Les Cahiers d'Outre-Mer

Revue de géographie de Bordeaux

253-254 | Janvier-Juin 2011

Chine : regard croisé

Le patrimoine karstique de la Chine du Sud-Ouest : contexte géotectonique, genèse du karst et rôle de l'effet de site

**Jean Bottazi, Richard Maire, Nathalie Vanara, Laurent Bruxelles et Jean-
Pierre Barbary**

Édition électronique

URL : <http://journals.openedition.org/com/6211>

DOI : 10.4000/com.6211

ISSN : 1961-8603

Éditeur

Presses universitaires de Bordeaux

Édition imprimée

Date de publication : 1 janvier 2011

Pagination : 151-168

ISBN : 978-2-86781-693-2

ISSN : 0373-5834

Référence électronique

Jean Bottazi, Richard Maire, Nathalie Vanara, Laurent Bruxelles et Jean-Pierre Barbary, « Le patrimoine karstique de la Chine du Sud-Ouest : contexte géotectonique, genèse du karst et rôle de l'effet de site », *Les Cahiers d'Outre-Mer* [En ligne], 253-254 | Janvier-Juin 2011, mis en ligne le 01 janvier 2014, consulté le 19 avril 2019. URL : <http://journals.openedition.org/com/6211> ; DOI : 10.4000/com.6211

Le patrimoine karstique de la Chine du Sud-Ouest : contexte géotectonique, genèse du karst et rôle de l'effet de site

Richard Maire¹, Nathalie Vanara², Laurent Bruxelles³,
Jean-Pierre Barbary⁴, Jean Bottazi⁵

La Chine présente les karsts les plus grands et les plus variés du monde, répartis dans les provinces du Guangxi, Guizhou, Yunnan, Sichuan, Hunan, Hubei (sud-ouest du pays) (fig. 1). Ce sont surtout des karsts tropicaux et subtropicaux de montagne humide qui s'étagent entre 700 et 5 600 m d'altitude. Le statut de « patrimoine mondial », centré sur les karsts de Chine du Sud, a été reconnu en 2007 par l'UNESCO. Comment une telle richesse karstique est-elle concentrée dans cette zone subcontinentale, entre l'Himalaya, la Mer de Chine et le fleuve Yangtse ? Cela tient à des paramètres géographiques et paléogéographiques multiples qui s'emboîtent à différentes échelles spatio-temporelles favorisant ainsi de multiples effets de site. En effet, par leur faculté d'enregistrer l'histoire de l'environnement (notion de boîte noire, de piège et d'immunité karstique), grottes et paysages karstiques constituent une mémoire unique des paléo-environnements, y compris de la surrection tectonique.

1. Programme ANR Climanthrope, UMR 5185 ADES, CNRS-Université Bordeaux 3, Maison des Suds, 12 esplanade des Antilles, 33607 Pessac cedex ; mél : rmair@ades.cnrs.fr

2. Programme ANR Climanthrope, UMR 5185 ADES, CNRS-Université Bordeaux 3, Maison des Suds, 12 esplanade des Antilles, 33607 Pessac cedex ; Laboratoire de géographie physique de Meudon, UMR 8591, CNRS-Université Paris 1 ; mél : nathalie.vanara@gmail.com

3. Programme ANR Climanthrope, UMR 5608 Traces, Université Toulouse-Le Mirail, Maison de la Recherche, CNRS, EHESS, Ministère de la Culture, INRAP ; mél : laurent.bruxelles@inrap.fr

4. Expéditions Chine, PSCJA, Villeurbanne ; mél : jean.barbary@wanadoo.fr

5. Expéditions Chine, PSCJA, Villeurbanne ; mél : jean.jbottazzi@wanadoo.fr

Communication présentée colloque franco-chinois de Guiyang (Chine), juin 2007, « *Environnement, patrimoine et développement durable. Regard croisé Orient/Occident* », actualisée en mars 2011.

Figure 1 – Distribution des affleurements carbonatés en Chine et localisation des karsts subtropicaux du Sud-ouest (d'après Maire et al., 2004)

**Figure 2 – Formation d'un karst conique à partir du décapage d'une couverture imperméable de flysch (anticlinal de Changleping, Hubei)
(d'après Maire et Pomel, 1995)**

I – Un contexte géotectonique remarquable

Les roches carbonatées couvrent plus de 1 250 000 km² du territoire chinois. Les âges s'étalent sur 850 millions d'années depuis les calcaires et dolomies métamorphisées de l'Archéen (photo 13, Annexe) jusqu'aux calcaires quaternaires récifaux de la Mer de Chine (Zhang Shouyue et Maire, 1991). Une telle occurrence, responsable de sites karstiques considérés aujourd'hui comme des modèles à l'échelle planétaire, est d'abord liée à une paléogéographie issue d'une sédimentation carbonatée très longue au niveau de l'extrémité orientale de la Paléotéthys, cet ancien océan qui se développait entre le Gondwana et la Laurussia à la fin du Paléozoïque.

1 – Distribution des terrains et grandes unités tectoniques

Les karsts de Chine du Sud-ouest se développent principalement dans des dolomies et calcaires très épais du Paléozoïque et du Trias (figure 1, ci-contre et figure 7 des annexes) au sein de plusieurs grandes unités géologiques dont la plate-forme du Yangtse, la zone plissée de Chine du Sud et la zone plissée du Yunnan occidental en bordure de l'Himalaya (Zhang et Maire, 2004).

a – Litho-stratigraphie

Dans la province du Guizhou, la carte géologique montre que toute la moitié ouest et le sud-ouest de la province (à 75 % karstiques) sont constitués par des affleurements plus récents avec 50 % de Trias et 50 % de Paléozoïque supérieur (Carbonifère et

Figure 3 – Série litho-stratigraphique dans le district de Panxian (Guizhou occidentale) (d'après Maire et al., 2004)

Permien) (figure 7, annexes). Dans le Guizhou –oriental, les terrains carbonatés du Paléozoïque inférieur dominant (Cambrien à Silurien) et forment les anticlinaux. Les affleurements du Paléozoïque –supérieur et du Trias subsistent dans les axes synclinaux. Cette différenciation est due surtout à des variations latérales des épaisseurs liées à la paléogéographie de la sédimentation. Dans le Guizhou occidental, la série carbonatée du Carbonifère, du Permien et du Trias atteint plusieurs milliers de mètres d'épaisseur comme dans le district de Panxian (figure 3). La géologie du Yunnan, situé au contact de l'Himalaya, est plus complexe. La moitié orientale est constituée par la plate-forme du Yangtse. Ici, les roches carbonatées à l'affleurement vont du Sinien, Cambrien et Dévonien jusqu'au Trias avec une épaisseur totale un peu moindre que dans le Guizhou.

