

# **Cénottes du Yucatan**



**Le système de Xelha  
Hypothèse hydrogéologique**

# **XEL-HA**

**Expédition de 1997**

**Ch. THOMAS**

**avec la participation de  
BRUNO DELPRAT  
CHRISTOPHE DEPIN  
PHILIPPE BRUNET**

Notre groupe entreprend des explorations dans les karsts de plaine tropicaux depuis 1986. Au cours de nos explorations, des recherches scientifiques sont effectuées dans les domaines de l'hydrogéologie, la topographie des cavités, la biologie, l'archéologie et la géologie. Nos recherches font l'objet de rapports d'expédition, d'articles dans les revues spécialisées.

Au cours des dix dernières années, nous avons découvert, topographié et étudié près de 40 kilomètres de grottes dans les karsts de plaine tropicaux, dont plus de la moitié en plongée, dans les endroits suivants :

1986	MARE OUVEA (océan pacifique)	1987	LIFOU (océan pacifique)
1989	VANUATU (expédition de reconnaissance)	1991	CUBA
1995	YUCATAN (côte Est et région de Mérida)	1995	LIFOU (océan pacifique)
1996	CUBA	1996	YUCATAN (Côte Est)
1997	THAÏLANDE (expédition de reconnaissance)	1997	YUCATAN (XEL-HA)

EN 1997, ont participé

CHRISTIAN THOMAS (responsable) Ingénieur des mines  
 PHILIPPE BRUNET Ingénieur en génie biologique  
 BRUNO DELPRAT Ingénieur physico chimiste  
 CRISTOPHE DEPIN Ingénieur informatique et télécom.  
 BERNARD GLON Technicien mécanique de précision  
 DELPHINE MOLAS Comptabilité et finance  
 JOAO & LAURA NEVES Ingeniero do ambiente  
 MARCO ROTZINGER Electronique et mécanique  
 PHILIPPE WOHRER Médecin

NOTRE ACTION EST BENEVOLE ET MOTIVEE PAR LE DESIR DE CONNAISSANCE

Notre action bénéficie de la collaboration de laboratoires variés

Artropodes	UNAM Pr J. PALACIOS VARGAS Lab. de Biol. de microartropodes
Datations isotopiques	Laboratoire des faibles radioactivités de MONS (Belgique)
Analyse d'eau	Laboratoire de l'institut océanographique P Ricard de l'île des AMBIEZ
Conseil hydrogéologie	Dr François BROUQUISSE (dir des Ponts et Chaussées) Eric GILLI Centre d'Etudes sur le Karst, Nice
Arachnéides	M. Ledoux 43 Rue Paul Bert 30390 Aramon
Collemboles	M. Deharveng Université P. Sabatier Lab. de zoologie 118 R. de Narbonne 31062 Toulouse Cedex
Pseudoscorpions	M. Mahnert Muséum d'Histoire Naturelle Case postale 434 CH-1211 Genève 6
Myriapodes	M. Mauries Muséum National d'Histoire Naturelle 45 Rue Buffon 75005 Paris
Isopodes terrestres	M. Dalens Université P. Sabatier Lab. de Zoologie 118 R. de Narbonne 31062 Toulouse Cedex
Bibliographie	Fédération Française de spéléologie Ing Manuel Sanchez CRESPO Union Mexicana de Agrupaciones Espeleologicas

Enfin, la Fédération Française de spéléologie, la Fédération Méxicaine d'Activités Subaquatiques, le Vieux Campeur et le parc de XEL HA nous ont aidés sur le plan matériel et logistique  
 TRIBUT PHOTOGRAPHIQUE : ANNE MARIE MONTAIGNE . CHRISTOPHE DEPIN

## SOMMAIRE

### INTRODUCTION

#### CHAPITRE 1 METHODOLOGIE

p 9-16

- I - Technique de plongée
- II - Technique de topographie
- III - Hydrogéologie
- IV - Géologie. Karstologie
- V - Biologie
- VI - Archéologie
- VII - Prospection

#### CHAPITRE 2 GEOLOGIE DE LA PENINSULE

p 17-24

- I - Aperçu géologique
- II - Géomorphologie
- III - L'astrolème de CHIXULUB

#### CHAPITRE 3 HYDROGEOLOGIE

p 25-54

- I - Climatologie
- II - Les écoulements
- III - Le bilan hydrique
- IV - Le rôle de l'eau de mer, la pollution salée.
- V - Le battement de la nappe et la réserve d'eau douce
- VI - Les variations du niveau de la mer
- VII - L'ablation karstique

**CHAPITRE 4**  
**LES GRANDES RIVIERES SOUTERRAINES DU QUINTANA ROO**

p 55-92

- I - Les grandes rivières
- II - Le système de RANCH ERIC
- III - Le complexe Naranjal
- IV - Le complexe Sac Actum
- V - Nohoch
- VI - DOS OJOS / XEL-HA
- VII - Le complexe de X-CACEL
- VIII - Le système de XPU-HA
- IX - Le système de X-CARET
- X - Le système de CHICHUEN
- XI - Le fleuve de CONIL

**CHAPITRE 5**  
**LES EXPEDITIONS AU JOUR LE JOUR**

p 93-116

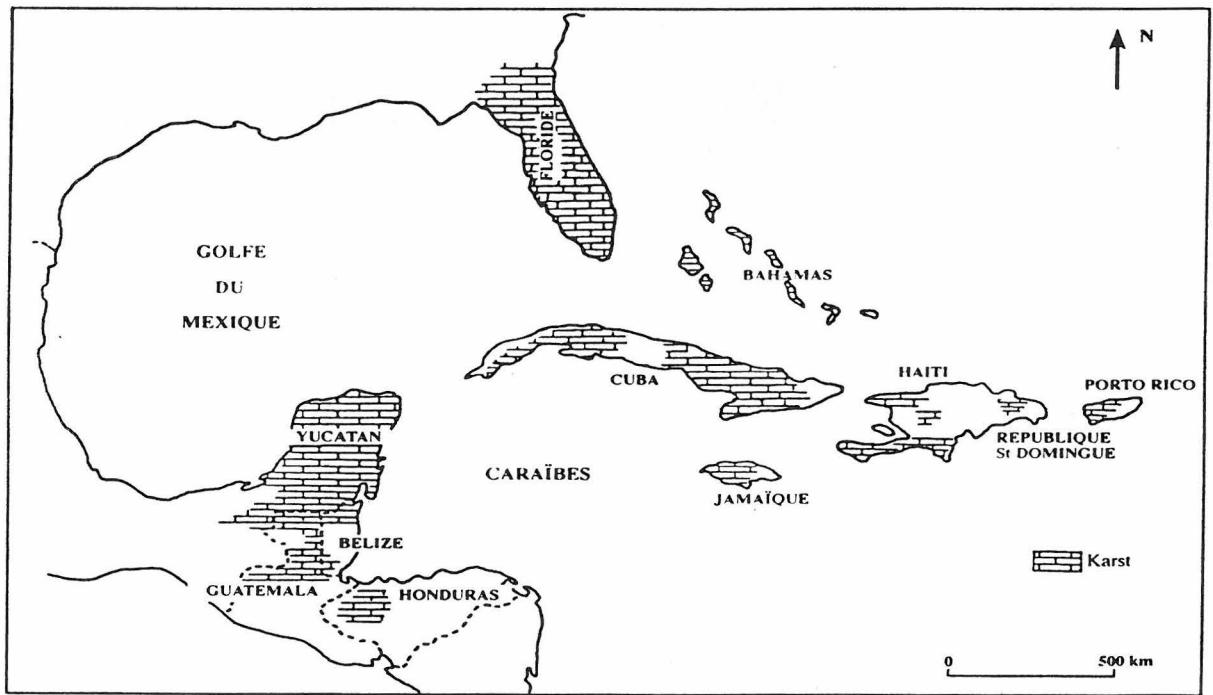
- I 1997
- II 1996
- III 1995

**CHAPITRE 6**  
**ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE**

p 117-130

- I - Explorations - Exploraciones  
*Mexicaines - Mexicanas*  
*Françaises - Francesas*  
*Nord américaines - Norteamericanas*  
*Anglaises - Inglesas*  
*Italiennes - Italianas*  
*Espagnoles - Españolas*  
*Allemandes - Alemanas*  
*Hollandaises - Holandesas*  
*Belges - Belgas*  
*Tchèques - Checas*
- II - Géologie - Geología  
*Etudes générales - Estudios generales*  
*Etudes de réseaux - Estudios de sistemas*  
*Cratère de Chicxulub - Cráter de Chicxulub*
- III - Cartographie - Cartografía
- IV - Biospéléologie - Bioespeleología
- V - Archéologie - Arqueología  
*Généralités - Bibliografía general*  
*Plongées archéologiques - Buceo arqueológico*
- VI - Médecine - Aspectos médicos
- VII - Sources - Fuentes

# **INTRODUCTION**



## KARSTS DES CARAIBES

## INTRODUCTION

En février 1995, la première expédition franco-méxicaine réunit 7 plongeurs . Nous explorons en première une dizaine de cenotes, qui ne livrent pas de réseaux de grande dimension . Nos découvertes ne totalisent que 500 mètres de premières. Des contacts sont pris avec les universitaires de MERIDA, et avec les divers groupes de plongeurs américains. Nous faisons également quelques plongées dans les cenotes classiques, (et ouvertes au tourisme) DOS OJOS, NOHOCH, SAC ACTUM. Le projet de reprendre l'exploration de DOS OJOS prend corps.

C'est sur ce projet qu'est construite l'expédition de 1996. En février 1996, la seconde expédition franco mexicaine est organisée par Christian THOMAS . Elle regroupe 16 plongeurs . Peu de temps avant le départ, nous apprenons que l'équipe de Steve GERRARD a signé un accord avec les mayas du EJIDO JACINTO PAL qui contrôle l'accès de DOS OJOS, et que l'exploration de cette cavité leur est réservée. Fort heureusement, le YUCATAN est très grand, les cenotes et les rivières souterraines s'y comptent par milliers. Du reste, Marcos ROTZINGER vient d'ouvrir un nouveau chemin menant à un nouveau cenote. Il nous invite à en entreprendre l'exploration. En trois semaines, nous explorons 6 kilomètres de siphons vierges, et topographions 12 kilomètres de siphons. Les deux principales cavités explorées sont les systèmes de TAJ MAHAL, et de CUZEL. Ces deux cavités sont proches du système de PONDEROSA, et probablement liées à l'exurgence de XPU-HA. Ces trois cavités totalisent 22 kilomètres constituant le complexe de XPU-HA.

Le rapport de ces deux expéditions est publié en juin 1997.

En février 1997, notre troisième expédition dans la péninsule du YUCATAN regroupe 11 participants. Nos objectifs ont été repérés en photographie aérienne préalablement.

Fleuve de CONIL . Une grande ligne d'eau de 80 km de long se jette dans la lagune de CONIL au Nord Est de la péninsule. Nous reconnaissons l'embouchure de cette magnifique exurgence . Le temps manque pour poursuivre une exploration qui promet de grandes découvertes.

Système de XPU HA. Nous explorons et topographions un petit réseau nommé MINOTAURO en aval de TAJ MAHAL, totalisant un peu plus d'un kilomètres de réseau.

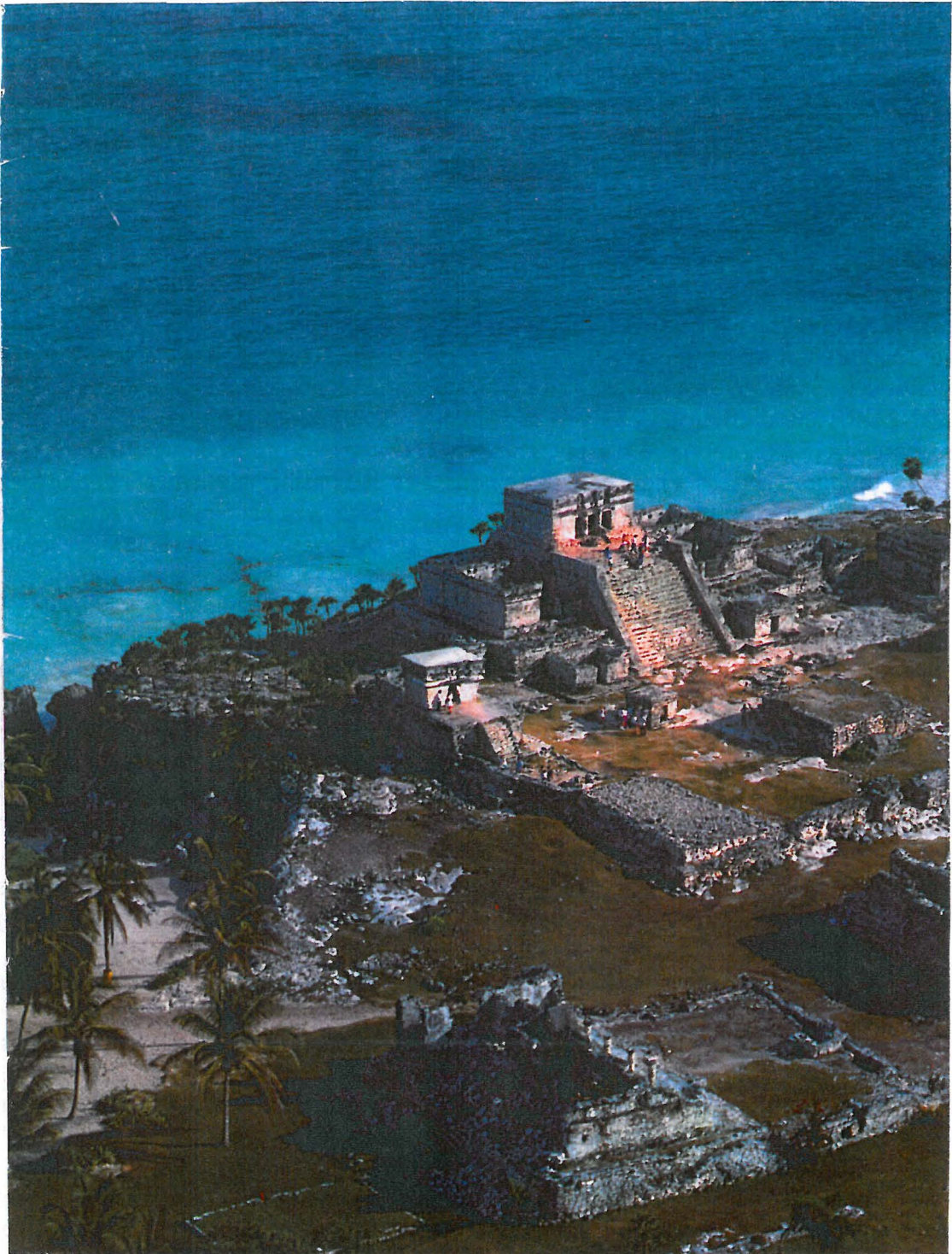
Système de XEL HA. Ce système fait certainement partie du système de DOS OJOS. Nous explorons avec l'appui de la société d'exploitation de XEL-HA un réseau important développant près de 5 kilomètres de galeries.

Prospection. Des cenotes importants ont été reconnus à divers endroits et feront partie des objectifs de nos prochaines expéditions.

Sur le plan scientifique, des analyses d'eau, et des mesures de débit, permettent petit à petit d'améliorer la connaissance du fonctionnement hydrogéologique de la péninsule du YUCATAN. Des prélèvements biologiques ont été réalisés et envoyés à l'UNAM.



XEL-HA



**TULUM : vieille ruine contemplant la mer**

# **METHODOLOGIE**

## VRAI PLONGEUR SPELEO



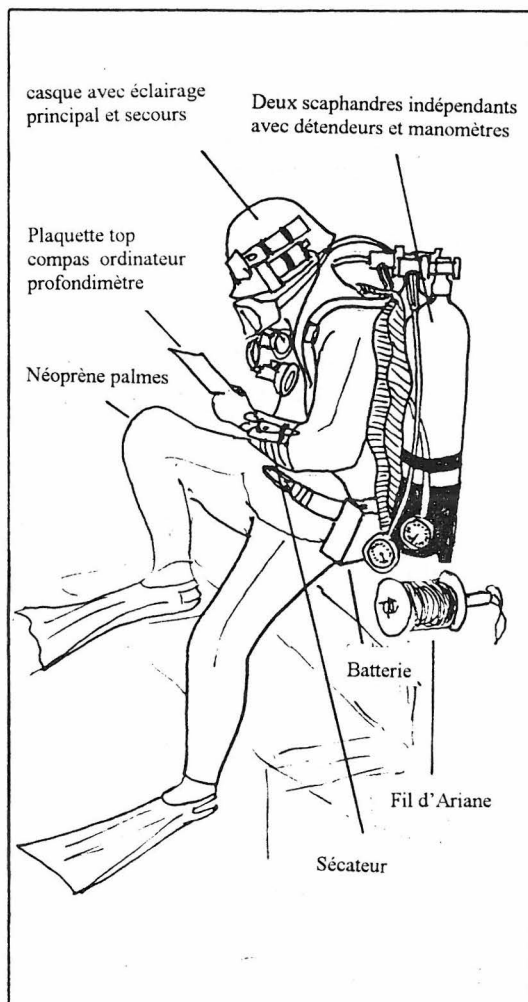
Nos expéditions suivent toujours la même méthodologie générale:

- Recherche des travaux précédents, bibliographie
- Contacts avec les partenaires Mexicains pour la définition des programmes d'étude
- Prospection des cavités
- Exploration et étude des cavités retenues
- Exploitation sur place des premiers résultats afin d'en garantir la fidélité
- Les relevés préliminaires et les topographies sont données au jour le jour aux propriétaires des terrains et aux partenaires de l'expédition
- Rédaction du rapport définitif (environ 1an)

Des méthodes spécifiques sont employées et nous en livrons une courte description ci-dessous.

## I METHODE DE PLONGEE

L'exploration des grottes noyées de XEL-HA impose l'usage des méthodes spécifiques de plongée souterraines. Les différents membres de l'équipe ont reçu une formation spéciale dispensée par la Fédération Française de Spéléologie (FFS), et par la Fédération Française d'Etude et de Sports Sous-Marins (FFESSM). Ces techniques européennes de spéléologie subaquatiques comportent les aspects suivants :



**Equipement :** Le scaphandre est composé de deux bouteilles au moins (souvent trois) équipées chacune d'un détendeur et d'un manomètre. Chaque plongeur emporte en plus des instruments habituels (montre, profondimètre, ordinateur) une boussole, une bobine de fil d'Ariane de secours et un sécateur.

**Navigation :** Un fil d'Ariane (environ 3 mm de diamètre) est posé dans toute la cavité. Ce fil porte une étiquette tous les 10 mètres indiquant le sens de la sortie ainsi que la distance. Le plongeur ne s'éloigne jamais du fil. Des procédures particulières permettent de raccorder les branches dans les réseaux labyrinthiques.

**Autonomie :** Le plongeur consomme à l'aller un tiers de chaque bouteille.

**Organisation de la plongée** Contrairement à la pratique américaine, les plongées s'effectuent en « solo ». Le plongeur explore et pose le fil à l'aller, et réalise le lever topographique au retour.

**Entraînement :** Un plongeur qui n'a pas suivi un entraînement spécifique ne peut pas entreprendre ce genre de plongée sans encourir de très grands risques.

Ces méthodes suivent les recommandations déposées auprès du ministère de la jeunesse et des sports français par la FFS. Elles sont reconnues et utilisées par certains organismes officiels comme le Corps des Pompiers de Paris. Elles sont appliquées par la plupart des fédérations Européennes.

Les plongeurs qui participent à nos explorations sont individuellement couverts par des assurances spécifiques.

## II TOPOGRAPHIE

Une des difficultés de l'exploration au YUCATAN tient au caractère labyrinthique des cavités. Cela impose la maîtrise de méthodes topographiques efficaces. Sans topographie, ces réseaux sont difficilement explorables. Dans notre groupe, les plongeurs réalisaient seuls la topographie de la partie qu'ils venaient d'explorer généralement en posant le fil d'Ariane à l'aller et en relevant le cheminement au retour (à une vitesse d'environ 10 m/mn).

**Mesure de distance :** Outre le classique fil d'Ariane métré, nous avons utilisé un appareil de mesure de distance à fil perdu : le glonomètre. Cet appareil a été conçu et fabriqué par Christian THOMAS et Bernard GLON, pour l'expédition de 1996. Il possède une réserve de fil dévidée par l'axe et enroulé autour d'une poulie folle munie d'un aimant. L'aimant active à chaque rotation un capteur magnétique. Le capteur et le compteur sont dans un compartiment étanche et la lecture s'effectue à travers un hublot. L'unité utilisée est le mètre.

**Mesures d'azimut :** Boussoles de plongée, dont la précision est un peu limitée et qui exigent un soin important. Dans le futur des instruments plus précis seront mis en oeuvre. Unités utilisées grade ou degré selon les instruments.

**Calculs :** L'ensemble des calculs a été réalisé à l'aide d'un logiciel informatique mis au point par Eric DAVID qui se nomme VISUAL TOPO 3-4.

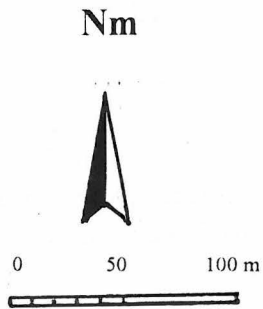
**Bouclage de surface :** Le G.P.S ne donne pas dans cette zone une précision exploitable. Les bouclages de surface ont donc été effectués en topographie de degré 4 (topochaix et glonomètre).

**Précision :** La mesure d'azimut est le principal facteur d'erreur. (Voir à ce sujet Cours de Topographie en plongée souterraine 1995) La précision que nous obtenons est de degré 3 U.I.S. Les bouclages ont confirmé une précision plutôt meilleure, de l'ordre de 10 mètres pour des parcours de 500 à 1000 mètres.

**Report graphique :** L'impression du cheminement se fait après calculs à l'aide d'une imprimante. L'habillage de la topographie est réalisé manuellement à partir des données et observations recueillies par le plongeur. Les topographies étaient mises au propre quotidiennement.

La méthode utilisée et décrite succinctement ci dessus est classée par l'Union Internationale de Spéléologie (UIS) degré 3. Elle permet de donner une bonne idée « naturaliste » de la localisation et de l'importance de la cavité. Pour réaliser des travaux d'implantation d'ouvrages (sondage, puits etc...), des travaux complémentaires sont nécessaires

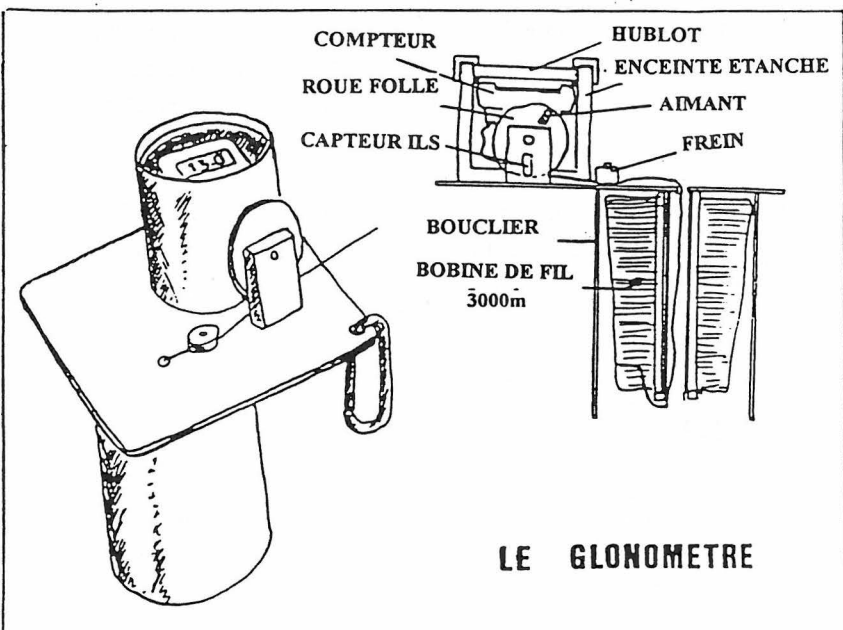
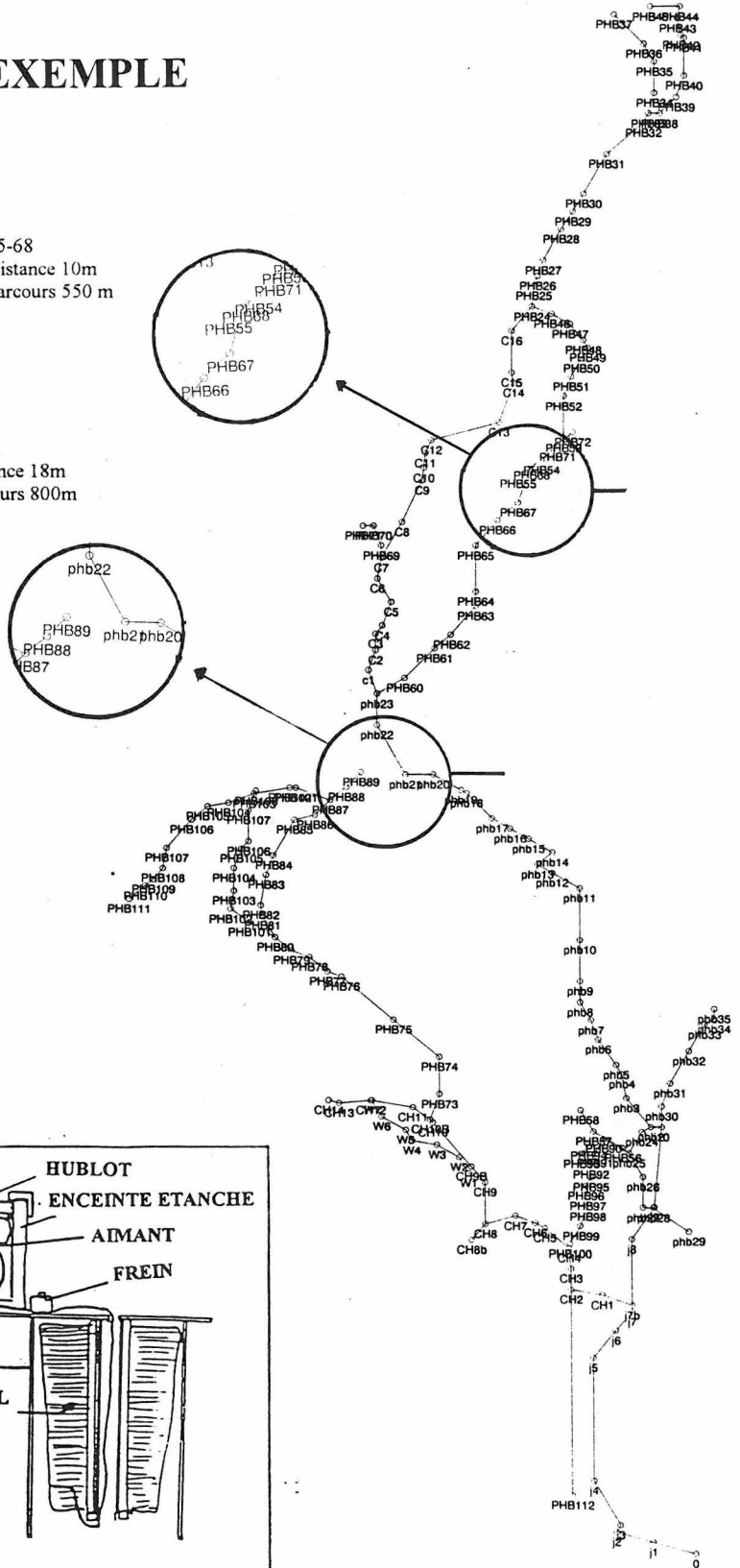
# BOUCLAGE TOPO : UN EXEMPLE



XEL-HA

55-68  
Distance 10m  
Parcours 550 m

89-21  
Distance 18m  
Parcours 800m



LE GLONOMETRE

### III HYDROGEOLOGIE

**Mesures de débit** : Les débits des écoulements souterrains au Yucatan sont généralement très réguliers. Nous mesurons systématiquement les débits par mesure de la section utile et de la vitesse du courant en utilisant un abattement de 30%. Ces mesures donnent une précision de l'ordre de 20 %. Il est important lorsque la section est très importante, et que la salinité de l'eau n'est pas homogène de procéder à des évaluations plus fine. Cela permet d'évaluer la quantité d'eau douce rejetée à la mer.

De même, le débit des sources côtières est considérablement influencé par le cycle des marées. Il faut donc procéder à ces mesures sur la totalité d'un cycle. En revanche, la régularité des écoulements au cours de l'année est pratiquement parfaite.

**Mesures de salinité** : La première des mesures consiste à repérer à quelle profondeur se situe l'halocline. Cette mesure, entreprise systématiquement donne des indications précieuses sur la lentille d'eau douce. Des échantillons d'eau sont alors prélevés en plongée en dessous, et au dessus de l'halocline, puis analysés. Les méthodes d'analyse de l'ion chlorure sont faites par virage chimique sur le terrain, puis en laboratoire pour les échantillons les plus intéressants. Ces mesures sont complétées par des mesures du **titre alcalimétrique complet** et de la teneur en  $\text{CaCO}_3$  (mg/l), et par des mesures de **températures** réalisées avec un thermomètre immergeable.

