

N°98 • Juin 2005

2<sup>e</sup> trimestre 2005

# Spelunca

## Mexique :

100 km en siphon

## France :

La grotte-résurgence  
de Bordes de Crue

Le clone numérique  
de la salle de la Verna

ISSN 0242-1771 00980



Fédération française de spéléologie





Figure 1 : Carte de situation de la péninsule du Yucatan (Mexique).



Figure 2 : Carte des États de la péninsule.

## Dix années dans les grottes mayas (Mexique)

# 100 km de première en siphon

Les expéditions YUC (agréées par la FFS)  
Rédigé par Christian THOMAS

Au début des années 1980, un siphon dépassant le kilomètre d'extension était considéré avec respect. Au cours des vingt dernières années, une révolution silencieuse s'est accomplie avec la découverte des grands réseaux noyés du Yucatán. Ox Bel Ha (140 km), Nohoch (68 km) et Dos Ojos (61 km) ont bousculé nos rêves les plus fous ! Outre ces systèmes géants, 300 km de grottes noyées ont été explorés. Toutes ces cavités sont localisées dans la même étroite bande de terrain partagée entre marécages et forêt tropicale, sur 10 kilomètres de large et 80 de long ! (fig. 1 et 2)

Depuis 1995, grâce à une approche pluridisciplinaire, l'appui indéfectible d'une poignée d'amis mexicains et l'opiniâtreté d'un noyau d'explorateurs irréductibles, nos quatorze expéditions « YUC » nous ont permis d'explorer 100 km de siphons et 40 km de grottes sèches ! Odile Champart Curie, Anne Depin, Frédéric Bonacossa, Philippe Brunet, Gilles Carmine, Bruno Delprat, Christophe Depin, Bernard Glon, Joao Neves, Ricardo Rodrigues, Marco Rotzinger, Manuel Soares et moi-même sommes les piliers de cette aventure.

Comment expliquer le développement d'un karst aussi spectaculaire dans une zone aussi limitée ? C'est la question qui a dominé notre pensée au cours de ces dix années d'exploration. Nous avons accompli un important travail scientifique sur ce karst particulier où l'intrusion de l'eau salée change les règles habituelles de la formation des cavernes. Ce travail fait aujourd'hui référence et nous entraîne aux portes de la « big science » dans le domaine des problèmes ardu de datation absolue et de la paléoclimatologie.

## Une discipline nouvelle : l'étude des karsts DGH

Le Yucatán est l'archétype des karsts de plaine. Les karsts de plaine, ou plus précisément de Dupuit-Ghyben-Herzberg (DGH), ne sont étudiés spéléologiquement que depuis une trentaine d'années. L'influence de l'eau de mer qui pénètre loin à l'intérieur des terres est leur dénominateur commun. L'eau de mer, lorsqu'elle se mélange à l'eau douce, décuple le pouvoir corrosif de cette dernière. Il en résulte des morphologies karstiques très particulières donnant naissance à des cavités

spectaculaires. La Floride, les Bahamas, Cuba, les îles de corail du Pacifique, le désert de Nullarbor au sud de l'Australie, et le Yucatán, en sont les exemples les plus connus.

Nous sommes une des rares équipes au monde à étudier ces karsts particuliers, non seulement en combinant l'exploration spéléologique et la démarche scientifique, mais aussi en explorant les diverses régions du monde afin d'en étudier les similarités et les spécificités. C'est ainsi que

depuis 1985, nous avons consacré une large partie de nos explorations à Cuba, à Lifou et Maré (Nouvelle Calédonie), plus récemment à l'île de Niue dans le Pacifique Sud et bien sûr au Yucatán.

La péninsule du Yucatán est un karst de plaine géant et un terrain d'exploration fantastique : 150 000 km<sup>2</sup> de calcaire (soit le quart de la France), des dizaines de milliers de cavités pour la plupart inexplorées et déjà les cinq plus grandes grottes noyées connues au monde !

## L'Himalaya de la plongée souterraine

La plate-forme du Yucatán est une grande plaine dont l'altitude s'élève graduellement de la côte vers le centre sud, pour culminer vers 400 m.

Aucune rivière n'y coule. L'eau de pluie s'infiltré très rapidement dans le calcaire. Les exurgences sont toutes situées en bord de mer. La nappe d'eau peut être atteinte très facilement à travers les gouffres qui criblent la surface : les cenotes (du mot maya « d'zonot »). Cette eau se rencontre à peine quelques mètres au-dessus du niveau de la mer, démontrant ainsi la très grande perméabilité de ces karsts.

Au fur et à mesure que l'altitude augmente vers le sud-ouest et le centre, le relief s'accroît. Il n'atteint toutefois pas la majesté des paysages à tours que l'on connaît dans d'autres pays tropicaux. Des collines, des buttes coniques, ont suggéré à A.E. Weidner de leur attribuer le nom de chichitas (les tétons), gentiment évocateurs.

Deux plateaux surélevés, la serrita de Ticul et la serrita de Puuc, constituent les reliefs les plus marqués. Bordées par de belles falaises, ces deux entités sont situées au sud de Mérida.

Plus au sud encore, des vallées sèches de faible extension et quelques vastes poljés abritent de grandes exploitations agricoles.

Quelques grands traits structuraux modèlent encore la surface.

Sur la côte caraïbe, les cenotes s'alignent sur des fractures NNE-SSW. Celles-ci ont provoqué l'effondrement de grands compartiments dont certains sont descendus sous le niveau de la nappe. Cette disposition a permis la

constitution de grands lacs, comme le lac de Bacalar dont la longueur atteint 50 km et dont la largeur ne dépasse pas 10 m par endroits. À plus grande

échelle, le bras de mer qui sépare Cozumel de la péninsule a la même origine, et l'île de Cozumel est un compartiment surélevé.

Figure 3 : Carte de géomorphologie.

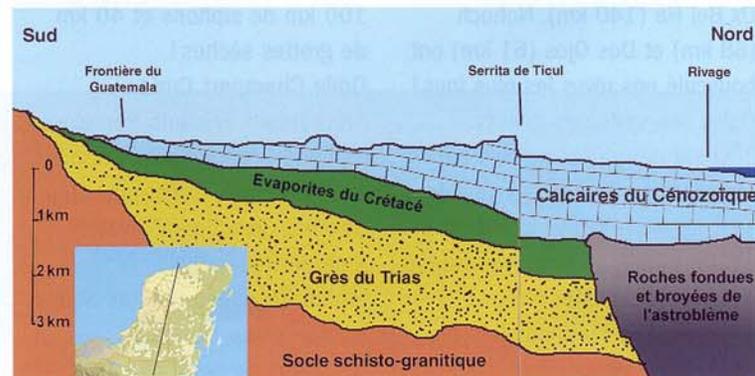


Figure 4 : Coupe géologique simplifiée.

Ce trait géologique ancien, connu sous le nom de fracture de Holbox, se traduit notamment par l'existence d'un alignement de cénotes de près de 80 km de longueur à l'extrémité de laquelle se trouve la plus grande résurgence de la péninsule : la source de Conil.

Dans le prolongement de ce système, se trouve la vallée sous-marine de Catoche Tongue, d'une

cinquantaine de kilomètres de large sur une centaine de long.

Les forages de recherche pétrolière réalisés dans les années 70 ont permis de préciser la géologie de la péninsule du Yucatán. Les terrains les plus anciens se situent au sud de la péninsule et ont cinquante millions d'années. Les calcaires n'atteignent à cet endroit qu'une centaine de mètres d'épaisseur, à la frontière du Guatemala et de

Belize. Ils sont en revanche extrêmement épais au nord, où leur puissance peut atteindre 1 000 m.

La description de la péninsule ne serait pas complète si l'on omettait de mentionner le cratère d'impact (complètement caché par les sédiments) de la météorite de Chixculub, dont on pense qu'il a peut-être entraîné la disparition des dinosaures (fig. 3 et 4).

## Mayas, desperados, hippies et spéléologues

Les expéditions au Yucatán ont un parfum particulier. Il y a bien sûr l'exotisme mexicain, la tequila, les jeux de cache-cache entre police et bandits, la musique, l'art de la sieste. Il y a aussi la jungle et ses dangers, les jaguars, les crocodiles, les guêpes tueuses. Et pour peu que vos pas vous guident un soir de blues dans les bras d'une entraîneuse du Pink Floyd à quelques kilomètres de Playa, vous vous prendrez très vite pour Indiana Jones. Cette atmosphère particulière est sans doute héritée des générations de desperados, pirates et aventuriers de tout poil qui ont sillonné ces terres.

Pour cette même raison, Cancun était dans les années soixante la destination concurrente de Katmandou. On trouve encore, réfugiés sur quelques plages, des bastions hippies quelque peu anachroniques. Certains d'entre eux pratiquent même la « spéléo ».

Entre-temps, la côte est du Yucatán est devenue un immense complexe touristique de 100 km de long, connu sous le nom de Riviera maya. Des centaines de millions de dollars ont été investis. Le front de mer fait l'objet d'une exploitation intensive et une muraille d'hôtels accueille une marée de touristes attirés par le bleu des Caraïbes. Dès que l'on s'éloigne à plus d'un kilomètre de la côte, on se retrouve dans la jungle tropicale et dans le Mexique traditionnel. Des pueblos somnolents ont à peine entaillé la forêt et abritent les employés qui servent l'industrie touristique. Le sens de la propriété terrienne, attisé par la valorisation outrancière de la bande côtière, est extrêmement développé. Les explorations doivent en tenir compte et la recherche du propriétaire terrien est toujours un sujet difficile. La négliger peut mener tout droit à la case prison.



Couleur locale.

Ce que les Mayas appellent « lagarto » (lézard).



Mygale.



Nous ne sommes pas les seuls spéléologues à travailler dans cette région. Des équipes de plongeurs américains installés sur place, vivant du tourisme, écument la jungle depuis 25 ans. La péninsule du Yucatán est devenue la nouvelle Mecque des plongeurs spéléologues. Cinq cents kilomètres de tunnels noyés y ont été explorés (nous y avons contribué pour une centaine). Les Américains lui ont donné le nom de Nouvelle frontière. Nos relations avec les groupes américains ont oscillé entre l'hostilité (« *Qu'est ce que vous faites ici chez nous ?* »), la reconnaissance (« *Ah vous trouvez beaucoup de choses !* ») et la coopération amicale. Nous avons évité pour l'essentiel les guerres spéléologiques si futiles.