b – La plate-forme du Yangtse

Cette unité géotectonique est d'échelle subcontinentale. Elle couvre pratiquement le territoire entier du bassin du Changjiang (ou Yangtse). Puissants de plusieurs milliers de mètres, les terrains carbonatés s'étagent du Sinien au Trias, déposés en multiples épisodes au cours d'un temps géologique considérable, entre 800 et 250 millions d'années. L'épaisse couverture sédimentaire commence par les molasses, tillites et roches carbonatées du Protérozoïque supérieur. La série carbonatée marine présente des alternances de roches clastiques provenant de l'érosion des reliefs et des basaltes issus notamment du volcanisme permien. À la fin du Mésozoïque, la partie orientale de la plate-forme est caractérisée par un magmatisme à grande échelle. Les couches rouges de l'Éocène, déposées dans des bassins et sur des piémonts, se sont formées pendant la troisième et dernière phase tectonique de Yanshan. Au cours du Tertiaire supérieur et du Quaternaire, l'orogénèse himalayenne a provoqué une surrection d'ensemble de la plate-forme estimée à plus de 1 000 m dans le Guizhou occidental et à plusieurs kilomètres dans le nord du Yunnan illustré par le dôme anticlinal carbonaté du Yulongxueshan culminant à 5 596 m (photo 14, annexes).

c – Une paléogéographie remontant au Précambrien

Les grandes régions géotectoniques de Chine ont enregistré l'évolution paléogéographique de la bordure orientale de la Pangée, puis de la Laurussia, à la suite du mouvement des plaques terrestres entre 850 à 240 millions d'années. Cet espace-temps, de plus de 600 millions d'années, a vu nombre de transgressions et régressions marines rythmées par des cycles orogéniques multiples très longs : néoprotérozoïque, calédonien, hercynien, eux-mêmes

subdivisés en phases tectoniques. Les anciens paysages issus de ces périodes éloignées ont disparu : seules des traces existent sous forme de surfaces d'érosion scellées par des couches plus récentes, des tillites (anciens dépôts glaciaires) et des paléokarsts (poches de sédiments). Il faut donc remonter avant l'ère Primaire, au Protérozoïque supérieur (Sinien), il y a plus de 700 millions d'années, pour découvrir les premiers indices de karstification et d'altération des calcaires et dolomies (figure 7, annexes), par exemple sous la forme de dépôts ferrugineux datés stratigraphiquement du Sinien supérieur (Zhang, 1989). Au cours du Paléozoïque, d'autres karstifications importantes se produisent durant les orogénèses calédonienne et hercynienne (Maire, Zhang et Song, 1991).

2 – Rôle des phases tectoniques

On distingue les phases tectoniques de la Pangée et le cycle orogénique « alpin » intervenu après le morcellement définitif du précontinent. Les phases tectoniques qui ont le plus d'incidence sur les paysages actuels sont celles qui sont intervenues le plus tardivement : plissements yanshanien du Jurassique à l'Éocène et surrection himalayenne au Néogène et au Quaternaire.

a – Les phases tectoniques de la Pangée

Du Sinien au Trias moyen, les phases tectoniques calédonienne, hercynienne et indosinienne sont en liaison avec l'histoire interne de la Pangée et des mouvements intracratoniques et aux marges avant son morcellement définitif au Mésozoïque. Les orogénèses hercynienne et indosinienne, allant du Dévonien au Trias, sont parfois associées dans le même cycle orogénique. Les deux phases tectoniques hercyniennes (Tianshanien et Yiningien) intéressent le nord et le nord-est de la Chine au niveau de l'ancien continent Palasien. Des phénomènes de fragmentation (*rifting*) se produisent sur les marges continentales au contact de l'ancien océan Paléotéthys. La plate-forme du Yangtse se déplace probablement vers l'Australie, provoquant de vastes éruptions fissurales basiques à la fin du Permien, représentées par le célèbre trapp basaltique du Yunnan, la formation Emeishan (photo 22, annexes). Ces éruptions donnent un empilement régulier de coulées de laves qui recouvrent les calcaires sur plusieurs centaines de mètres. À partir du Trias, les deux phases indosiniennes marquent un tournant dans l'évolution structurale de la Chine avec un changement d'orientation des axes tectoniques et la disparition du domaine marin du Sud de la Chine. Le phénomène le plus remarquable est la convergence de la plate-forme du Yangtse et du nord de la Chine et la consolidation des Indosinides dans le Sichuan occidental (Wang, 1986).

b – Les phases tectoniques du cycle alpin au Jurassique et au Crétacé

La fragmentation définitive du paléocontinent Pangée se produit à la fin du Trias et au cours du Jurassique. C'est le début d'un mégacycle orogénique à échelle planétaire : le cycle « alpin » subdivisé en Chine en phases de Yanshan et phases himalayennes. Après le Trias, du Jurassique au début du Tertiaire, tout le territoire chinois se plisse et se fracture en raison de la collision triphasée des plaques du Pacifique, de l'océan Indien et de l'Eurasie. Ce sont des périodes marquantes de diastrophisme et de charriage qui se traduisent par les trois grandes phases tectoniques de Yanshan : Yanshanien 1 (Jurassique), Yanshanien 2 (Crétacé), Yanshanien 3 (Éocène). Le cycle alpin récent débute avec le Yanshanien 2, au Crétacé. Cette histoire tectonique et érosive est enregistrée dans les dépôts continentaux du grand bassin du Sichuan, épais de plusieurs milliers de mètres et riches en gisements pétroliers, et dans de multiples petits bassins rouges conglomératiques et pélitiques attribués à l'Éocène (Yanshanien 3).

c – Les phases tectoniques himalayennes

Au cours du Cénozoïque, la formation de la chaîne himalayenne est en liaison avec la collision (poinçonnement) des plaques indienne et asiatique. Cette orogénèse se subdivise en trois épisodes : Oligocène, fin Miocène et fin Pliocène à Quaternaire. Après le second épisode himalayen, le karst continue d'évoluer sous la forme d'une surface à buttes karstiques mimant une surface pénéplanée ; celle-ci subsiste dans le paysage sous la forme d'une paléo-surface « en pointillés » passant par le sommet des champs de buttes, cônes et pitons (photos 15 et 16, annexes). C'est à la fin du Pliocène, donc du Tertiaire, que se produit le mouvement tectonique et la phase d'évolution géomorphologique les plus marquants de l'histoire géologique récente de toute la Chine. Situé à proximité de l'Himalaya, l'Ouest de la Chine subit une surrection violente alors que l'Est du pays connaît un soulèvement progressif de la surface d'aplanissement anté-quaternaire.