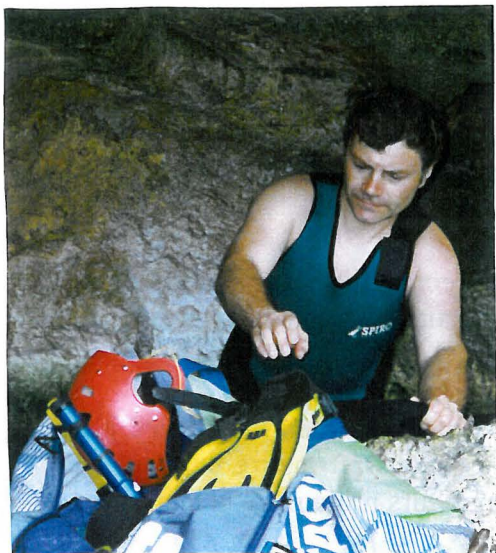
**Mesures des variations de la surface libre** : Ces mesures devraient être réalisées avec des stations fixes. Nous n'avons pas naturellement les moyens de conduire ce genre d'expérimentation. Toutefois, nous recueillons auprès des habitants proches des cenotes des indications sur les fluctuations des niveaux d'eau qui permettent de s'en faire une idée grossière. D'autre part, la trace de ces niveaux est souvent visible sur les parois. L'étude de ces variations est essentielle puisqu'elle permet d'évaluer le volume d'eau douce stockée.

**Synthèse** : L'étude d'une cavité comme XEL HA n'a de sens que si elle est remise dans le contexte hydrogéologique général. Les observations que nous réalisons complétées par les mesures classiques de pluviométrie permettent de déterminer les principaux paramètres du modèle hydrogéologique.: Ratio de Ghyben Herzberg, coefficient de diffusion de l'eau salée dans la lentille d'eau douce, porosité du massif rocheux, ratio d'infiltration des eaux de pluies, volume de la lentille d'eau douce, partie de l'eau qui circule par les conduits karstiques et par porosité. etc...

Une fois ce contexte décrit, il est alors possible de déterminer le fonctionnement d'une cavité particulière comme XEL-HA et de déterminer par exemple les emplacements des divers biotopes que l'on peut y trouver. Des études biologiques plus fines peuvent alors être envisagées.

### IV GEOLOGIE KARSTOLOGIE

La géologie générale du Yucatan est assez bien décrite. Elle n'a que peu d'influence sur le creusement de telle ou telle cavité. L'observation locale est précieuse. L'étude des fracturations est visibles en photographie aérienne. C'est un des éléments guide importants dans la genèse des cavité.



**PLONGEE D'EXPLORATION**



**INTENDANCE**



**PROSPECTION EN BARQUE (CONIL)**



**REPORT ET  
CALCULS  
LE SOIR...**



Nous prélevons par ailleurs des sédiments. Cette analyse est pour le moment encore très embryonnaire. Nous pensons toutefois que l'étude fine des sédiments permettra de dater les cavités d'une façon très précise dans le futur

Datation des concrétions. La datation isotopique des concrétions est une méthode chère mais très efficace au Yucatan du fait de la pureté des stalagmites et stalagmites. Elles apportent des indications précieuses sur le creusement des grands réseaux.

L'étude des paléohaloclines est à peine commencée. La ligne de corrosion liée à la présence de l'halocline est très visible dans les cavités. Nous avons pu mettre en évidence l'existence de plusieurs étages de corrosion, correspondant à plusieurs niveaux de la mer.

## **V BIOLOGIE**

Au Yucatan, nous nous sommes limités pour le moment à prélever quelques échantillons et les envoyer à un réseau de laboratoire qui les identifie. Dans le futur, nous prévoyons des études plus poussées et plus systématiques avec l'aide de spécialistes.

## **VI ARCHEOLOGIE**

Nous ne prélevons aucun échantillon. En cas de découverte importante, nous faisons intervenir des archéologues des services publics nationaux.

## **VII PROSPECTION**

Les photographies aériennes, l'usage des guides mayas, la recherche systématique des exurgences le long de la côte, et un certain sens du terrain permettent de découvrir des cavités vierges de grande importance. L'accès aux cavités est difficile et impose d'ouvrir des chemins à la machette. Par curiosité, il est utile de s'essayer à cet exercice. Si vous êtes robuste, que vous échappez aux plantes urticantes, aux fourmis électriques et autres petites surprises vous pourrez ouvrir en deux heures de travail ardu et quelques ampoules 200 mètres de chemin. Vous serez ravis de voir vos amis mayas venir vous relayer et réaliser le même travail en moins de dix minutes, avec, en prime, ce rien de nonchalance qui vous fera mesurer votre inadaptation à la jungle...

## **VIII INTENDANCE**

Maintenant que vous savez manier la machette, vous pouvez ouvrir vos propre noix de coco... Pour le reste, nous avons embauché Angelica qui nous a mitonné une cuisine de prince mexicain...

XEL-HA

# **GEOLOGIE DE LA PENINSULE**

XEL-HA



## **ENTREES DE CENOTES DANS LA JUNGLE**



## I APERCU GEOLOGIQUE

Les forages de recherche pétrolière réalisés dans les années 70 ont permis de préciser la géologie de la péninsule du YUCATAN.

Vers 3000 mètres de profondeur, le socle du YUCATAN est composé de granites et de schistes. Ce sont là des roches extrusives, sorties de la profondeur de la terre; ce que les géologues appellent un craton. Le YUCATAN était alors au milieu des terres, au sein d'un large continent réunissant l'Amérique, l'Afrique et une partie de l'Asie : le GONDWANA.

A la fin de l'ère primaire, au Trias, il y a 250 millions d'années, le YUCATAN est recouvert par une vaste mer intérieure la MESOGEE, où se déposent des grès rouges.

Au cours de l'ère secondaire, il y a environ 130 millions d'années, la dérive des continents ouvre l'océan Atlantique. Conséquence de cette déchirure le golfe du Mexique s'ouvre et le contour de la péninsule du YUCATAN se dessine. La péninsule s'affaisse alors en un lent basculement vers le Nord, et est recouvert à nouveau par la mer.

Les sédiments provenant des terres émergées proches, se déposent alors et forment la grande plate-forme horizontale que l'on connaît aujourd'hui.

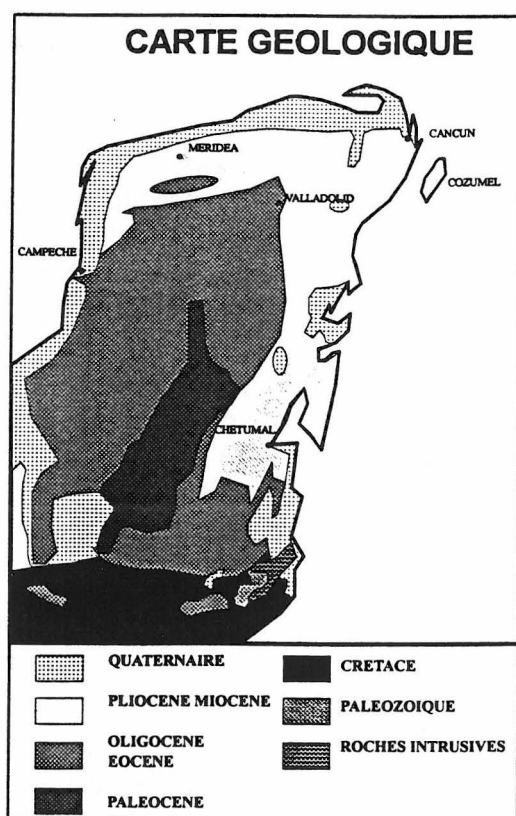


FIGURE 1

Au cours de l'ère tertiaire, les forces tectoniques vont peu à peu soulever la péninsule, qui va émerger d'abord au Sud, à hauteur du GUATEMALA, il y a environ 50 millions d'années, puis au centre, il y a 30 millions d'années, et enfin au Nord, récemment, au début de l'ère quaternaire.

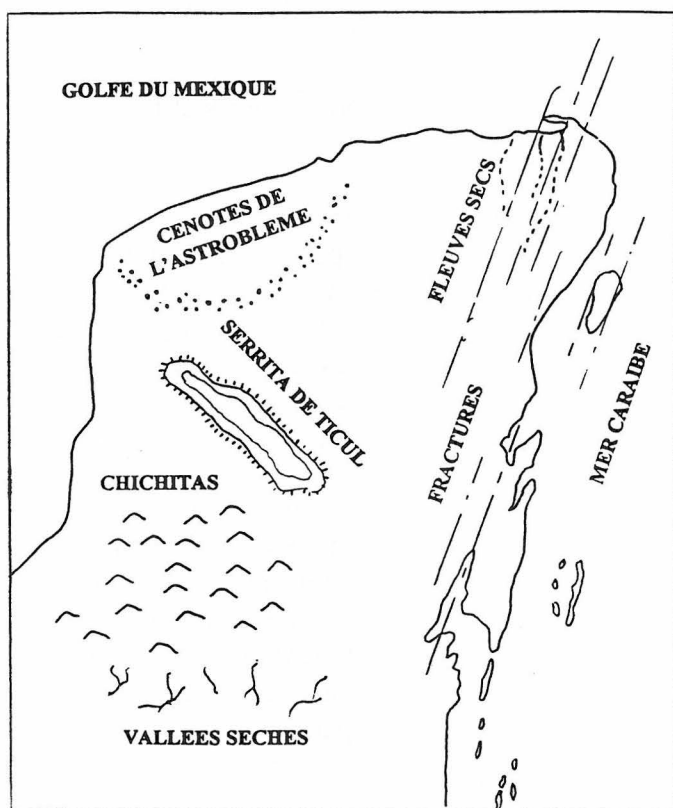
Ceci explique pourquoi les terrains les plus anciens se situent au Sud de la péninsule. les calcaires n'atteignent à cet endroit qu'une centaine de mètres d'épaisseur, à la frontière du GUATEMALA. Ils sont en revanche extrêmement épais au Nord, où leur puissance (épaisseur) peut atteindre 1000 mètres.

La série stratigraphique, comprend donc un socle schistogranitique, surmonté par les grès rouge du Trias et du Jurassique, les évaporites du Crétacé puis la série carbonatée de l'ère tertiaire. Deux discordances majeures (indice d'un retrait durable de la mer) se situent à la base du Crétacé et à la base du Trias.

## II GEOMORPHOLOGIE

La plate-forme du YUCATAN est une grande plaine de 150 000 km<sup>2</sup> (soit le quart de la surface de la FRANCE) dont l'altitude s'élève graduellement de la côte vers le centre Sud, pour culminer vers 400 mètres. Aucune rivière n'y coule. L'eau de pluie s'infiltré très rapidement dans le calcaire et y creuse des cavernes gigantesques.

**Les cénotes :** la nappe d'eau ne peut être atteinte très facilement à travers les gouffres d'effondrement qui criblent le YUCATAN, les cénotes (du mot Maya « d'zenot »). Cette eau se rencontre à peine à quelques mètres au-dessus du niveau de la mer, démontrant la très grande perméabilité de ces karsts.



**GEOMORPHOLOGIE DU YUCATAN**

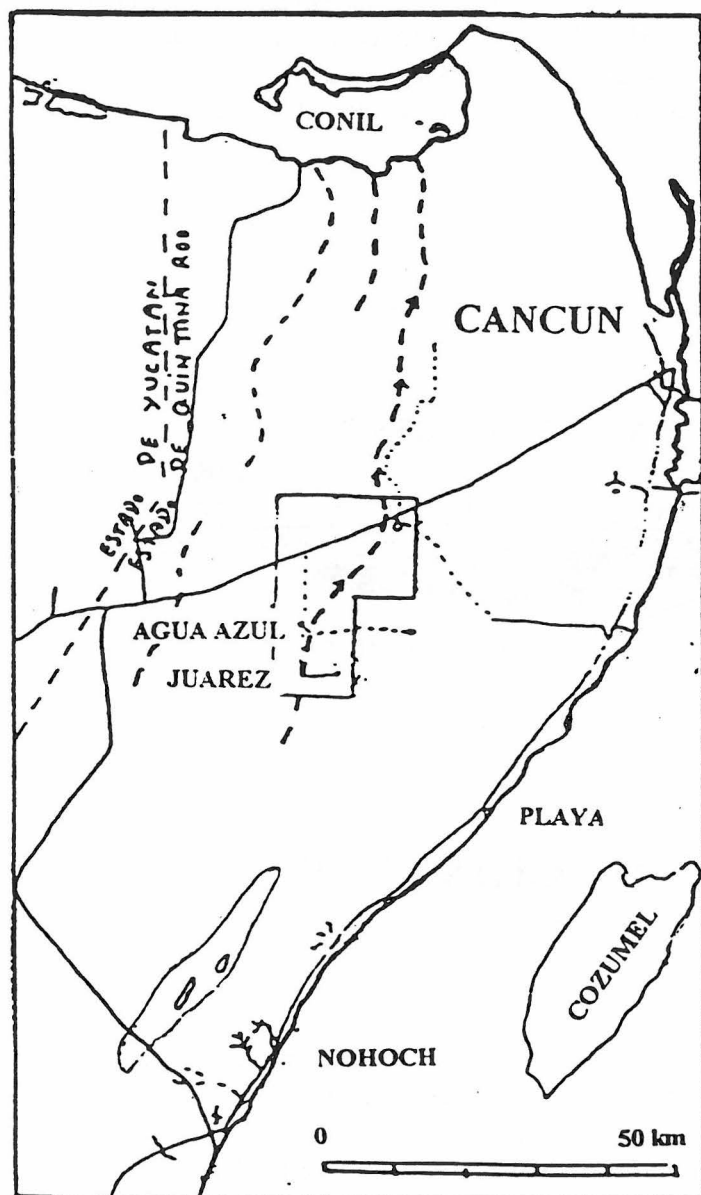
### Les fractures de la façade caraïbe

Plus à l'Est, sur la côte caraïbe, les cénotes s'alignent sur des fractures NNE-SSW. Les fractures sont même visibles en surface. Elles 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 BACALA dont la longueur atteint 50 km et dont la largeur ne dépasse pas 10 mètres par endroit. A plus grande échelle, le bras de mer qui sépare COZUMEL de la péninsule à la même origine, et l'île de COZUMEL est un compartiment surélevé.

Ces fractures se retrouvent dans les grandes grottes noyées du QUINTANA ROO occidental. Elles se voient encore le long de la côte, où elles dictent les formes allongées des marécages et des lagunes. La grotte de XEL-HA ainsi que la caleta sont influencées par deux grandes fractures parallèle à la côte.

Au Nord de cette région, le fleuve souterrain de CONIL dont nous subodorons l'existence et qui est potentiellement le plus gros phénomène karstique de la péninsule se développe dans un contexte structural très particulier : celui du réseau de fractures de HOLBOX. Ces fractures ont été suivies jusqu'à 80 kilomètres de la lagune de CONIL soit, jusqu'à la hauteur de PLAYA DEL CARMEN, par photographie radar satellite LANDSAT (C. SCOTT SOUTHWORTH 1984). Ces fractures donnent lieu à un impressionnant alignement de cénotes.

Les limites de ce compartiment de fractures coïncident avec la limite Pliocène/quaternaire, et en profondeur avec la limite entre les schistes, et les grès rouge du Trias et du Jurassique. Ceci montre le caractère extrêmement ancien de ce trait structural.



### LE FLEUVE DE CONIL

Au moment des plus hautes montées du niveau de la mer, la Sierrita de Ticul était très certainement une île. Des grottes sèches horizontales sont des témoins de cette ancienne montée des mers. Ainsi, la grotte de YAATLIN rencontrée accidentellement lors du forage d'un puits développe 450 mètres de galeries situées 30 mètres au dessus du niveau de la mer. De même, la grotte de Lotlun présente un développement de 2400 mètres.

Dans le prolongement de ce système, se trouve la vallée sousmarine de CATOCHE TONGUE, d'une cinquantaine de kilomètres de large sur une centaine de long. Il s'agirait sur le plan régional d'une zone de dépression tectonique liée à la zone de faille du golfe du Mexique (WEIDIE 1978)

### Les chichitas du Sud Ouest.

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.WEIDI de leur attribuer le nom de chichitas (les tétons) gentiment représentatifs.

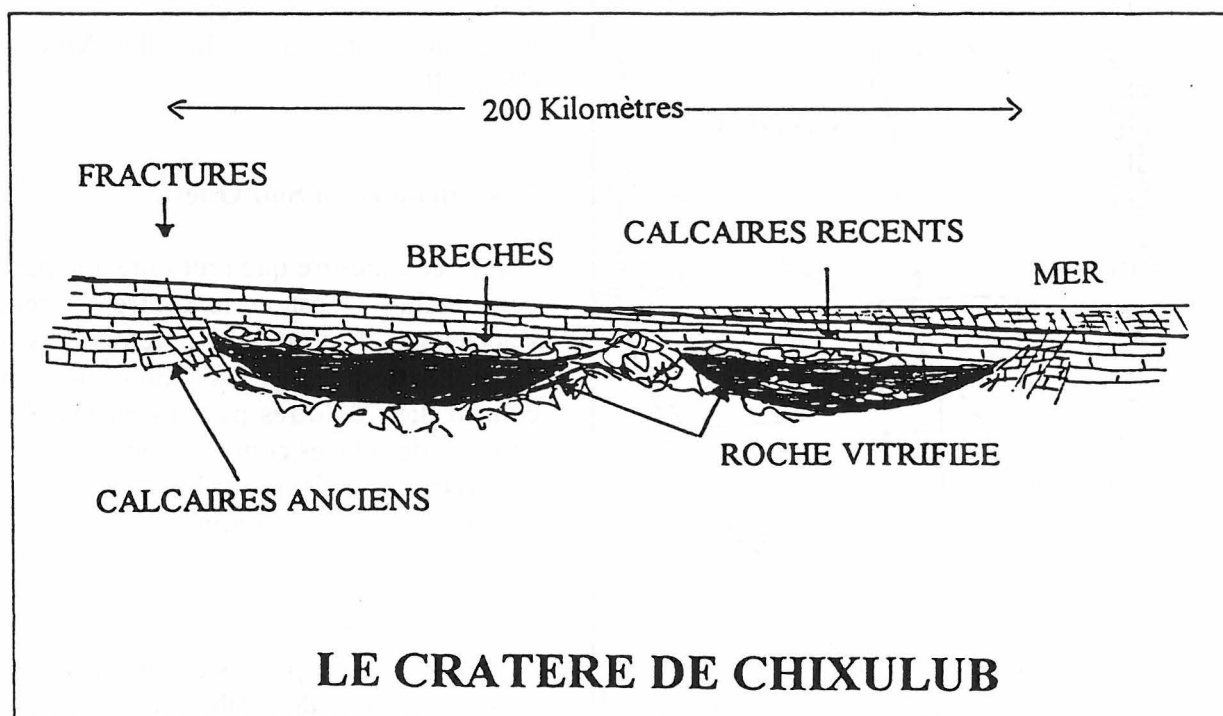
Ces collines sont parfois séparées par des vallées sèches de faible extension et quelques grandes dépressions fermées : les poljés.

### La sierrita de TICUL

Située au Sud de MERIDA, c'est un plateau surélevé par un mouvement tectonique. D'une quinzaine de km de large pour 160 km de long, c'est le relief le plus marqué de l'ensemble du YUCATAN.

### III L'ASTROBLEME DE CHIXULUB

Une concentration très particulière, au sud de MERIDA, regroupe en un grand arc de cercle de 200 km de long plusieurs milliers de cénotes. Cette formation serait, selon certains géologues, les vestiges de la fracturation provoquée par un impact météoritique de très grande envergure à la fin du crétacé : l'astroblème de CHIXULUB. Cet impact aurait créé un nuage de poussière monstrueux, masquant le soleil, entraînant un refroidissement de la planète et ... la disparition des dinosaures. Nous rappelons cidessous les grandes étapes de cette découverte.



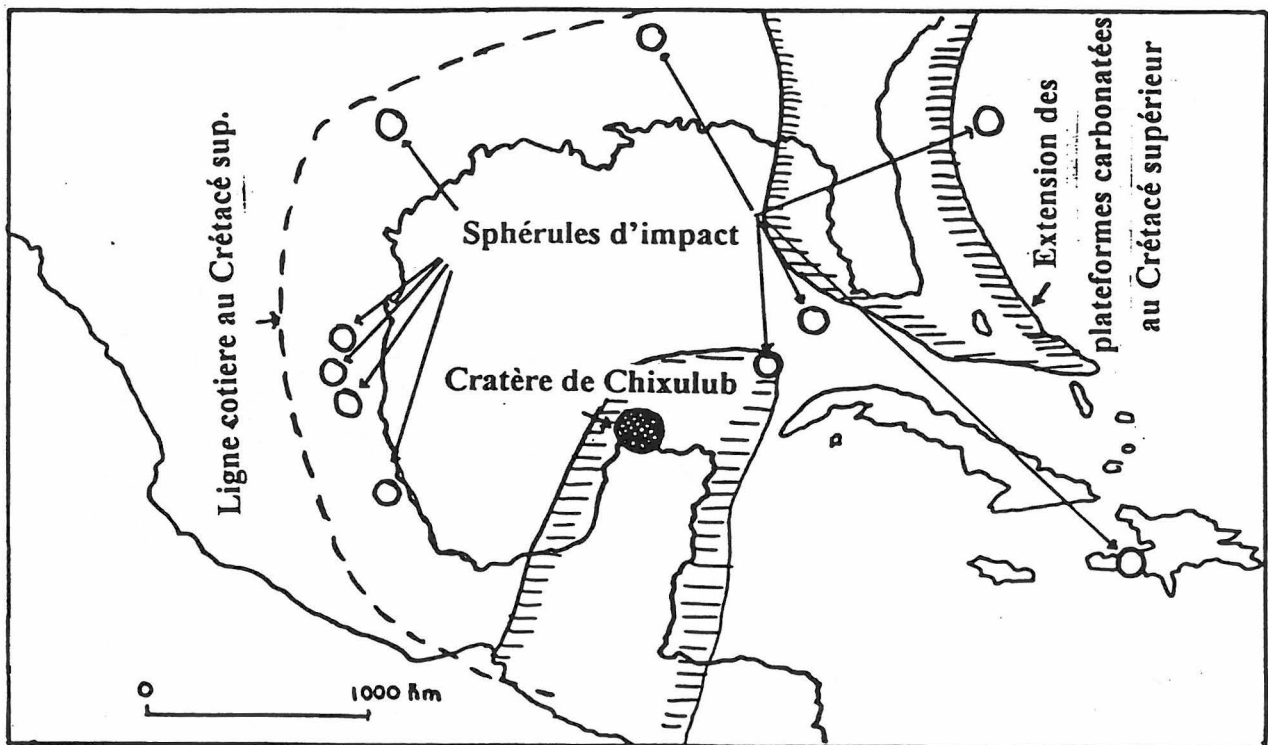
La découverte dans les années 80 de la présence d'iridium, de quartz choqués et de spinelles nickelifères dans les sédiments de la limite Crétacé Tertiaire dans le monde entier (une centaine de sites connus) avait convaincu les géologues de l'existence d'un impact météoritique majeur à cette époque. En effet, la présence de ces matières ne peut avoir pour origine que l'existence d'un énorme nuage de poussière recouvrant la totalité du monde et se déposant petit à petit. Seuls les volcans et les météorites produisent ce genre de nuage. La composition des minéraux déposés correspond à celle donnée par un impact météoritique. En 1980, Luis et Walter ALVAREZ de Berkeley proposent l'hypothèse d'un impact météoritique. Sachant que le rapport de diamètre d'un météorite à celui du cratère qu'il forme est d'environ 1 pour 20, les calculs suggéraient l'existence d'un cratère de 200 km de diamètre. L'existence de quartz choqués laissent en outre penser que l'impact avait eu lieu sur la croûte continentale, en Amérique du Nord, où ces quartz se rencontraient de façon plus abondante.

En 1991, les géophysiciens repèrent enfin une structure circulaire de grand diamètre à la pointe de la péninsule du Yucatan. Le centre en est situé dans le petit port de Chixulub. Plus de 1000 mètres de sédiments calcaires masquent ce cratère, qui n'a été découvert que grâce aux anomalies gravimétriques et magnétiques qui traduisent sa présence. Le déficit de matière

et l'existence d'une forte masse de fer démontrés par ces méthodes géophysiques rendaient très probables la thèse de l'impact météoritique.

Les profils sismiques entrepris pour en confirmer l'existence montrèrent une forme concave, tout à fait compatible avec celle d'un cratère d'impact, dont le diamètre serait selon les estimations de 180 à 310 kilomètres.

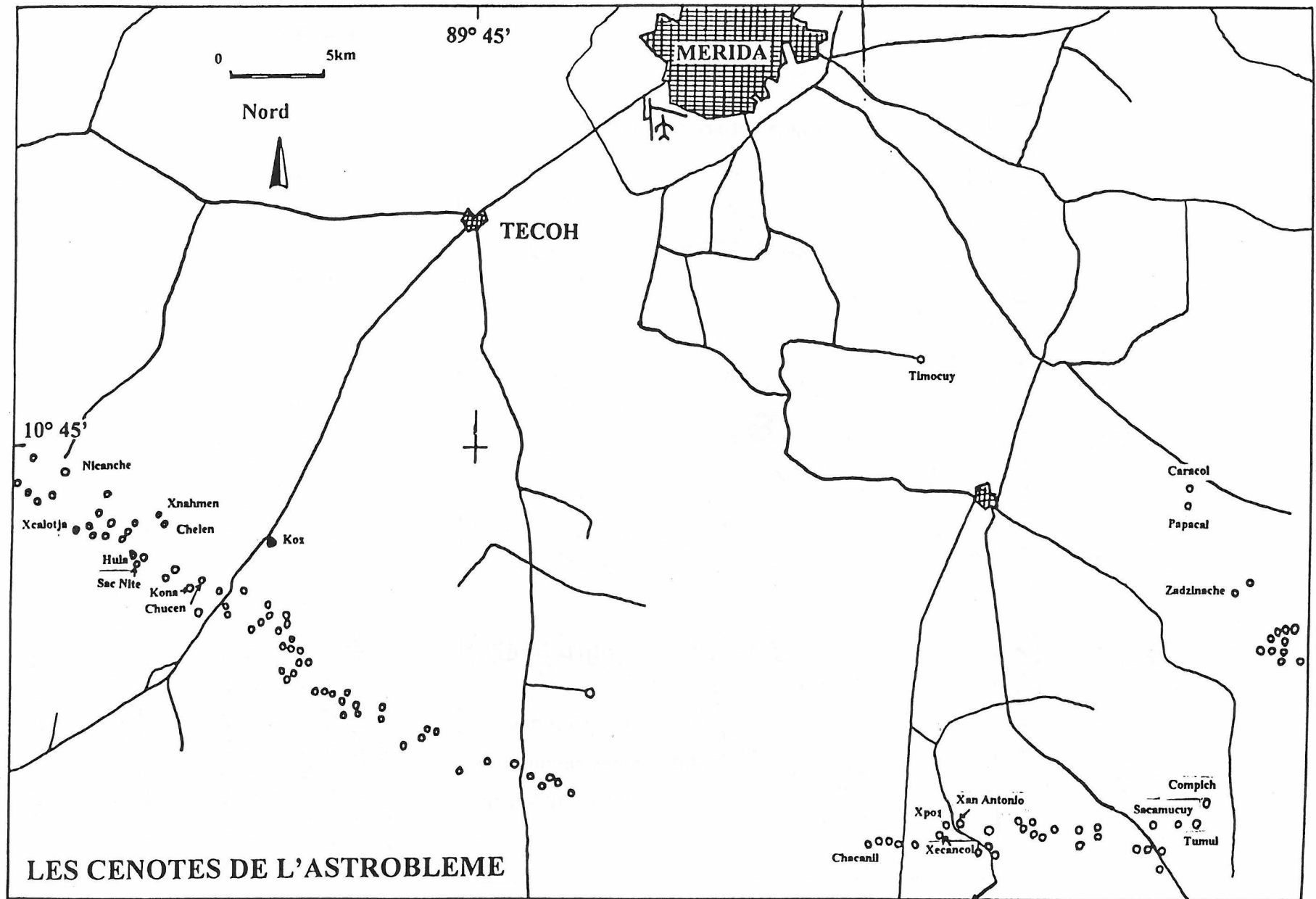
L'analyse des sondages réalisés par la PEMEX montre l'existence en profondeur de brèches formés de carbonates et de cristaux de quartz et de feldspath choqués. Plus profondément encore, on trouve un verre composé de minéraux fondus. Ce sont en fait quelques trois kilomètres de sédiments calcaires et dix kilomètres de socle granitique qui ont fondu sous la pression et l'énorme échauffement provoqué par l'impact. Par des méthodes isotopiques Argon, l'âge de cette roche fondue a été estimée à 65 millions d'années, avec une très grande précision (50 000 ans). C'est exactement la limite entre l'ère secondaire et l'ère tertiaire !



## INDICES CONNUS AUTOUR DE CHIXULUB

Bien que situé sur la croûte continentale (par opposition aux croûtes océaniques essentiellement basaltiques), l'impact s'est effectué dans une mer peu profonde où se déposaient à l'époque des calcaires. Cet impact a engendré un gigantesque raz-de-marée (tsunami) dont on retrouve les traces sous la forme de bancs de sables grossiers constitués de quartz fondus de deux à trois mètres d'épaisseur en Haïti, de l'Alabama au Guatemala sur un arc de cercle de 3000 kilomètres de diamètre ! Ces dépôts montrent l'existence de courants extrêmement puissants révélateurs de ce qu'a été ce tsunami.