Les ressorts profonds du monde indien sont beaucoup plus tragiques. Le peuple maya dont la civilisation s'est effondrée mystérieusement vers l'an mille, soumis ensuite par l'envahisseur espagnol, condamné depuis à une vie économique sommaire, en quête de reconnaissance et de dignité, prend conscience peu à peu de son passé prestigieux. Très religieux, ils voient s'approcher la fin de la cinquième

création, qui débuta 3 113 ans avant notre ère et s'achèvera en décembre 2012 ! Les dieux qui se relayent pour porter les astres parviendront-ils à sauver le monde ? Quelle sera sa destinée ? Fascinés par l'imminence d'un grand changement, ils sont nos guides, les témoins silencieux de nos explorations. Nous rencontrons au hasard de nos plongées des offrandes de plus en plus nombreuses. À mots couverts, ils nous confient, lorsque nous savons les écouter, les histoires de l'inframonde... Il ne faut pas oublier qu'ils furent les premiers explorateurs des cavernes de la péninsule, à la recherche de l'eau et des dieux.

# Historique des explorations

Voilà maintenant 150 ans que les premiers explorateurs occidentaux se sont aventurés dans les abîmes du Yucatán, 150 années de découvertes qui ont mis en évidence un immense patrimoine : 600 kilomètres de grottes, 650 espèces animales, des trésors archéologiques, des découvertes scientifiques.

Sous des formes et des organisations très variées, ces hommes ont partagé la même soif de découverte, la même détermination. Bravant la jungle, parfois la maladie, affrontant les difficultés financières et s'aventurant dans des grottes souvent périlleuses, ils ont laissé leur témoignage sous formes d'écrits, de gravures, de photographies.

## Les pionniers : Stephens et Catherwood

L'histoire des explorations modernes des grottes du Yucatán commence avec les expéditions de l'Anglais Frederick Catherwood et de l'Américain John Lloyd Stephens. Au cours de trois expéditions financées par Stephens en 1839, 1840 et 1841, ils révèlent l'importance des vestiges des grandes cités mayas. L'aventure les conduit à explorer le gouffre de Xtucumbilxunam (fig. 5) (illustrée par Catherwood représentant l'échelle vertigineuse édiflée par les Mayas à la recherche de l'eau), les grottes d'Actun Chac ou encore d'Actun Loitun. Leur récit fait partie de

l'épopée spéléologique (*Incidents of Travel in Yucatán*, 1843).

Sur la lancée de Stephens et Catherwood, les archéologues plongent dans l'aventure maya. Les Français Désiré Charnay et Brasseur de Beaubourg (*Essai historique sur le Yucatán*, 1867), Henry Mercer (1895 : *The Hill Caves of Yucatán*) décrivent une quarantaine de grottes.

## Thompson et le cénote sacré de Chichen Itza

Il faut attendre, pour franchir le miroir de l'eau, une autre grande figure de l'exploration souterraine : Edward Herbert Thompson. Nommé consul des États-Unis au Yucatán, il peut tout à loisir consacrer sa vie à l'archéologie. Il est fasciné par le livre de Diego de Landa écrit trois siècles plus tôt, *Relación de las cosas de Yucatán*, qui décrit l'importance du dieu Chaac, des cultes liés à l'eau et l'utilisation du cénote sacré de Chichen Itza comme lieu de sacrifices humains. En 1894, Thompson achète devant notaire, pour 200 pesos, l'essentiel des ruines de Chichen Itza et notamment le cénote sacré ! Il suit un entraînement de scaphandrier pied lourd à Boston et réunit l'équipement nécessaire. En 1904, le voici enfin au bord du puits. Une grue équipée d'une pelle de dragage est installée au bord du gouffre. Pendant plusieurs semaines,

elle ne remonte que de la boue et des roches tombées dans le puits. Thompson s'acharne. Enfin, deux pierres jaunes sculptées sont remontrées. À partir de ce moment, chaque jour apporte ses découvertes : vases, ossements humains, sculptures, pièces de jade et d'obsidienne.

Après plusieurs mois de dragage, Thompson entreprend enfin les premières plongées. La visibilité est nulle et au fond l'obscurité totale. C'est à tâtons qu'il récupère par quinze mètres de fond des disques d'or, des colliers de cuivre, des vases en céramiques, des couteaux d'obsidienne à manche d'or, des centaines de bijoux, des statuettes en bois et des ossements humains. Le chantier dure au total trois ans et révèle le site archéologique le plus important de la Méso-Amérique (plus de 30 000 pièces).

## L'ère des sponsors américains Carnegie, National Geographic

L'archéologie a été le grand moteur des explorations au XIX<sup>ème</sup> siècle. Au XX<sup>ème</sup> siècle, les biologistes prennent le relais. Ils bénéficient du support de grands fonds de mécénat américains.

De 1929 à 1960, la Carnegie Institution of Washington sponsorise des expéditions de paléontologie, de biologie et d'archéologie souterraine. Robert T. et Marcelle R. Hatt, E.P. Creaser, A.S. Pearse et F.G. Hall, Pollock, Jones, Smith et Stromsvik, dirigent les principales équipes et explorent de nombreuses grottes dans le nord de la péninsule.

À partir des années 1970, la National Geographic Society sponsorise l'AMCS, l'Association for Mexican Cave Studies, basée à Austin (Texas), qui joue un rôle important dans le développement de la spéléologie au Mexique. Connue pour son apport dans l'exploration audacieuse des hauts plateaux du centre du Mexique, (Huautla, El Sotano de las Golondrinas) l'AMCS organise depuis 1973 une expédition annuelle sous l'impulsion du biologiste James Reddell. Deux cents grottes sont explorées et étudiées du point de vue biologique. Plus de 600 espèces sont répertoriées.

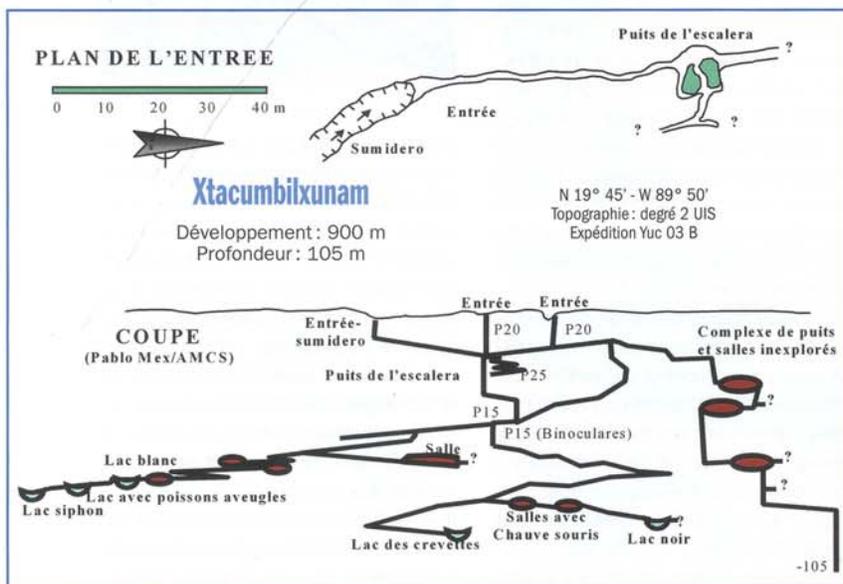


Figure 5 : La grotte de Xtucumbilxunam.

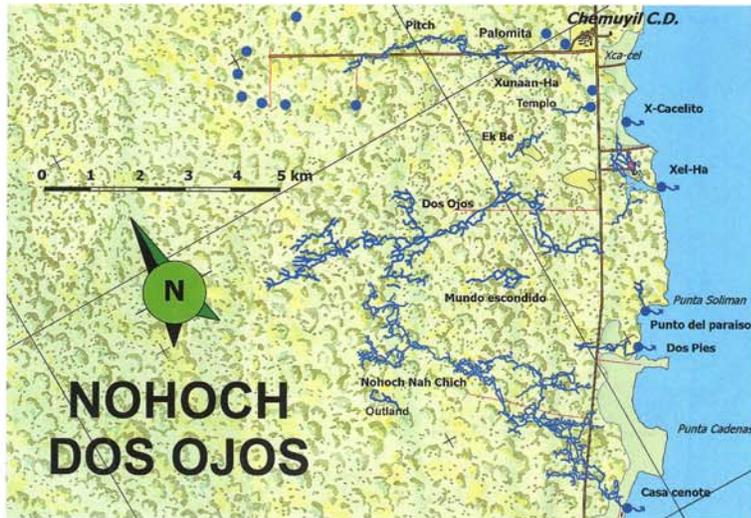


Figure 6 : Situation de réseaux Dos Ojos et Nohoch Nah Chich au sud et Pitch au nord exploré par les expéditions YUC.

### Les recherches mexicaines

Les Mexicains ont à cœur de développer une spéléologie nationale. Ils connaissent quelques beaux succès. Trois organismes se sont particulièrement distingués et leurs travaux font référence : l'Université nationale autonome de Mexico (UNAM) sous la direction du professeur Palacios-Vargas dans le domaine de la biologie, l'Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH) en archéologie, et le SARH (dont l'entité héritière est le Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, SEMARNAP) en hydrogéologie.

Citons pêle-mêle la découverte de Humberto Gomez dans la grotte de Balankanche, la découverte récente d'un squelette de femme en position fœtale à 300 m de l'entrée du siphon de Carwash à vingt mètres de profondeur, une jarre polychrome par Jaime Fernandez dans la grotte d'Actun Chac. Citons encore les recherches actuelles du professeur Vargas sur les acariens, les centaines d'analyses d'eau menées par le SARH.

### Les pionniers de la Nouvelle frontière

Dans les années 1970, quelques plongeurs américains, parmi lesquels Sheck Exley, Chuck Stevens ou encore Jim Coke, découvrent les cenotes de la côte est. Les cavités qu'ils explorent sont situées à proximité des routes. Les paysages souterrains qu'ils découvrent sont somptueux.

Peu à peu, l'importance des réseaux s'avère être de tout premier

plan. Dans les années 80, un système noyé dépassant cinq kilomètres était considéré comme exceptionnel. Le système Naranhal livre vingt kilomètres de réseaux et devient discrètement le plus long réseau souterrain noyé du monde.

Ces succès attirent les explorateurs américains et bientôt des dizaines de plongeurs se lancent à l'assaut des cenotes. Les découvertes se précipitent et à la fin des années 80, on compte une centaine de plongeurs actifs. Tony et Nancy de Rosa, Gary et Kay Walten, Steve Gerrard, Buddy Quatelbaum, Mike Madden, Johanna De Groot, Hilario Hiler comptent parmi les plus dynamiques.