II – Une panoplie de morphologies karstiques et para-karstiques

L'effet de site géotectonique à échelle subcontinentale illustrée par la relation surrection de l'Himalaya/plateforme du Yangtsé conditionne toute l'évolution karstique de la Chine du Sud-ouest depuis plusieurs millions d'années. Il explique à la fois une partie de l'érosion des couvertures imper-

méables, l'incision en canyon des plateaux calcaires, la formation de grottes-tunnels et l'étagement des grottes. Nulle part au monde, il existe une telle ampleur spatiale des phénomènes karstiques accentués par un climat humide de mousson, donc à saisons contrastées (rôle des crues).

1 – Un relief karstique tropical typique

Les vastes paysages à pitons et cônes karstiques, typiques du relief karstique des Tropiques humides, sont la manifestation ultime d'un dernier cycle d'érosion et de karstification qui a démarré avec le recul définitif de la mer à la fin du Trias et au début du Jurassique, il y a 200 millions d'années environ. Ce cycle d'érosion, en phase avec le cycle orogénique « alpin », a été rythmé par de multiples phases tectoniques : Indosinien (Trias), Yanshanien (Jurassique, Crétacé, Éocène), Himalayen (Oligocène à Pléistocène). Les paysages karstiques formés au cours de l'ère Secondaire ont totalement disparu à cause de l'érosion d'une épaisse colonne sédimentaire de 2 km d'épaisseur, comme l'atteste la diagenèse de la vitrinite (minéral organique vitreux) des couches de charbon. En effet ce minéral carboné ne peut se former qu'à une certaine température d'enfouissement des sédiments, ici de l'ordre de 2300 m au minimum (Mouret, 1991).

Les paysages actuels sont le résultat d'une compétition entre le soulèvement de l'Himalaya et l'érosion des calcaires depuis le milieu et la fin de l'ère Tertiaire. Cette karstification s'accompagne aussi de l'encaissement des vallées et des canyons sur plus de 500 à 1 000 m de dénivellation dans le Guizhou occidental (Gesohe et Beipanjiang, district de Panxian). En bordure de l'Himalaya, dans le nord du Yunnan (district de Lijiang), l'amont du Yangtse ou Jinshajiang s'encaisse de plus de 3 500 m dans l'anticlinal carbonaté des Yulongxueshan. La gorge d'Hutiao au niveau du « saut du Tigre » est la gorge calcaire la plus profonde connue dans le monde. Ailleurs les systèmes pertes/résurgences donnent naissance à des grottes-tunnels de grandes dimensions. Les trous béants perchés au milieu des pitons et au sommet des montagnes témoignent de ce soulèvement et de cette dernière grande phase cénozoïque de karstification (photo 17, annexes).

2 – La terminologie karstique chinoise

Les quatre termes chinois principaux désignent des formes positives et sont construits avec le mot *feng* qui signifie « pic, mont ». Les deux termes génériques sont *qiufeng* (« colline ») et *fenglin* (« forêt de pics ») qui désignent respectivement les karsts à buttes larges et les karsts à cônes et/ou

pitons. Les termes *fengcong* et *gufeng* ne décrivent pas un paysage entier, mais un relief précis : un groupe de pitons et un piton isolé. Les *fengcong* sont typiques des reliefs karstiques de pente comme sur le flanc des anticlinaux et des synclinaux. Les *gufeng* sont des reliefs résiduels isolés typiques des zones karstiques évoluées comme dans le karst de Guilin (Guangxi) ou dans le fond de poljés avec pitons isolés.

Pour compléter cette terminologie de base, des mots composés ont été fabriqués avec les termes génériques chinois et européens, en associant *qiufeng* et *fenglin* aux termes doline, ouvala, poljé et plaine. Les *qiufeng*-ouvala et *qiufeng*-poljé associent collines (ou buttes basses) et ouvalas et/ou poljés. Le type *qiufeng*-doline est une variante. Ces types de paysages karstiques sont présents sur des hautes surfaces pénéplanées comme dans les plateaux du Yunnan oriental entre Kunming et le Guizhou et dans certains plateaux du Guizhou occidental (Santang, Liuzhi) ou central (Xifeng, Xiuwen) où les plissements sont peu accusés. Les types *fen glin*-ouvala et *fenglin*-poljé sont fréquents dans l'ensemble du Guizhou méridional (photo 17, annexes), du Yunnan méridional et dans le nord du Guangxi. Les pitons karstiques, groupés en *fengcong*, sont associés à des surfaces planes de fond d'ouvalas et de poljés, d'où le développement d'une corrosion latérale qui attaque la base des pitons et favorise la formation de tours ou de falaises, en liaison avec les systèmes de fractures.

Les grands versants d'anticlinaux sont favorables à la formation d'un type particulier que nous avons dénommé *fenglin*-chevron ou *qiufeng*-chevron selon l'état d'évolution. Il s'agit d'un paysage de karst à cônes dissymétriques liés au pendage (photo 18, annexes). Chaque cône est l'accentuation karstique d'un chevron de pente, facette triangulaire d'érosion engendrée au départ par la divergence oblique des écoulements dans le sens du pendage.