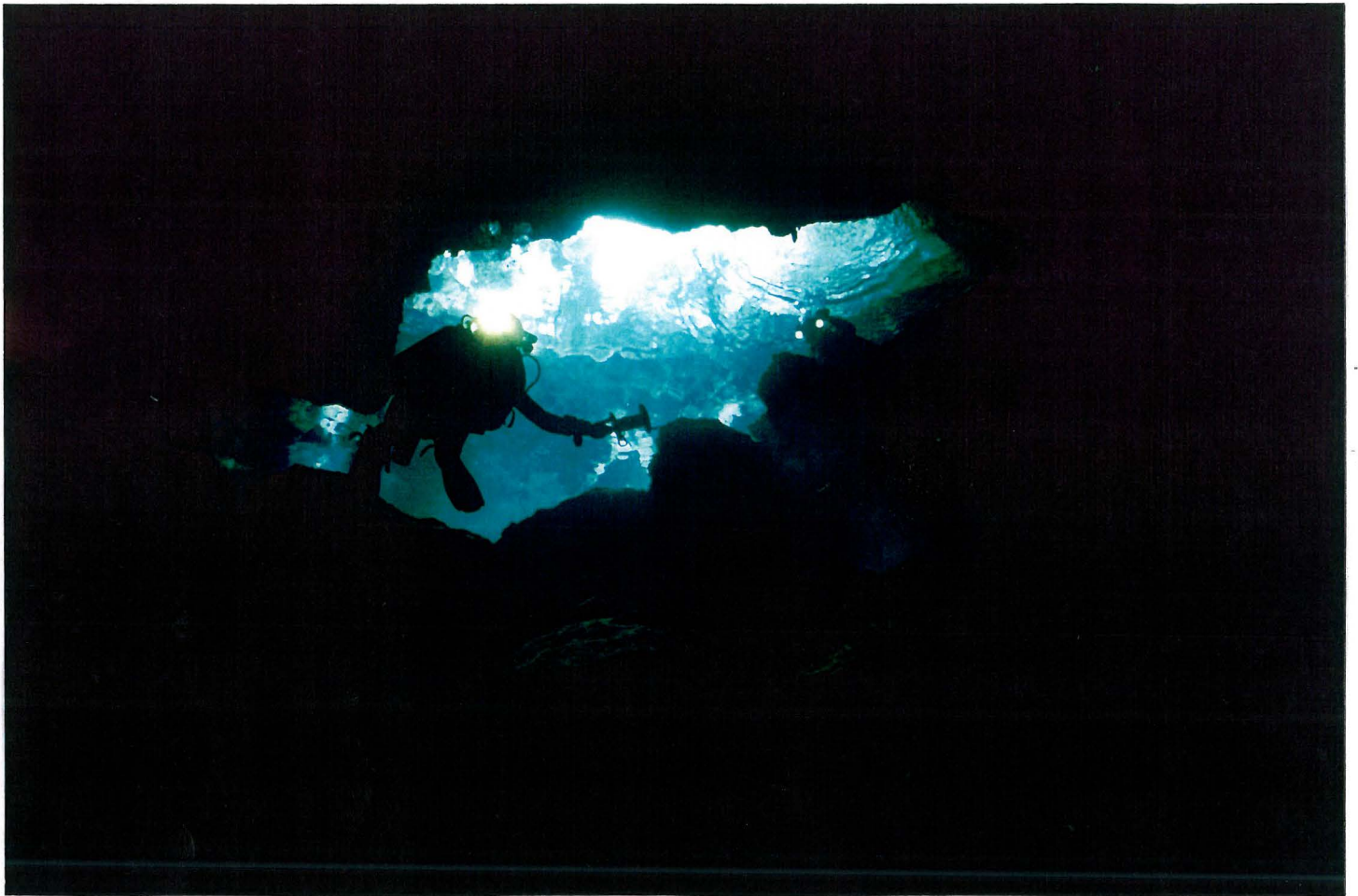


LES CENOTES DE L'ASTROBLEME

XEL-HA

# **HYDROGEOLOGIE**

XEL-HA



**CENOTE-ENTREE DE RIVIERE SOUTERRAINE**

## I CLIMATOLOGIE

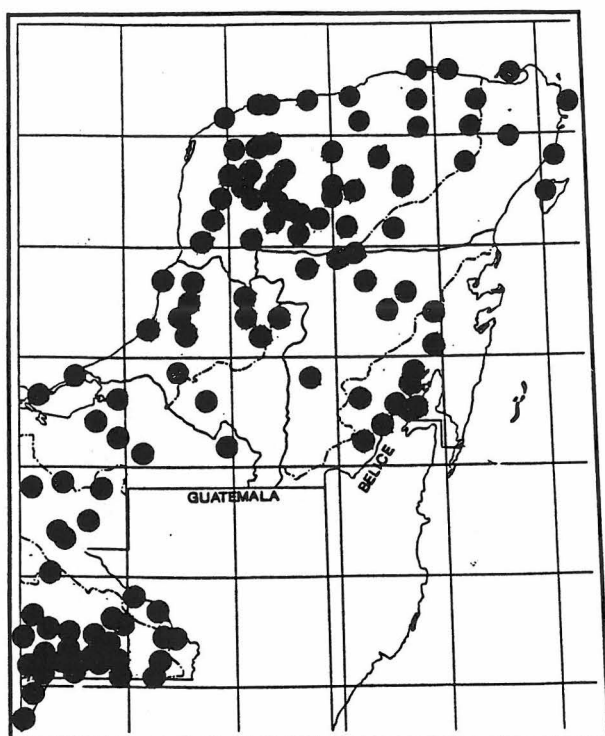
L'Est du YUCATAN est un endroit pluvieux régulièrement balayé par des cyclones. L'Ouest de la péninsule est plus aride, et la pluie y tombe moins intensément. L'île de COZUMEL reçoit 1500 mm d'eau par an, alors que la région de Mérida reçoit à peine 1000 mm d'eau.

La saison des pluies y est bien marquée et s'étend de mai en novembre. Un réseau de stations météorologiques couvre la péninsule du YUCATAN depuis 1921. Le schéma ci dessous montre l'importance de ce dispositif. Des cartes météorologiques indiquant pluviométrie, température et bilan hydrique théorique sont publiées par l'institut géographique.

A titre indicatif, nous donnons les courbes pluviométriques de quelques stations représentatives réparties sur la péninsule.

### STATIONS METEOROLOGQUES DE LA PENINSULE

LAS MARGARITAS	OSTIONAL	SAN QUINTIN	SANTA CECILIA
SANTA ELENA	COCOYOL	COZUMEL	KANTUNILKIN
NICOLAS BRAVO	TIHOSUCO	BONAMPAK	CUAUHTEMOC
LAS DELICIAS	IXCAN	TRES PICOS	YAQUINTELA
YAXCHITLAN	CARILLO PUERTO	PUERTO MORELOS	CANCUN
PLAYA DEL CARMEN	ALVARO OBREGON	CHETUMAL	SOLFERINO
VICTORIA	XCALAK	BALANCAN	BOCA DEL CERRO
EMILIANO ZAPATA	TENOSIQUE	DZITAS	IZAMAL
MOTUL	OXKUTZCAB	PETO	PROGRESO
FAYO CAYO ARCAS	CAMPECHE	CANDELARIA	DZIBALCHEN
ESCARCEGA	HECELCHAKAN	HOPELCHEN	KALKINI
SABANCUY	TIXMUCUY	ZON LAGUNA	CHAMPOTON
CIUDAD DEL CARMEN	SAN ISIDORO	SILUITUC	AQUESPALA
KM 336	EL ROSARIO	TELCHAC PUERTO	TELCHAQUILLO
CELESTUM	MAXCANU	MERIDA	RIO LAGARTOS
SISAL	VALLADOLID	YASCABA	

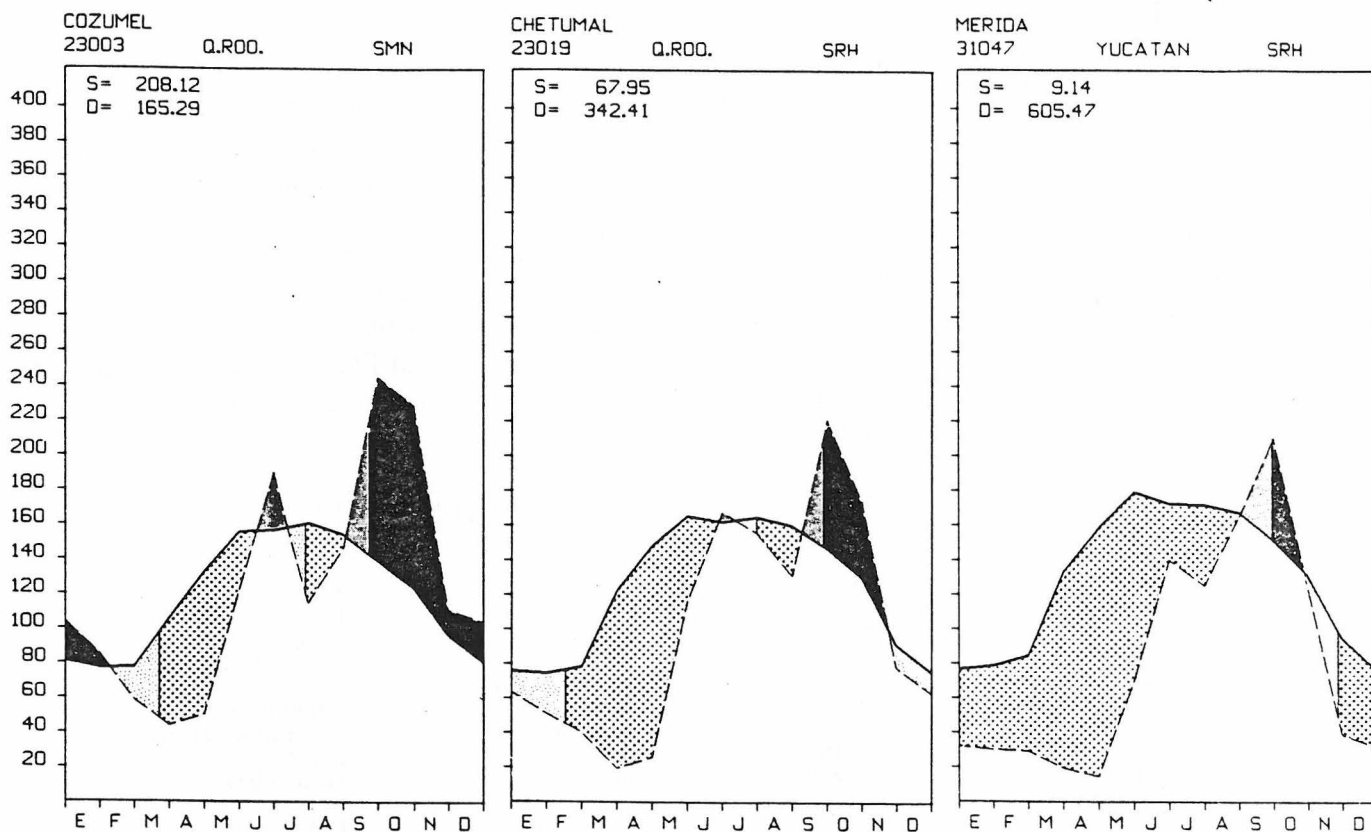


STATIONS METEO

Les températures du fait de l'influence océanique sont assez stables. Les températures extrêmes enregistrées historiquement sont de 4°C au centre de la péninsule pour le plus froid et de 48°C près du golfe du Mexique, ce qui représente un écart thermique faible de seulement 44°C. (Cet écart thermique dépasse 80 °C en France).

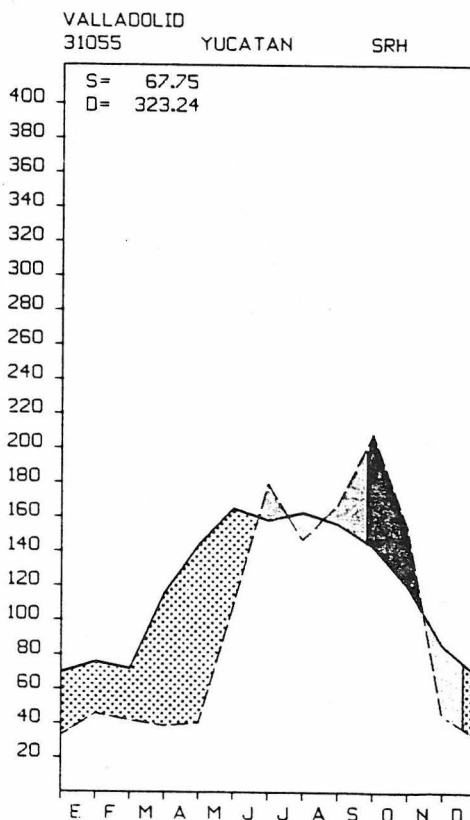
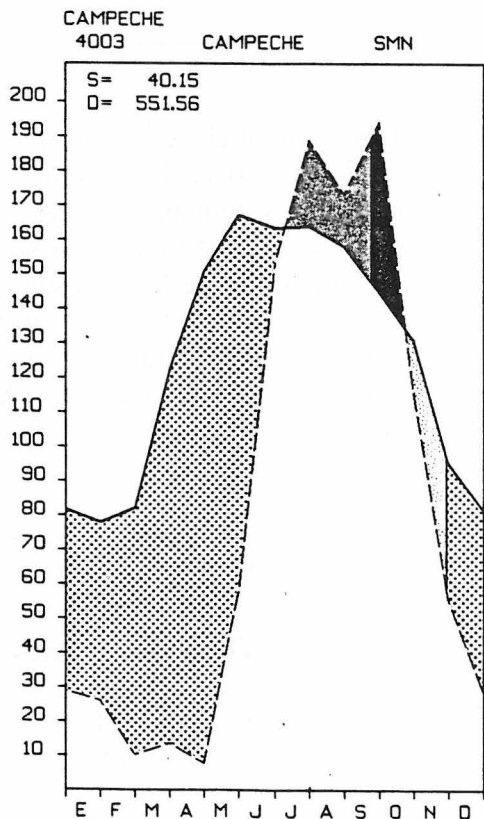
La température moyenne mensuelle varie entre 23 et 27°C à MERIDA, 24 et 27°C à COZUMEL et 23 à 30°C à CIUDAD DEL CARMEN. Le minimum est atteint en mars à MERIDA, et COZUMEL, et en janvier à CIUDAD DEL CARMEN.

XEL-HA



- - - - - precipitación media mensual  
 ——— evapotranspiración potencial media mensual  
 [stippled] déficit de agua

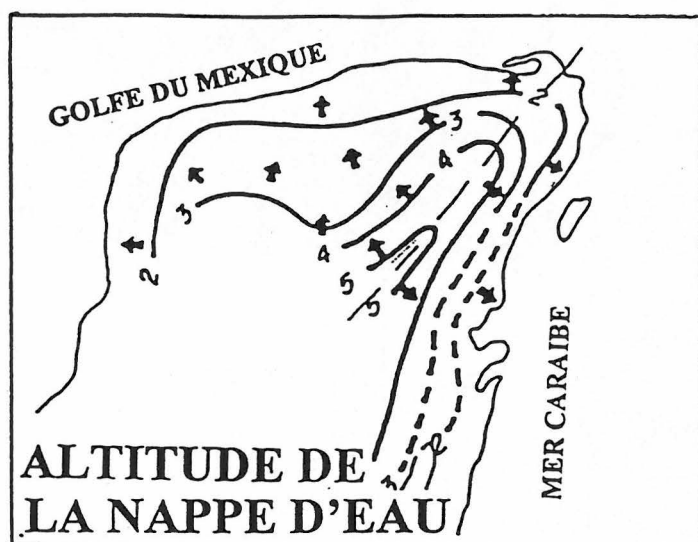
[dark stippled] recarga de humedad en el suelo  
 [solid black] excedente de agua  
 [light stippled] pérdida de la humedad del suelo



DONNEES DE QUELQUES STATIONS TYPES

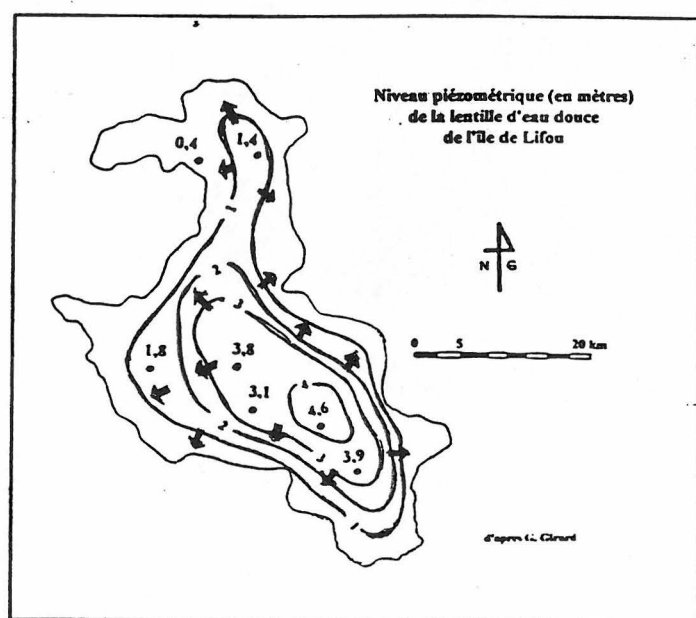
## II LA FORME DU NIVEAU DE BASE

La mesure de l'altitude du niveau de base accessible par les cénotes dans l'ensemble de la péninsule montre que le niveau de base dépasse rarement 5 mètres d'altitude, ce qui donne des pentes de moins de  $2/100\ 000$  vers l'Ouest et atteignent un maximum de  $1/10\ 000$  à l'Est. Ces pentes sont à comparer aux pentes de nos réseaux Européens de l'ordre de  $2/100$ . Les pentes observées sur LIFOU dans un karst similaire sont de l'ordre de  $5/10\ 000$ , soit 5 fois plus qu'à l'Est du YUCATAN et 25 fois plus qu'à l'Ouest. Toutefois, le réseau géodésique qui couvre le YUCATAN est un axe situé à l'Ouest de la péninsule, et se termine à MERIDA. Les repères nécessaires pour la mesure des niveaux d'eau dans la partie Est manquent donc, et il faut prendre avec prudence ces mesures de niveaux. Toutefois, les ordres de grandeurs sont exacts.



La charge hydraulique est donc apparemment très faible ce qui montre la perméabilité très grande de ces massifs calcaires. Cette perméabilité est en partie d'origine poreuse, et en partie d'origine karstique, sans que la proportion de l'un et de l'autre ne soit très bien connue.

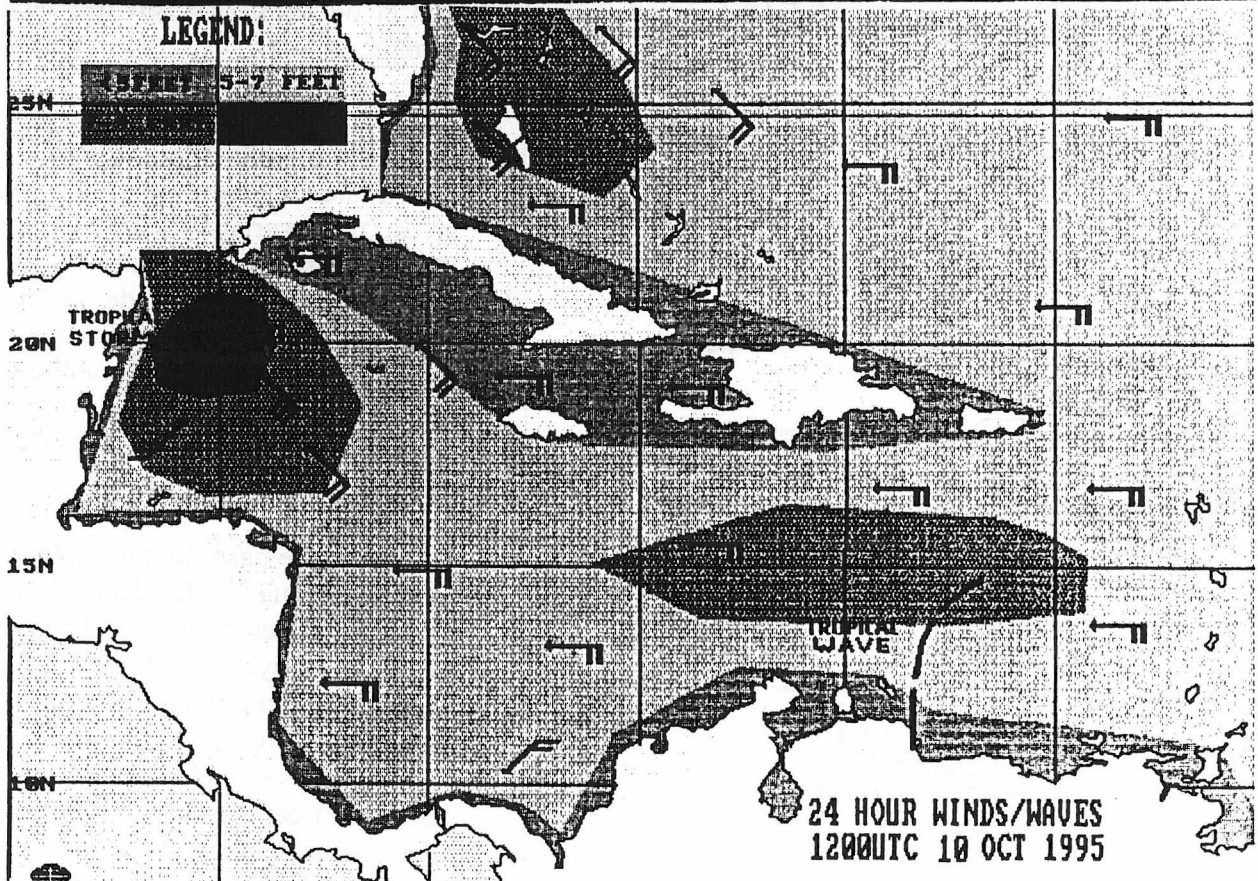
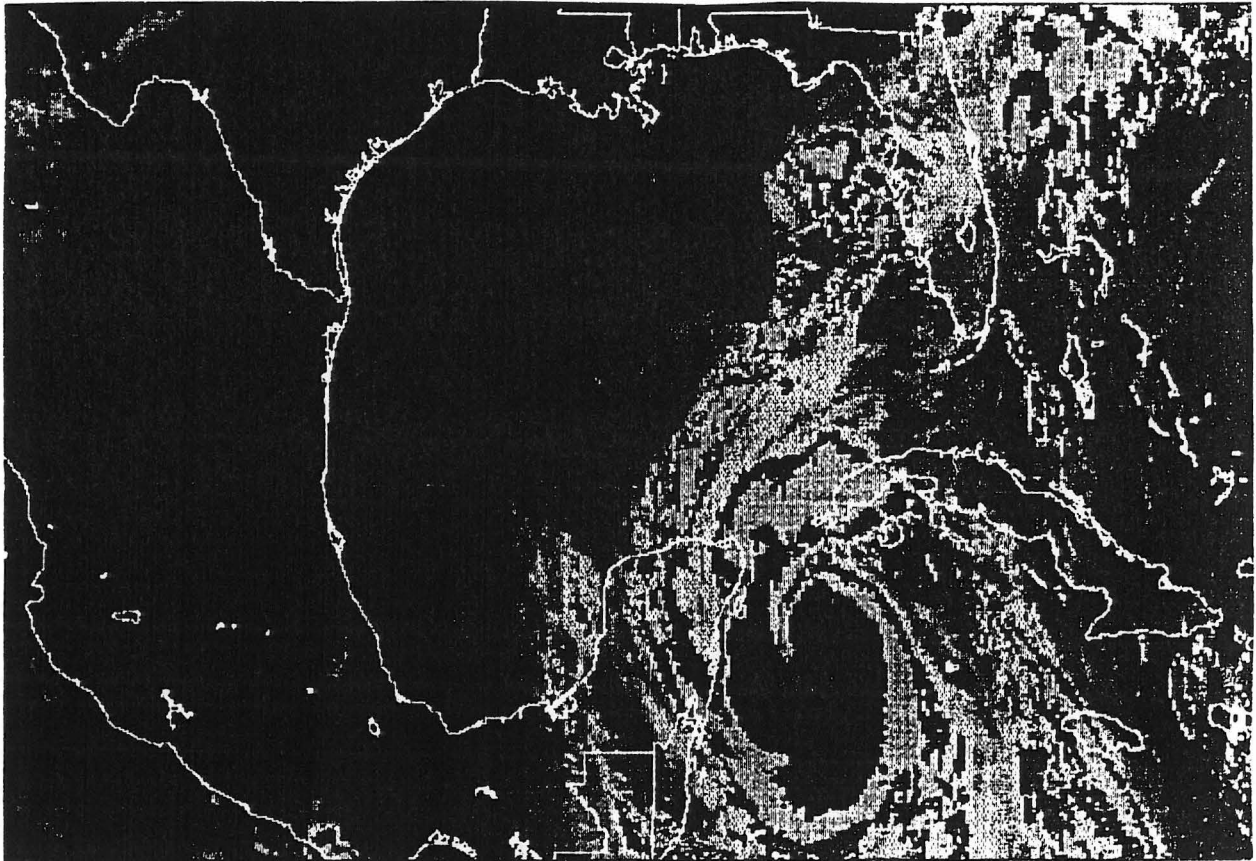
La forme du niveau de base détermine le sens des écoulements (perpendiculairement aux lignes de niveau de la surface piézométrique). Les hydrogéologues du YUCATAN ont procédé à des mesures de cote absolue du niveau de l'eau dans de très nombreux cénotes ce qui leur a permis d'esquisser la forme du niveau de base.



Le niveau de base fluctue très peu ce qui implique que les débits d'eau douce sont très réguliers. Dans les cas de gros cyclones, le niveau de base peut toutefois monter de quelques mètres pendant quelques jours. Les écoulements d'eau douce et d'eau salée en profondeur sont alors très violents et l'excédent d'eau se vide très rapidement.

Ainsi que le montre la figure suivante, la ligne de partage des eaux entre l'Est et l'Ouest est fortement décalée vers l'Est. Elle se situe environ à 50 kilomètres de la côte Est.

XEL-HA

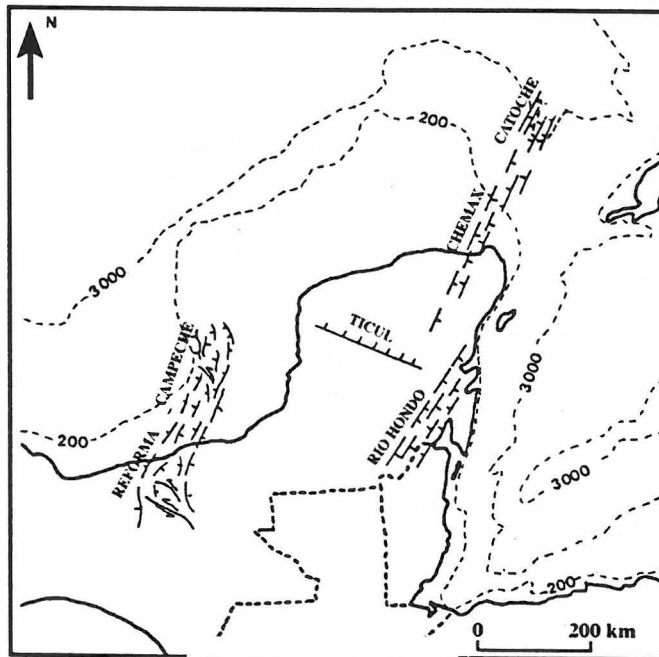


### ACCIDENT CYCLONIQUE

Ce décalage de la ligne de partage des eaux est très probablement lié à l'intensité des pluies qui caractérise la façade Caraïbe. C'est donc là que se situent les plus gros écoulements, et les plus forts gradients. C'est aussi là que se trouvent (pour le moment) les plus grands réseaux du YUCATAN... et de la planète!

Le bassin Est du YUCATAN reçoit environ 1200 mm d'eau par an. Le volume total de précipitation reçue entre le golfe du Mexique au Nord et la latitude de TULUM au Sud couvre donc une région de 130 kilomètres de long, pour 50 de large et reçoit annuellement :

$$1,3 \times 120 \times 50 \times 1000\ 000 = 7\ 800\ 000\ 000\ \text{m}^3/\text{an}$$



**CARTE MARINE**

(mer peu profonde à l'Ouest et au Nord, acore à l'Est)

Ces écoulements s'organisent en réseaux de rivières souterraines. (voir chapitre suivant) et il semble que les exurgences drainent l'essentiel des écoulements.

Le caractère acore des côtes, et la stabilité de la ligne de rivage qui en a résulté pendant les fluctuations du niveau de la mer a laissé le temps aux écoulements de creuser les cavernes et donc minimisé le rôle des écoulements par porosité. C'est pourquoi la côte Est du Yucatan possède ces incroyables réseaux souterrains.

La partie Ouest et Nord du YUCATAN est alimenté par un bassin versant 4 fois plus vaste que le bassin Est. Mais, les précipitations y sont beaucoup plus faibles (environ 800 mm/an) et l'évapotranspiration est probablement plus active.

D'autre part, la longueur de côte par laquelle s'écoule cette eau est 2 fois plus grande. Enfin, la mer y est peu profonde, et la ligne de rivage s'est donc déplacée considérablement avec les fluctuations du niveau de l'eau. Ce sont là des conditions qui rendent difficile l'établissement d'un drainage stable. Il est probable que nous sommes dans une situation similaire à celle de la plaine de NULLARBOR en Australie où l'essentiel des écoulements se fait par porosité.

Si cette hypothèse s'avérait juste, il y aurait donc peu de chance de trouver sur les côtes Ouest et Nord Ouest de la péninsule des rivières souterraines et donc des cavités de grande importance.

Seules les explorations permettront de trancher ce point.



### III LE BILAN DES EAUX

A l'occasion de pluies diluviennes, ou d'averses d'intensité élevées, les eaux météoritiques s'infiltrent quasi-intégralement dans le sol calcaire. En effet, il n'y a aucun réseau hydrographique de surface dans la péninsule.

Cependant, une petite partie de ces eaux de pluies s'emmagasinent dans les roches à forte porosité de la surface : terres, calcaires tendres, anfractuosités de calcaire dentelé. Cette eau est rendue à l'atmosphère par évaporation, ou par la transpiration végétale après chaque pluie.