### Mike Madden : l'épopée de Nohoch

Mike Madden, qui dirige un centre de plongée important, le CEDAM (Cedam Cave Diving est le nom du Centre de plongée), découvre en 1987 une magnifique cavité : Nohoch nah chich (la caverne géante). En dix ans d'explorations, il atteint un développement de 70 kilomètres. L'épopée nécessite des explorations lourdes avec parfois plusieurs dizaines de plongeurs, des camps de base dans la jungle, un gros équipement et des plongées de plusieurs heures. Une cinquantaine de plongeurs participent à ces expéditions dont le CEDAM assure pour l'essentiel le financement. La spéléologie yucatèque entre dans le Guinness book au titre de la plus grande cavité noyée du monde. Les télévisions se précipitent. C'est la célébrité (fig. 6).

### Dos Ojos : la bataille de la jungle

Nous sommes en 1995. À proximité de ce grand réseau, une autre cavité Dos Ojos, atteint alors 27 km de développement. Cette grotte est située sur une propriété indienne, le ejido Jacinto Pat. Sous l'impulsion de Steve Gerrard, une série de grandes expéditions sont organisées. Les finances sont limitées aux apports de chacun. Le climat est conflictuel. L'enjeu est de savoir quelle est la plus grande grotte : Nohoch ou Dos Ojos. Une véritable guerre de la jungle commence entre l'équipe de Mike Madden et celle de Steve Gerrard. Espionnage, trahisons, délations, confiscation de matériel par la police, assignations diverses rendent l'atmosphère irrespirable. Dos Ojos atteint bientôt 63 km de développement. On découvre alors que quelques centaines de mètres à peine séparent les deux réseaux. Le conflit redouble. Qui fera la connexion et comment s'appellera la cavité ainsi formée : Nohoch, Dos Ojos ou bien encore système Jacinto Pat ? Finalement, la connexion s'avère impossible. Un effondrement majeur barre la route des plongeurs. Les héros sortent épuisés de cette guerre et abandonnent pour la plupart l'exploration.

### Les expéditions YUC : l'arrivée des Frenchies !

Nos débuts dans la jungle yucatèque remontent à 1995. L'expédition est menée dans le cadre des expéditions nationales de la FFESSM (Fédération française d'études et de sports sous-marins), avec l'agrément de la FFS. Nous faisons connaissance de Marco Rotzinger qui nous apportera une aide indéfectible. Nos premières découvertes significatives commencent en 1996 avec l'exploration du cenote Cuzel Aktun Koh. C'est à cette occasion que Marco achète un terrain proche du cenote et y installe sa famille. Le ranch Cuzel est né. Il nous accueillera et nous servira de base de plongée pour les années suivantes.

Très rapidement, les jalousies fédérales éclatent et nous coupent de tout support de la FFESSM, limitant le nombre de participants capables de supporter le poids financier de l'aventure.



Marco, notre hôte.

Sur le terrain, les premières se succèdent et quelques grands réseaux se dessinent. Pitch/Xunaan-Ha, Ta Tich/Nohoch Actun, Altar Maya, Aluxes sont candidats pour dépasser les vingt kilomètres.

Notre regret restera bien sûr d'avoir commencé les explorations d'Ox Bel Ha en 1997 et de ne pas avoir eu le temps ni les moyens de mener à bien cette grande exploration.

### Ox Bel Ha : Los piratos

En 1997, Fred Devos (Canada), Yair Azubel (Israël), Bernd Birnbach (Allemagne) et Christophe Le Maillot (France) tiennent un centre de plongée au Honduras. Après avoir visionné une vidéo sur les cenotes du Yucatán, ils plient bagage et viennent s'installer à Playa del Carmen. Les débuts sont difficiles. Ils partagent alors un tout petit appartement, deux équipements de plongée, et louent à la journée dès qu'ils ont trois sous une petite voiture pour mener leurs explorations. Comme tout nouveau groupe, ils sont assez mal accueillis. Nommés « Los piratos », ils écument toutes les classiques et s'établissent sur le marché de la plongée.

Le groupe des pirates du Honduras auquel se joint Sam Meacham réalise

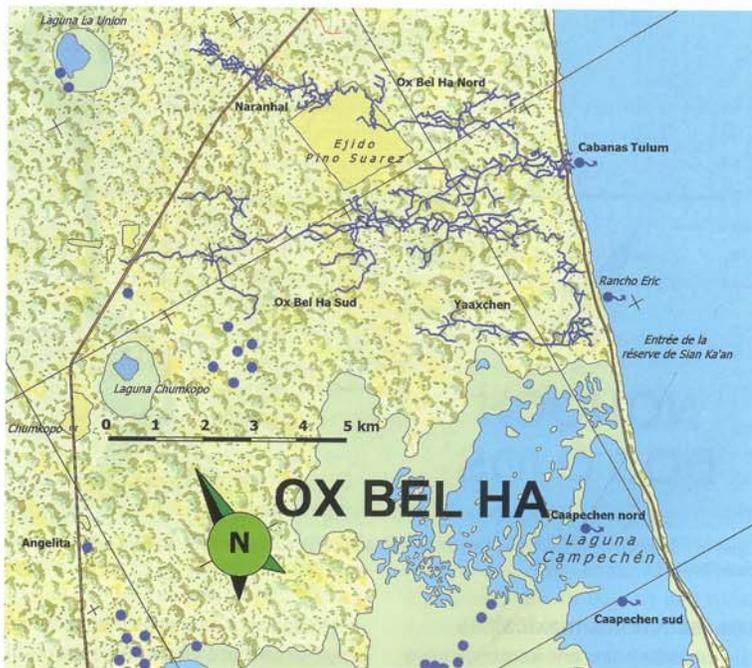


Figure 7 : Situation des réseaux d'Ox Bel Ha d'un développement de 140 km.

en 1998 une grande découverte : Ox Bel Ha (fig. 7). La même année, ils explorent trente kilomètres de galeries noyées ! La zone explorée marécageuse est d'accès très difficile. L'avantage est que les cenotes se voient bien en photographie aérienne.

Le groupe, toujours très réduit, procède avec méthode : repérage par photographie aérienne et installation de camps avancés dans la jungle marécageuse. Aujourd'hui, Ox Bel Ha atteint 140 km de développement, et ça continue !

## Nos principales découvertes

Reconnaissance dans l'État de Campeche : dans la chambre de l'hôtel Majestic.



Topographie à Cuzel.

### 2000 phénomènes karstiques inventoriés

La curiosité nous a entraînés dans de longs voyages à travers la péninsule et outre nos travaux dans le Quintana Roo, nous avons mené trois reconnaissances dans l'État du Yucatán, une jusqu'à la frontière du Belize et une dans l'État de Campeche. Nous avons également exploré en barque les lagunes de Sian Ka'an et une partie de la côte nord, procédé à plusieurs survols aériens au Quintana Roo. De cette façon, nous avons reconnu plus de 2000 phénomènes karstiques. La plupart ne sont que des trous sans intérêt ou des sources impénétrables qui bouillonnent en bord de plage. Parmi ces découvertes, deux cents cavités dépassent les 100 m de développement. Et parmi ces deux cents grottes, une grosse dizaine sont de grands systèmes développant plus de cinq kilomètres. Voici un petit inventaire de nos plus belles découvertes.

### Cuzel / Aktun Koh

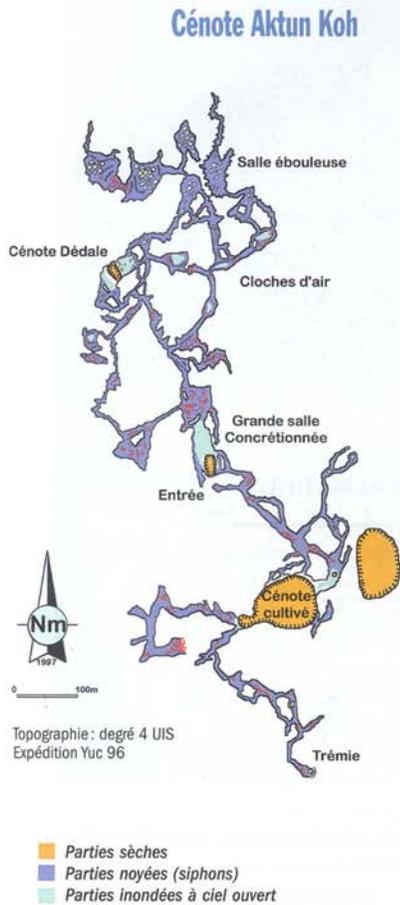
Cette cavité labyrinthique développe 6 800 m. Nous l'avons découverte et explorée en 1996 lors de notre seconde expédition. Elle est devenue depuis, un haut lieu de la plongée touristique. Elle fait partie des réseaux qui alimentent la grande exurgence de Xpu Ha. Une très belle salle concrétionnée située à quelques dizaines de mètres de l'entrée constitue la plus belle curiosité de cette cavité (fig. 8).

### Minotauro / Taj Mahal

En 1996, nous complétons l'exploration de Taj Mahal et en levons une topographie complète. La cavité comprend entre autres un grand couloir spectaculaire de 500 m de longueur présentant une section de 20 m de large pour 10 m de haut. Ce couloir s'arrête sur un grand éboulement.

En 1997, nous découvrons le cenote du Minotauro. Le portage dans

Figure 8 : Plan du Cénote Aktun Koh.



la jungle est pénible et limite nos explorations. Nous découvrons 1,2 km de galeries. Don Inocencio ouvre un chemin carrossable et le groupe « Los piratos » reprend les explorations et ajoute 2 km de galeries essentiellement vers l'amont. En 1998, nous poursuivons l'exploration et rajoutons à nouveau 2 000 m. Il ne manque qu'une dizaine de mètres pour connecter Taj Mahal. Un grand éboulement sépare Minautoiro de Taj Mahal. L'ensemble totalise 10 600 m (fig. 9).

### Xel-Ha

Nous faisons la connaissance d'Eduardo Briones et de Manuel Sanchez, cadres dans le parc aquatique de Xel-Ha, en 1996. Dès 1997, nous sommes autorisés à explorer la source de Xel-Ha dont le débit totalise

Figure 9 : Plan des réseaux de Taj Mahal - Minotauro.