3 – L'étagement des karsts du Yunnan et l'exemple de la « forêt de pierre » de Lunan

Les karsts du Yunnan présentent des étagements bioclimatique et morphoclimatique complets, sur 5 000 m de dénivellation, depuis les karsts tropicaux de basse et moyenne altitudes de la bordure sud-est (*fenglin*-plaine à *fenglin*-ouvala) jusqu'aux karsts alpins et englacés du district de Lijiang (Dragon de Jade, 5 595 m) (photo 14, annexes), en passant par les karsts à poljés des plateaux pré-tibétains de Zhongdian. Son centre est occupé par le haut plateau du Yunnan, situé vers 2 000 m d'altitude, avec ses célèbres forêts de pierre. Cette

région a subi également une déforestation dramatique au cours du xx^e siècle, entraînant une intense érosion des sols, le décapage de nouvelles forêts de pierre incipientes et le soutirage des altérites dans l'endokarst. Du point de vue géologique, ces karsts font tous partie de la plate-forme du Yangtse.

Les « forêts de pierre » (*shilin*) sont fréquentes dans le Yunnan, mais on les rencontre aussi dans le Guangxi et dans le Guizhou où elles sont moins connues. Les karsts à forêts de pierre du plateau du Yunnan sont visibles entre Kunming et la frontière du Guizhou. Elles sont constituées par des groupes de pinacles pouvant atteindre plusieurs dizaines de mètres de haut. Les dents de pierre (*shiya*), récemment décapées par l'érosion, constituent le stade initial de formation des pinacles. Symbolisés par la « forêt de pierre » de Lunan, dans le district de Shilin (Yunnan) (photo 19, annexes), ces karsts à pinacles sont célèbres de longue date et ont fait l'objet de multiples publications (Huang *et al.*, 1998). On connaît des équivalents à Madagascar, les karsts à *tsingy* (Salomon, 1987), mais également à Bornéo et en Nouvelle-Guinée (Jennings, 1985). Les pinacles sont ciselés verticalement par des lapiés de paroi plus ou moins tubulaires, séparés par des arêtes vives. Souvent les pinacles ne sont pas isolés, mais forment des édifices compacts en châteaux de plusieurs dizaines de mètres de côté, subdivisés en pinacles secondaires.

Les forêts de pierre sont polygéniques et offrent une grande complexité. Ainsi trois phases principales ont été reconnues dans la morphogenèse depuis la fin du Paléozoïque (Ford *et al.*, 1996) :

- une phase de karstification au cours du Permien fossilisée au Permien supérieur par les basaltes de la formation Emeishan ;
- une érosion de la couverture basaltique au Mésozoïque et une nouvelle karstification, suivie d'une fossilisation à l'Éocène par les épais dépôts détritiques continentaux ;
- une exhumation des formes crypto-karstiques et une nouvelle karstification à l'air libre à la fin du Tertiaire et au cours du Quaternaire. Néanmoins l'hypothèse d'une longue phase préparatoire d'altération isovolumétrique (de type « fantômisation ») le long des joints, en milieu non drainant et en période de calme tectonique, doit être envisagée.

III – Genèse des karsts coniques par érosion de la couverture imperméable : un effet de site à échelle régionale

Les karsts coniques font partie de la panoplie des karsts tropicaux polygonaux (Ford et Williams, 1989). Dans les karsts de plateforme du

Yangtse, cette morphologie résulte d'une évolution particulière favorisée par un effet de site de type « karst binaire » au contact des roches carbonatées perméables et de la couverture de roches imperméables. Ainsi dans le district de Wufeng (Hubei), sur l'anticlinorium de Changleping armé par les calcaires et dolomies de l'Ordovicien et du Cambrien, on observe un modèle fonctionnel d'évolution de karst conique à partir du décapage progressif de la couverture de flysch (figure 2) (Maire et Pomel, 1995). On distingue 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. Au centre de l'anticlinorium, on distingue un quatrième stade, plus évolué, formé par un karst à cônes, pitons et poljés, recoupé par le profond canyon de la rivière Chaibuxi.

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 silexites ou de produits micacés qui représentent des reliquats d'altérites très évoluées issues de roches cristallines ou clastiques. Ce modèle génétique explique un certain nombre de karsts coniques chinois et privilégie en premier lieu les composantes lithologique et tectonique. Toutefois les conditions bioclimatiques, avec un couvert végétal discontinu et un climat très contrasté, favorisent 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 couvert forestier dense.

Les trois stades d'évolution sont présents dans le paysage en quelques kilomètres. Ce phénomène n'est pas unique ; on le rencontre aussi dans le Guizhou occidental, dans le district de Panxian, à proximité du contact de la couverture des basaltes permien (photo 20, annexes). Signalons un autre exemple remarquable situé au sud de Hefeng, à proximité de la frontière entre le Hunan et le Hubei. 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 les karsts coniques du Hubei et du Hunan, les jalons des évolutions karstique et fluvio-karstique sont représentés par les phénomènes de déstabilisation du milieu. Il s'agit des crises tectoniques, notamment la surrection himalayenne au Néogène et au Pléistocène. 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. Là encore l'effet de site facilite ce type de morphogenèse en zone plissée et soulevée.

IV – Les grottes-tunnels géantes : karst binaire et effet de site

Les karsts tropicaux et subtropicaux de Chine sont la patrie des grottes-tunnels géantes. On entend par grotte-tunnel un système perte/résurgence présentant une rivière hypogée importante circulant dans des conduits de grandes dimensions. Cette spécificité est à la fois d'origines hydro-climatique, géologique et géomorphologique.

1 – Karst binaire et effet de site

La formation d'une grotte-tunnel repose sur le concept classique de karst à amont imperméable ou « karst binaire ». Ce type d'effet de site est fréquent dans les karsts du Sud-ouest de la Chine en raison de la juxtaposition des zones carbonatées et non carbonatées. Une région à substratum étanche (argiles, grès, granites, roches volcaniques) recueille l'eau de pluie ; celle-ci ruisselle et crée un réseau hydrographique aérien. Ces rivières classiques peuvent être amenées à traverser une région calcaire en formant des canyons et souvent une disparition partielle ou complète de la rivière dans la masse du calcaire. Dans certains cas, on peut passer d'un canyon de surface à un canyon souterrain, la perte se situant à l'extrémité d'un canyon aveugle. De nombreux exemples sont connus : Dadong (district de Wufeng, Hubei) (photo 21, annexes), Donghe (district de Hefeng, Hubei), Liuchonghe (préfecture de Bijie, Guizhou), etc. (Maire *et al.*, 2004). Dans un contexte tectonique de surrection active, la notion de karst binaire doit être combinée à la notion d'étagement de grottes. Dans les karsts de la plate-forme du Yangtse, de nombreux cours d'eau se forment dans des zones imperméables ou semi-perméables. En traversant les calcaires et dolomies, ils donnent naissance à des grottes-tunnels de très grand gabarit.

