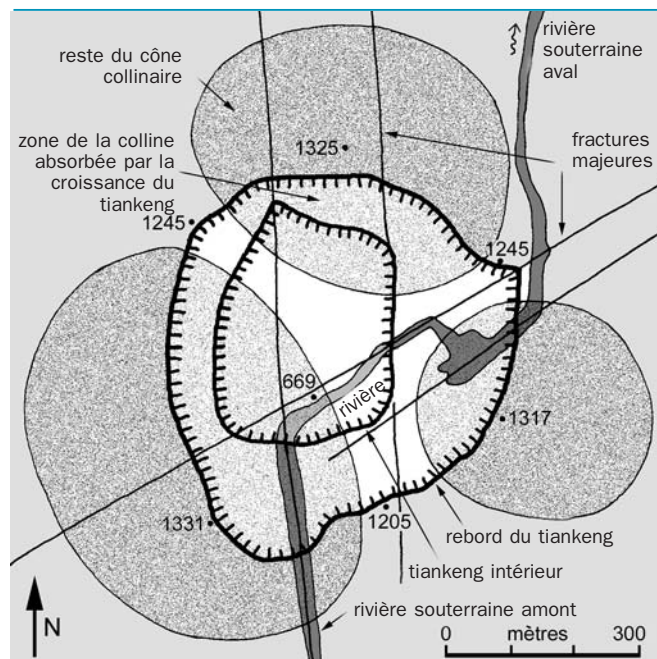
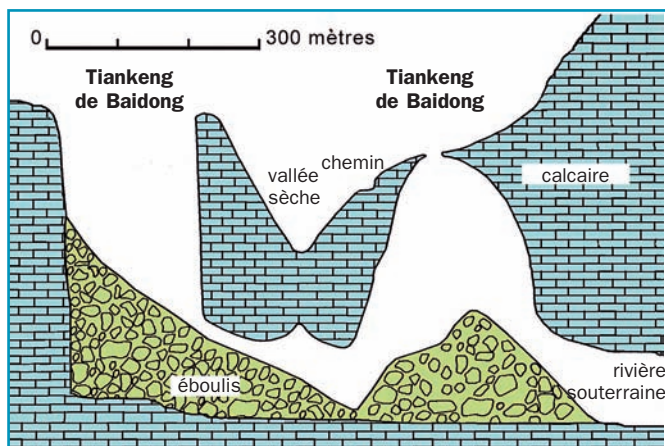


Figure 4 : La coupe de ces deux tiankengs accolés montre les phases d'évolution. À Baidong, les éboulements éloignés de la rivière sont restés très importants. À Maoqi, proches de la rivière, ils sont en partie dégagés. Le plafond n'a pas fini sa pleine ouverture sur la surface. Dans un avenir plus ou moins proche, nous aurons deux tiankengs coalescents. Issu de Cave and Karst Science (BCRA), vol. 32 n°2



temps le creusement de gorges profondes. L'accroissement de la zone vadose qui en a résulté a été favorable au développement des tiankengs actuels dont l'âge ne dépasserait pas 130 000 ans.

Par contre, Richard Maire pense qu'il y a des écroulements sans doute beaucoup plus vieux. En ce qui concerne Gebihe où il y a un étage de porches entre 0 et +400, une telle évolution se place au moins au cours des deux derniers millions d'années. Il existe des galets à +350 m vers le sommet du P370 au sommet du plateau !

Rappel des idées de Philippe Renault

Je pense qu'il serait utile de rappeler les théories de Philippe Renault concernant la mécanique des roches et l'équilibre mécanique des voûtes des cavernes [1]. Elles nous permettront de mieux comprendre la formation des tiankengs. La section d'une cavité tend naturellement vers une forme d'équilibre pour laquelle les pressions de la masse calcaire sur la paroi présentent une valeur identique en tous les points de celle-ci. Quand cette forme d'équilibre est atteinte, l'ensemble « plafond-

parois latérales » devient stable. C'est ce qu'avaient compris les bâtisseurs de cathédrales ! Comment rompre cette stabilité : par une desquamation progressive en certains points de la voûte ? Peut-être. Mais, il est plus probable, comme l'aurait formulé Philippe Renault, que l'équilibre mécanique et la stabilité qui en résulte sont détruits par l'action de la rivière qui creuse le sol ou sape la base d'une paroi. L'effondrement d'une paroi qui en résulte va rompre l'équilibre de la voûte située au-dessus, laquelle va s'effondrer à son tour jusqu'à atteindre un nouveau profil d'équilibre. Et ainsi de suite, jusqu'à l'effondrement ultime ouvrant la cavité à la surface.