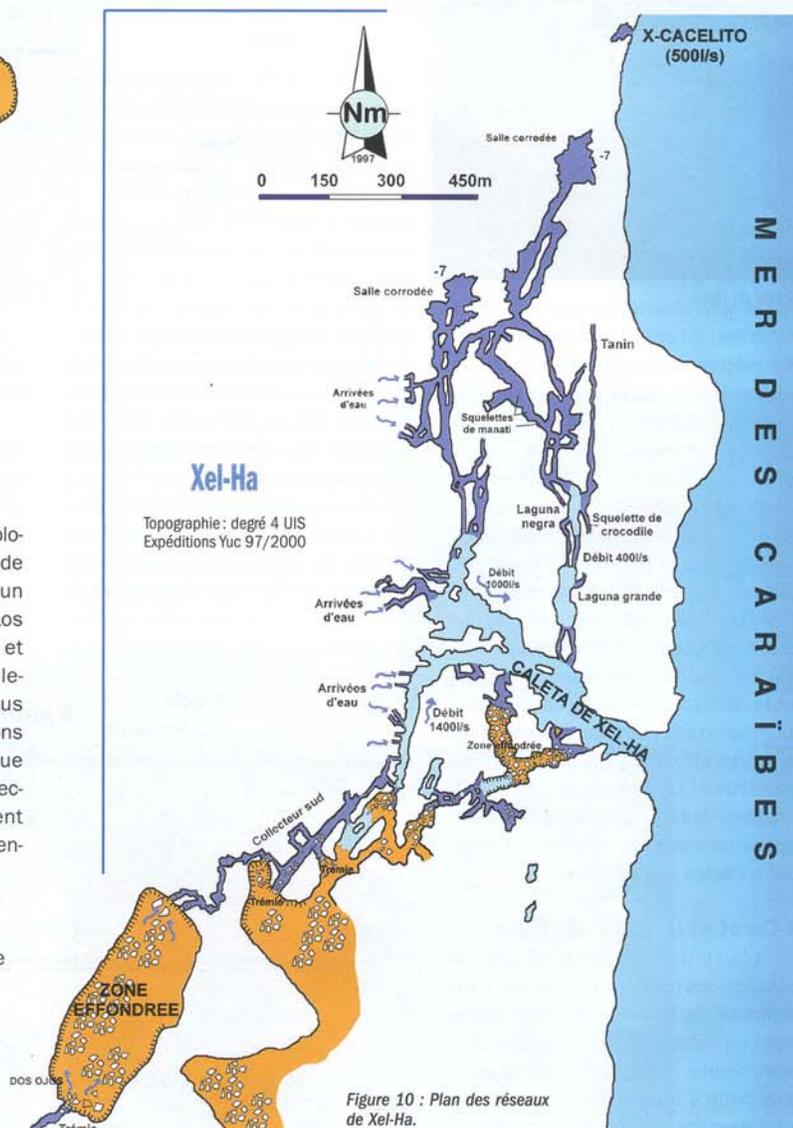
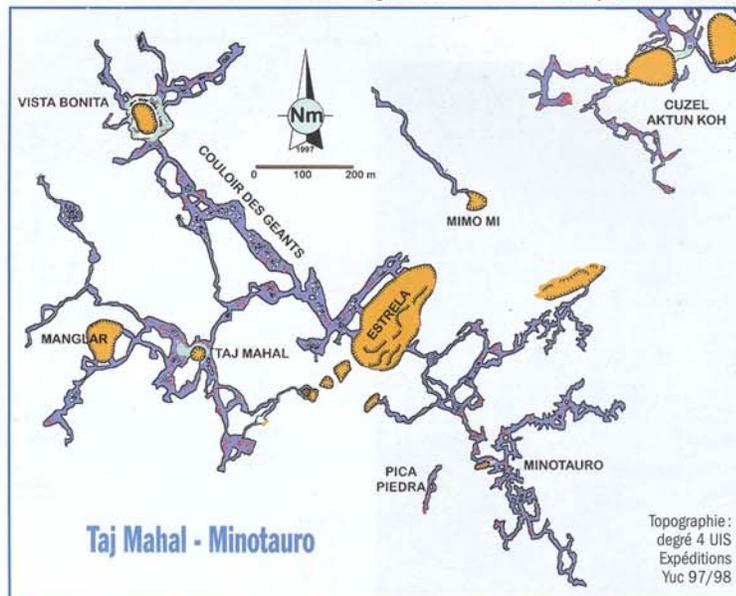


Figure 10 : Plan des réseaux de Xel-Ha.



Grotte du Tigre.

3,5 mètres cubes par seconde. Nous y découvrons, outre un squelette de crocodile et plusieurs squelettes de manatis (lamentin, mammifère marin), 8 km de galeries (fig. 10). L'ensemble se développe parallèlement à la côte et collecte une partie des eaux de Dos Ojos au sud et d'un système encore inconnu au nord. La cavité atteint par endroits 30 m de large, et l'on se demande comment la voûte épaisse d'à peine cinq mètres peut tenir. Du reste, la « caleta » où se baignent les touristes n'est autre qu'une partie de la grotte effondrée sur plus de deux kilomètres! Le parking où une bonne vingtaine de cars sont stationnés quotidiennement se situe à l'aplomb d'un de ces miracles de l'équilibre!

### X-Caret et la grotte du Tigre

L'architecte Miguel Quintana possède des parts dans la société d'exploitation de Xel-Ha. Il possède également un autre parc touristique sur une autre source : X-Caret, où il a créé avec beaucoup d'imagination un éco-parc très original qui connaît un grand

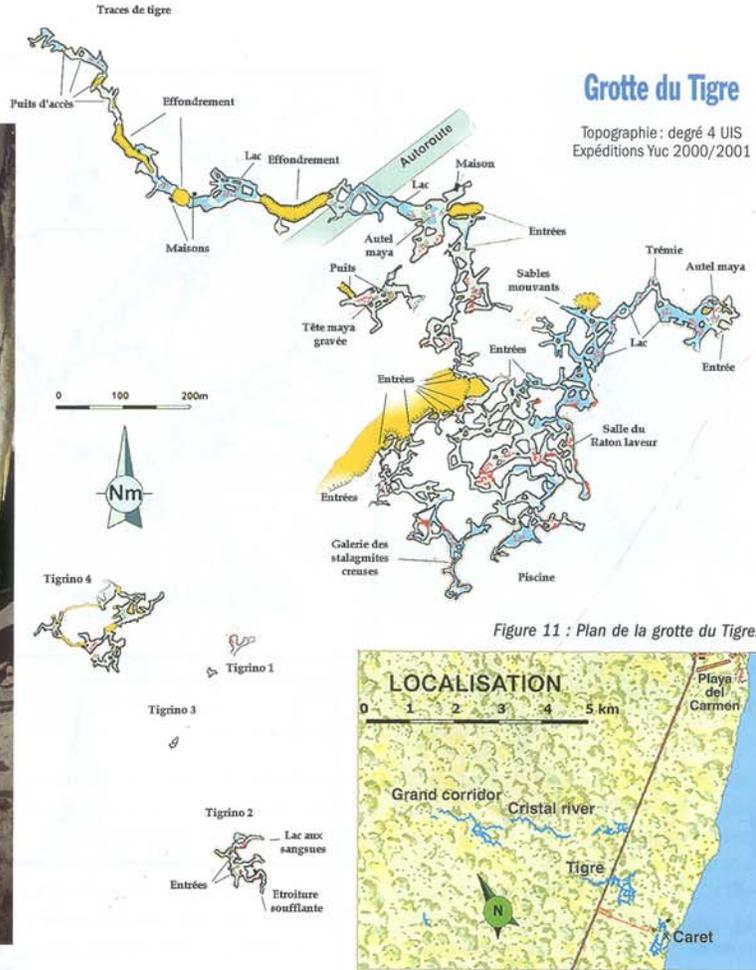


Figure 11 : Plan de la grotte du Tigre.

succès. Il nous invite à explorer sa source, ce que nous faisons en 1998. Le débit est de 1,5 mètre cube par seconde. Une partie du siphon a été surcreusée au niveau de la voûte pour ouvrir un espace exondé. Les touristes s'y laissent porter par le courant sur 700 m. De petits puits de lumière ont été forés à distance régulière à la

voûte. L'ensemble du réseau développe 2500 m.

Non loin de là, une grotte exondée attire notre attention. L'été 1999 est consacré à son exploration et nous y découvrons 8 km de galeries. La présence d'empreintes de jaguar et de restes de repas ensanglantés consacre le nom de la grotte : « cueva del Tigre ».



Figure 12 : Situation du réseau Pitch Xunaan Ha.



*Xunaan Ha :  
galeries  
sous  
l'halocline,  
on note  
l'absence  
de  
concrétions.*

L'exploration se déroule avec un brin d'inquiétude. L'ensemble affecte la forme d'un grand delta souterrain, alimenté par un collecteur de belles dimensions. Ce collecteur s'arrête brutalement à l'amont sur une faille (fig. 11).

En 2004, nous rencontrons Gil et Pat Hamon. Anciens hippies, ils vivent la moitié de l'année dans le village voisin de Paamul et nous montrent les résultats de leurs explorations. Ils ont découvert un réseau de grottes exondées qui constituent à l'évidence l'amont du Tigre. L'ensemble pourrait devenir à terme le plus grand réseau sec de la péninsule.

### **Pitch, Xunaan-Ha**

Pitch se situe dans le ranch d'un ami de Marco : Jorge. Repérée lors de notre expédition de 1996, l'entrée de Pitch retombe dans l'oubli. Il faut attendre 1999 pour que la suite soit trouvée (fig. 12). De 1999 à 2004, ce réseau devient un des objectifs centraux de nos expéditions. Une galerie parcourue par un courant sensible estimé à 1,5 mètre cube par seconde, et joliment concrétionnée, se dirige vers l'intérieur des terres. Le parcours est agrémenté de quelques étroitures. Le point le plus éloigné en amont est atteint en 2003 à 3 500 m de l'entrée. La cavité était bloquée à l'aval par une grande fracture effondrée. Trois entrées alignées sur la fracture communiquent par un labyrinthe compliqué. L'aval est

découvert en 2003 en traversant une grande salle effondrée. Un grand couloir lui fait suite et se dirige vers une petite cavité explorée sur 1 200 m : Palomita.

Xunaan Ha se situe encore plus en aval entre Pitch et Xel-Ha. La cavité avait été explorée par les Américains sur 800 m. De 1999 à 2003, nous reprenons l'exploration de la grotte et en portons le développement à plus de 8 km. Il ne manque que quelques dizaines de mètres pour jonctionner les trois cavités et obtenir un réseau de 23 km.