Le bilan des eaux est donné par la formule suivante :

$$\text{Précipitation} = \text{Evapotranspiration} + \text{Infiltration}$$

$$(P = E + I)$$

Thornwaite en 1948, puis plus récemment Turc ont proposé des formules permettant de calculer l'évapotranspiration potentielle d'une région en fonction des paramètres météorologiques. Ces formules résultent d'études de jaugeage d'écoulement de surface (fleuves, rivières) en fonction de la climatologie. Dans le cas des massifs calcaires, le fait que l'eau puisse s'infiltrer très rapidement en profondeur limite l'évapotranspiration réelle et de ce fait, ces formules sont à utiliser avec prudence. Elles conduisent en effet à des surestimations de l'évapotranspiration. C'est probablement le cas de la moitié Nord de la péninsule. En revanche, dans le Sud Ouest, dans un périmètre de 150 km autour de CHETUMAL, la fréquence des lagunes et des affleurements d'eau entraîne probablement une sous-estimation de la tranche évaporée .

Nous donnons néanmoins dans les alinéas suivants les résultats auxquels conduisent ces calculs.

La détermination de la tranche infiltrée (I), ou du ratio d'infiltration (I/P) se fait habituellement par mesure directe, en mesurant la taille des bassins versants, les précipitations qu'ils collectent, et le débit cumulé des exurgences. Dans le cas du YUCATAN, la mesure est un peu plus délicate, du fait

- du mélange eau douce eau salée que restituent les exurgences
- de l'existence d'un écoulement diffus par porosité
- du cycle des marées qui influence le débit des résurgences

Il est en revanche facilité par la grande stabilité des débits jours après jours.

Nous donnons plus loin une première estimation grossière de ce ratio sur la côte Est de la péninsule.

#### IIIa/ METHODE DE THORNWAITE

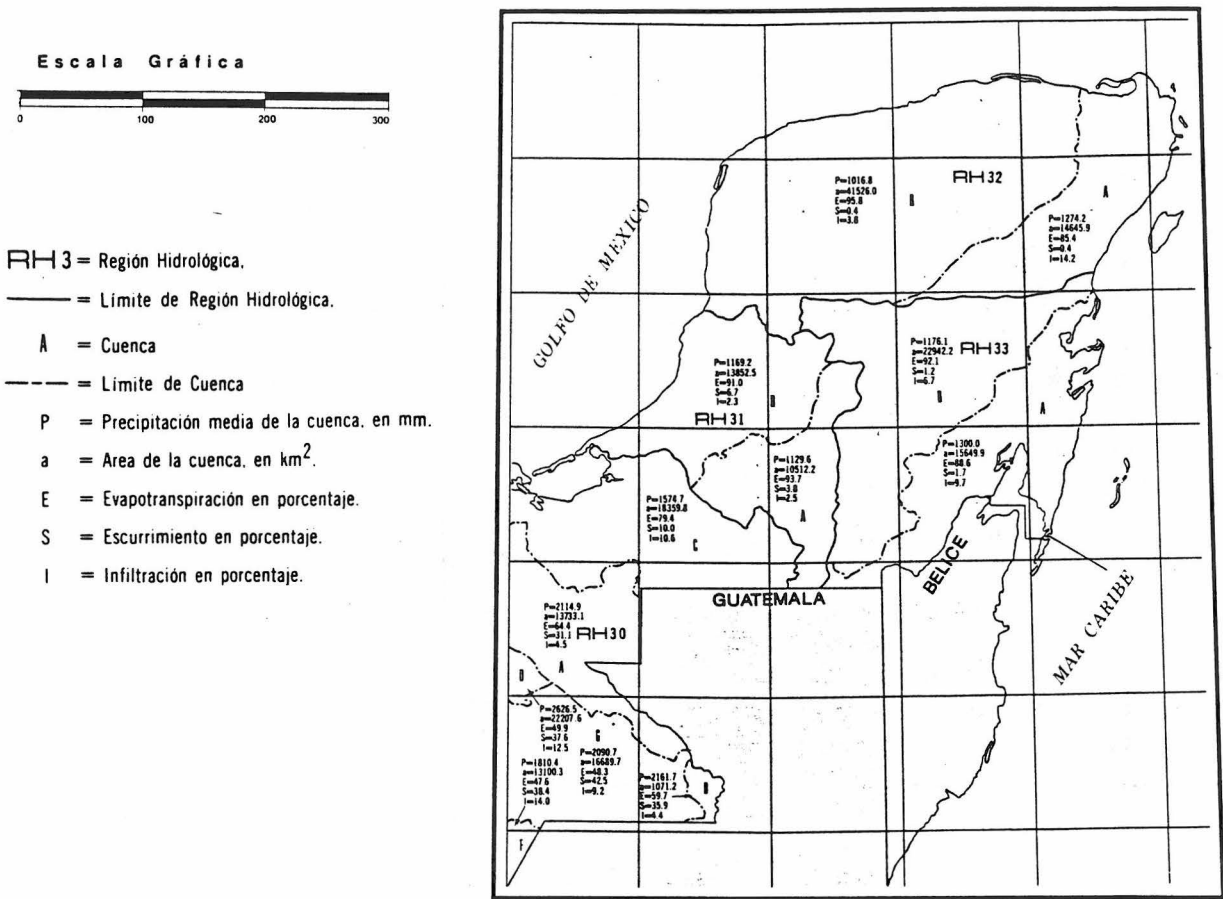
La direction générale de géographie D.G.G a publié un document de synthèse sur l'hydrogéologie de la péninsule du YUCATAN. Ces études sont résumées dans la « **CARTA DE EVAPOTRANSPIRACION Y DEFICIT DE AGUA , MERIDA** » de 1983.

La base du calcul repose sur les mesures de température et de pluviométrie fournies par les stations météorologiques du pays. Des données systématiques existent depuis 1921. A partir de ces données, le modèle de THORNWAITE (1948) est appliqué. Elle permet

théoriquement de calculer l'évapotranspiration réelle mois après mois. Les sols jouent un rôle de stock de stockage de l'eau de pluie. Lorsque la pluviométrie est élevée ils se gorgent d'eau, puis se dessèchent en période sèche.

On peut faire remarquer que les sols sont très peu importants dans l'Est du Yucatan et que la roche est affleurante partout. Ce rôle de stockage est donc de ce fait très réduit. Les eaux s'infiltrent très rapidement et les surfaces d'évaporation sont très limitées.

Le graphique ci dessous montre pour différentes stations le résultat de ce calcul. Les services hydrogéologiques ont réalisé cette approche sur toutes les stations météorologiques de la péninsule. Ils en ont déduit; région par région, les valeurs théoriques de la tranche infiltrée, et du ratio d'infiltration. Ces valeurs sont données dans le plan suivant.



L'estimation de 14 % à l'Est de la péninsule et 5 % à l'Ouest des eaux de pluie qui selon la D.G.G. participeraient aux écoulements souterrains nous paraît en fait faible.

### IIIb LA METHODE DE TURC

La formule de TURC. que nous rappelons ci dessous a été utilisée par CORBEL pour évaluer le coefficient d'ablation karstique du YUCATAN

$$I = P - P / \sqrt{0.9 + P^2 / (300 + 25 T + 0.05 T^3)^2}$$

CORBEL donne une estimation de la tranche infiltrée sur les stations suivantes :

XEL-HA

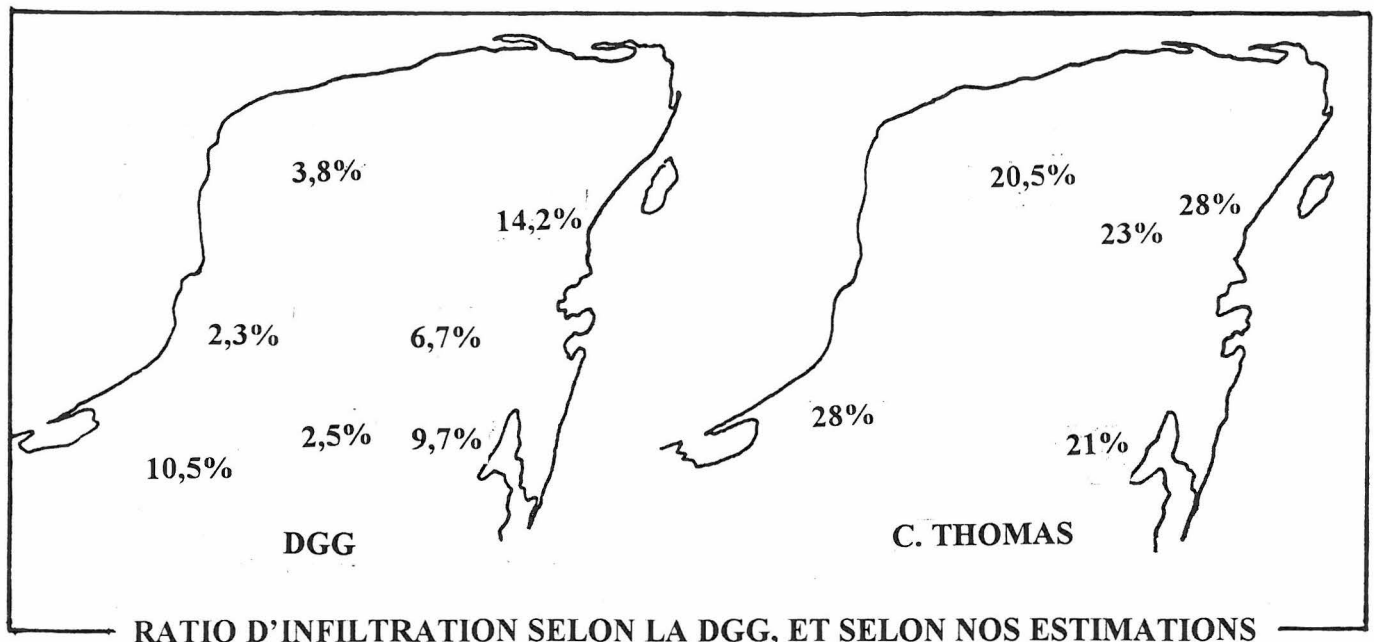
Station	Précipitation	Infiltration	I/P
CHEKUBUL	1200	160	13.3%
MIGUEL COLORADO	1400	252	18%
MERIDA	1000	166	16.6%
VALLADOLID	1000	166	16.6%
CHETUMAL	1200	160	13.3%

Cependant, à il ne disposait pas de données météorologiques aussi complètes que celles que nous avons aujourd'hui.

Nous avons repris donc les calculs par la méthode de TURC pour les stations suivantes

Stations	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Tot
CHETUMAL	60	50	40	20	25	120	165	155	135	220	180	80	1250
I/P = 21%	2	0	0	0	0	18	44	38	27	77	54	8	266
COZUMEL	100	90	90	60	40	40	180	120	140	250	240	120	1370
I/P = 28%	20	16	16	2	0	0	58	18	31	105	100	18	384
VALLADOLID	35	40	40	40	40	110	180	140	165	210	160	40	1200
I/P = 23%	0	0	0	0	0	16	67	31	45	74	45	0	278
MERIDA	30	30	30	20	20	65	140	125	160	200	140	40	1000
I/P = 20.5%	0	0	0	0	0	3	32	25	43	70	32	0	205
CAMPECHE	50	25	15	15	5	85	130	170	275	260	65	40	1135
I/P = 28 %	0	0	0	0	0	8	26	42	123	117	3	0	319

Selon ces calculs, le coefficient d'infiltration est compris entre 20 et 30% selon les stations météorologiques. Ces valeurs sont sensiblement supérieures à celle indiquées par les autres approches.



RATIO D'INFILTRATION SELON LA DGG, ET SELON NOS ESTIMATIONS

### IIIc LA MESURE DIRECTE

Nos explorations et nos mesures aboutissent à une première estimation par défaut sur la façade Est de la péninsule de 20%

Les exurgences dont nous avons mesuré sommairement le débit donnent en effet la restitution d'eau suivante :

Nom	M3/S
ABEJAS	1.5
NOHOCH	3
XEL HA	3.5
YALKU	1.5
XPU HA sud	1
XPU HA	5
PUERTO AVENTURAS	0.5
X CARET	1.5
CHUCHUEN sud	5
CHUCHUEN nord	1
CONIL	30
Divers lagune conil	3
<b>TOTAL mesuré</b>	<b>56.5</b>
Exurgences non mesurées	50 ???
<b>TOTAL TOTAL</b>	<b>environ 110 m3/s</b>

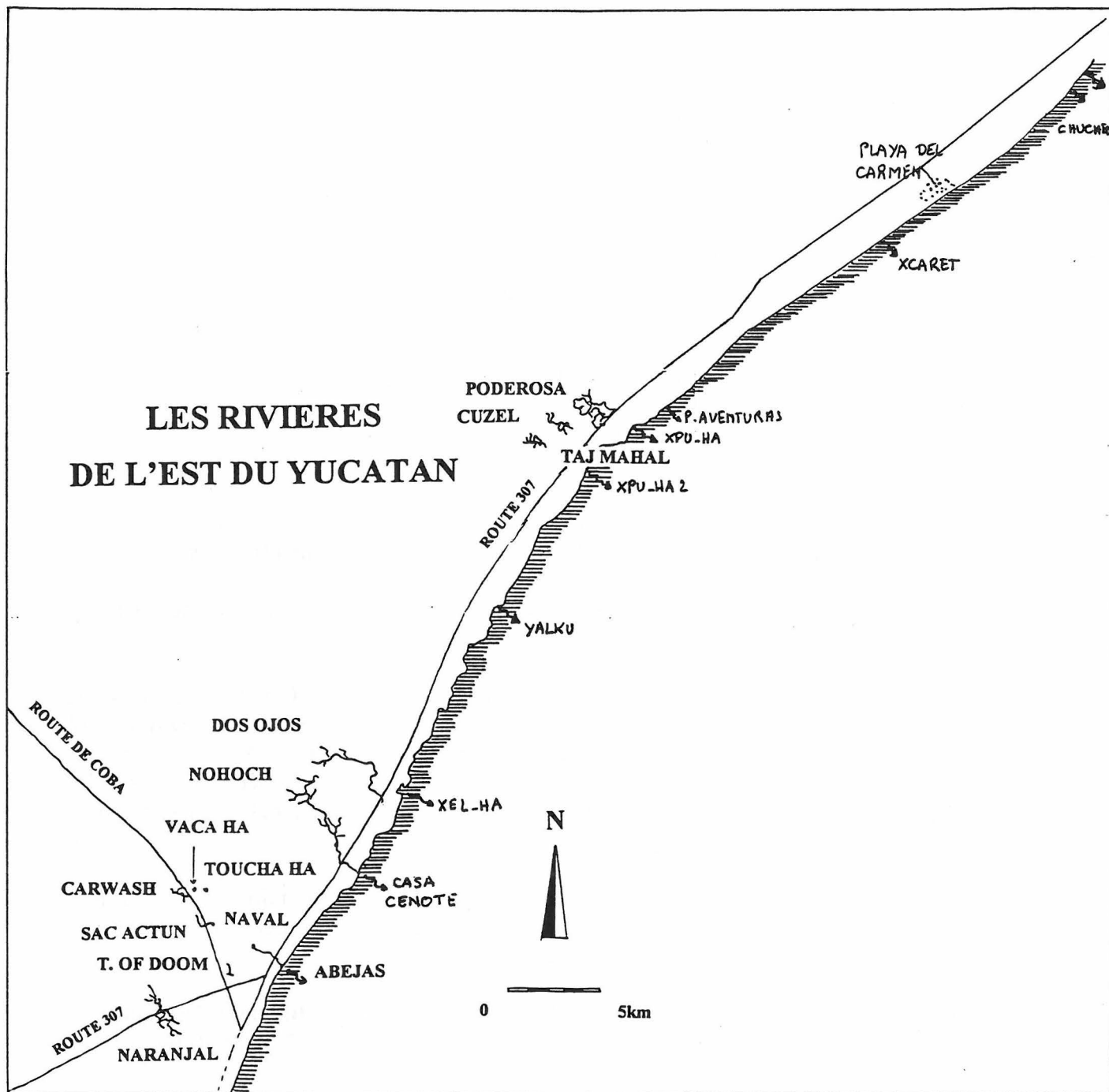
Nos prochaines explorations auront entre autre comme but de mesurer ce bilan des eaux avec une plus grande précision.

La salinité de ces sources reste à établir de façon plus détaillée. CHUCHUEN a donné une eau très peu salée (5g/l) soit un rajout d'eau de mer de 15%, XEL HA environ 15g/l (rajout de 68%), à comparer à la salinité de l'eau de mer (37 g/l) . Le rio YALIKIN présentait une salinité de 46 g/l à comparer à la salinité de la lagune de CONIL estimée à 80 g/l soit un rajout de 135%. Enfin, la petite source de YALAHAU d'un débit de 1.2 m3/s à la sortie de la baie de Conil ne présente que 1.3 g de sel par litre, soit un rajout de 2%.

Un calcul grossier consisterait à estimer que nous avons un rajout d'eau de mer d'environ 100 % Nous avons estimé par ailleurs dans une première approche que le débit des écoulements karstiques s'élevait à 110 m3/s soit 3 470 000 000 m3/an .

**La moitié de cette eau est donc de l'eau douce soit un débit de 1 750 000 000 m3/an qu'il nous faut comparer à une alimentation par la pluie de 7 800 000 000 m3/an soit un ratio d'infiltration de 22.4%.**

Cette mesure ne tient pas compte de la part d'écoulement poreux, et nous parait être une estimation par défaut.

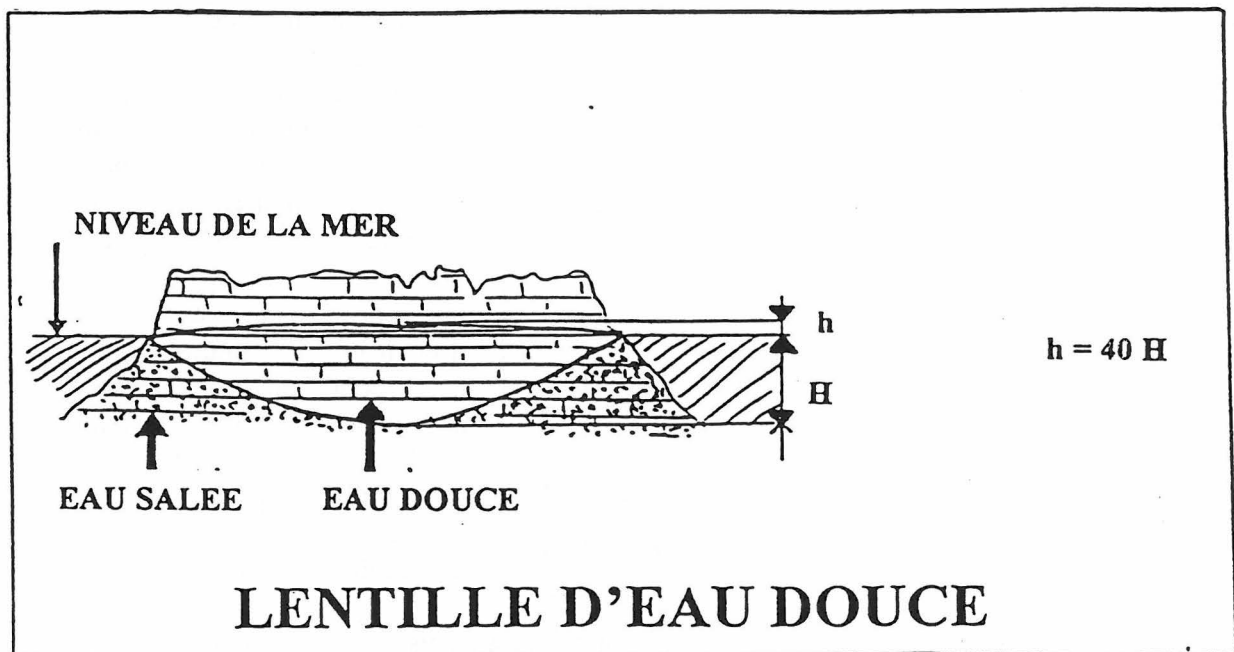


## IV LE ROLE DE L'EAU DE MER

### IV a LE MODELE DE GHYBEN HERZBERG

Le YUCATAN est un karst tropical ennoyé de très grande dimension. Comme tous les karsts de ce genre, il présente deux caractéristiques:

Le niveau de base est très peu penté,  
L'eau de mer pénètre en profondeur très loin dans les terres.



Il s'agit là du classique modèle de GHYBEN HERZBERG que nous rappelons ci-dessous. La lentille d'eau douce, d'origine pluviale est « soulevée » par l'eau de mer et a une forme bombée. Le rapport de densité eau douce/eau de mer est de  $1 - 1/40$ . Il existe une relation directe entre l'épaisseur de la lentille et son soulèvement (application directe de la loi d'Archimède).

$$H = 40 h$$

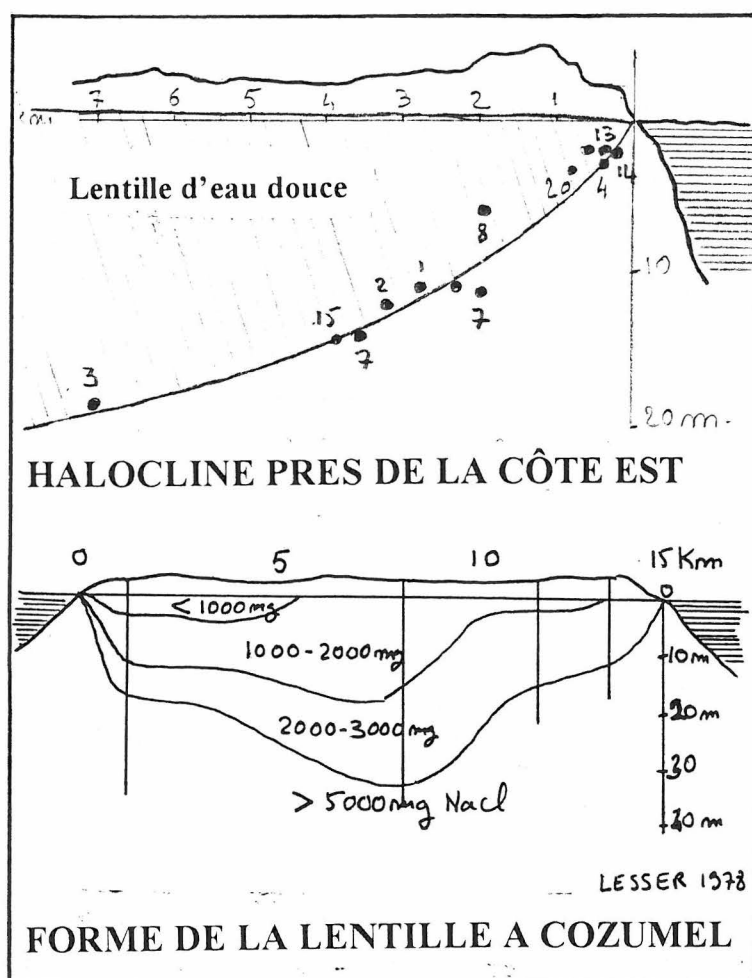
H épaisseur de la lentille  
h soulèvement

Sur le terrain, h est l'altitude de la surface de l'eau, et H la profondeur à laquelle se rencontre l'halocline.

### IV b L'HALOCLINE

Pour valider le modèle ci dessus, il faut étudier la frontière eau douce/eau salée. Celle ci est très nette, et se voit très bien en plongée. L'halocline sépare l'eau douce surnageante, de l'eau de mer. Nous avons mesuré la profondeur de l'halocline dans diverses cavités afin de

dessiner son profil lorsque l'on s'éloigne de la mer (côte Est). Le schéma ci-dessous montre ce profil.



Idéalement, il aurait fallu pouvoir mesurer également l'altitude du niveau de base. Malheureusement, ces mesures imposent des cheminements topographiques pour lesquels nous ne sommes pas équipés. Cependant, les valeurs que nous avons trouvées ne sont pas en contradiction avec la théorie de GHYBEN HERZBERG. En effet, sur une distance de 50 kilomètres, nous savons que l'altitude du niveau de base augmente de 5 mètres, ce qui laisse supposer que la profondeur de l'halocline atteint environ 200 mètres à 50 kilomètres du rivage. Or, à 7 kilomètres de ce même rivage, nos mesures donnent une profondeur de l'halocline d'environ 15 mètres, ce qui correspond théoriquement à une altitude du niveau de la nappe de 0,37 mètres, tout à fait voisine de celle que l'on pourrait attendre si l'on considère que la pente de ce niveau de base est constante.

On notera que la forme du profil de l'halocline au voisinage de la côte n'est pas une droite. Verruijt a calculé la forme de l'halocline dans le cas d'un milieu poreux infini et a démontré que le profil est une parabole.

Nous avons également mesuré les températures de l'eau dans les différents cénotes, au dessus et en dessous de l'halocline. L'eau de mer en profondeur est à une température de 27 °C, alors que la température de l'eau douce est comprise entre 23 et 25 °C. L'eau douce a donc une température très voisine de la température annuelle moyenne de l'air au Yucatan.

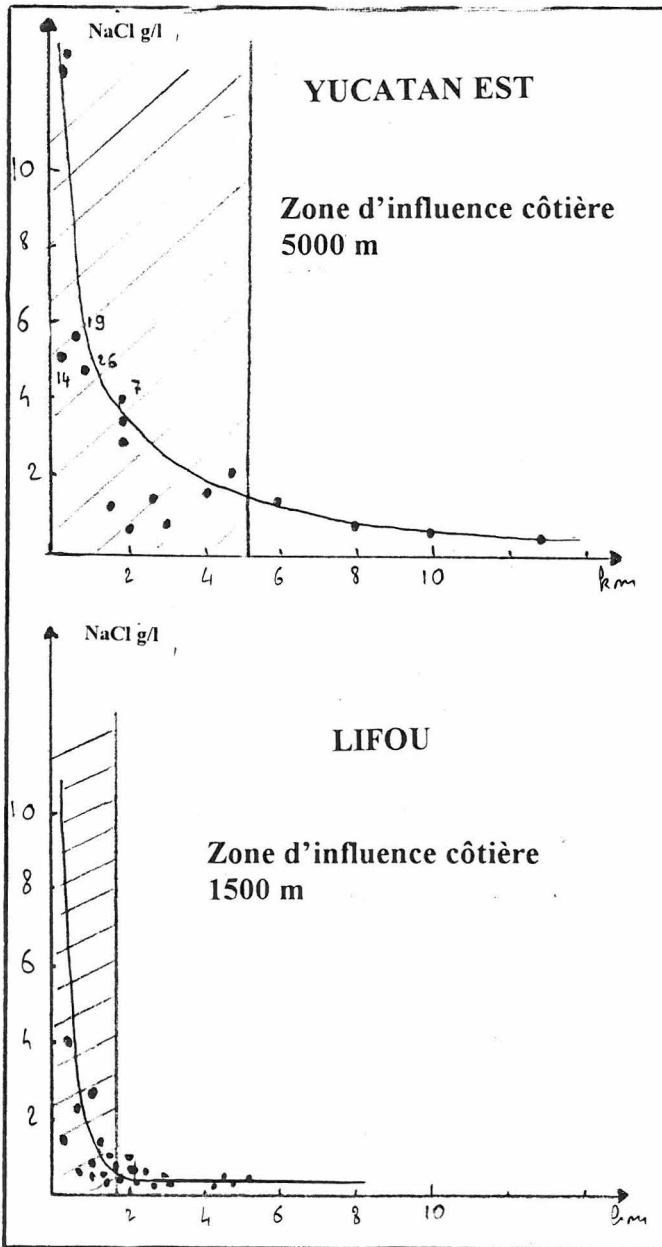
Une des questions qui se pose est de savoir si l'eau de mer pénètre jusqu'au centre de la péninsule. Quelques puits, ou cénotes, comme SAYABUCIL, KOL AC, UNION LIBRE ou VALLADOLID indiquent que l'eau de mer est présente jusqu'à une centaine de kilomètres au moins des côtes. On peut donc penser que la péninsule dans son ensemble possède de l'eau de mer en profondeur.

#### IV c POLLUTION PAR L'EAU DE MER.

Nous avons procédé à quelques mesures de la salinité de l'eau en plongée et en surface, à différents niveaux, dans différents cénotes, et trous bleus. De nombreuses mesures ont été

réalisées par les hydrogéologues sur des prélèvements de surface dans l'ensemble de la péninsule. Le résultat est donné dans le tableau de la page suivante.

La première conclusion qui semble s'imposer est que sous l'halocline, l'eau de mer n'est pas polluée par l'eau douce. En effet sa salinité a été mesurée à 37 g/l ce qui montre qu'il s'agit d'eau de mer pure. Ces mesures doivent être répétées. En effet, nous avons réalisé cette étude sur le cénote ESTRELLA, où la cavité s'étend de façon importante sous l'halocline. Toutefois, ces mesures ont été faites en février à une époque où les flux d'eau de mer sont globalement entrant, et où nous nous trouvons dans une zone relativement proche de la côte. Un même mesure effectuée à la fin de la saison des pluies pourrait donner des résultats différents.



En revanche, l'eau douce qui surnage au dessus de l'eau de mer est sensiblement polluée par cette dernière. Nous avons tracé la courbe de pollution en fonction de la distance à la mer. A titre de comparaison, la même courbe est donnée pour les îles LOYAUTE.

On constate que plus l'on s'éloigne de la côte, moins l'eau douce est polluée. Les mouvements de marée jouent sur la frange côtière un rôle important dans cette pollution. C'est ce que traduit la cassure de la courbe qui montre la zone de mascaret à forte pollution liée à des mouvements mécaniques de brassage dus aux marées, et la zone à faible pollution principalement liée à des phénomènes de diffusion.