Formation vadose et phréatique, les tiankengs phréatiques

La plupart des tiankengs se situent dans la zone vadose (à l'air libre) du karst. La moitié d'entre eux donnent sur une rivière active coulant à l'air libre. Dans d'autres cas, la rivière passe sous la masse d'éboulis non encore dégagés ; il arrive, enfin, qu'on ait une galerie fossile. Les auteurs [10] pensent que la plupart des tiankengs ont eu une phase phréatique précédant l'état

vadose actuel. Ils citent des cavités où il y a un drainage phréatique, qui transporte ou dissout les roches effondrées sous le niveau apparent de l'eau. Ils citent Xiaoyanwan dans le Sichuan ou encore Lago Azul au Mexique, mais ce ne sont pas les seuls tiankengs de ce type.

Tony Waltham cite encore le Crveno Jezero en Croatie et le Cenote de Zacatón au Mexique [11]. Le premier est constitué par un puits circulaire creusé dans un calcaire rouge. À 250 mètres de profondeur, il est occupé par un lac de 200 mètres de diamètre sondé 281 mètres, plongé par l'homme jusqu'à -181 m et par un robot à -236 m. Le fond du lac est six mètres au-dessous du niveau de la mer, ce qui est courant en Méditerranée, et serait constitué par une vaste salle ; une circulation d'eau y aurait été observée. Avec l'effondrement du plafond d'une salle, Crveno jezero correspondrait donc à la genèse des tiankengs chinois.

Le cas du Cenote de Zacatón semble différent. Tout d'abord par la section du puits (115 x 100 m) pour une profondeur de 350 m par rapport au point haut de l'orifice. La profondeur sondée de ce puits noyé est de 328 m et en 1994, il a été plongé jusqu'à -276 m, ce qui entraîna la mort du plongeur. Mais, c'est une émergence à faible débit, qui écoule des eaux sulfuriques et thermales. Peut-on réellement en rattacher la genèse à celle des tiankengs ?

Les cas de Sarisariñama et de Darai

Au Venezuela, le cas de la Cueva Mayor de Sarisariñama est lui aussi différent parce que nous ne sommes pas en terrain calcaire, mais dans des quartzites très durs. Franco Urbani avait émis l'hypothèse de remontées thermiques qui auraient dissous le ciment siliceux intergranulaire, transformant petit à petit le dur quartzite en grès friable. L'eau météorique très abondante aurait alors élargi les joints de faiblesse en emportant le quartz ainsi transformé en outil d'érosion. On rejoint ensuite le processus normal avec la création de salle dans les zones les mieux fragilisées par l'hydrothermalisme, puis l'effondrement du plafond [3 et 5]. Mais on n'y retrouve pas de puissante rivière et la formation d'un tel puits a demandé un temps infiniment plus long que pour les tiankengs.