Plus en amont et malgré de nombreuses tentatives de prospection, nous n'avons pas trouvé d'autre entrée sur le réseau. Une équipe américano-tchèque a découvert en 2002 une cavité de 5 km qui pourrait être un des amonts de Pitch. Deux kilomètres séparent les deux systèmes.

### **Nohoch Aktun, Ta Tich**

En 1999, des amis de l'architecte Quintana de X-Caret, Ana et Manuel, nous indiquent une nouvelle grotte sèche située du côté d'Akumal. Dans le courant de l'été 1999, nous explorons 7 700 m de galeries dont 1 400 noyées. La grotte nommée Nohoch Aktun appartient à un Maya, Antonio, qui habite dans un des effon-



*Plongée  
à Nohoch Aktun.*



*Entrée  
de Nohoch Aktun.*

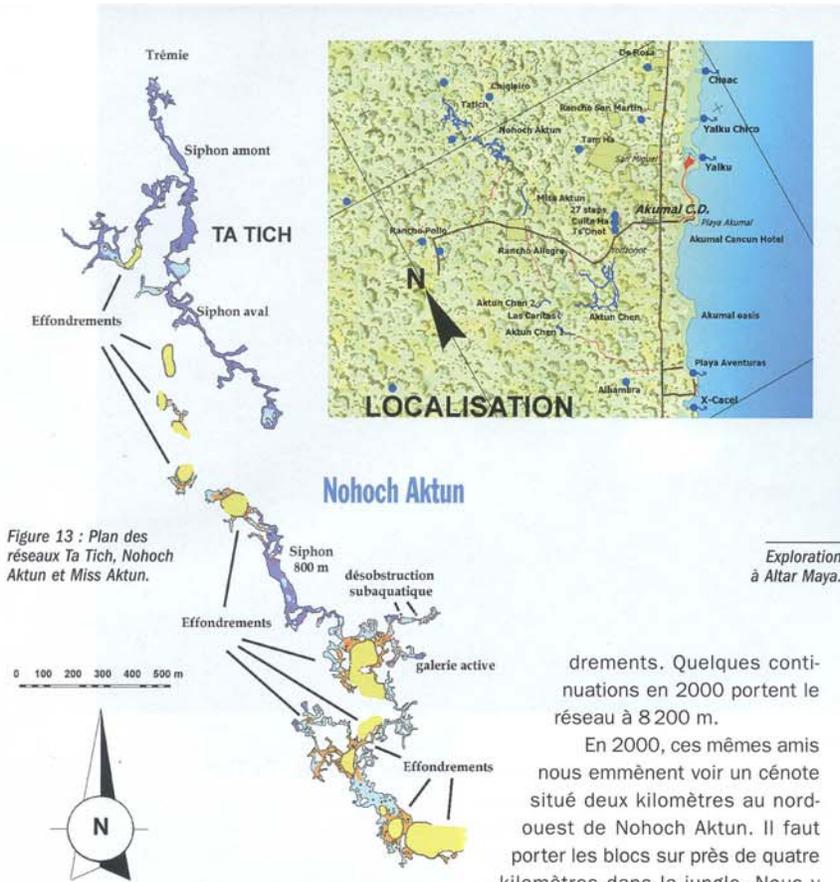


Figure 13 : Plan des réseaux Ta Tich, Nohoch Aktun et Miss Aktun.

Exploration à Altar Maya.



drements. Quelques continuations en 2000 portent le réseau à 8 200 m.

En 2000, ces mêmes amis nous emmènent voir un cénote situé deux kilomètres au nord-ouest de Nohoch Aktun. Il faut porter les blocs sur près de quatre kilomètres dans la jungle. Nous y découvrons 5 600 m de galeries noyées, parfois très bien concrétionnées. La grotte est parcourue par un courant sensible et pourrait constituer une des têtes de réseau de la rivière qui se jette à Yalku. L'amont est bloqué par un effondrement et l'aval se poursuit. À l'aval, seuls 200 m séparent Nohoch Aktun de Ta Tich.

En 2003, Antonio nous montre une nouvelle cavité située dans le prolongement de Nohoch Aktun, à l'aval, Miss

Aktun (la grotte du chat). Elle nous livre 1 200 m de galeries constituées d'un gros collecteur noyé sur la moitié du parcours (fig. 13).

### Altar maya

En 2001, une nouvelle cavité nous est indiquée par un plongeur mexicain, ami de Marco, Nikolai, qui y a déroulé quelques centaines de mètres de fil. À l'entrée de la grotte, une stèle maya gravée est en partie recouverte par l'eau et a donné le nom de la cavité. Des cérémonies mayas ont visiblement encore lieu en ces lieux. La grotte, très labyrinthique, est parcourue par un fort courant parallèle à la côte (!) allant du nord-est vers le sud-ouest. Ce n'est pas la première fois que nous sommes confrontés à cette disposition.

Les explorations de 2001, 2002, 2003 et 2004 nous permettent de découvrir et topographier 8 500 m de galeries. L'extrémité aval (sud-ouest) se situe à 500 m de l'extrémité amont (nord-est) de la grande grotte des Abejas. Quant à l'amont, il se situe à une portée de jet de pierre de la grotte de Nohoch Ki'in. L'ensemble, s'il venait à être connecté, donnerait un réseau parallèle à la côte de 35 km de développement ! (fig. 14).

### Aluxes

En 2001, nous faisons la connaissance d'un personnage étonnant, Dona Flor. Un de ses amis, Raimundo, nous montre l'entrée d'une grotte exondée située à côté du pueblo de Puerto Aventuras, los Aluxes. Deux systèmes de galeries parallèles à la côte nous livrent un total de 17 700 m de galeries. Il

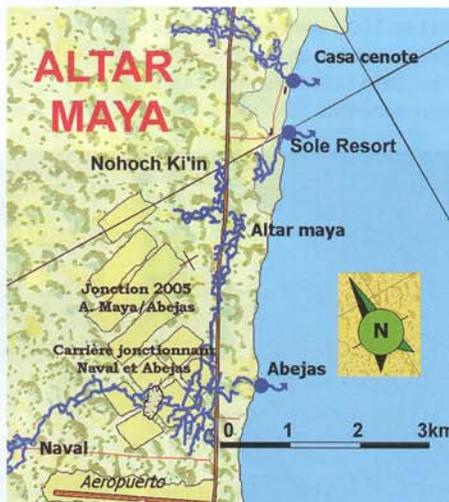
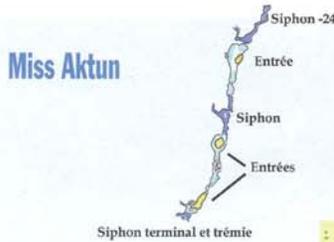


Figure 14 : Situation des réseaux Altar Maya.



Marche dans la forêt avec Antonio.



## Les apports scientifiques de nos expéditions

L'étude de ces karsts nous a entraînés dans un domaine très peu connu et très différent des karsts habituels. C'est pourquoi nous consacrons ici à la partie scientifique une place importante. Une partie de ces travaux a été publiée dans *Karstologia*.

### Un aquifère contenant deux eaux différentes

À la fin du XIX<sup>ème</sup> siècle, le Français Dupuit et deux géographes allemands, Ghyben (1889) et Herzberg (1901), entreprennent d'étudier les nappes souterraines des îles coralliennes de l'océan Pacifique. Ces géographes développent la théorie suivante.

Ces îles calcaires sont poreuses. L'eau de mer s'infiltré dans la totalité du sous-sol. L'eau douce, alimentée et renouvelée par les infiltrations d'eau de pluie, a une densité plus faible que l'eau de mer et surnage au-dessus de l'eau salée à laquelle elle se mélange très peu. L'aquifère est donc constitué d'une « stratification » de deux eaux de nature différente : l'eau de mer et l'eau douce. L'interface eau douce / eau salée a pu depuis être observée en plongée. Elle est très nette. La surface de l'eau salée ressemble à celle d'un lac, réfléchissant la lumière et ondulant légèrement lorsqu'il y a du courant. L'eau douce est fraîche (23 à 25 °C) et l'eau de mer chaude (27 °C). Cette



Le briefing du matin. Joao, Pedro, Pedroivo, Manuel, Christophe et Philippe.

interface très visible est appelée halocline. Le moindre coup de palme, ou la simple traversée de cette frontière liquide, crée une eau complètement trouble.

La lentille d'eau douce, d'origine pluviale, flotte sur l'eau salée plus dense, de la même façon qu'un glaçon flotte sur l'eau. On peut donc lui appliquer directement la loi d'Archimède. Le rapport de densité eau douce/eau de mer est de 1 - 1/40. Il existe donc une relation directe entre la profondeur du halocline P et l'altitude du niveau de base h :  $P = 40 h$  (fig. 17).

### La forme de la lentille DGH (Dupuit-Ghyben-Herzberg)

Les plongées et l'étude de l'altitude du niveau de base sont conformes à cette loi et nous ont permis de dessiner la forme de cette lentille d'eau douce. Au Yucatán, la lentille DGH se présente comme une lamelle d'eau, dont l'épaisseur ne dépasse pas 200 m, flottant sur l'aquifère salé. Beaucoup plus en profondeur, on peut supposer que la pression des terrains réduit peu à peu la porosité de la roche et que la quantité d'eau salée est très réduite. L'extension géographique de la lentille est limitée dans le Sud par la réduction de l'épaisseur des calcaires. La limite approximative est

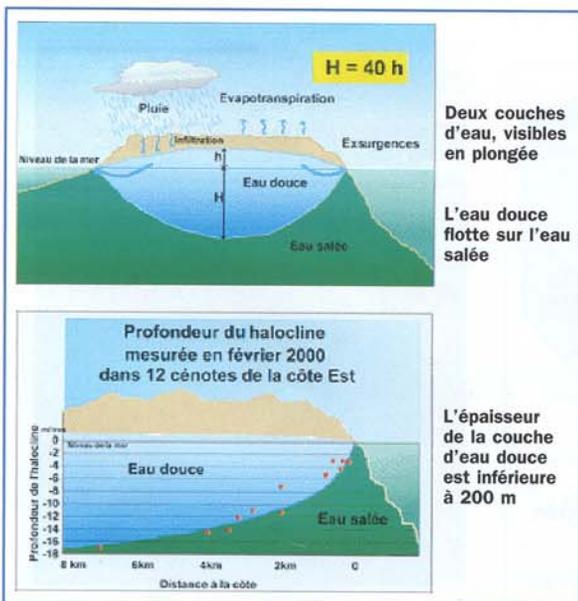


Figure 17 : La lentille d'eau douce de DGH (Dupuit-Ghyben-Herzberg).