2 – Les grottes-tunnels à niveaux étagés : type Gebihe (Guizhou, Ziyun)

Ce type de grotte-tunnel est symbolisé par le système perte/résurgence de la Gebihe, située dans le district de Ziyun (Barbary *et al.*, 1991) (figure 8, annexes). La grotte traverse un massif de *fengcong* dans les calcaires carboni-

fères et permien. Des tronçons fossiles de grottes-tunnels, perchés à différents niveaux sur 400 m de dénivellation, ont enregistré les étapes de la surrection au cours des derniers millions d'années par le processus saccadé d'abaissement de perte.

La grotte-tunnel de la Gebihe draine un bassin de 1 200 km² se développant dans des terrains sédimentaires allant du Dévonien au Trias. Les précipitations sont de 1 337 mm/an à Ziyun. Le système traverse d'ouest en est le flanc occidental du synclinal de Jiaoma et resurgit au fond d'une reculée près de l'axe du synclinal. Le réseau se développe d'abord dans les calcaires du Carbonifère, puis dans ceux du Permien inférieur, selon un pendage de 27 °E. La partie connue mesure 12 km de développement et 418 m de dénivellation. La perte principale débute par un porche en ogive de 120 m de haut et 25 m de large (photo 22, annexes). Deux avens géants jalonnent le tracé : un puits de 370 m situé au début du réseau et un puits de 210 m perforant le milieu du plateau. Le réseau amont se termine à l'aval sur deux siphons. Par conséquent, pendant la mousson, quand le débit dépasse plus de 50 m³/s, la galerie s'envoie et refoule jusqu'à la perte. Exploré à partir de la résurgence, le réseau aval mesure 4,2 km de développement. À 500 m de l'entrée, il donne accès à la salle des Miao qui est actuellement la deuxième plus grande salle du monde après celle de la salle Sarawak à Mulu (Malaisie). Elle mesure 700 m de long, 200 m de large et 70 à 100 m de haut. Plusieurs stalagmites atteignent 20 à 40 m de haut. À la résurgence, le débit moyen est de 25 m³/s environ, avec un étiage supérieur à 5 m³/s. Compte tenu de l'amplitude des précipitations, le débit peut dépasser 100 à 200 m³/s en saison des pluies. À la hauteur de la perte principale (Gebihe), quatre niveaux d'écoulement ont été reconnus :

- niveau 1 : porche actif géant avec galerie fossile perchée à + 100 m (Gebihe) ;

- niveau 2 : grand porche situé à + 226 m (pont-tunnel) ;

- niveaux 3 et 4 : porche de + 350 m et porche détruit de + 370 m (galets).

Le porche fossile de la cote + 226 m (niveau 2) est un tronçon de grotte-tunnel de 137 m de long, 70 m de large et 50 m de haut (photo 23, annexes). Il débouche sur un effondrement de 200 m de diamètre qui correspond à la moitié supérieure d'un puits géant de 370 m qui trépane le plateau et rejoint la rivière souterraine dans une galerie haute de 130 m. La suite de cette ancienne grotte-tunnel est visible vers le sud-ouest : il s'agit d'une gorge envahie par la forêt correspondant à une vaste galerie dont le plafond a disparu à cause de l'érosion karstique du plateau. À l'est du massif, on observe un étagement similaire. Ces différents conduits, étagés sur 400 m de dénivellation sont les témoins de l'évolution du système perte/résurgence de la Gebihe au cours de la surrection himalayenne depuis le Néogène. Une tranche de calcaire de

plusieurs centaines de mètres, contenant des niveaux supérieurs, a dû disparaître par érosion au cours du Tertiaire. Durant les derniers millions d'années, l'érosion karstique du massif a provoqué un abaissement relatif de la surface karstifiée pendant que celle-ci se soulevait. Cette érosion explique les conduits perchés, mais aussi les liaisons verticales avec la surface (puits de 210 et 370 m).

3 – Les grottes-tunnels sous vallée sèche : type Gesohe (Guizhou, Panxian)

Dans la partie nord-est du district de Panxian, située sur la bordure du haut plateau du Yunnan, le relief dépasse souvent 2 000 m d'altitude. C'est la région des vallées profondes avec notamment le grand canyon de la Beipanjiang. L'intérêt du système karstique majeur de la Gesohe est de présenter un autre exemple d'effet de site car le système perte/résurgence se développe ici sous une vallée sèche représentant la capture souterraine de l'ancien cours superficiel de la rivière. La perte actuelle forme un porche monumental de 140 m de haut, localisé à l'extrémité amont de la vallée de la Gesohe, à 1 230 m d'altitude. La résurgence se situe à la cote 1 019 m à l'extrémité de la vallée sèche suspendue. Le système souterrain de la Gesohe est alimenté par la rivière du même nom, dont le bassin d'alimentation est de l'ordre de 1 200 km², d'où un débit à la perte qui peut dépasser 500 à 1 000 m³/s en très forte crue, provoquant ainsi un refoulement de l'eau avec formation d'un lac d'entrée montant jusqu'à la cote +70 m (figure 9, annexes).

L'étude géomorphologique montre l'existence d'une grande vallée perchée située dans le prolongement de la vallée amont de la Gesohe. Un col est situé 1 km au nord, 200 m au-dessus de la perte, à la cote 1 439 m. En contrebas du col apparaît l'orifice de la doline d'effondrement de Jiaocai, profonde de 200 m, qui constitue un regard sur le parcours de la grotte-tunnel. À l'est de cet aven géant, on observe la cicatrice d'une ancienne cavité, indice de l'érosion d'une importante tranche calcaire. Puis la vallée sèche se développe avec un fond plat, à la cote 1 118 m, sur plus de 2,5 km, dominée par des versants escarpés de 700 à 900 m de haut. L'extrémité de ce tronçon de vallée fossile domine la résurgence par une marche de 100 m qui traduit l'arrêt de l'encaissement de la vallée à cause de la capture souterraine de la Gesohe et la poursuite de la surrection tectonique.