Comme nous le verrons dans le chapitre V c, le temps de séjour de l'eau douce dans le sous sol augmente de façon très importante lorsque l'on s'éloigne des côtes pour atteindre plusieurs dizaines d'années au centre de la péninsule. L'eau salée, quant à elle a des temps de séjour extrêmement longs qui se comptent probablement en milliers d'années au centre du Yucatan. Dans ces conditions, il est probable que cette eau est extrêmement adoucie par la diffusion de l'eau douce. Cependant, aucune mesure n'a été réalisée à ce jour.

**POLLUTION PAR LE SEL  
EN BORD DE MER**



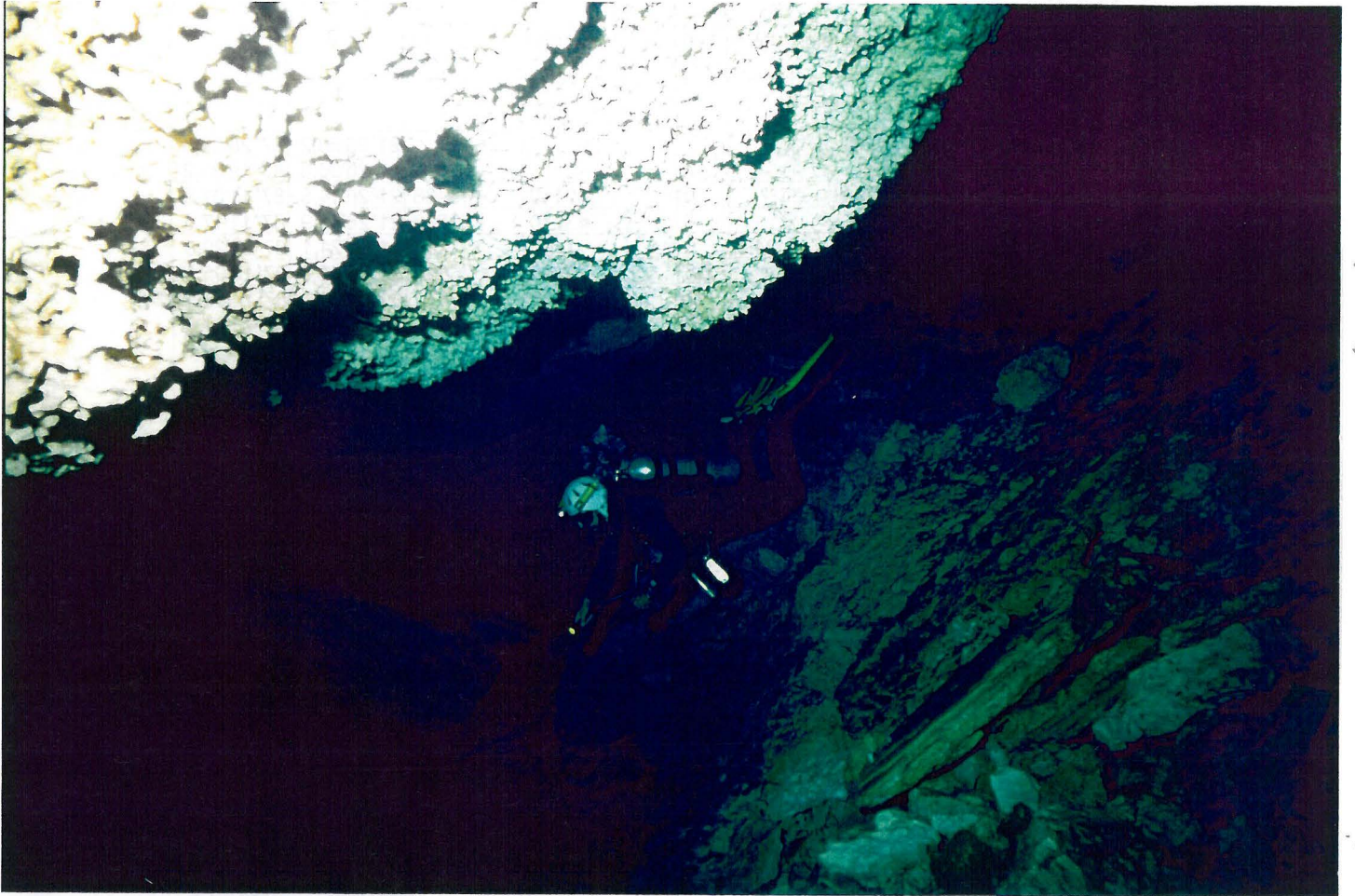
XEL-HA

N°	NOM	X	Y	PH	T	CaCO3	SO4--	DURETE	Cl-	Dist mer	Date	Source	Agressivité
1	YOKXONOT	87°53	20°55	7.7		275		328	43		0384	2	Incrust.
2	EL CEDRAL	87°33	20°57	7.7		250		313	124		0384	2	Incrust
3	KUXEB	87°52	20°52	7.8	26	170		293	50			2	Incrust
4	SAN LORENZO	87°16	20°51	7.7		110		244	78			2	Agress
5	HIRO PRONGO	86°58	20°47	7.4		220		345	238	2		2	Agress
6	RAMONAL	87°48	20°46	8		130		172	53			2	Agress
7	PABALAM	87°50	20°46	7.9		240	62	425	135			2	Incrust
8	CAPITAN LAFITTE	87°02	20°39	7.6		270	125	369	657	1.5		2	Incrust
9	PUNTA LAGUNA	87°38	20°37	7.8		200	83	325	35			2	Incrust
10	HIDALGO Y CORTEZ	87°40	20°35	7.6		250	104	480	241			2	Incrust
11	CHULUTAN	87°58	20°34	7.3		175		272	57			2	Agress
12	BALMAY	87°56	20°32	7.5		160		308	103			2	Agress
13	COBA	87°44	20°30	7.7		185	83	366	227			2	Agress
14	SAN PEDRO	87°49	20°26	7.4		265	62	502	298			2	Agress
15	SANTA ROSA	87°57	20°25	7.4		300	83	517	235			2	Incrust
16	AKUMAL	87°20	20°23	7.7	26	360	292	962	1704	2		2	Incrust
17	AKUMAL AVENTURAS	87°23	20°23	7.8		300	182	650	650	4.5		2	Incrust
18	MACARIO GOMEZ	87°34	20°21	7.6		300	83	517	517	20		2	Incrust
19	XEL-HA	87°22	20°19	7.6		375	200	1394	3088	0.7		2	Incrust
20	XEL-HA SUD	87°22	20°19	6.9	26	480	760	720	5110			1	
21	XEL-HA SUD	87°22	20°19	8.1	30	980	2700	2720	19000			1	
22	XEL-HA NORD	87°22	20°19	8	28	570	1050	970	7350			1	
23	XEL-HA NORD	87°22	20°19	8.4	30	1000	2700	1560	18500			1	
24	RANCHO VIEJO	87°32	20°18	7.9		150	51	353	305	13		2	Incrust
25	CHAMPOKO	87°33	20°10	7.6		250	52	399	224	10		2	Incrust
26	CABANAS	87°28	20°08	7.7		400	83	1303	2698	1		2	Incrust
27	CHUMHOM	87°52	20°03	7.3		220		326	89	45		2	Agress
28	MILAN	87°40	20°02	7.7		230	62	395	135	20		2	Incrust
29	CHUMPON	87°48	20°00	7.6		310	62	480	100	40		2	Incrust
30	SAN LORENZO 2	87°17	20°50	7.5		210	51	326	57			2	Agress
31	SAN JOSE PIBLUCH	88°36	20°58	7.6	27	260	146	498	209			2	Incrust
32	TUNKAS 1	88°45	20°52	7.7	27	250	52	505	238			2	Incrust
33	TUNKAS 2	88°45	20°55	7.7	27	300	62	530	241			2	Incrust
34	KANCHECHEN	88°01	20°48	7.7	25	250		463	316			2	Incrust
35	TEMOZON	88°13	20°48	7.4	27	75		376	124			2	Agress
36	KANTUMIL	89°05	20°47	8.4	24	125	21	286	99			2	Incrust
37	UXPIB	88°00	20°46	7.7	25	115	83	424	99			2	Incrust
38	CHOLOLA	89°50	20°45	7.6	24	250	364	770	571			2	Agress
39	UNION LIBRE	88°48	20°37	7.8	26	250	73	343	99			2	Incrust
40	TICUCH	88°07	20°43	7.9	27	220		360	110			2	Incrust
41	VALLADOLID	88°13	20°40	7.6	27	210		306	142			2	Incrust
42	BALA	89°40	20°42	7.5	24	260	291	732	330			2	Incrust
43	LEKOM	88°16	20°36	7.6	27	220		323	134			2	Agress
44	SOTUTA	89°00	20°35	7.7	27	240	83	492	142			2	Incrust
45	SAN ANTONIO	89°30	20°35	8.7	29	75	104	533	419			2	Incrust
46	SOTUTA2	89°00	20°33	8.3		125		270	102			2	Incrust
47	EST. DE TEKIT	89°23	20°34	8.2	26	125	484	1129	1520			2	Incrust
48	CAM. CANTA MAYEC	89°02	20°33	7.8		240	83	420	167			2	Incrust
49	POLOL	89°30	20°32	8.0	28	200	480	1129	1519			2	Incrust
50	S. PEDRO XAXABA	88°47	20°32	8.2		200		366	145			2	Incrust
51	SACALUM	89°36	20°29	7.5		270	20	770	60 ?			2	Agress
52	CHOLUL	89°10	20°27	8.5	27	150	21	184	32			2	Incrust
53	CAROLINA 2	88°17	20°23	8.0		180		260	100			2	Incrust
54	CAROLINA	88°18	20°21	7.4	27	240		299	287			2	Agress
55	SAN PEDRO	88°14	20°21	7.3		250	11	300	43			2	Agress
56	TIMUL	88°57	20°19	7.6	27	170		248	43			2	Agress
57	TAHDZIN	88°57	20°12	7.5	30	220	104	448	128			2	Agress
58	SAN BARTOLE	88°04	20°10	7.2	26	225		296	78			2	Agress
59	AGUA AZUL 1	87°	20°	8.2	32	155		281	50			3	
60	AGUA AZUL 2	87°	20°	7.5	33	177		305	37			3	
61	AGUA AZUL 3	87°	20°	6.8	27	157		331	46			3	
62	SAN IGNACIO	89°	21°	6.7	29	314		557	419			3	
63	CHEN HA	89°	21°	7.8	31	351		660	575			3	
64	CHUIAN	89°	21°	7.1	28	259		414	212			3	
65	X KEHEN	88°15	20°38	7.1	27	272		307	147			3	
66	ZAC'CI	88°	21°	7.1	27	303		385	208			3	
67	AZUL	88°	23°	7.6	32	1067		1407	59			3	
68	BACALAR	88°	23°			912			233			3	

1 WEIDIE 2 INSTITUT D'HYDROGEOLOGIE 3 AM HERA PINAUD

Lieu	T°	Prof	Hal	SDT mg/l	Na,Cl mg/l	GPS °N	GPS °E
Eau de mer, plage de Puerto Morelos	26,5	0		37600	36480		
<b>Laguna Yalahau - Conil</b>							
Place de l'église, Chiquila, Conil						21°25'56,2	87°20'09,5
Oeil au large de Chiquila, Conil		2				21°26'36,8	87°19'21,2
Embouchure du Rio Yalikin, Conil		0		42110	46488	21°26'14,8	87°11'01,9
Oeil au large de Yalikin, Conil		0		43710	52888	21°26'41,9	87°11'17,6
Cenote Yalahau, Conil	24,5	0		1130	1288	21°27'24,1	87°24'20,8
Oeil large Rio Botonciyal, Conil		2,5		26800	26800	21°26'15,9	87°18'05,1
Oeil à l'W de Yalahau, Conil		2		22190	19672	21°27'34,1	87°24'33,5
Embouchure Rio Vista Alegre, Conil		0		55310	78808	21°26'00,1	87°15'44,8
<b>Secteur de Playa del Carmen</b>							
Cenote El Picarote, surf, Los Picaros		0	15	1420	1280	20°42'36,7	87°02'49,3
Cenote El Picarito, Los Picaros						20°42'31,7	87°02'51,8
sortie en mer, Ojo del Chuchuen						20°42'13,1	87°00'26,8
Grotte de la Tortue, Ojo del Chuchuen	25	3		5200	5184		
Gr Camarones negros, Ojo Chuchuen	25	4		6100	5760		
Xcaret						20°35'04	87°06'00
petite grotte sans rien, Ran El Corchal						20°35'18,1	87°08'41,0
<b>Secteur de Xpu-Ha</b>							
Playa Samuel, X6, Xpu-Ha						20°28'16,6	87°15'32,7
Exsurgence sud plage de Xpu-Ha						20°27'41,0	87°15'46,5
Parking chez Marco Rotzinger, Cuzel						20°28'51,6	87°15'30,0
Cenote Actun Koh, vasque, Cuzel	24	0	12	2900	2816		
Cenote Actun Koh, vasque, Cuzel	26	12	12	4200	3840		
Bord de route chez Inocencio						21°26'14,3	87°18'04,5
Cenote Minotauro, Rancho Inocencio	26	5		3920	3264	21°26'35,5	87°19'18,9
point 14, Rancho Inocencio						21°26'35,5	87°19'18,9
point 15, Rancho Inocencio						21°26'36,8	87°19'21,2
point 16, Rancho inocencio						21°25'56,2	87°20'09,5
Cenote Taj Mahal, Don Feliciano							
Cenote Jaguar, entrée, El Venado	25	0	12	1380	1544	20°21'33,5	87°21'34,8
Cenote Jaguar, El Venado	27	15	12			20°21'33,5	87°21'34,8
Cenote Estrella, vasque, El Venado	24,5	0	13	1250	1352	20°21'48,6	87°21'52,9
Cenote Estrella, fin du fil, El Venado	>25	22	13	36800	41400	20°21'48,6	87°21'52,9
Cenote à 450m S-SW d'Estrella	25	0		1370	1480		
Cueva Estalactitas, surface, El Venado	24,5	0		1180	1152		
Cenote San Miguel, Ejido Jacinto Pat	25	3	19	1260	1152	20°21'21,1	87°23'59,7
<b>Xel-Ha</b>							
Cenote Dona Clarita, près de Xel-Ha						20°20'00,1	87°21'24,7
Cenote El Basurero, près de Xel-Ha						20°20'21,9	87°21'12,0
Dos Ojos							
Grotte 1 près route, Xel-Ha						20°19'11,6	87°21'27,8
Départ faille Sud, Xel-Ha						20°19'10,8	87°21'30,2
escalier avant pont, Xel-Ha						20°19'09,2	87°21'33,4
Grotte aspirante près route, Xel-Ha						20°19'11,7	87°21'30,2
Grotte au fil US, surface, Xel-Ha	27	0	3	19680	18432	20°19'13,3	87°21'30,5
Grotte au fil US, oeil jour, Xel-Ha		1,5	1	26200	25728		
Grotte au fil US, pt topo 4, Xel-Ha		4,8	5	17200	17600		
El Mirador, surface caleta, Xel-Ha	27	0	1	12880	14080	20°19'08,7	87°21'30,6
Cenote de la ruina Maya, Xel-Ha	25	1	1,5	18200	19200		
Gr Laguna negra-acuario, gal E, Xel-Ha	24	4,5	3,5	32400	35200	20°19'09,9	87°21'19,8
panneau pointe S, Lag Negra, Xel-Ha						20°19'09,9	87°21'19,8
rech 3 cenotes Laguna Negra, Xel-Ha						20°19'19,0	87°21'20,9
fauteuils pointe S, Lag Negra, Xel-Ha						20°19'10,2	87°21'20,5
Grande gal norte à 10m, tanin, Xel-Ha		2	3,5	28000	28160	20°19'12,9	87°21'21,4
Grande galeria norte à 150m, Xel-Ha		5	3,5	19310	17848		
Grande galeria norte à 250m, Xel-Ha		5	3,5	15700	16640		

**ANALYSES REALISEES PAR B. DELPRAT PENDANT  
L'EXPEDITION 1997**



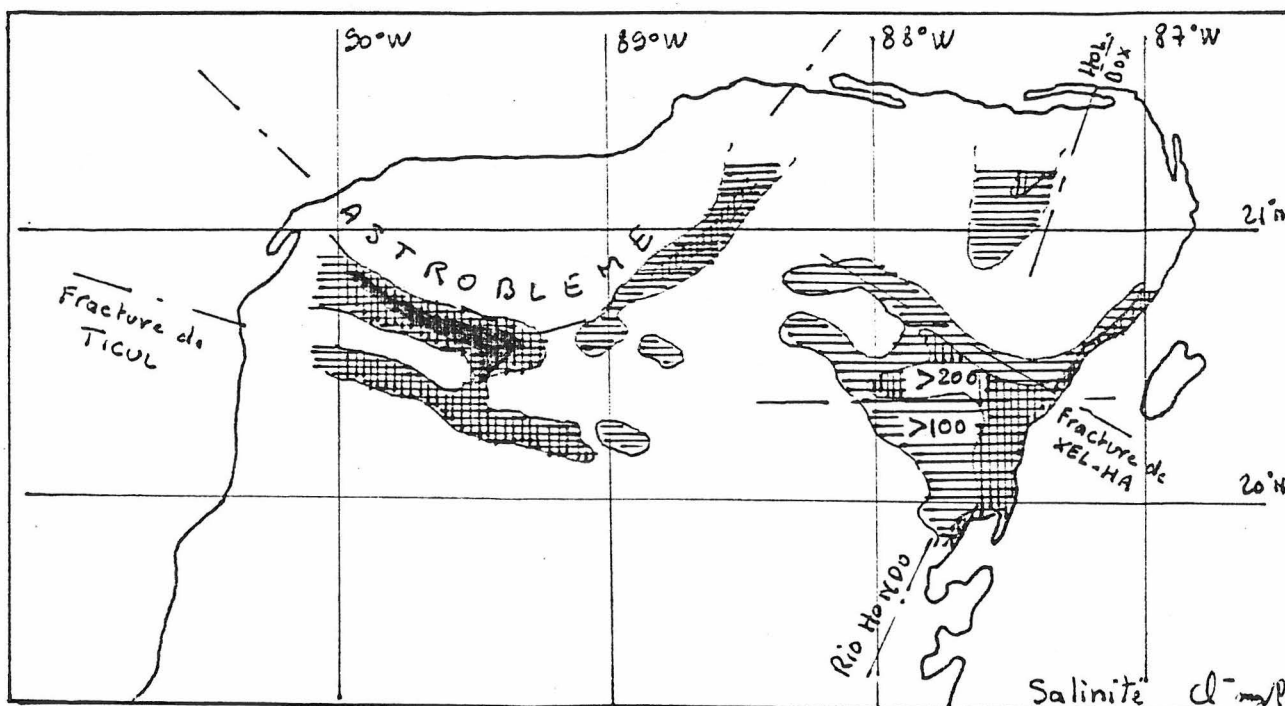
## EFFONDREMENT CONCRETIONS

Ainsi que l'on peut le constater, la pollution par le sel est un phénomène très marqué dans la zone côtière influencée par la marée. A l'intérieur des terres, au delà de cette bordure côtière, la teneur en sel tombe sensiblement en dessous de 0,5 gramme par litre. Cette valeur est bien plus faible que celles que l'on rencontre dans le désert de NULLARBOR en Australie, où l'on trouve à 50 kilomètres de la côte des salinités dépassant 8 grammes par litre.

Nous avons représenté sur le plan ci-dessous la répartition de la teneur en sel dans la partie Nord de la péninsule. On découvre des zones à concentration plus élevée. Ces zones correspondent aux grandes régions de fractures de la péninsule. Il semble que les fractures permettent de mettre en communication plus facilement l'eau de mer sousjacente et l'eau de la lentille.

On reconnaît la grande fracture correspondant à la sierrita de TICUL, qui traverse d'Est en Ouest la péninsule. Sur la côte Est, la fracture de Holbox, ainsi que son prolongement Sud, la fracture du rio HONDO sont également marquées. Enfin, autour de MERIDA, le réseau de fractures liées à l'astroblème donne également une anomalie notable.

Les teneurs en sel sont plus élevées à l'Ouest qu'à l'Est, ce qui reflète le fait que l'eau de mer en provenance du golfe du Mexique est plus salée que celle qui provient de la mer Caraïbe. Il n'est du reste pas exclu, que le ratio de Ghyben Herzberg, qui donne l'épaisseur de la lentille d'eau douce en fonction de la côte du niveau de base soit plus faible dans la région Ouest. Nous avons indiqué dans notre précédent rapport que ce ratio pouvait être de l'ordre de 20 au lieu des 40 habituellement retenus.



## ANOMALIE DE LA TENEUR EN SEL ET FRACTURATION

## V BATTEMENT DE LA NAPPE ET RESERVE D'EAU DOUCE

### Va LES BATTEMENTS DE LA NAPPE

On observe au cours de la journée, et au cours de l'année des variations du niveau de la nappe d'eau. Cette observation est très facile dans les cénotes, et les témoins visuels sont nombreux. L'étude de ces mouvements permet ainsi que nous allons le voir d'estimer les réserves d'eau douce.

Les études menées en Nouvelle Calédonie sur l'île de LIFOU aboutissaient à une porosité active des terrains de l'ordre de 3,5%. Dans ces conditions, la réserve d'eau douce était estimée à 1 année de précipitation. (voir rapport LIFOU 95) C'est aussi l'estimation donnée par l'instituto tecnologico de MERIDA qui estime la réserve d'eau douce de la péninsule à 50 000 millions de m<sup>3</sup>. Toutefois, nous ne connaissons pas leur méthode d'évaluation.

Notre méthode de calcul repose sur l'estimation des courants saisonniers. Un des phénomènes mis en évidence par l'expédition LIFOU 95 est l'importance des courants entrant ou sortant d'eau de mer. Ils ont deux origines :

- **Les courants saisonniers.** Pendant la saison sèche, la lentille d'eau s'épuise. Tandis que l'eau douce s'écoule en surface de la nappe, en profondeur, l'eau de mer remplace l'eau douce. Il en résulte des courants entrant d'eau de mer sensiblement égaux aux courants sortant d'eau douce, puisque la surface de la nappe ne varie pratiquement pas. En saison des pluies, le phénomène s'inverse et l'épaississement de la lentille chasse l'eau de mer en profondeur.

- **Les marées.** L'effet des marées à LIFOU est sensible jusqu'à deux kilomètres des côtes. La propagation du « mascaret souterrain » se fait à une vitesse de l'ordre de 1,5 km / heure (KOCH). Au YUCATAN, l'ampleur de ce phénomène nous est inconnue. Sur l'île de LIFOU, ils provoquent des flux d'eau de mer alternativement entrant et sortant d'un total de 110 m<sup>3</sup>/s, soit 0,6 m<sup>3</sup>/s et par kilomètre de côte. Nous avons pu assister à la violence de ces phénomènes à CUBA, où nous avons explorés des grottes alternativement aspirantes et refoulantes aux courants suffisamment violents pour entraîner des pneus de camions (ou des vaches!) à plusieurs dizaines de mètres de l'entrée. Ces phénomènes sont cependant des phénomènes côtiers dont l'influence ne se fait plus sentir au delà de 5 à 7 kilomètres de la côte, ce qui à l'échelle du Yucatan peut être considéré comme négligeable.

### Vb ESTIMATION DE LA RESERVE D'EAU DOUCE

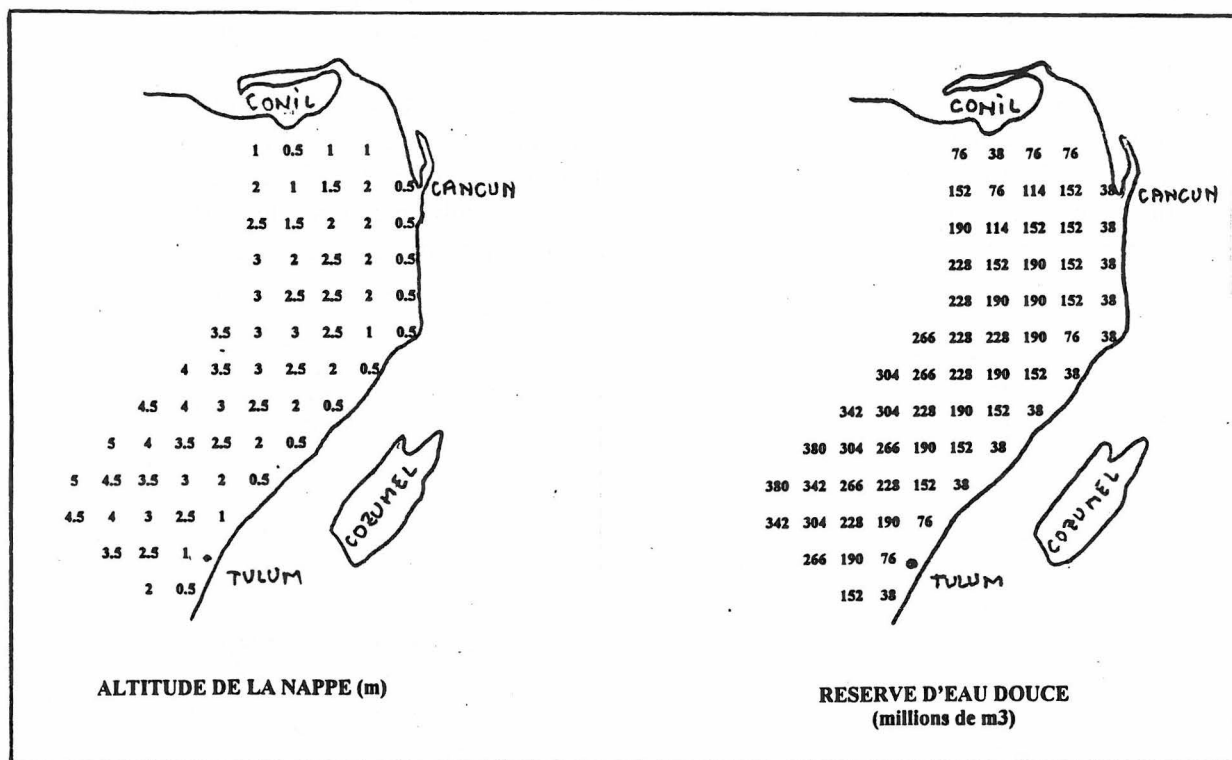
Les courants saisonniers dans une région comme l'Est du Yucatan peuvent être évalués en fonction de la tranche infiltrée mensuelle. Si l'on prend la moyenne entre les stations de Cozumel et de Valadolid comme représentative de l'Est du Yucatan, la quantité infiltrée mensuellement au cours de l'année est donnée dans le tableau ci dessous, pour une surface de 6500 km<sup>2</sup>. (voir chapitres I et II) par application de la méthode de Turc. Cette eau douce s'écoule vers la mer avec un débit régulier tout au long de l'année. En effet, le gradient hydraulique est quasi constant.

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total
Infiltration mm	10	8	8	2	0	8	62	25	38	90	72	9	332
Infiltration MM3	65	52	52	13	0	52	403	163	247	586	469	58	2160
Débit exurg.	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	2160
Déficit lentille	115	128	128	167	180	128	223	17	67	406	289	122	0
Déficit cumulé	115	243	371	538	718	846	623	640	573	167	122	0	

La lentille d'eau du Yucatan Est voit donc son volume varier de (846 + 122) soit 968 millions de mètres cube au cours de l'année. Cette variation se traduit par une fluctuation du niveau de la surface de la nappe d'environ 20 cm. Ceci s'accompagne donc d'un approfondissement de l'halocline de 40 fois cette valeur, selon la théorie de Ghyben Herzberg., soit un épaississement de la lentille d'eau douce d'environ 8 mètres.

Pour stocker 968 millions de mètres cube dans une tranche de roche de 8 mètres d'épaisseur et de 6500 km<sup>2</sup>, il faut que la porosité active de cette roche soit de (968/8 . 6500) soit 1,9 %

Si l'on pense que la porosité active de l'ensemble de la face Est du Yucatan est constante et égale à cette valeur, alors on peut, connaissant la forme de la surface de la lentille et donc, son épaisseur théorique en tout point, et par conséquent son volume total, calculer la réserve d'eau douce ainsi stockée. Nous avons pour mener ce calcul découpé cette région en carré de 10 kilomètres de côté. La cote du niveau de base est une cote moyenne, l'épaisseur de la lentille est estimée à 40 fois cette cote, et la réserve d'eau douce disponible 1,9% de ce volume. Le schéma ci dessous donne les résultats de ce calcul.



La réserve d'eau douce de l'Est du Yucatan s'établit donc à 11 500 millions de m<sup>3</sup>, soit environ 18 mois de précipitations.

Ce calcul est bien évidemment très sensible à plusieurs paramètres que seule l'étude de terrain permet d'affiner. Le coefficient d'infiltration mois après mois, l'oscillation du niveau de la nappe entre minimum et maximum, la limite du bassin versant et donc la connaissance

géométrique précise de la surface de la nappe, l'homogénéité en grand de la porosité active du massif calcaire sont les principales sources d'erreurs dans ce calcul.