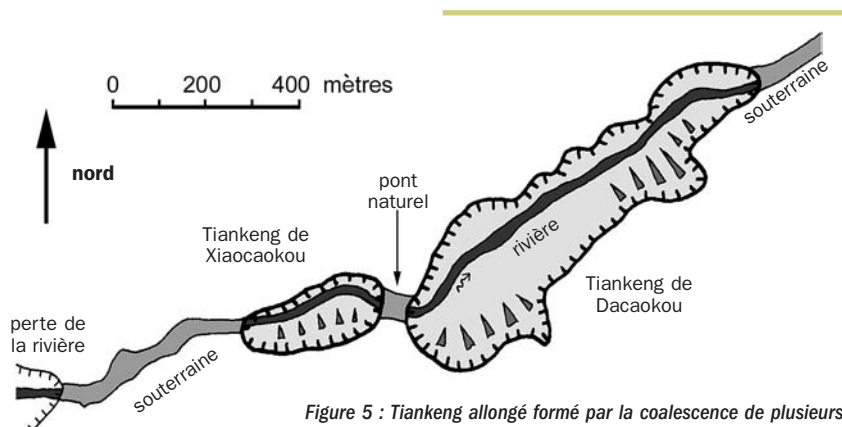
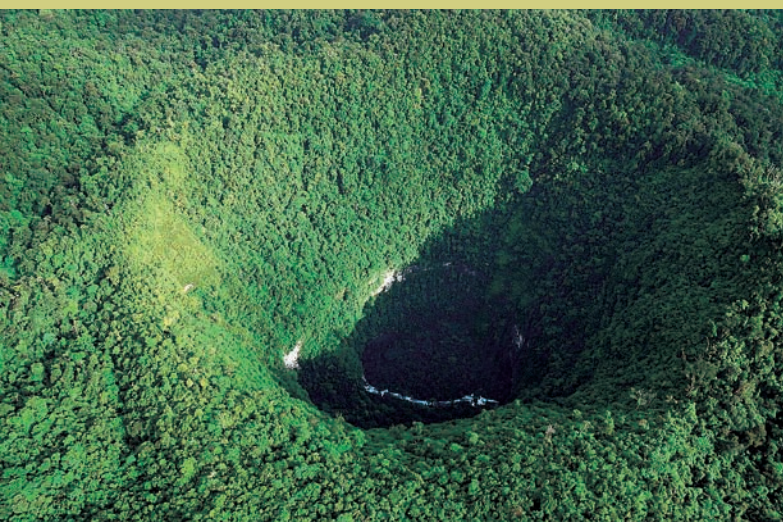


Figure 5 : Tiankeng allongé formé par la coalescence de plusieurs tiankengs. Issu de Cave and Karst Science (BCRA), vol. 32 n°2+3, 2005.



Gouffre de Minye en Papouasie, on distingue la rivière qui a digéré les éboulements tombés au fond et les bords de l'ancienne doline de surface. Cliché Jean-Paul Sounier.



Restes de deux cônes karstiques tronqués par l'extension de Dashiwei, vus d'un troisième cône tronqué. Cliché Tony Waltham.

En Nouvelle-Guinée-Papouasie, Richard Maire cite le gouffre de Darai qui est avec Garden of Eden (Sarawak), la cavité karstique la plus volumineuse du monde (150 Mm³). Ce gouffre profond de 310 mètres s'ouvre sur un plateau calcaire, mais sa formation sort de la genèse des tiankengs. Elle associe un phénomène karstique d'effondrement à une remontée de fluides acides à partir d'un magma qui n'a pas atteint la surface. C'est un puits colmaté de plus de 1 000 mètres de profondeur! [13]

Influence de la surface du karst sur la genèse des tiankengs

En 1981, Richard Maire avait établi une relation entre le plafond d'une grande salle souterraine, comme on en trouve souvent dans les rivières explorées et le fond d'une doline de surface, ce qui facilitait la formation d'un puits géant. Il avait justifié la relation « doline-

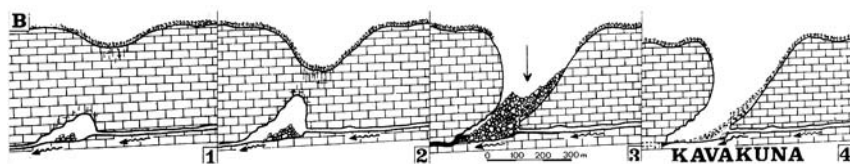
plafond de salle » par la forme du puits créé et par la pente du puits géant de Kavakuna qui montre un décalage entre l'orifice évasé et le plafond de la salle [6]. Mais, aujourd'hui, Richard Maire tempère cette relation qui n'est pas toujours réalisée; la genèse de chaque tiankeng est un cas particulier qui doit être étudié (figure 6).