La formation de la grotte-tunnel de la Gesohe a donc été précédée par une paléo-Gesohe superficielle. L'effet de site local à l'origine de la capture endo-

karstique est en relation avec la surrection tectonique et avec une structure géologique favorable : un axe anticlinal fonctionnant en extension, d'où une ouverture suffisante des failles, notamment des grandes fractures axiales et transversales. Le creusement initial de la vallée de la Gesohe se place au cours du Tertiaire avec le début d'une grande phase de soulèvement de l'Himalaya. La composante de surrection est estimée à 1 km au minimum, si l'on tient compte de la différence d'altitude entre le fond actuel de la vallée (900-930 m) et le niveau des cônes karstiques (1 900 m). À partir des critères géomorphologiques, on peut envisager l'évolution polyphasée suivante :

- durant la première phase (I), la Gesohe coule au-dessus du col de 1 439 m et creuse une vallée normale qui présente alors un encaissement déjà important. Cette période pourrait se situer au cours ou à la fin du Néogène. Durant cette période, la Gesohe commence probablement à se perdre et creuse une première grotte-tunnel dont les témoins seraient la paléocavité à ciel ouvert située au bord de Jiaocai et une grotte sèche s'ouvrant à 1 310 m (Shuangdong). À la fin de cette phase I, la résurgence devait se situer vers la cote relative de 1 250 m ;

- durant la phase intermédiaire (II), à cause de la poursuite de la surrection, par le processus de recul de perte, la Gesohe disparaît dans la perte actuelle, mais au niveau supérieur du porche, soit plus de 120 m au-dessus de la cote de la rivière d'aujourd'hui. Cette phase est responsable du creusement d'un niveau de drain situé à + 100 m à l'intérieur de la galerie d'entrée. À cette époque, la résurgence devait se situer au fond de la vallée sèche à fond plat en forme de reculée, vers la cote 1 140 m. En fonction de l'intensité de la surrection tectonique, le début de cette période pourrait se placer au début, voire au milieu du Pléistocène ;

- pendant la dernière phase (III), la perte de la Gesohe, correspondant à l'entrée actuelle, se transforme peu à peu en canyon souterrain par enfoncement vertical sous l'effet de la surrection. Alors que la résurgence de la cote 1 140 m fonctionne encore, des sous-écoulements forment un réseau aval qui finit par capturer l'ensemble de la rivière souterraine et assécher cette résurgence. La résurgence s'implante au niveau de la sortie actuelle des eaux à la cote 1 019 m.

*

Les explorations spéléologiques et scientifiques des karsts de Chine du Sud-ouest depuis les années 1980, effectuées en collaboration avec les scientifiques chinois, ont permis de valoriser le patrimoine karstique aux niveaux national et international. C'est le cas de deux sites exceptionnels de la province du Guizhou : le parc national géologique de Shuanghe (Suiyang) depuis 2004 avec la plus longue grotte de Chine, et le parc national de Getuhe-

Chuangdong (Ziyun, Guizhou) depuis 2005 qui détient la grotte-tunnel de la Gebihe. Au niveau UNESCO, la forêt karstique de Maolan (Libo, Guizhou) a obtenu le statut de Réserve de la Biosphère, de même que la « forêt de pierre » de Lunan (Yunnan). Mais ce n'est qu'en 2007 que les karsts de Chine du Sud ont obtenu le statut de Patrimoine Naturel mondial. Ces diverses reconnaissances officielles ont motivé les aménagements culturel et touristique de nombreux sites, constituant un facteur de développement pour des régions karstiques de montagne traditionnellement pauvres. Au niveau des recherches scientifiques, ces karsts deviennent des modèles pour les études géomorphologiques et des paléoclimats en domaine de mousson car ils ont bénéficié, sur une superficie considérable, de nombreux effets de site à différentes échelles. Enfin la richesse karstique de la Chine du Sud-ouest est liée étroitement à un patrimoine ethnique exceptionnel. Fuyant les Han, de multiples minorités, comme les Miao du Guizhou (les Hmong de la péninsule indochinoise ont la même origine) et les Dong du Guangxi, se sont installées depuis plusieurs millénaires dans les régions calcaires difficiles d'accès, développant de fortes identités qui constituent aujourd'hui un des principaux trésors culturels de la Chine. Réfugiés de longue date dans ces montagnes calcaires peu accessibles, percées de grottes, ces peuples ont profité précisément de l'effet de site karstique à l'origine de la fonction refuge.

Remerciements : À *Martine Courrège-Blanc* pour la mise au point des figures.

Bibliographie

Ford D. et Williams P., 1989 - *Karst Geomorphology and hydrology*. London : Unwyn Hyman, 601 p.

Ford D., Salomon J.-N. et Williams P., 1996 - Les « forêts de pierre » ou « *stone forests* » de Lunan (Yunnan, Chine). *Karstologia*, n° 28, p. 25-40.

Chuxing H., Knez M., Hong L., Slabe T., et Sebela S., 1998 - Le Lunan stone forests, in : *South China karst*, vol. 1. Ljubljana : ZRC SAZU, p. 18-29.

Jennings J., 1985 - *Karst geomorphology*. Oxford : Blackwell, 293 p.

Maire R., Zhang S. et Song S., 1991 - Genèse des karsts subtropicaux de Chine du Sud (Guizhou, Sichuan, Hubei). In : Gebihe 89, Karsts de Chine, *Karstologia Mémoires*, n° 4, p. 162-186.

Maire R. et Pomel S., 1995 - Formation d'un karst conique à partir de la couverture de flysch. In : Donghe 92, karsts de Chine centrale, *Karstologia Mémoires*, n° 6, p. 130-141.

Maire R., Barbary J.-P., Vanara N. et Bottazi J., 2004 - Spéléo-karstologie et environnement en Chine, *Karstologia-Mémoires*, n° 9, 562 p.

Zhang S. et Maire R., 2004 - Présentation des karsts du Yunnan-Guizhou et du Liaoning. In: Spéleo-karstologie et environnement en Chine, *Karstologia-Mémoires*, n° 9, p. 25-42.

Mouret C., 1991 - Le degré d'évolution diagénétique de la matière organique sédimentaire, indicateur de la couverture érodée en région karstique (district de Zhijin, Guizhou). In: Gebihe 89, Karsts de Chine, *Karstologia Mémoires*, n° 4, p. 187-191.

Salomon J.-N., 1987 - *Le Sud-ouest de Madagascar : étude de géographie physique*. Pessac : Presses Universitaires de Bordeaux, 2 tomes, 998 p.