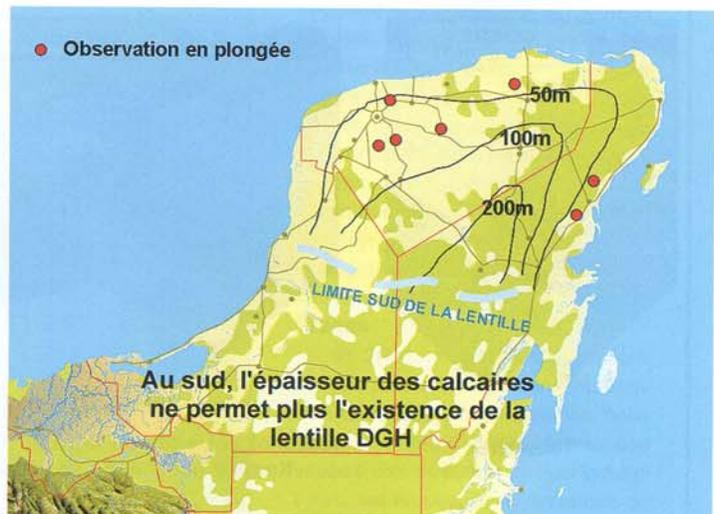


Figure 18 : Au sud, l'épaisseur des calcaires ne permet plus à la lentille d'eau douce (DGH) de se développer.

indiquée dans le schéma. Au sud de cette limite, des poljés actifs et des rivières de surface soulignent le changement de comportement hydrogéologique (fig. 18).

### Un karst faiblement irrigué

Le Yucatán reçoit environ 800 mm d'eau par an. Nous avons parcouru en barque avec l'aide des pêcheurs la lagune de Conil, la zone de Dzillam de Bravo, la côte caraïbe de Chuchuen (au nord de Playa del Carmen) jusqu'à la baie d'Ascension soit au total près de 250 kilomètres de côte, afin d'inventorier les exurgences. Cette observation, certes limitée (la péninsule totalise 1 000 kilomètres de côte), montre que, contrairement aux idées établies, les exurgences sont concentrées en quelques écoulements majeurs, généralement situés sur le rivage. Les sources de dimensions plus modestes sont peu nombreuses et ne participent que de façon infime à l'écoulement de l'eau douce. La mesure des débits et salinités nous a permis, en modélisant cette information, de dresser un bilan des eaux et de démontrer que seuls 20 % des précipitations étaient restituées. Le reste s'évapore soit directement, soit par la ponction végétale. À titre de comparaison, les coefficients d'infiltration que nous connaissons en France se situent entre 60 et 90 %, pour des pluviométries de l'ordre de 1 000 à 1 500 mm d'eau. Nos karsts sont donc 5 à 10 fois plus irrigués que celui du Yucatán.

### Modélisation informatique des écoulements de la lentille DGH

La connaissance de la forme du niveau de base permet d'entreprendre une modélisation informatique. L'altitude du niveau de base dans la partie nord de la péninsule reste très faible. Elle atteint cinq mètres au centre de la péninsule, ce qui donne des pentes de moins de 2/100 000 vers l'ouest pour un maximum de 1/10 000 à l'est. Ces pentes sont à comparer aux pentes de nos réseaux européens qui sont couramment de l'ordre de 2 %.

La modélisation informatique des écoulements nous a permis de dessiner la carte des écoulements d'eau douce. Le débit par kilomètre de côte est de 0,4 m<sup>3</sup>/s. La péninsule rejette ainsi annuellement 80 milliards de mètres cubes d'eau douce. Nous verrons plus loin que les mouvements



Un des lacs de la grotte du Temazcal.

d'eau salée sont également très importants.

Les vitesses d'écoulement données par le modèle sont surprenantes. Une goutte d'eau qui tombe à Paris rejoint la Seine en quelques heures, puis la mer en quelques jours. Les pollutions des grands fleuves, même si elles sont dramatiques, ne durent jamais très longtemps, parce que l'eau circule rapidement... On trouve des vitesses d'écoulement similaires dans les karsts européens. Les colorations que nous entreprenons réapparaissent dans des délais de quelques jours. Il en est tout autrement dans les écoulements souterrains du Yucatán. Une goutte d'eau qui tombe à

Valladolid (situé pourtant plus près de la mer que Paris, voir fig. 2) mettra quinze ans pour s'écouler vers la mer !

Enfin, la simulation nous a permis de calculer les grands paramètres de la nappe d'eau douce. La porosité active de la roche en grand est de 1,9 %. La réserve d'eau douce de la lentille DGH est estimée à 120 milliards de mètres cubes (plus que le lac Léman !). Ceci représente sept années d'infiltration. Si toute l'eau de pluie s'infiltrait, il faudrait dix-huit mois pour constituer cette réserve. Si cette réserve d'eau se présentait sous la forme d'un lac, elle couvrirait la moitié nord de la péninsule du Yucatán d'une nappe d'eau de 1,5 m d'épaisseur (fig. 19).

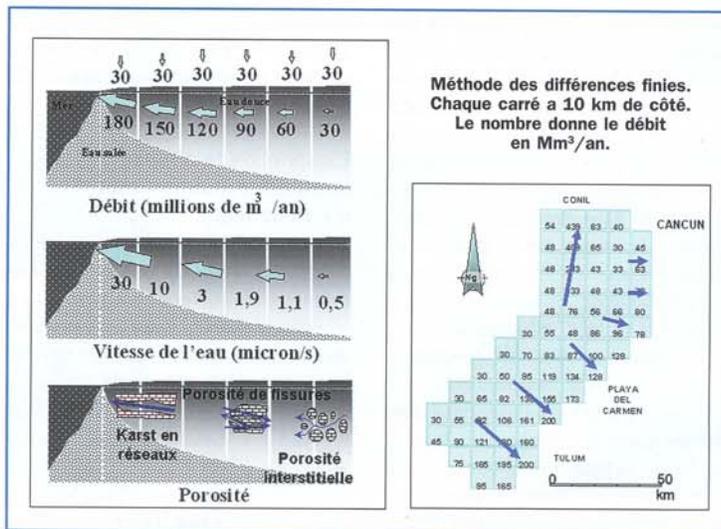


Figure 19 : Simulation informatique des écoulements du nord-est de la péninsule.

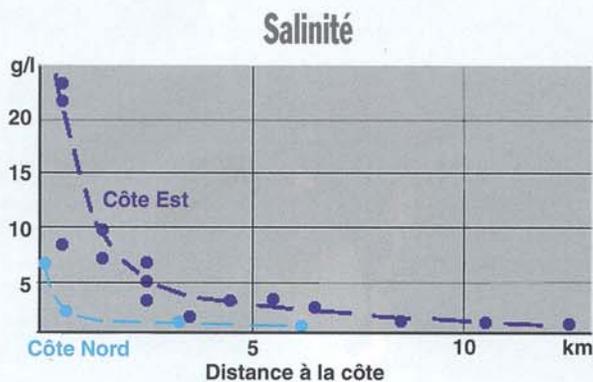


Figure 20 : Rapport entre la salinité et la distance à la mer.

### Les mouvements saisonniers d'eau de mer

L'étude des variations du niveau de base au cours des saisons a mis en évidence que cette altitude change très peu. Nous avons mesuré ces variations dans une trentaine de cenotes répartis à travers la péninsule. Le résultat est étonnant ! Pendant la saison des pluies, l'eau monte tout au plus de trente centimètres (alors qu'il n'est pas rare de voir dans nos karsts des mises en charge de plusieurs dizaines de mètres.) Au moment des cyclones toutefois, le niveau de base monte brutalement et cette montée peut atteindre deux ou trois mètres. Cette situation de « crue » se résorbe en quelques jours. Paradoxalement, le débit des sources reste assez constant, la variation ne dépassant pas 50 %. Cette situation heurte nos esprits habitués très jeunes aux problèmes de robinets et de baignoires. Où passe l'eau ? Comment expliquer que des quantités d'eau importantes puissent alimenter une nappe d'eau, que le débit des sources n'augmente pas et que le niveau de base reste sensiblement le même ? La réponse est simple : en reprenant la formule de DGH,  $P = 40$  h, on déduit que lorsque le niveau de base monte de trente centimètres, l'halocline descend de douze mètres ! L'eau de mer qui occupait cette tranche est chassée en profondeur vers la mer et libère la place nécessaire pour stocker l'excédent d'eau de la saison des pluies.

Les mouvements saisonniers, liés aux variations de volume de la lentille de DGH, reflètent les fluctuations d'irrigation du karst entre la saison des pluies et la saison sèche. Les débits annuels sont de l'ordre de 10 milliards

Ojo de agua de X-Bulla :  
5 m<sup>3</sup> par seconde en pleine mer.



de mètres cubes entrant en saison sèche et autant sortant en saison des pluies.

### L'apport de la chimie. Les autres mouvements d'eau de mer

Nous avons réalisé des dizaines d'analyses d'eau sur des échantillons prélevés en surface, mais aussi en plongée et pu esquisser les variations de salinité de la lentille de DGH au voisinage des côtes. Alors qu'à l'intérieur des terres, l'eau douce n'est que très légèrement saumâtre, la salinité augmente fortement en s'approchant des côtes, ce qui révèle un important apport d'eau salée. Les phénomènes de marée, qui provoquent un « masca-

Figure 21 : Phénomène de convection thermique sur la côte est du Yucatan.



ret » souterrain sensible jusqu'à dix kilomètres de la côte, peuvent en partie expliquer la salinisation de l'eau douce. Toutefois, cette explication ne suffit pas.

En effet, le calcul montre que sur les dix derniers kilomètres de parcours avant d'arriver à la mer sur la façade est, le flux d'eau douce reçoit un volume identique d'eau de mer.

En revanche, la courbe de salinisation de l'eau douce en bordure de la côte du golfe du Mexique est beaucoup moins importante et le flux d'eau douce ne reçoit pas plus de 20 % d'eau de mer. Comment expliquer cette différence ?

Cet apport considérable ne peut s'expliquer que par un phénomène de

convection thermique lié au flux géothermique. Sur la côte est, en effet, la mer est très profonde. Les eaux froides des profondeurs pénètrent à l'intérieur des calcaires, sont réchauffées et viennent s'écouler dans la nappe d'eau douce. Le Pit, puits vertical de 100 m de profondeur qui intercepte le réseau de Dos Ojos, est parcouru par un flux d'eau de mer chaude, constant, de bas en haut.