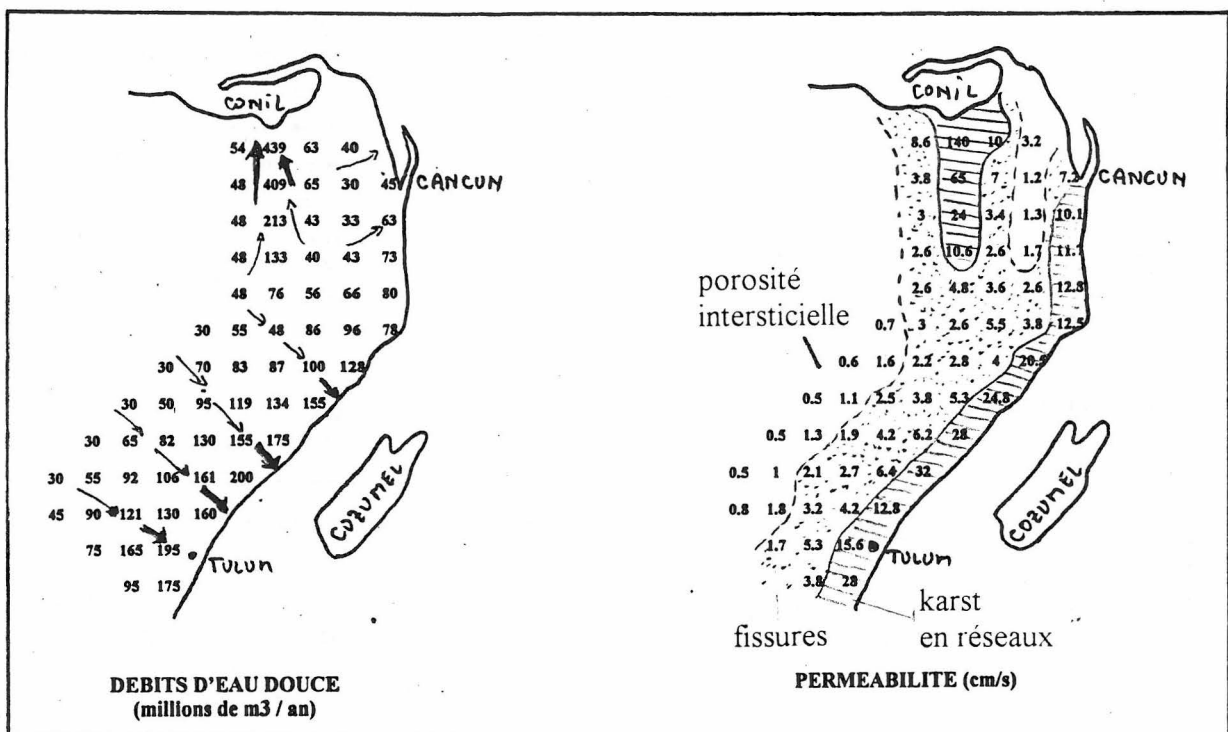
Un calcul similaire sur la partie Ouest du Yucatan en appliquant les calculs de Turc et les paramètres de la station de Mérida pour estimer la tranche infiltrée conduit à une réserve d'eau douce de 60 000 millions de m<sup>3</sup>. Rappelons que l'estimation pour l'ensemble de la péninsule faite par la DGG est de 55 000 millions de mètres cube.

Une autre conséquence de ce calcul est la mise en évidence de l'importance des mouvements saisonniers d'eau de mer. En effet, dans le cas de la région Yucatan Est, le gonflement de la lentille d'eau douce se fait en chassant un volume égal d'eau de mer, et vice versa lors du tarissement de la lentille. Ce sont donc des volumes d'eau de mer de l'ordre du milliard de mètres cube qui vont et viennent en profondeur. Pendant l'étiage, les flux d'eau de mer sont entrant, et extrêmement réguliers du fait de la régularité des débits d'eau douce qu'ils compensent. En période d'alimentation, les flux sont plus irréguliers et ponctuellement beaucoup plus importants.

### Vc ESTIMATION DES DEBITS ET DE LA PERMEABILITE

Connaissant la tranche infiltrée, et la direction des écoulements (perpendiculaires au ligne de niveau de la surface piézométrique), on peut déterminer quelle est la carte des écoulements de la région. Nous donnons ci dessous la carte de ces écoulements en indiquant la quantité qui transite dans chaque surface de 10 km par 10 kilomètres de la façade caraïbe. Ces écoulements proviennent des carrés voisins amont, de la tranche infiltrée, et se déversent dans le ou les carrés adjacents aval. Les débits augmentent donc en se dirigeant vers l'aval, et les débits constatés au niveau de la côte sont en accord avec les observations que nous avons pratiquées.

Ainsi, au Nord, les eaux se concentrent dans la lagune de CONIL avec un débit de 439 millions de mètres cube par an, soit 14 mètres cube d'eau douce par seconde. Cette valeur est à comparer au débit de 30 mètres cube d'eau saumâtre, polluée par 135 % d'ajout d'eau de mer, qui correspond à un débit d'eau douce de 12,7 mètres cube par seconde d'eau douce. Ce dernier chiffre devant être rapproché des 14 mètres cube par seconde de notre calcul.



De même, au Sud de PUNTA BRAVA, (située 20 kilomètres au Nord de PLAYA), le débit par kilomètres de côte, d'eau douce est de 0,38 mètres cube par seconde.

Ce modèle montre qu'au Nord de PUNTA BRAVA, le débit par kilomètre de côte, est plus faible, et ne dépasserait pas 0,2 mètres cube par seconde

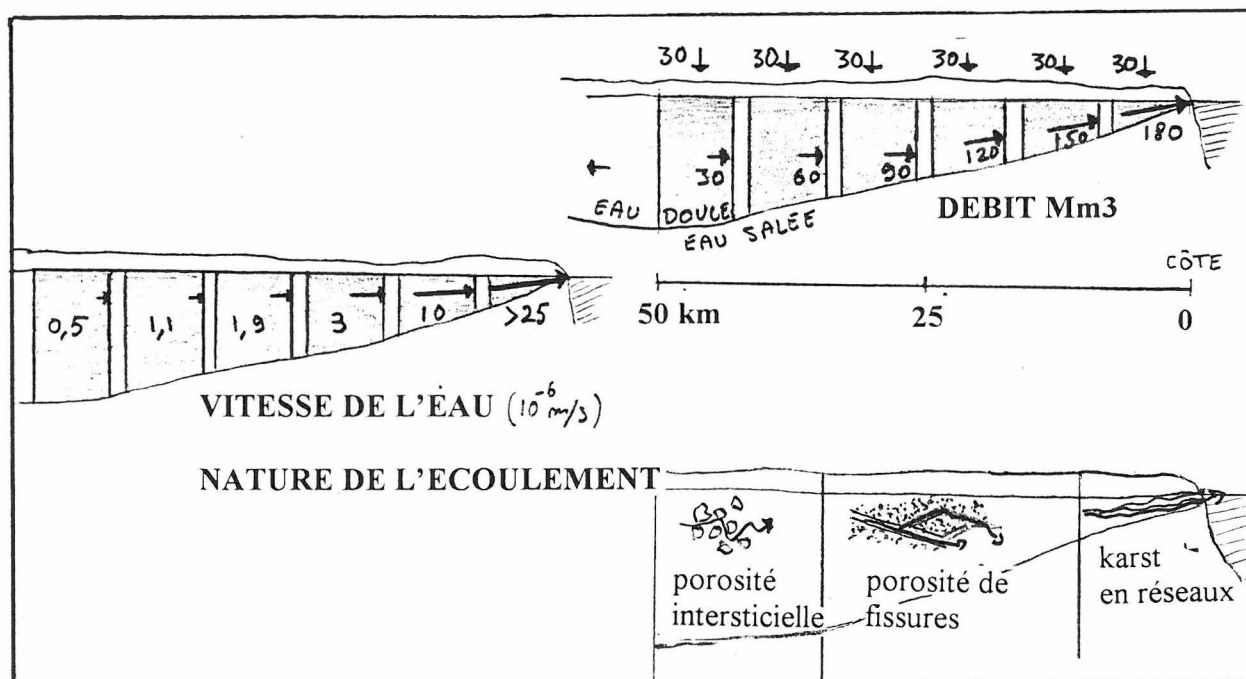
Après avoir calculé la répartition des débits absolus dans la région, on peut évaluer le **débit surfacique**. En effet, l'eau s'écoule horizontalement dans l'épaisseur de la lentille d'eau douce. Prenons l'exemple d'une zone de 10 km de coté située à 25 km de la côte Est, dans la partie Sud. L'altitude de la nappe est de 2,5 mètres. L'épaisseur de la lentille est donc de 100 mètres. Le débit d'eau donné par le calcul et qui va transiter à travers cette zone est de 119 millions de mètres cube par an. L'écoulement se fait à 45° par rapport au coté du carré Cette eau va donc s'écouler par une surface verticale de 14 kilomètres de longueur (10 x cos(45)) pour cent mètres de hauteur (épaisseur de la nappe), soit 1400 000 m<sup>2</sup>. Ce qui représente un **débit surfacique** de (119 000 000 / (1400 000 x 365 x 24 x 3600) **2,8 millionième de m<sup>3</sup> par seconde et par mètre carré.(noté Q)**

Nous sommes dans le cadre d'écoulement en milieu quasiporeux et la formule de Darcy peut s'appliquer. Si nous comparons ce chiffre avec la charge hydraulique (en moyenne 0,1 m de hauteur d'eau par kilomètre)(notée dH) nous pouvons calculer la perméabilité moyenne du massif à cet endroit, (soit  $P = Q/dH$ ). **Le calcul donne dans ce cas, 0,028 m/s.** Cette valeur est comparable à celle de terrains composés de graviers ou de sables grossiers, et non pas d'une roche massive en place. Cela signifie que les écoulements sont de nature karstique à cette distance de la côte, très probablement sous forme de réseau de fractures faiblement ouvertes.

La même analyse réalisée à 50 kilomètres de la côte donne des chiffres complètement différents et la perméabilité n'est plus que de 0,006 m/s. Nous ne sommes plus dans le cas d'écoulements karstiques et même si des formes de dissolution importantes existent elles ne sont normalement pas organisées en réseaux de rivières souterraines.

A l'opposé, le même calcul réalisé à 10 kilomètres de la côte donne une valeur théorique de la perméabilité de 0,3 m/s. Nous entrons là dans le cadrē de perméabilité karstique avec des conduits pénétrables et des réseaux de rivières souterraines organisées.

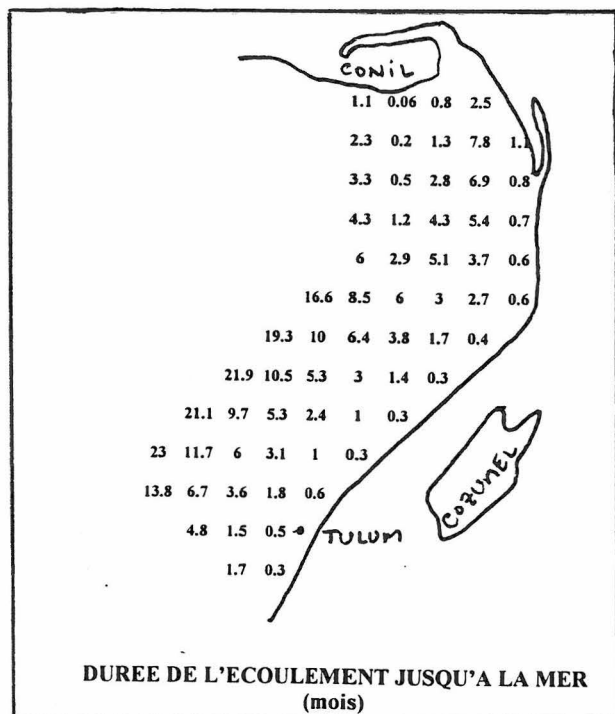
Le plan ci-dessous donne les valeurs de la perméabilité des différentes zones de dette région, et par conséquent la nature d'écoulement que l'on y trouve.





## Vd AGE DE LA RESERVE D'EAU

L'eau de mer est animée par des mouvements d'oscillation très importants ainsi que le montre le chapitre Vb ci dessus. Elle est donc renouvelée dans les terrains situés à proximité de la côte. En revanche, loin à l'intérieur des terres, elle présente des temps de séjours extrêmement longs, qui peuvent certainement se compter en milliers d'années. Son renouvellement est alors probablement lié aux grandes variations du niveau de la mer. Et il n'est pas exclus de penser que l'eau de mer stockée au centre de la péninsule date de la dernière glaciation.



L'eau douce subit un sort différent. En effet, elle est alimentée de façon constante par les pluies et s'écoule de vers la mer. Son temps de séjour est donc notablement plus court que celui de l'eau de mer. Connaissant le débit surfacique, on peut déduire la vitesse réelle d'écoulement de l'eau en divisant cette valeur par la porosité active que nous avons évaluée à 1,9 %. On peut alors calculer le temps nécessaire à l'eau d'infiltration pour rejoindre la côte, une fois déterminé le champ des vitesses de l'eau.

Ainsi, aux limites du bassin versant, à une distance d'environ 50 kilomètres de la côte, l'eau douce va prendre environ 15 à 20 ans pour regagner la côte. Sur la façade Ouest ces temps sont encore plus importants.

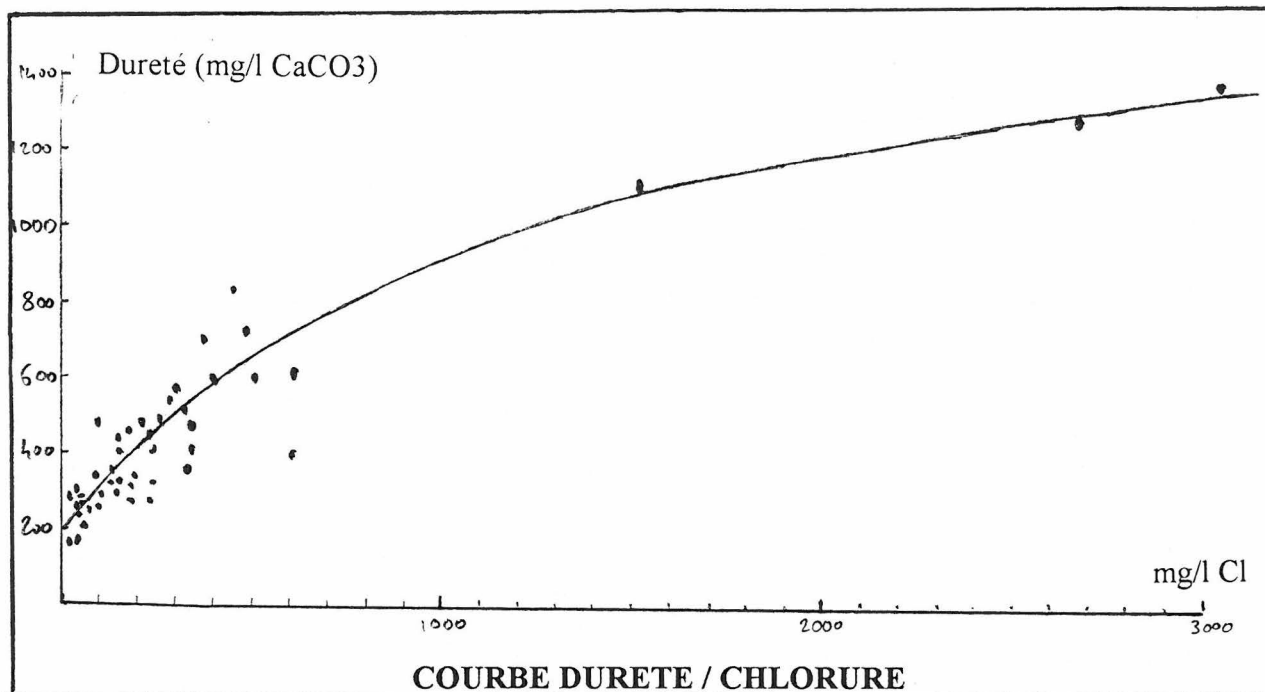
Le temps moyen de séjour au centre de la péninsule est donc probablement de quelques décennies

Nous considérons maintenant une zone intermédiaire, située à 25 kilomètres de la côte. Le temps de trajet de l'eau à 25 km de la côte est de 3 à 4 ans.

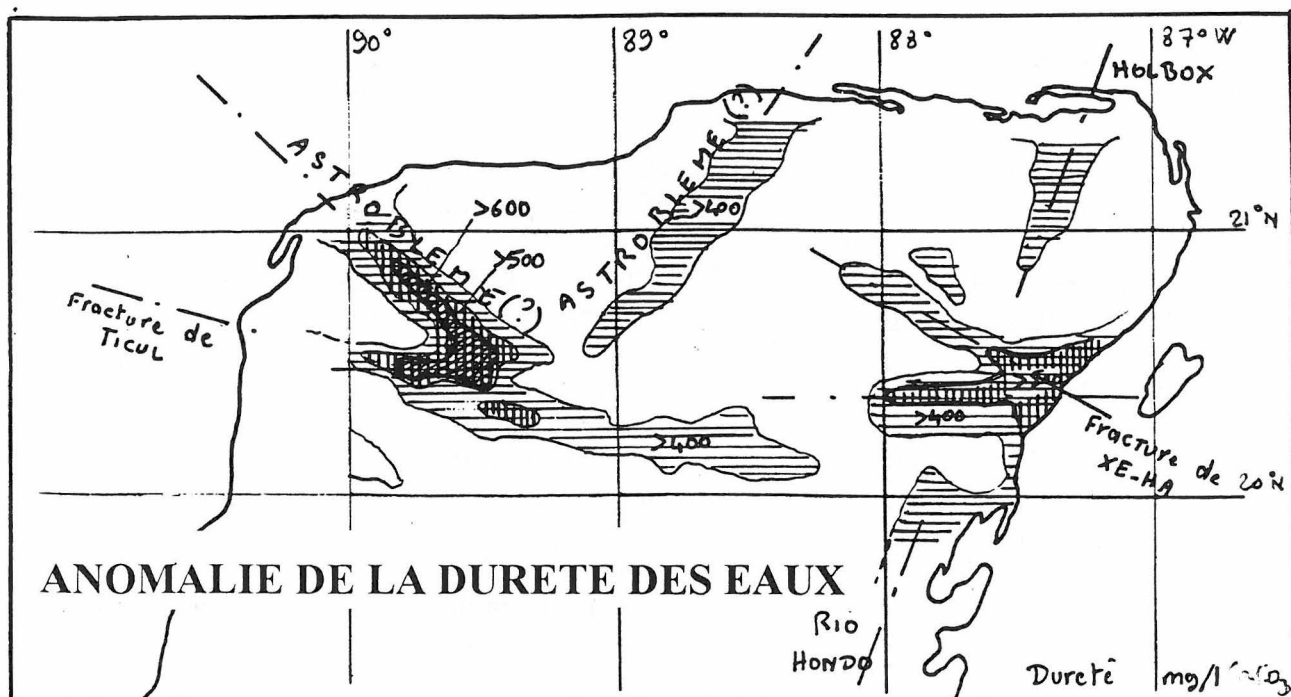
## VI KARSTIFICATION PROFONDE AU YUCATAN

### VI a INFLUENCE DE L'EAU DE MER SUR LA DISSOLUTION CHIMIQUE

L'eau de mer, saturée en carbonate a une dureté de 2700 mg/l de CaCO<sub>3</sub>. L'eau douce, à 26 ° peut dissoudre environ 200 mg/l de CaCO<sub>3</sub>. L'expérience montre que le mélange d'une eau douce et d'une eau salée toutes deux saturées est agressive et peut dissoudre encore plus de carbonate. Le graphique ci dessous montre pour le Yucatan la courbe de dissolution en fonction de la teneur en Cl-



Le plan ci-dessous montre le carbonate dissous mesuré dans les cénotes de la partie Nord du Yucatan. La dissolution est beaucoup plus efficace dans certaines zones, qui correspondent aux zones à plus forte salinité.



## VI b L'ABLATION KARSTIQUE

**L'approche actuelle** consiste à considérer les échantillons d'eau prélevée dans les cenotes comme représentatifs de la lentille d'eau douce du YUCATAN, et à calculer l'ablation chimique en multipliant cette valeur par la quantité d'eau infiltrée

Le calcul ci-dessous est tiré du travail de M.A HERAUD PINA

Région	Précipitation	Infiltration	CaCO <sub>3</sub> dissous	Ablation karst.
Chekubul	1200	160	296	17.5
Mérida	1000	166	464	28.5
Chetumal	1200	160	1067	63
Miguel colorado	1400	252	306	28.5

Selon CORBEL, l'ablation karstique du Yucatan est estimée aux environs de 19 m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup> et par an, résultat obtenu en employant la même méthode.

Il faut souligner que ces approches ne sont pas des approches conventionnelles. Les résultats obtenus dans les karsts de la région des caraïbes donnent des dissolutions plus fortes, de l'ordre de 60 m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup> et par an.

**L'approche classique** consiste à mesurer ces valeurs aux exurgences. C'est une mesure beaucoup plus directe. Mais elle n'a jamais été employée au YUCATAN

Les exurgences n'ont malheureusement pas fait l'objet d'études systématiques. Leur salinité, et leur teneur en carbonate est toutefois plus importante que celle des cenotes situés en pleine terre. Les cenotes situés en bordure de mer sont probablement plus représentatifs des eaux des exurgences. Les cenotes d'AKUMAL (962 mg/l pour 1704 de Cl-), de RANCHO ERIC (1303 mg/l pour 2698 de Cl-) et de CHUCHUEN (1350 mg/l pour 3200 de Cl-) permettent de faire des calculs au moins pour le versant Est. L'exurgence de XEL-HA a montré des duretés respectivement de 720 et 970 mg/l pour les bras Sud et Nord tandis qu'un cenote proche de l'exurgence donnait des valeurs de 1394 mg/l pour une teneur en Cl- de 3088 mg/l

Ces calculs se font en retranchant la part de carbonates amenées par l'eau salée dans le mélange. Ainsi, l'eau d'AKUMAL contient 1704 mg/l de Cl-. ce qui correspond à un apport de  $(2720 \times 1704 / 19000) = 243$  mg/l de CaCO<sub>3</sub> d'origine marine. Le reste, c'est à dire 718 mg/l provient de la dissolution du massif du YUCATAN. On trouve pour les cenotes cités ci-dessus les valeurs suivantes : AKUMAL : 718, RANCHO ERIC : 917, CHUCHEN : 892, XEL-HA : 951

Si l'on retient une valeur de 900 mg / l d'eau douce écoulée, l'ablation karstique de la zone Est du Yucatan calculée en estimant un coefficient d'infiltration de 22,4 % pour une pluviométrie de 1200 mm d'eau par an s'élève à :  $1200 \times 0,224 \times 0,9 = 242$  g/m<sup>2</sup>

Si l'on prend une densité de 2,7 pour les carbonates, **l'ablation karstique est de 90 m<sup>3</sup> par kilomètre carré et par an.** soit trois fois les valeurs précédemment estimées.

Il est naturellement très tentant de rapprocher cette valeur de la porosité active de la péninsule, et de la réserve d'eau douce qu'elle contient et qui s'élève à environ 3 millions de m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup>. Il aurait alors suffi de 30 000 ans pour creuser ces vides. Or l'histoire karstique du Yucatan est beaucoup plus ancienne. Cela signifie donc que l'ablation karstique s'exerce pour l'essentiel à la surface. Elle représenterait alors une érosion de 9 mètres par 100 000 ans

Une petite idée de l'intensité de l'érosion de surface est donnée par les reliefs résiduels que l'on rencontre. Ces reliefs sont très peu marqués dans la partie Nord de la péninsule, où par ailleurs l'altitude est très faible. On remarquera que ce trait est commun aux zones basses

de Cuba et de la Floride. Cela semblerait indiquer que ces terres ont été assez peu de temps émergées et que par conséquent, elles n'auraient connu les effets de la karstification que pendant quelques centaines de milliers d'années au plus.

Lorsque l'on se déplace vers le Sud de la péninsule, on rencontre des reliefs plus élevés, les buttes karstiques sont beaucoup plus marquées. Des reliefs de 30 mètres de hauteur sont conrants et laissent supposer que l'ablation de surface a atteint plusieurs dizaines de mètres. Si l'intensité de l'ablation karstique s'est maintenue constante au cours des temps, nous parlons là de phénomènes s'étendant sur plusieurs millions d'années.

Ces approches quantitatives sont naturellement sujetes à caution.

## VI c LA KARSTIFICATION AU NIVEAU DE L'HALOCLINE vs KARSTIFICATION SPONGIFORME.

Le problème reste de savoir où le karst souterrain se creuse. Il est probable que selon la zone, la dissolution s'effectue différemment du fait des différences dans l'organisation des écoulements.

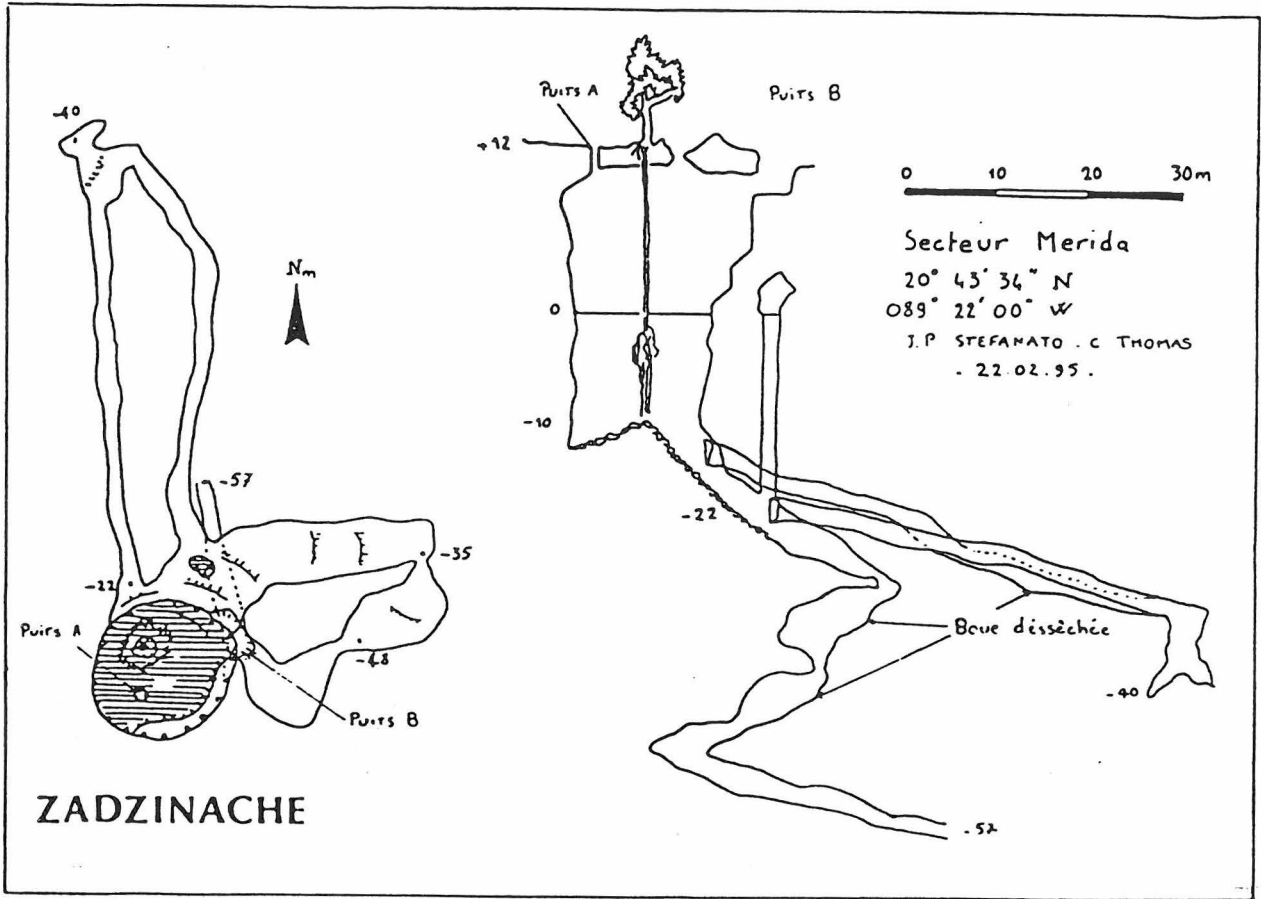
A l'intérieur des terres, la forme la plus fréquente est celle des grandes salles en cloche. Elle semble refléter une karstification non organisée en réseau, dont on peut penser qu'elle est de **nature spongiforme**. Les plus gros « trous de l'éponge » crevant la surface par des phénomènes d'effondrements de leur voûte.

Au voisinage de la côte, (et peut être aussi à l'intérieur de la péninsule) les phénomènes chimiques de dissolution sont particulièrement intenses au **niveau de l'halocline**, et les circulations d'eau qui s'y produisent entraînent une morphologie de type réseau. Le contact eau salée eau douce est très corrosif.