Wang H., 1986 - Geotectonic development. In: Yang Z., Cheng Y. and Wang H., dir. - *The geology of China*. London : Oxford Monographs on Geology and Geophysics, n° 3, Clarendon Press, p. 256-275,

Zhang S., 1989 - Paleokarst of China. In: Bosak P., dir. - *Paleokarst : a systematic and regional review*. Prague-Amsterdam : Czechoslovak Academy of Sciences/Elsevier, p. 297-311.

Zhang S. et Maire R., 1991 - Description physique générale des karsts de Chine. In: Gebihe 89, Karsts de Chine, *Karstologia Mémoires*, n° 4, p. 7-16.

Résumé

L'effet de site géotectonique à échelle subcontinentale illustrée par la relation sur-rection de l'Himalaya/plateforme du Yangtse conditionne toute l'évolution karstique de la Chine subtropicale des moussons. Les deux grands types morphologiques de la terminologie chinoise sont le *qiufeng* (karst à buttes larges) et le *fenglin* (karsts à cônes et/ou pitons) associés à des dépressions de type ouvala et poljé. Ces karsts typiques résultent d'une intense compétition entre le soulèvement de l'Himalaya et l'érosion des calcaires, notamment au cours de la dernière phase de soulèvement plio-quadernaire. Certains karsts coniques se forment à partir du décapage de la couverture de roche imperméable (flysch, basaltes). Lors de la traversée des zones carbonatées, les rivières allochtones forment des grottes-tunnels géantes comme celle de la Gebihe (Guizhou, Ziyun). Les tronçons de tunnels perchés témoignent de la surrection himalayenne. Ce type favorable d'effet de site conjugué à la notion d'immunité karstique enregistre l'histoire tectonique, géomorphologique et paléoenvironnementale sur plusieurs millions d'années.

Mots-clés : Chine du Sud-ouest, Guizhou, Gebihe, karst, effet de site, karst binaire, immunité karstique, paléogéographie, tectonique, mousson.

Abstract

The karst heritage of South-Western China (geological context, karst genesis and site effect)

These karsts belongs to the geotectonic area of Yangtse platform; the carbonated series of several thousands meters thick begins with Sinian (850 Myr) and finishes with Middle Trias (240 Myr). The two main morphological types of the chinese terminology are the qiufeng (karst with broad hillocks) and the fenglin (cone and tower karst) associated with ouvalas and poljes. The deep valley entrenchment related to the last plio-quaternary tectonic uplift is more than 1 000 m in Western Guizhou. At the contact carbonated/impervious rocks, the sinkhole-resurgence systems form large-sized through caves as Gebihe (Guizhou, Ziyun). The perched tunnels in the medium and the top of the reliefs testify to the later great cenozoic phase of karstification. This favourable site effect, combined with karst immunity, can record the tectonic, geomorphological and palaeoenvironmental history during several millions of years.

KEY-WORDS: South-western China, Guizhou, Gebihe, karst, site effect, binary karst, karst immunity, palaeogeography, tectonics, monsoon.

重返贵州

中国西南喀斯特：

地理背景，古地理学和关于锥形喀斯特的信息

概要：

中国西南喀斯特属于长江地台的地质结构。一系列的石灰岩层厚达几千米，形成于震旦纪八亿五千万年前到三叠纪中期两亿四千万年前之间。伴随着下陷的灰盐盆地和大溶蚀洼地的两种重要的喀斯特地貌中国术语叫球峰和峰林。现存的各种喀斯特地形比如锥形喀斯特，山顶喀斯特，峡谷喀斯特还有高地隧洞喀斯特，导致着在喜马拉雅的隆起和第三纪末以来被侵蚀的石灰岩之间的一个强烈竞争。在可被渗透和不可被渗透的岩石（二元喀斯特）的相互接触中，地下涌泉消失的地下系统形成了像贵州省紫云县格必河这样巨大的隧道洞穴。这些山腰和山巅的高地隧洞特征见证了几百万年来喀斯特形成的最后几个重要阶段。

ANNEXES

<i>Introduction</i>	Photos 1 à 3
<i>La mutation de la Chine aujourd'hui</i>	Photos 4 à 10
<i>Disparité régionale de la Chine</i>	Figure 1
<i>La pauvreté rurale en Chine du Sud-Ouest: exemples de deux communes du Guizhou</i>	Photos 11 et 12. Figures 2 à 5
<i>Le développement de l'agriculture en milieu karstique dans le Sud-ouest de la Chine: l'exemple du Guizhou (district de Ziyun)</i>	Figure 6
<i>Le patrimoine karstique de la Chine du Sud-Ouest: contexte géotectonique, genèse du karst et rôle de l'effet de site</i>	Figures 7 à 9 . Photos 13 à 23
<i>Chine et Afrique, une longue histoire, une nouvelle donne géographique</i>	Photos 24 à 28
<i>Chine - Inde: course au développement et impacts socio-environnementaux</i>	Photo 29 à 34

Photo 1 – Les participants officiels au colloque de Guiyang en juillet 2007, Université Normale du Guizhou.

**Photo 2 – Séance inaugurale du colloque dans la salle de conférence.
(Photo A. Turlet)**

**Photo 3 – Présentation de Pierre Gentelle par le professeur Dan Wenhong.
(Photo M.-L. Penin)**

**Photo 4 – Pierre Gentelle et un paysan du Sud Guizhou (village de Yaozhai) en
juillet 2007. Celui vient de lui raconter la terrible famine qui s'est produite dans
la région durant le « Grand Bond en Avant ». (Photo Richard Maire)**

© Musée de Sarguemines

Photo 5 – Assiette coloniale française représentant un peloton d'exécution japonais fusillant un chinois vers les années 1900. © Musée de Sarreguemines

**Photo 6 – Dans les années 1980, agriculture traditionnelle dans la région du temple de Shaolin (Henan), un des berceaux des arts martiaux.
(Photo P. Gentelle)**

Photo 7 – En octobre 1987, au bord du lac de Kunming. Aujourd'hui ce secteur est totalement urbanisé ! (Photo Pierre Gentelle)

Photo 8 – Les canaux autour de la ville de Shuzhou (Jiangsu) dans les années 1970. On était encore pendant la période pauvre de la Chine, juste avant l'ouverture du pays par Deng Xiao Ping. (Photo Pierre Gentelle)