C'est ce qui explique également la température plus élevée de l'eau de mer au-dessous de l'halocline. Ce phénomène s'estompe vingt kilomètres au sud de Tulum parce que l'épaisseur des calcaires se réduit et que l'eau froide n'est plus en contact avec les calcaires.

Sur la façade du golfe du Mexique, il faut s'éloigner de plus de cent kilomètres du rivage avant de trouver des profondeurs de cent mètres. Le phénomène de noria thermique ne peut donc pas se développer (fig. 20 et 21).

### Mesure de l'ablation chimique

En mesurant la quantité de calcaire rejetée par les sources, nous avons pu estimer l'ablation karstique de la péninsule à  $90 \text{ m}^3/\text{km}^2$  et par an, valeur légèrement supérieure à celles que l'on rencontre sous nos climats. Comment expliquer une telle ablation, alors que ce karst est 5 à 10 fois moins irrigué que ceux de nos régions? La réponse se trouve dans le caractère extrêmement corrosif du mélange eau salée/eau douce. Alors que nos eaux dissolvent couramment 150 mg/l de calcaire, une eau saumâtre contenant 5 g/l d'ion  $\text{Cl}^-$  peut dissoudre 1500 mg/l de calcaire. En quelque sorte, l'extrême agressivité de l'eau saline compense la faible irrigation du karst (fig. 22).

### La modélisation informatique et les cénotes en cloche

Le sel, par des phénomènes de diffusion, remonte dans la nappe d'eau

douce qui est de ce fait légèrement saumâtre. Une grande anomalie saline traverse la péninsule d'est en ouest. Nous sommes dans la zone où l'on trouve les cénotes en cloche. Ils se présentent comme des puits en éteignoir plus ou moins évasés entièrement noyés et parfaitement circulaires. Des diamètres dépassant 100 m à la base de ces puits sont couramment observés. Nos travaux ont permis d'apporter une modélisation de la formation de ces cavités en faisant appel à la diffusion saline. Ce modèle rend compte des variations de forme de ces cénotes en fonction de l'épaisseur de la nappe d'eau douce et de la pluviométrie (fig. 23 et 24).

### Les grands réseaux de la Riviera maya

Pourquoi les grands réseaux sont-ils tous localisés sur la façade est de la péninsule? La raison se trouve ici encore dans l'expression de l'agressi-

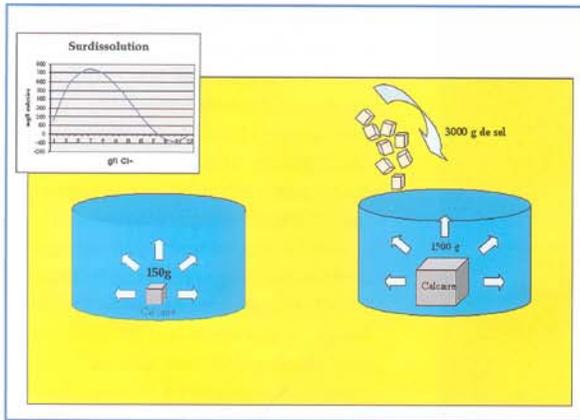


Figure 22 : L'agressivité de l'eau saline est 10 fois supérieure à celle de l'eau douce.

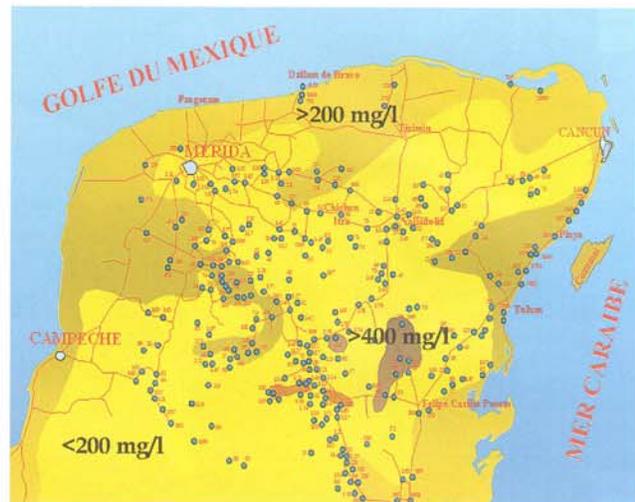


Figure 23 : Carte de la salinité en mg/l de l'eau. Chaque point bleu est un cénote analysé.

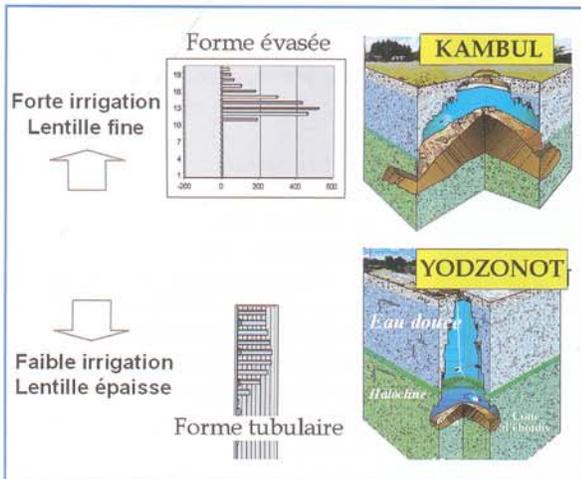


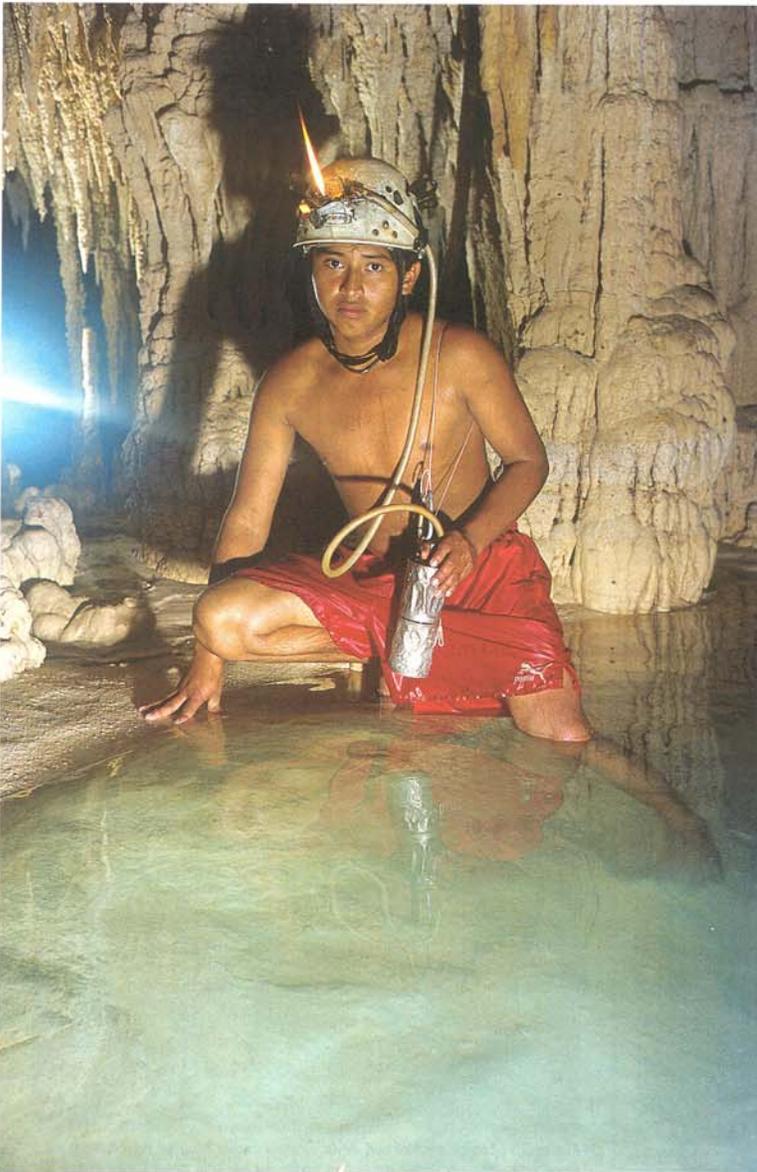
Figure 24 : Modélisation de la forme des cénotes en fonction de l'épaisseur de la lentille d'eau douce.



Figure 25 : Limite nord et sud de la « New Frontier » où se concentrent tous les grands réseaux noyés de la péninsule. Au nord, le débit d'eau douce est insuffisant pour causer une dissolution forte, et au sud le phénomène de noria thermique se réduit avec l'épaisseur des calcaires.



Os d'enfant à Aktun Chen.



Alfonso nous accompagne dans une grotte « sèche ».

tivité de l'eau saumâtre. L'apport des eaux marines par convection thermique provoque une augmentation de la salinité. Celle-ci, à son tour, augmente la dissolution karstique. C'est en partie ce qui explique l'extension des cavités de la Riviera maya. Le phénomène est limité vers le sud par la diminution de l'épaisseur des calcaires qui réduit l'effet de noria dans la mesure où les eaux froides profondes ne sont plus en contact avec les calcaires. Il est aussi limité vers le nord parce que les écoulements d'eau douce vers la côte sont très faibles. L'eau douce est en effet « capturée » par les écoulements vers la rivière de Conil. (voir simulation informatique) (fig. 25).

### La paléoclimatologie

Nous avons pu évaluer les volumes érodés. Au rythme actuel d'érosion karstique, la karstification se serait produite en 300 000 à 400 000 ans dans la partie nord de la péninsule. Or, nous savons que ces terres ont émergé au cours de l'ère tertiaire, il y a plusieurs millions d'années ! Cela veut dire que l'ablation karstique actuelle est particulièrement élevée. C'est là une démonstration indirecte du fait que la péninsule du Yucatán a connu principalement un régime climatique tropical sec.