En Chine, Xuewen Zhu et Tony Waltham relativisent cette relation, car les formes extérieures du karst ne sont pas les mêmes qu'en Papouasie. Si quelques tiankengs peuvent correspondre à une relation « plafond-doline », la plupart semblent indépendants de la morphologie de surface (10). Certains d'entre eux se sont développés dans des karsts à cônes (fengcong) et s'ouvrent sur des collines coniques! Il arrive aussi que la dépression cernée par trois collines coniques (Xiaozhai, figure 3) fasse office de doline!

En conclusion

L'existence des puits géants et des tiankengs est connue depuis relativement peu de temps. Elle est apparue avec la démocratisation des voyages et de la société de loisirs qui ont permis aux spéléologues d'accéder à de nombreuses zones de notre planète, jusque-là peu connues. Il en résulte que l'étude scientifique de ces formes karstiques n'en est qu'à ses débuts. Les premières explications et théories émises devront maintenant être suivies d'études plus fines, nécessitant plus de temps et de moyens. Il faut laisser du pain sur la planche aux générations futures! ■

Figure 6 : Coupe issue du supplément au *Spelunca* n° 3, 1981, p. 30 (Richard Maire). Elle montre la jonction progressive entre le plafond de la salle et la doline de surface au gouffre de Kavakuna (PNG).



Les figures sont issues de :
Cave & Karst Science [BCRA] vol. 32, n° 2+3, 2005 et sont aussi parues dans :
www.speleogenesis vol. 4, issue 1, 2006 ;
Carsologica Sinica vol. 25, suppl. 2006.
 Contacts : paul.courbon@yahoo.fr

NDLR : Tiankengs de Chine ont été inscrits sur la liste du Patrimoine mondial de l'humanité récemment.

Bibliographie

- [1] Renault, Ph., 1967-68, Actions mécaniques et sédimentologiques dans la spéléogénèse, thèse, Ann. Spéleo., vol. 22 (1), 22 (2), 23 (1), 23 (3).
- [2] Borough, C.J., 1973, A large cave and doline near Tuke village. Niugini Caver, pp.25-26
- [3] De Bellard-Pietri, E., 1974, Explorations préliminaires du Plateau de Sarisariñama, *Spelunca* n° 4, pp. 99-101.
- [4] Brook, D. (ed.), 1976. The British New Guinea Speleological Expedition 1975. *Trans. Brit. Cave Res. Assoc.*, 3, 113-243.
- [5] Urbani, F., 1978, Les karsts gréseux du Venezuela, *Spelunca* n° 1, pp. 24-28.
- [6] Maire, R., 1981, Puits géants et fleuves souterrains des monts Nakanai, Supplément au *Spelunca* n° 3, pp.8-30.
- [7] Zhang, S., Audra, Ph. et Maire, R., 1991, Les systèmes karstiques et les cavités, pp.150-161, GEBIHE, *Karstologia mémoires* n° 4, 1991.
- [8] Maire, R, Zhang, S et Song, S, 1991, Genèse des karsts subtropicaux de la Chine du sud, pp.162-186, Gebihe, *Karstologia mémoires* n° 4, 1991.
- [9] *Cave and Karst Science* (BCRA), 2005, vol. 32, n° 2 et 3, Tiankengs : spécial issue. Cette revue contient les trois articles du site web ci-dessous.
- [10] Zhu Xuewen and Waltham, T, 2006, Tiankeng: definition and description, *Speleogenesis*, vol. 4, issue 1, www.speleogenesis.info
- [11] Waltham, T, 2006, Tiankengs of the world, outside of China, *Speleogenesis*, vol. 4, issue 1, www.speleogenesis.info
- [12] Zhu, X, and Chen, W, 2006, Tiankengs in the karst of China, *Speleogenesis*, vol. 4, issue 1, www.speleogenesis.info.
- [13] Maire, R., 1993, Genèse pluto-volcanique du gouffre Darai (PNG), pp.59-65, *Actes de la 3^e Rencontre d'octobre*, Montpellier.