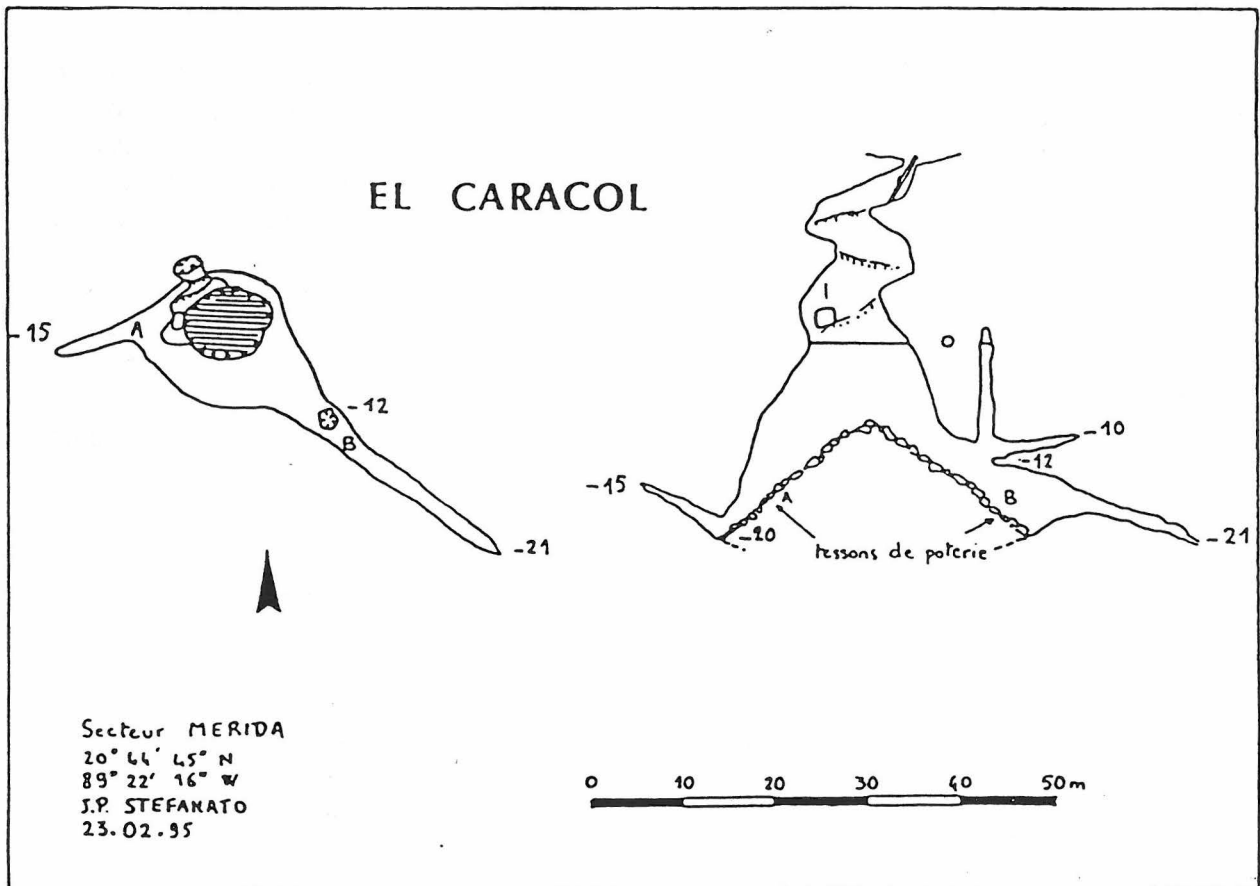
Au dessus de l'halocline, on trouve en revanche une zone saturée, où le calcaire se dépose. Ceci est la raison pour laquelle la surface des cénotes est très fréquemment couverte de calcite flottante, mais aussi la raison qui a permis de protéger les concrétions que l'on trouve dans ces grands réseaux. On rencontre parfois en plongée des concrétions corrodées. Ces concrétions ont probablement été corrodées à une époque où le niveau de l'halocline était plus élevé. Du reste on trouve fréquemment au voisinage de ces concrétions corrodées, d'autres concrétions non corrodées, et qui se sont donc formées lors d'une phase d'émersion postérieure.

Sur le plan chimique, nous pensons que l'existence de la zone saturée s'explique par la chaîne de réactions suivantes. Le contact eau douce eau salée provoque un mélange d'eau corrosif. La dissolution des carbonates entraîne la mise en solution de quantité importante d'ions hydrocarbonate et par équilibrage chimique de  $\text{CO}_2$ . Les mouvements de diffusion chimique entraînent ces ions vers la surface. Les mélanges d'eaux saumâtres qui en résultent contribuent à maintenir l'agressivité de l'eau et par conséquent la dissolution des carbonates, et l'augmentation correspondante de la  $\text{PCO}_2$ . En arrivant près de la surface, au contact de l'air, le  $\text{CO}_2$  se dégage, et les équilibres chimiques se déplacent brusquement dans le sens de la cristallisation.

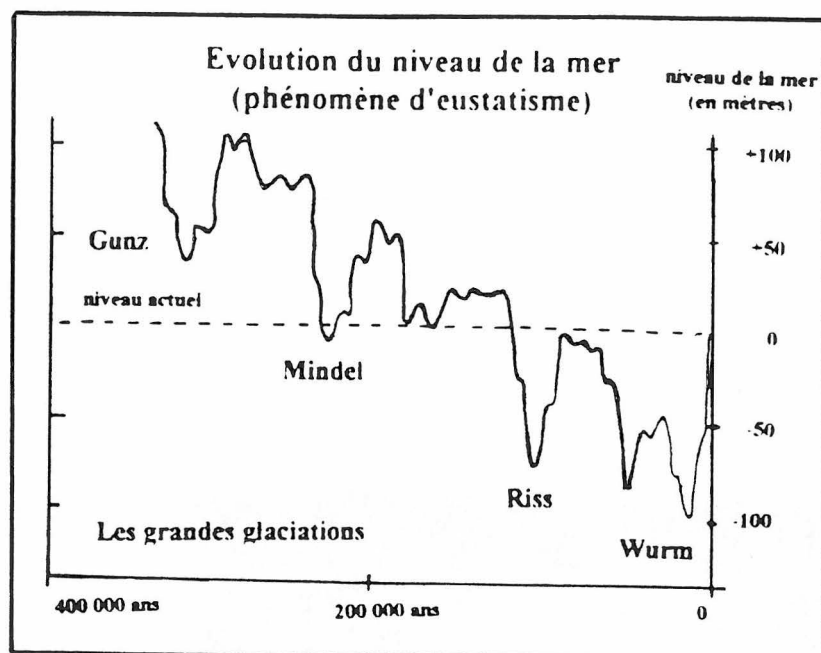
Au niveau de l'halocline, une autre particularité chimique est la présence fréquente d'hydrogène sulfuré. L'origine de ce gaz en solution à cet endroit précis nous est inconnue. Elle révèle des conditions chimiques réductrices, très opposées à celles qui caractérisent l'eau douce, riche en oxygène dissous. L'intervention de bactéries spécifiques a été évoquée par certains auteurs.



**EXEMPLE DE CORROSION VERTICALE**



## VI d LES VARIATIONS DU NIVEAU DE LA MER



Avec les glaciations, le niveau de la mer a considérablement varié. Quelques datations ont été réalisées sur des concrétions des grands réseaux noyés du YUCATAN, et donnent des âges récents, correspondant à la dernière glaciation.

En surface, des terrasses datant de l'interglaciaire entre le RIESS et le WÜRM sont visibles à une altitude de +6 mètres. Sous l'eau, un premier récif frangeant est marqué vers -10 / --15 m. Un second étage de récif est visible à -20, et enfin un troisième étage domine une descente en pente raide à partir de -40.

## FLUCTUATION DU NIVEAU DE LA MER

Des canyons sont visibles en photographie aérienne sur des « platiers » à 10 mètres de profondeur au Sud de TULUM. Leur morphologie est extrêmement labyrinthique et évoque un creusement par dissolution karstique.

La datation des grands réseaux du YUCATAN reste à faire. Il n'est pas exclu qu'ils se soient formés au cours de l'interglaciaire RIESS-WÜRM, il y a 120 000 ans à une époque de relative stabilisation du niveau de la mer. C'est aussi, en l'attente de mesures directes, l'hypothèse que nous avons retenues pour le creusement des grands réseaux de l'île de LIFOU.

Nos explorations ont mis en évidence l'existence de trois paleoniveaux d'halocline. :

- Le niveau profond correspondant à l'halocline d'aujourd'hui. Il est peu concrétionné et pourrait être en fait contemporain. On le rencontre dans la plupart des cavités.
- Le niveau +5 se situe cinq mètres au dessus du niveau de l'halocline actuel. Il est encore emprunté par des circulations d'eau. L'exemple de MINOTAURO est l'exemple le plus important connu pour le moment. Les concrétions que l'on y trouve présentent deux étapes de concrétionnement correspondant à deux étapes de dénoiement. Les réseaux du Sud de CUZEL sont creusés sur le même niveau.
- Le niveau +11 connu dans les salles terminales de CUZEL, ou encore dans les cénotes au Nord de DOS OJOS. Le remplissage de cette zone par les précipitations de calcite est très active. Les concrétions que l'on y trouve sont homogène en apparence et n'aurait donc connu qu'un seul dénoiement.

A ces trois niveaux, il convient d'ajouter quelques indications de phénomènes plus profonds, que l'on rencontre comme par hasard dans certaines cavités, et qui indiquent clairement une karstification profonde sous l'halocline actuel. Cette karstification est ancienne, (dans la mesure où l'eau de mer saturée en calcaire, n'a pas de pouvoir de dissolution) et correspond à des niveaux de la mer beaucoup plus bas. On ne connaît pas de paleoalocline profond.

L'étude des concrétions apportera sûrement dans le futur des réponses à ces questions. Ci dessous, nous montrons une concrétion prélevée dans le cénote du minotauro . On y distingue trois zones différentes :

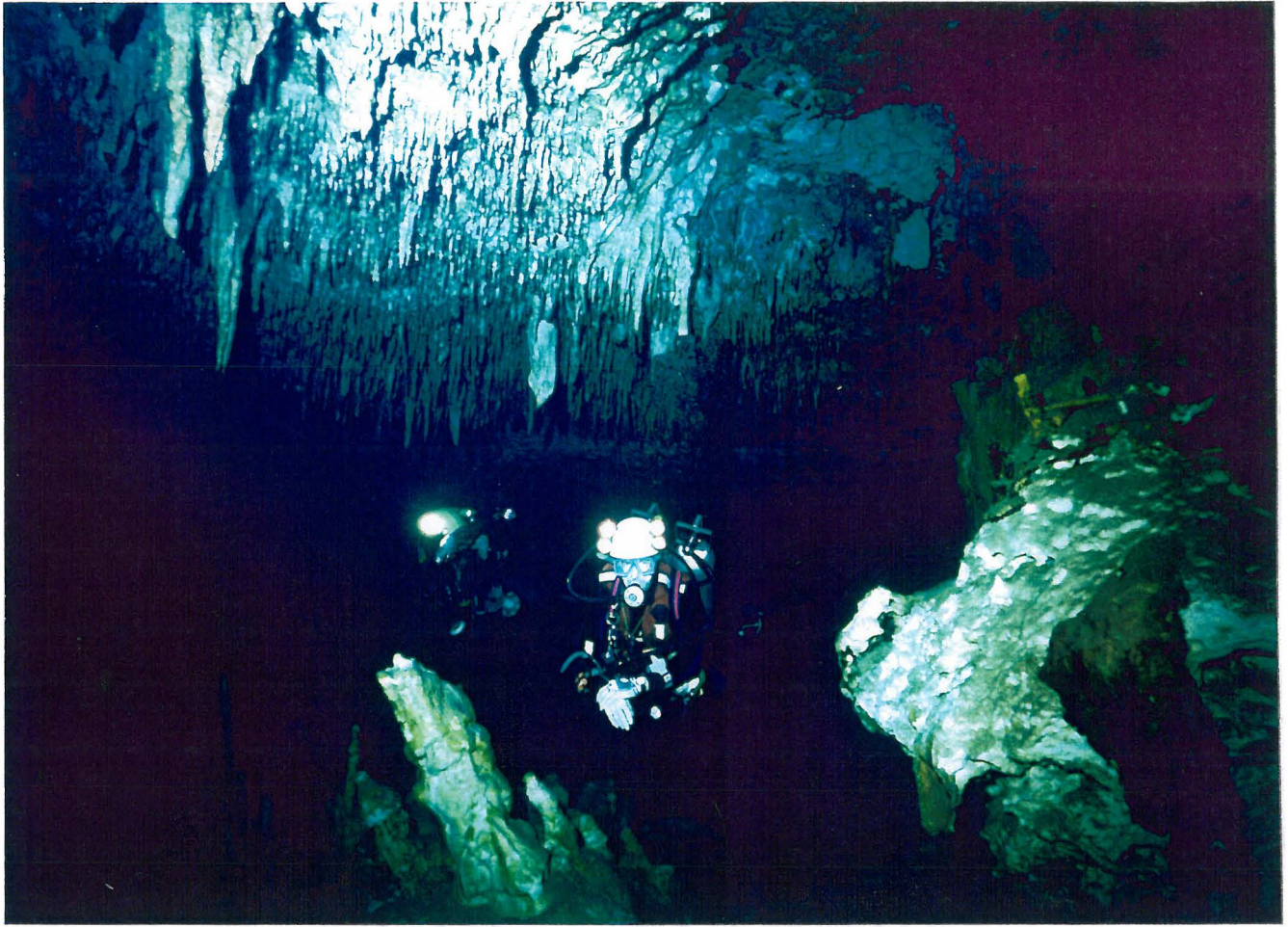
- un coeur très recristallisé, sombre comportant des vides corrodés, encore incomplètement comblés.
- un premier anneau de concrétionnement compact dont la structure est encore très visible. Cet anneau est bordé sur son pourtour d'un anneau blanc de calcaire très fin.
- la périphérie, très corrodée, dont les cernes sont découpés par la corrosion.

La genèse de cette structure est probablement liée à des successions d'immersion .



**LES GRANDES RIVIERES  
SOUTERRAINES DU  
QUINTANA ROO**

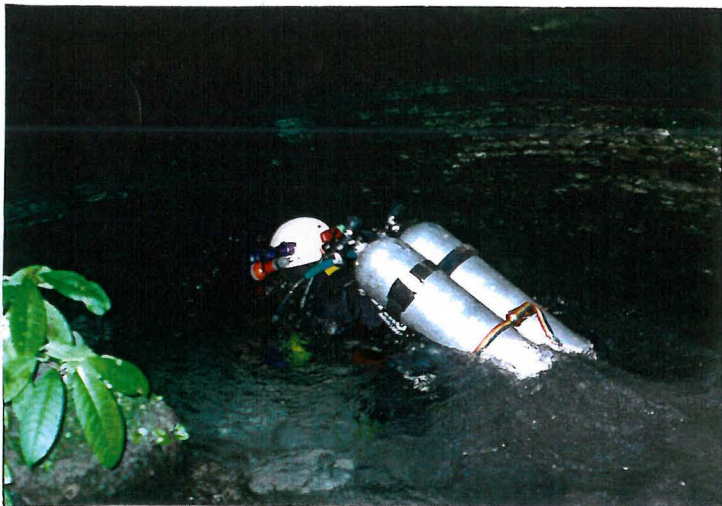




**TAJ MAHAL**

**CUZEL**

**CUZEL**



# I LES RIVIERES SOUTERRAINES DE QUINTANA ROO

Ces rivières présentent des caractéristiques communes :

## 1. Elles sont creusées au niveau de l'halocline.

En effet, les eaux saumâtres au contact eau douce eau salée sont extrêmement corrosives, et la karstification est alors très active.

## 2 Elles sont concrétionnées.

Cette karstification est suffisamment ancienne pour que les variations du niveau de la mer aient permis qu'elles soient exondées. Pendant que le niveau de la mer était plus bas, un intense concrétionnement s'est mis en place. Les mesures isotopiques sur quelques concrétions ont donné des âges ne dépassant pas 100 000 ans. Un des objectifs de notre prochaine expédition est de procéder à quelques prélèvements en vue de datations absolues.

## 3 La topographie générale est très labyrinthique.

Elle est cependant guidée par trois facteurs :

- Des fractures NEE SWW,
- Des drains d'écoulement perpendiculaires au littoral,
- Des élargissements par corrosion donnant de grandes salles surbaissées.

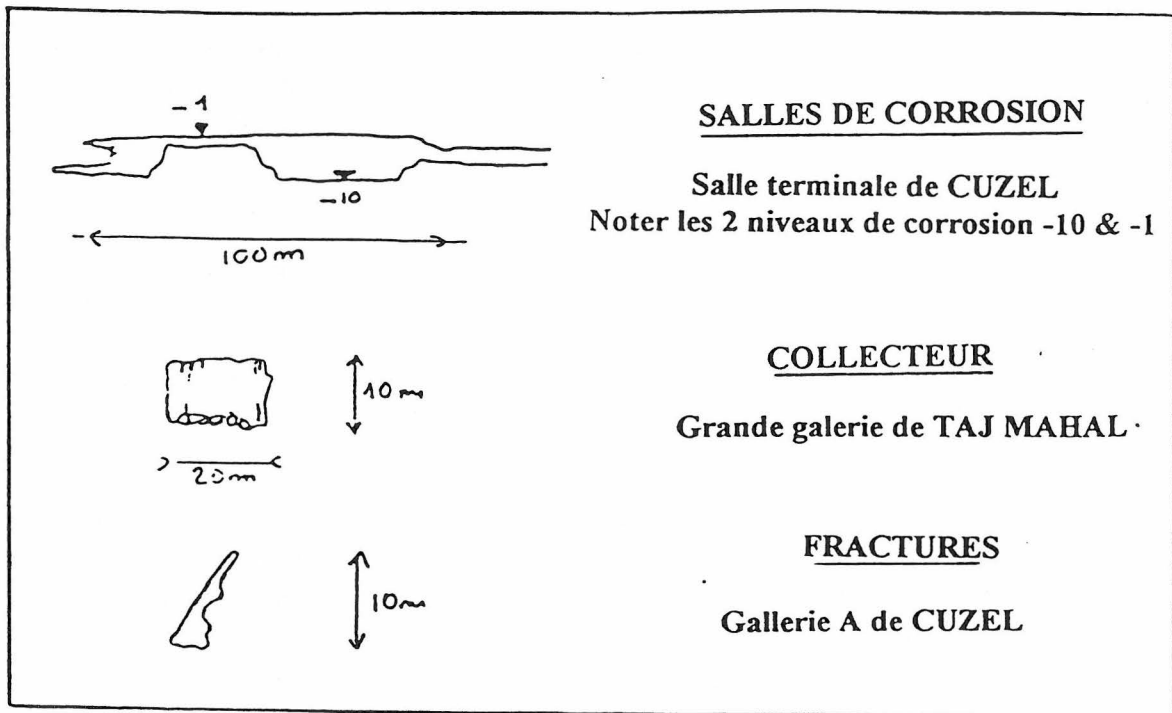
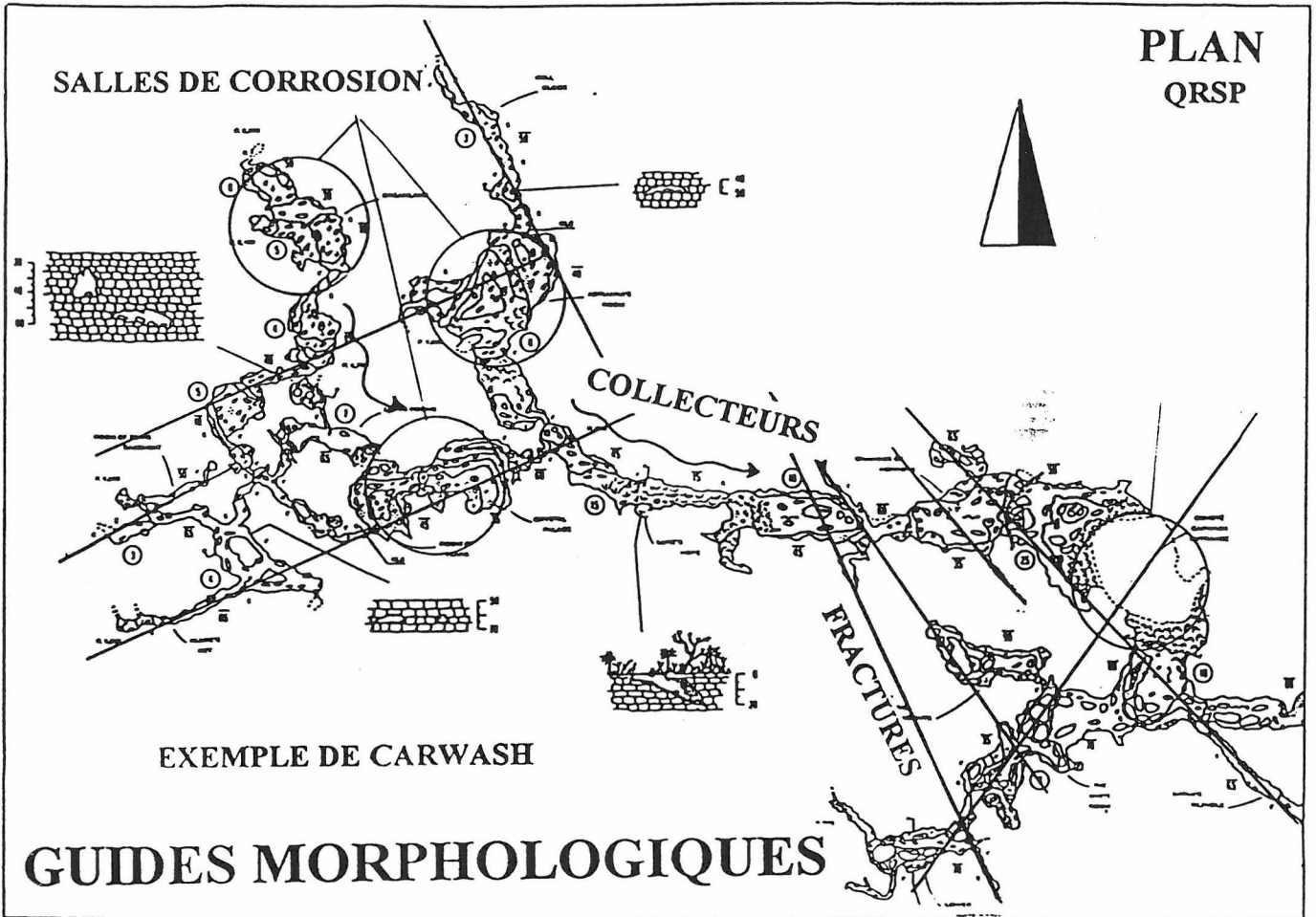
Ces facteurs donnent des morphologies de galerie assez typiques comme représentés dans les dessins ci dessous. Ces morphologies peuvent naturellement être plus complexes lorsque deux facteurs coexistent où lorsque des effondrements s'y adjoignent.

## 4 Ces rivières sont des phénomènes côtiers

Leurs cours ont été remontés jusqu'à 10 km à l'intérieur des terres et leur morphologie globale semble comporter :

- A l'amont, un chevelu de drainage labyrinthique avec de grandes salles de corrosion,
- Un collecteur souvent dédoublé ,
- A l'aval, un delta côtier très corrodé.

L'eau douce entraîne une partie d'eau de mer. Ces rivières sont donc alimentées en permanence par des arrivées d'eau de mer probablement aspirées par une sorte d'effet de trombe et qui participe activement à la corrosion en « juvénilisant » les eaux de pluie. Cet effet de trombe s'estompe lorsque l'on s'éloigne des côtes et la karstification devient alors moins efficace. De ce point de vue, ces cavités sont à rapprocher des formes que nous avons rencontrées à CUBA et qui étaient liées à l'existence de lagunes de bord de côte.



**SECTIONS TYPE**

Sur l'île de LIFOU, nous avons exploré la grotte de HNANAWAE sur une dizaine de kilomètres, et la grotte de FETRA-HE sur 3,5 kilomètres. Ces cavités sont totalement exondées du fait de la remontée de l'île. Dans la grotte de HNANAWAE, le collecteur a été atteint à la fin de notre expédition, et exploré sur 500 mètres... arrêt par faute de temps !! Il s'agit d'une galerie de 15 mètres de large pour 5 de haut. La morphologie de la grotte rappelle étonnamment les cavités noyées du QUINTANA ROO.

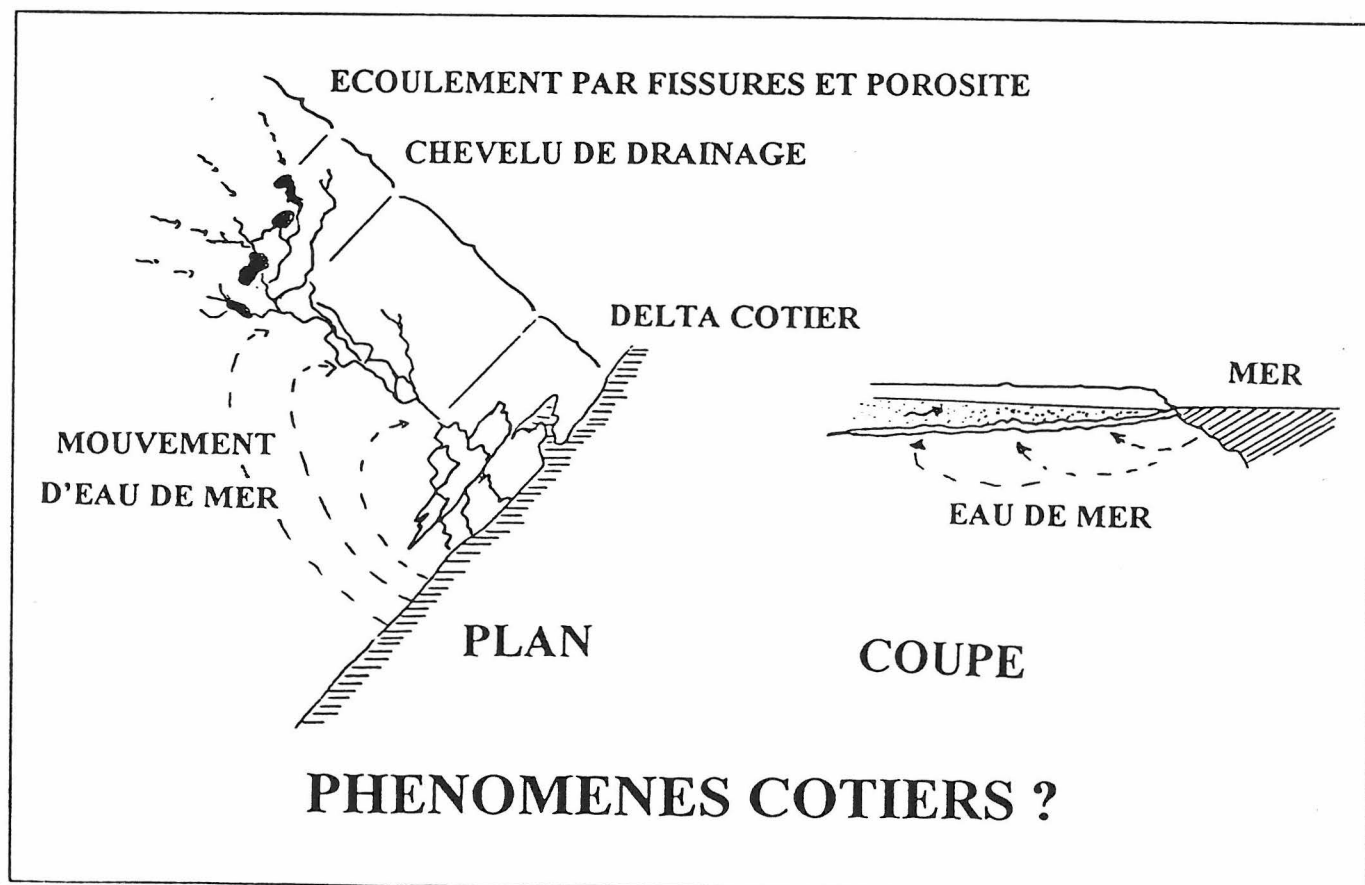
**5 Ces rivières interceptent parfois des puits verticaux descendants.**

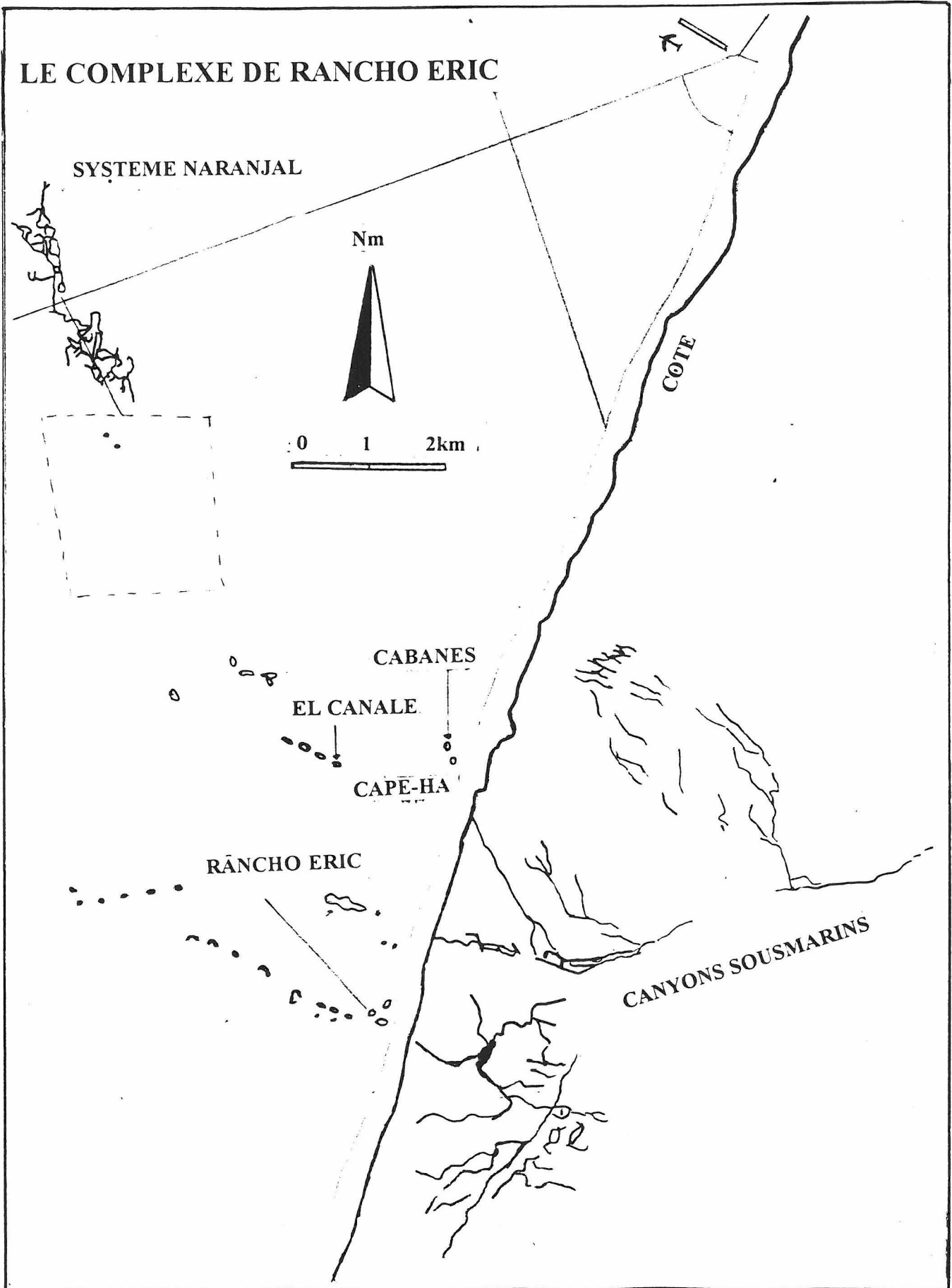
C'est le cas de NOHOCH où un puits a été plongé jusqu'à 95 mètres de profondeur. Une formation comparable existe à DOS OJOS. Il ne semble pas qu'il y ait de relation hydrogéologique entre la grotte et ces puits.