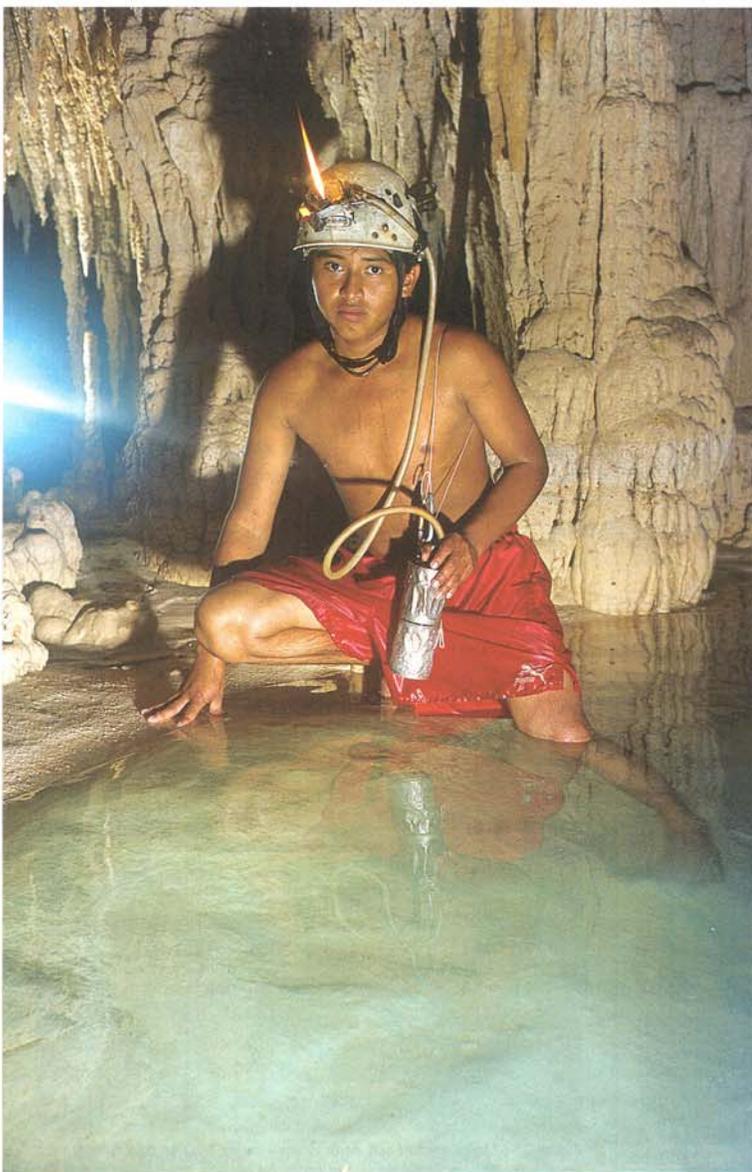
Plus récemment, une équipe américaine, dirigée par le professeur David Hodell de l'Université de Floride, a démontré, en étudiant les dépôts de gypse des lacs de Chinchancanab, l'existence d'une succession de périodes de sécheresse suivant un cycle de 208 ans, périodicité proche du cycle solaire. La datation de ces formations salines montre l'existence d'une très grande sécheresse vers l'an 1 000 ! C'est l'époque où la civilisation maya s'est effondrée !

Nos simulations informatiques montrent que les conséquences d'une sécheresse sont plus brutales au sud qu'au nord.

L'histoire maya est d'une grande complexité et son étude rendue difficile par le manque d'écrits. L'étude patiente des stèles permet toutefois peu à peu de reconstituer l'histoire événementielle de cette civilisation. Il en ressort que les cités du sud ont été abandonnées avant les cités du nord !



Os d'enfant à Aktun Chen.



Alfonso nous accompagne dans une grotte « sèche ».

tivité de l'eau saumâtre. L'apport des eaux marines par convection thermique provoque une augmentation de la salinité. Celle-ci, à son tour, augmente la dissolution karstique. C'est en partie ce qui explique l'extension des cavités de la Riviera maya. Le phénomène est limité vers le sud par la diminution de l'épaisseur des calcaires qui réduit l'effet de noria dans la mesure où les eaux froides profondes ne sont plus en contact avec les calcaires. Il est aussi limité vers le nord parce que les écoulements d'eau douce vers la côte sont très faibles. L'eau douce est en effet « capturée » par les écoulements vers la rivière de Conil. (voir simulation informatique) (fig. 25).

### La paléoclimatologie

Nous avons pu évaluer les volumes érodés. Au rythme actuel d'érosion karstique, la karstification se serait produite en 300 000 à 400 000 ans dans la partie nord de la péninsule. Or, nous savons que ces terres ont émergé au cours de l'ère tertiaire, il y a plusieurs millions d'années ! Cela veut dire que l'ablation karstique actuelle est particulièrement élevée. C'est là une démonstration indirecte du fait que la péninsule du Yucatán a connu principalement un régime climatique tropical sec.

Plus récemment, une équipe américaine, dirigée par le professeur David Hodell de l'Université de Floride, a démontré, en étudiant les dépôts de gypse des lacs de Chinchancanab, l'existence d'une succession de périodes de sécheresse suivant un cycle de 208 ans, périodicité proche du cycle solaire. La datation de ces formations salines montre l'existence d'une très grande sécheresse vers l'an 1 000 ! C'est l'époque où la civilisation maya s'est effondrée !

Nos simulations informatiques montrent que les conséquences d'une sécheresse sont plus brutales au sud qu'au nord.

L'histoire maya est d'une grande complexité et son étude rendue difficile par le manque d'écrits. L'étude patiente des stèles permet toutefois peu à peu de reconstituer l'histoire événementielle de cette civilisation. Il en ressort que les cités du sud ont été abandonnées avant les cités du nord !

Les 89 cavités citées dans le tableau page précédente totalisent 600 km. Les trois plus grandes grottes font à elles seules 270 km.

L'estimation du total exploré dans la péninsule se situe aux environs de 700 km.

La répartition entre grottes sèches et siphons montre une majorité importante de cavités inondées.

On ne dénombre en effet que 55 km de grottes sèches soit un peu moins de 10 %. Parmi les cavités citées dans le tableau, nous avons

exploré 17 cavités en première totalisant 115 km de grottes. Au total, nous avons exploré 140 km de « première ».

Nos explorations ont mis en évidence l'importance des grottes sèches.

## Le glonomètre

Nous ne terminerons pas cette évocation de notre aventure mexicaine sans parler du glonomètre.

Année après année, notre « technologie » n'a cessé d'évoluer. Par exemple, en 1995, les calculs topographiques étaient entrepris à la calculatrice. Aujourd'hui, nos ordinateurs travaillent en réseau et « moulinent » Photoshop, Visual topo, Word, convers et autre trackmaker. Le monde évolue, nous aussi !

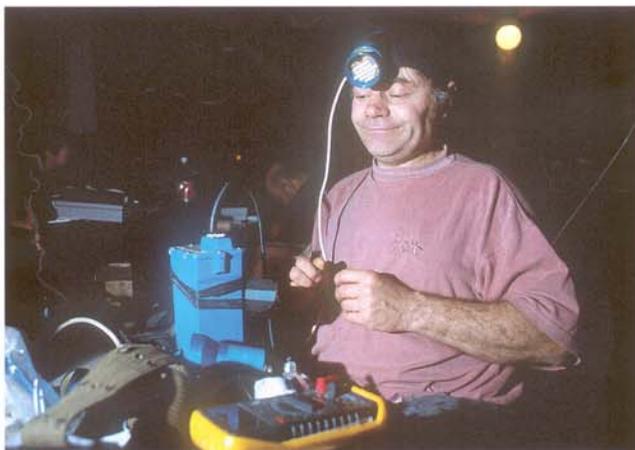
Mais l'avancée la plus importante reste de toute évidence celle du glonomètre. Qu'est-ce qu'un glonomètre ?

Pour lever une topographie, il faut cinq instruments :

- un compas (ou une boussole) pour mesurer l'azimut ;
- un décamètre, un topofil ou un fil d'Ariane métré (ou tout autre instrument) pour lire la distance ;
- un profondimètre ou un clinomètre pour évaluer la profondeur ;
- un carnet topographique pour écrire ces données ;
- un crayon !

Dans le concept du topofil du groupe Vulcain, le compas et le clinomètre sont solidaires de l'appareil de mesure de distance. Ce dernier se compose d'une bobine de fil qui actionne en se déroulant une poulie calibrée liée à un compte-tours mécanique. Le carnet topographique est indépendant et relié plus ou moins bien au crayon.

Pour les expéditions au Yucatán, nous avons opté pour un système radicalement différent où une plaquette réunit en un seul objet compact et robuste la boussole, le clinomètre, les feuilles de plastiques, et... le crayon. Détail ultime, au dos des feuilles, les tables de décompression sont imprimées. L'ensemble se fixe avec un mousqueton sur une des bretelles du scaphandre ou encore négligemment à



Réparation le soir : Bernard.

la ceinture, ce qui fait beaucoup plus mode.

Quant à l'appareil de mesure de distance, il s'appelle le glonomètre en honneur à Bernard Glon qui l'a réalisé. Les Américains nous le jalouent. Certains ont essayé (en vain) de le copier.

La première version de l'appareil possédait une réserve de fil à coudre dévidée par l'axe et enroulé autour d'une poulie folle calibrée munie d'un aimant. L'aimant activait à chaque rotation un capteur magnétique. Le capteur et le compteur étaient dans un compartiment étanche et la lecture s'effectuait à travers un hublot. Une précision décimétrique était ainsi possible. L'ensemble était bien sûr utilisable en plongée ce qui est rigoureusement impossible avec l'appareil Vulcain. L'appareil était assez volumineux et plus proche dans sa forme du moulin à café que d'un bel appareil scientifique...

Après plusieurs prototypes et de nombreux essais, la toute dernière version de l'appareil permet aussi bien de laisser courir la poulie calibrée sur le fil d'Ariane que de dévider un fil perdu. Le fil perdu permet la topographie en surface, ou dans des tronçons de grottes exondées. L'appareil rendu

ainsi plus versatile a aussi progressé dans son esthétique, qui s'approche de celle d'un vieil appareil photo soviétique.

Le prochain prototype sera muni de quatre pattes et se déplacera tout seul en remuant la queue. On déchargera ses fichiers le soir sur Visual topo...

Les photographies sont de Gilles Carmine, Bernard Lips et Christian Thomas.

### Dernière minute

Les cenotes Altar Maya, Nohoch K'in, Abejas et Sac Aktun ont été jonctionnés en début d'année. La jonction Abejas Sac Aktun s'est faite par la surface, grâce aux travaux d'une carrière qui a éventré les deux réseaux. Il convient de rendre hommage aux nombreux explorateurs qui, depuis 1970, se sont lancés à l'assaut des cavités de ce système. L'ensemble totalise 72 km et comporte deux branches drainant l'eau de zones totalement différentes. Les explorations sont loin d'être terminées et quelques problèmes hydrogéologiques intéressants demandent plus d'observations.