Photo 9 – Vieux quartier (Hutong) de Beijing en 1999. Ces derniers ont presque totalement disparu. (Photo Pierre Gentelle)

Photo 10 – Marché Uygur à Kaschgar en 1992 dans la province occidentale musulmane de Xinjiang. (Photo Pierre Gentelle)

Figure 1 – Répartition des précipitations moyennes annuelles en Chine.
(Source : Centre des données sur les ressources et l'environnement de l'Académie des sciences de Chine)

Photo 11 – L'aménagement des champs agricoles : la rizière est située en bas et les champs de maïs s'étagent sur les pentes douces au pied de la montagne.
(Photo Chen Jiangtao)

Photo 12 – Champs de pommes de terre en floraison à Pojiao, mai 2004.
(Photo Chen Jiangtao)

Figure 2 – Le Relief de la province du Guizhou et localisation des 2 communes étudiées : Riolan au sud (District de libo) et Pojiao au nord (district de Weining). (Source : Chen Jingtao, 2007)

Figure 3 – Utilisation du sol à Raolan (d'après la carte topographique de 1965 à 1/50 000).
(Cartographie : Guilène Réaud-Thomas, ADES-Dymset-CNRS)

Figure 4 – Exploitation du sol du bassin du lac Caohai et situation du village de Pojiao, à l'ouest.
(Source : Réserve naturelle du lac Caohai, dessin chen jingtao)

Figure 5 – Relief et habitat du secteur de Pojiao.
(Cartographie : Guilène Réaud-Thomas, ADES-Dymset-CNRS)

Figure 7 – Carte géologique de la province du Guizhou.
(D'après Maire et al., 2004)

Figure 6 – Répartition des régions désertifiées du district de Ziyun.
(Source : Bureau du développement et de rénovation, avril 2005)

**Figure 8 – Un modèle de grotte-tunnel géante à niveaux étagés traversant un karst conique : la Gebihe (Guizhon, Zihun).
(D'après Maire et al., 2004)**

Figure 9 – Un modèle de grotte-tunnel géante sous vallée sèche : la Gesche (Guizhon, Panxian). (D'après Maire et al., 2004)

Photo 13 – Les dolomies du Sinien (700-800 Ma) dans la partie aval des Trois Gorges sur le fleuve Yangtse. (Cliché R. Maire)

Photo 14 – Le massif préhimalayen du Dragon de Jade (Yulongxueshan, 5 600 m) présente une armature de calcaires et de marbres du Dévonien-Carbonifère-Permien dégagés de sa couverture de flyschs du Trias.

Photo 17 – Ce pont-tunnel géant s'ouvre au sud du district d'Anshun dans le centre du Guizhou. Il correspond à un ancien tronçon perché du réseau de Longgongdong. (Photo R. Maire)

Photo 15 et 16 – Les karsts à cônes et pitons du SW du Guizhou (« Les dix mille collines ») illustrent bien l'action de la karstification à partir de la surface pénéplanée datant du milieu du Tertiaire. (Photos R. Maire)

Photo 18 – Karst à buttes dissymétriques de type qiufeng-chevron sur le flanc de l'anticlinal de calcaires permien de Baoji dans le district de Panxian (Guizhou occidentale). (Photo R. Maire)

Photo 19 – Karst à buttes dissymétriques de type qiufeng-chevron sur le flanc de l'anticlinal de calcaires permien de Baoji dans le district de Panxian (Guizhou occidentale). (Photo R. Maire)

Photo 20 – Les basaltes du Mt. Badashan (2 558 m) domine un karst à cônes qui s’est formé dans les calcaires du Permien inférieur après l’érosion de la couverture volcanique imperméable. (Photo R. Maire)

Photo 21 – La perte de Dadong (« grande grotte ») s’ouvre par un porche haut de 100 m à l’extrémité d’un canyon aveugle (Wufeng, Hubei). (Photo Climanthrope)

Photo 22 – La perte géante de la Gebihe débute par un porche haut de 120 m dans les calcaires du Permien. En 2005 l’ensemble du site est devenu Parc National avec un aménagement touristique. (Photo R. Maire/colloque franco-chinois 2007, ADES-Dymset, Pessac)

Photo 23 – Ce « tunnel » inactif correspond à l'ancien passage de la Gebihe souterraine. Il est perché à + 226 m en raison de la surrection himalayenne. (Photo R. Maire/colloque franco-chinois 2007, ADES-Dymset, Pessac)

Photo 24 – Peinture chinoise représentant la rencontre de l'amiral Zheng He avec la population africaine de la côte orientale (Somalie) au début du XV^e siècle. (Auteur inconnu).

Photos 25 et 26 – La gare de Tazara à Dar es Salaam (Tanzanie) présente un style monumental typique ; elle a été construite par les Chinois dans les années 1970 en même temps que la ligne de chemin de fer reliant Dar es Salaam à Lusaka en Zambie. (Photo Annie Bart, 1996-1997)

Photo 27 et 28 – Les trains de la ligne de Tazara ont été construits par l'entreprise chinoise Sifang. Depuis 1998, Bombardier (Canada) et Sifang Locomotive and Rollingstock Cie forment une joint-venture dédiée à la fabrication de trains à grande vitesse. (Photos H. Mainet, 2010)

Photo 29 – Paysage rural typique dans les karsts du Sud Guizhou : rizières, villages et karsts à tours. (Photo R. Maire)

**Photo 30 – Panneau publicitaire (district de Libo, Guizhou) incitant les paysans à investir dans une agriculture moderne (mécanisation, engrais, pesticides).
(Photo M.-L. Penin)**

Photo 31 : Un exemple de croissance urbaine : la ville de Guiyang, capitale de la province du Guizhou. Pagode ancienne au milieu des immeubles des années 1990 et des tours des années 2000. (Photo R. Maire)

Photo 32 – Exemple d'hypermarché dans le centre ville de Shanghai.
(Photo M.-L. Penin)

Photo 33 – Inde du Sud (Tamil Nadu), rizières vers 200 m d'altitude au pied de la grande chaîne des Ghâts occidentaux. (Photo J.-M. Quitté)

**Photo 34 – Circulation dense des véhicules à l'entrée de New-Delhi en 2011.
(Photo Ange-Lili Mageran).**