**6 Elles semblent associées à des formes côtières de caletas**

Les caletas sont des petites baies. Parfois de courtes rivières de surface, comme XEL HA, ou encore XPU-HA sont des exutoires évidents. Ce sont des formes courantes des mer caraïbes et nous en avons explorées plusieurs à CUBA. Au YUCATAN, les caletas sont peu explorées. L'exemple de la connexion de NOHOCH à la mer, montre que l'exurgence se fait de façon anarchique dans une zone à la fois labyrinthique et extrêmement corrodée et ébouleuse. Nous avons retrouvé les mêmes traits à XEL-HA.

Ces caletas se développent surtout au Sud de PUNTA BRAVA, ce qui pourrait signifier qu'au Nord de ce point, les grandes rivières souterraines n'existent plus. C'est certainement une des questions que quelques années d'exploration supplémentaire pourront aider à éclaircir.





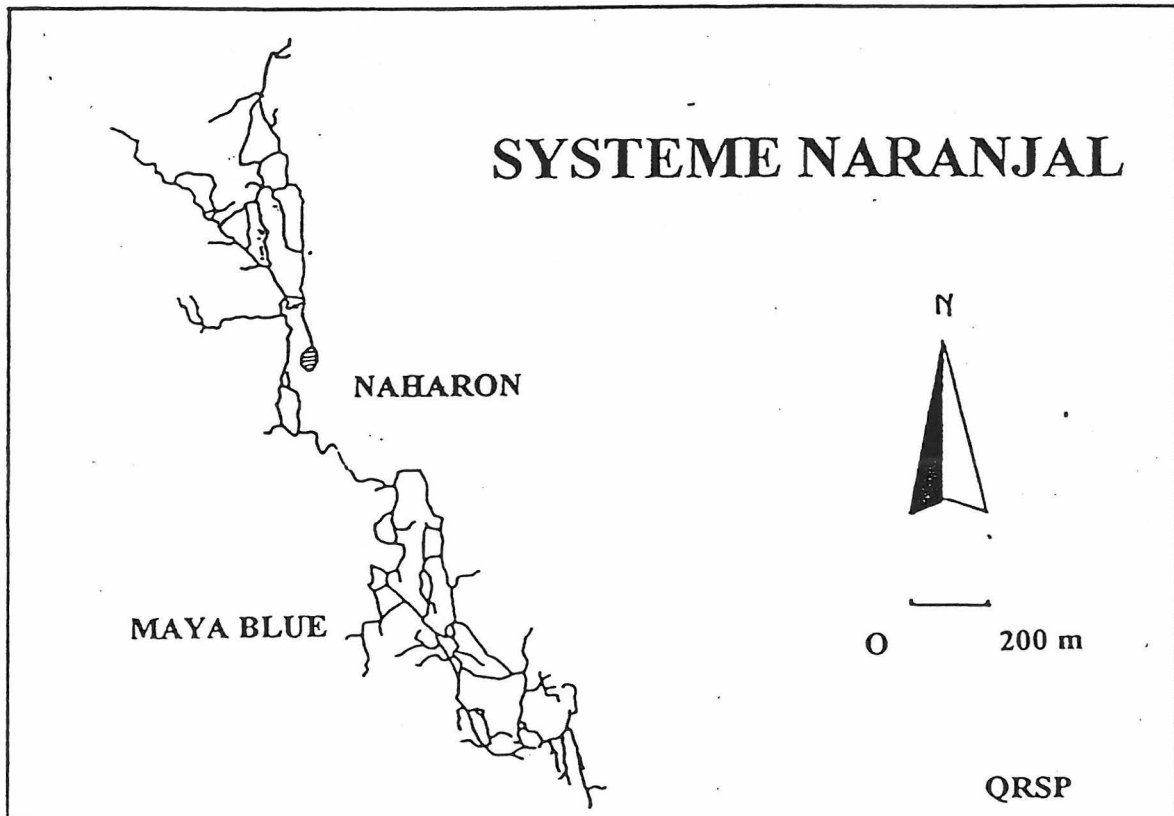
## I LE COMPLEXE DE RANCHO ERIC

Un alignement de cénottes parfaitement visibles en photographie aérienne se poursuit par des formes de canyon labyrinthique sous marin à faible profondeur. Une plongée de reconnaissance dans le cénote du RANCHO ERIC montre l'existence d'une galerie amont et d'une galerie aval toutes deux déjà explorée, sans que nous ayons de détails sur les résultats de ces explorations. Le plan cidessous montre ce que la photographie aérienne permet de décèler de cet important système qui est aujourd'hui le plus septentrional connu sur la façade Est de Quintana Roo.

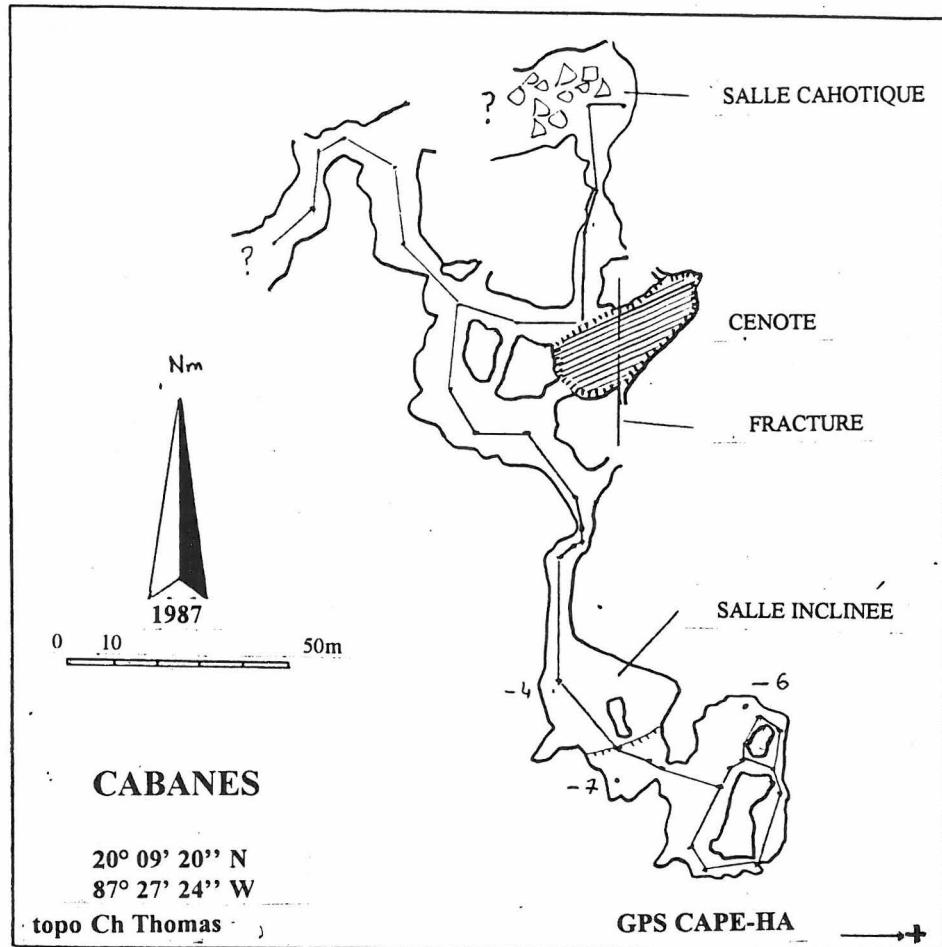
L'ensemble de ces réseaux est situé pour l'essentiel dans deux ejidos (PINO SUAREZ et TULUM) et nécessitent l'accord des autorités de ces communautés.

## II LE COMPLEXE NARANJAL (22 500m)

Situés de part et d'autre de la route 307 au Sud du village de TULUM, les cénottes MAYAN BLUE et NAHARON totalisent 22 500 mètres. La première traversée a été réalisée par JIM COKE, TOM YOUNG, et PAUL HEINEITH en 1989. La connexion avait été réalisée l'année précédente par MIKE MADDEN et JOHANA DE GROOR. La traversée fait 1500 mètres de long, impose de passer deux étroitures.



Tout près de la côte, nous avons commencé l'exploration du cénote CABANES . Le lac d'entrée mesure 35 mètres de long sur 15 de large. Il donne accès à un labyrinthe dont nous avons topographié 407 mètres de galeries. Nous n'avons pas noté de courant significatif. Cette cavité présente quelques grandes salles, très peu concrétionnées. L'exploration n'en est pas terminée, aussi bien à l'aval qu'à l'amont. La salinité est de 5 g/l, tandis que la dureté y atteint 1,3 g/l.



300 mètres au Sud-Est, s'ouvre un autre cénote, le cénote CAPE-HA inexploré où nous avons effectué une brève reconnaissance en apnée. Une galerie amont et un galerie aval sont visibles dans ce lac qui mesure 30 mètres de long pour 10 de large. La proximité de CABANES rend la jonction imaginable. On note un léger courant et l'eau est extrêmement claire.

Un peu plus à l'intérieur des terres, une série de cénotes alignés connue sous le nom de CANALE nous a été signalée et semble ne jamais avoir été explorée.

Le cénote OF THE SUN est peut être un accès à l'aval du système . Le cénote AK TULUM près du village de TULUM semble être sans connexion avec ce complexe. Des analyses d'eau y ont été effectuées

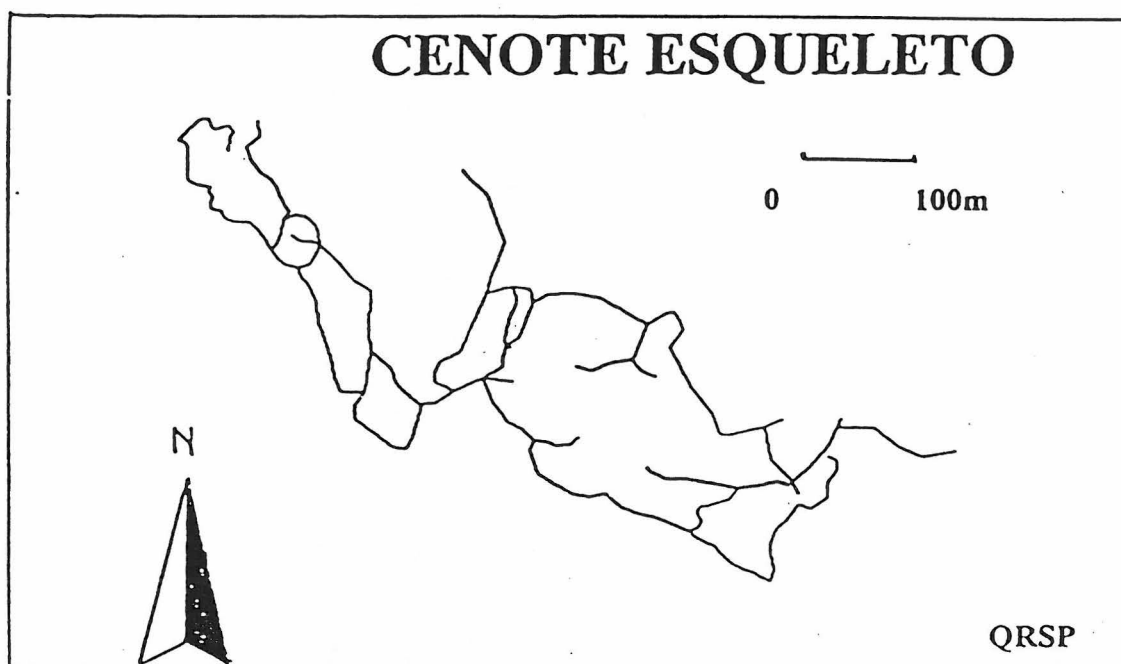
Il est de toutes façons assez difficile de faire la part entre le système de NARANJAL et celui du RANCHO ERIC. Les deux systèmes semblent en effet avoir eu un aval commun à un moment où le niveau de la mer était plus bas.

### III LE COMPLEXE SAC ACTUM (27 000 m)

#### CAR WASH .

Situé quelques mètres au Sud de la route de COBA, ce cénote a été exploré dans les années 80 . Au cours de l'été 95, PARKER TURNER et MIKE MADDEN ont découvert une nouvelle prolongation, très concrétionnée : la salle des larmes (room of tears). Le développement de cette cavité est estimé à 3500 m

Elle représente l'amont du complexe SAC ACTUM. CAR WASH est l'un des cénotes les plus visités . Les polémiques sur protection de cette cavité et sur l'impact des plongées touristiques sur le milieu ambiant restent vives. Cette grotte s'ouvre dans le Ejido TULUM auquel il faut acquitter un droit de 35 pesos.



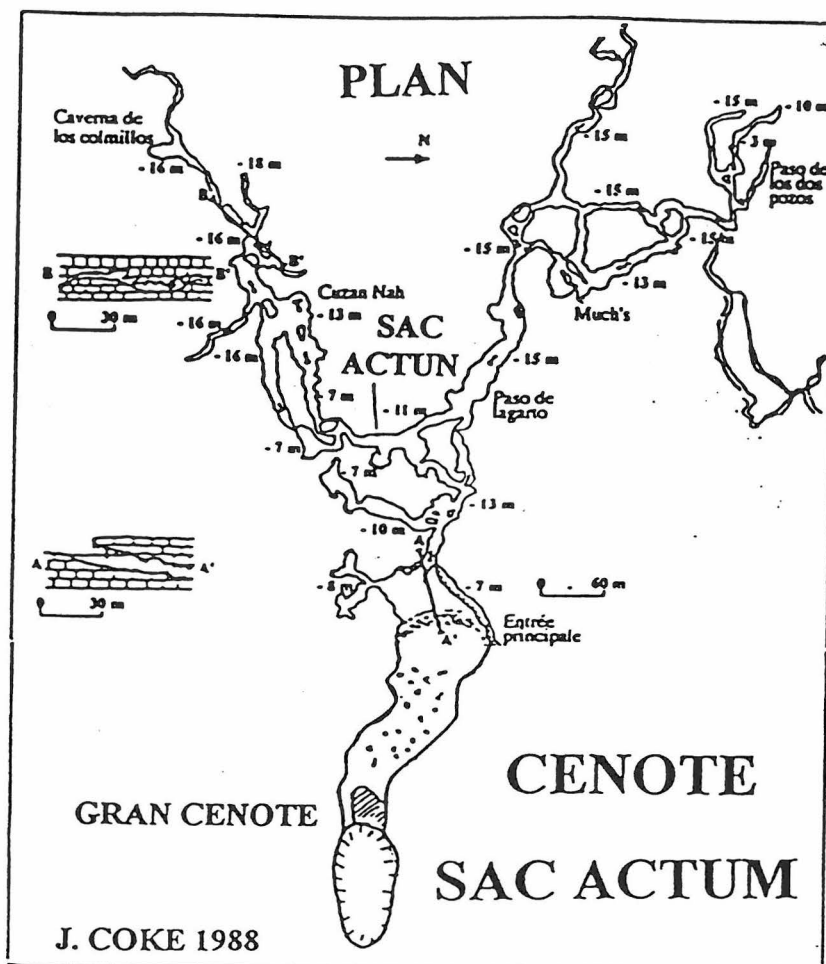
#### LE CENOTE ESQUELETO (ou TEMPLE OF DOOM)

Situé au Nord de COBA à proximité de l'intersection avec la route 307, ce cénote a été découvert et exploré en 1986 par MIKE MADDEN et DENNY ATHINSON. 200 mètres de grottes furent explorées cette même année, dont les deux grandes salles dites du COLISEUM et THE FANG qui contient une gigantesque stalagmite. En octobre et novembre 1995, GARY WALTEN, KAY POZDA WALTEN et SAM MEACHAM rajoutent 1100 mètres de continuations. La longueur totale de la cavité est estimée à 4000m.



## SAC ACTUM (GRAND CENOTE)

Le cénote SAC ACTUM est localisé 200 mètres au Sud de la route de COBA . GRAND CENOTE avec lequel il communique s'ouvre 100 mètres au Nord de la route chez CESAR qui demande 20 pesos de droit de visite. C'est assurément la grotte la plus visitée et l'une des plus spectaculaires de QUINTANA ROO. Ce cénote a été découvert par JIM COKE et STEVE DE CARLO en novembre 1988 grâce à l'utilisation d'un petit avion privé. Au cours du même vol, le cénote NOHOCH aurait aussi été aperçu. Le développement topographié de SAC ACTUM est aujourd'hui de 5100 mètres.



## VACA HA

Ce cénote a été montré par CAMILLO à TONY DE ROSA et STEVE GERRARD en mai 1992. Richement décoré, ce cénote développe 1200 mètres de galerie. 60 mètres seulement le sépare de CAR WASH. Son entrée est minuscule, et peu encourageante. Elle s'ouvre au Nord de la route de COBA.

## TORTUGA

Situé un kilomètre au Nord de VACA HA, ce cénote a été découvert en 1992. L'exploration a été menée par les AMIGOS OF PITTSBURGH en 1993, 94, 95 ALLEN JONASHAITIS, RANDY JONHSON, STEVE GERRARD, MARY et IVAN CAPELLI, CLIFF

**TOUCHA HA**

Ce cénote situé au Nord de la route de COBA développe 3000 mètres de galeries.

**CENOTE CRANEO**

Découvert récemment par le groupe de TONY DE ROSA, ce cénote est en cours d'exploration.

**CENOTE K'OXOL**

Au Nord Est de l'intersection de la route 307 et de la route de COBA. Nous n'avons pas d'informations sur ce cénote qui est situé assez loin de la zone aval du système SAC ACTUM

**CENOTE NAVAL**

Non topographié

**CENOTE ABEJAS**

Il s'agit de la sortie probable vers la mer du réseau SAC ACTUM. Découvert en 1987 ce cénote a la réputation d'être dangereux en raison des abeilles qui l'entourent et qui lui ont donné son nom. Son développement est de 8150 m. Il comporte peu de concrétions et beaucoup d'argile blanche de corrosion.

**L'ensemble de ces cénotes totalise 27 000 mètres de galeries réparties sur une dizaine de cavités qui forment le complexe hydrogéologique de SAC ACTUM.**

## IV NOHOCH

**NOHOCH NAH CHICH** est la plus grande cavité noyée connue actuellement au monde. Elle a été explorée sous la direction de **MIKE MADDEN** qui a su mettre en oeuvre des moyens en relations avec la taille de la cavité. A fin 1996, NOHOCH mesure 70 kilomètres de développement . La connexion à la mer a été effectuée début 1996 au lieu dit « **CASA CENOTE** ». Cette connexion a une forme labyrinthique, la grotte y est peu concrétionnée, et extrêmement corrodée. L'eau s'échappe par une galerie modeste débouchant le long de la côte. Il n'y a pas de « grande sortie d'eau majestueuse au large des côtes »

NOHOCH a été découvert en novembre 1988. Sa localisation a été indiquée par les indiens matas. Elle s'ouvre à 3 kilomètres de la route à l'intérieur de la jungle . Le cénote s'ouvre directement sur le collecteur dont il creve la voûte. Cette galerie atteint par endroit 10 mètres de haut pour 20 de large . Cette cavité est exploitée touristiquement par **MIKE MADDEN** . la combinaison d'une marche dans la jungle, et d'une séance de « palme-masque-tuba » loin sous terre « l'INDIANA JONES jungle adventure trip ».

NOHOCH est connecté à de nombreux autres cénotes comme **DINNER HOLE**, **FERNDOCK**, **TANKAH**, **BALANKANCHE**...

## V DOS OJOS / XEL-HA

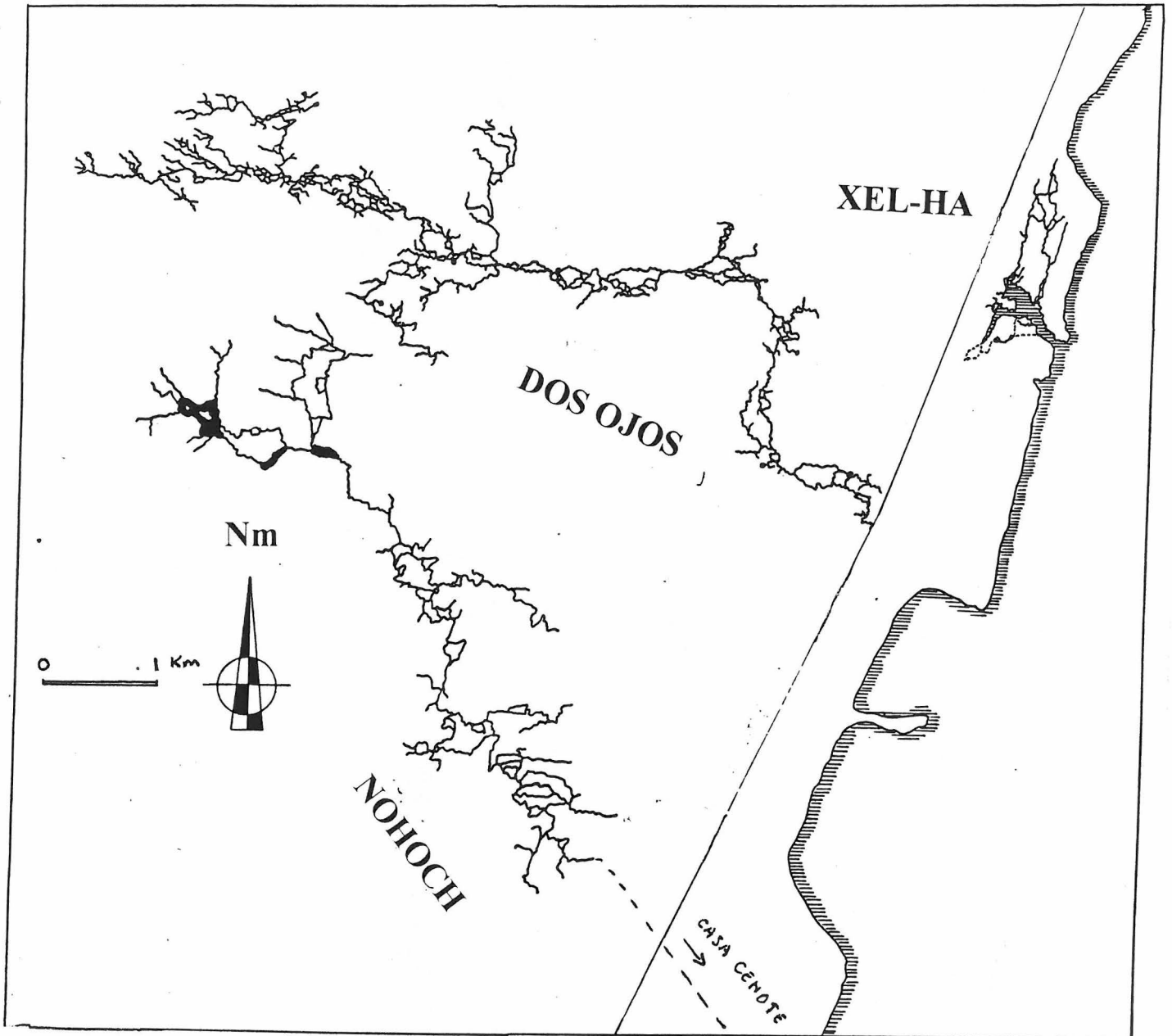
**DOS OJOS** est une autre rivière dont l'exploration a commencé en 1986 par **JIM COKE** et **JOHANA DE GROOT** . De nombreux plongeurs (plus d'une centaine) ont participé à cette exploration. Son développement actuel dépasse 35 kilomètres. Une traversée **DOS OJOS**, **MONOLITH** de 1650 mètres est proposée aux plongeurs très expérimentés.

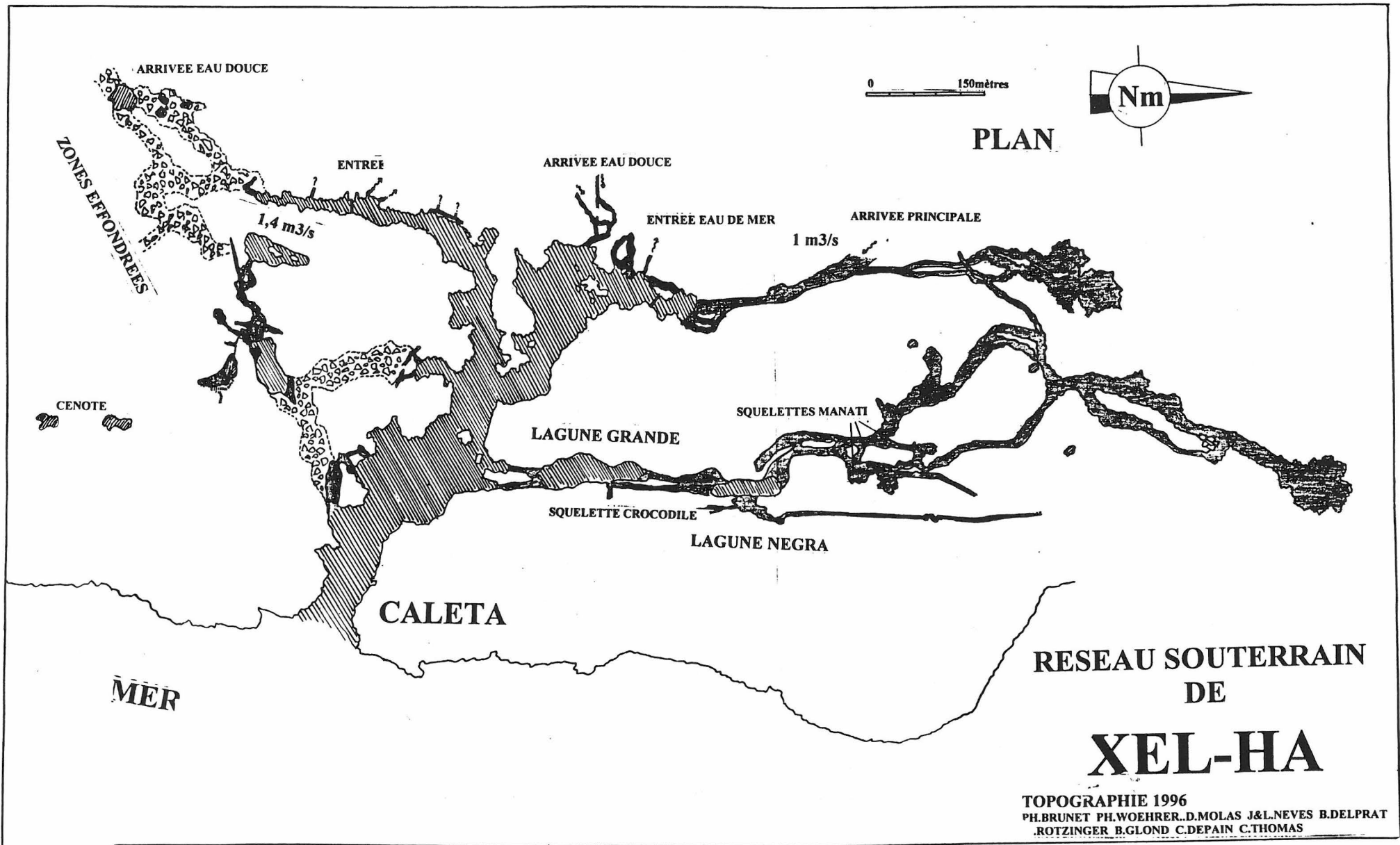
A l'amont, **DOS OJOS** se rapproche de **NOHOCH** et 200 mètres seulement séparent les chevelus de drainage des deux cavités. Malgré de nombreux efforts, la connexion entre ces deux cavités hydrogéologiquement bien différenciées n'est pas réalisée.

**DOS OJOS** s'ouvre sur le territoire du **EJIDO JACINTO PAL**. Le ejido est une collectivité maya organisée selon les lois Mexicaines semblables à toutes les lois sur les réserves indiennes. Le ejido est indivisible et inaccessible pour préserver la propriété des terres mayas. Les négociations avec ce ejido se sont toujours révélées difficiles et les explorations ont dû être interrompues à plusieurs reprises. Pendant notre passage, **MIKE MADDEN** a été surpris dans le territoire du ejido alors qu'il n'en avait pas obtenu l'autorisation. Son équipement a été saisi, et il a été traîné en justice.

L'équipe de **STEVE GERRARD** a réalisé une grosse expédition (rapportée au jour le jour sur internet) au cours de l'été 96 dans le but de réaliser la jonction avec **NOHOCH**...qu'il lui reste encore à faire !

**HILARIO'S WELL**, **TAK BIHRA**, **TIKIN CHI**, **KENTUCKY CASTLE**, **EK BE**, **HIGH VOLTAGE**, **DOS PALMAS** sont parmi les cénotes qui communiquent avec **DOS OJOS**. L'exurgence du système pourrait être **XEL HA** et ses environs, mais la communication n'est pas évidente.





**XEL HA** . La Caleta de Xel-Ha est constituée d'un ensemble de bras de mer pénétrant dans les terres et de lagune. Cet ensemble peut être réparti en trois parties: une zone d'effondrement au sud-ouest, la Laguna Negra au nord-est et la zone des ruines maya au centre. L'ensemble du site constitue une réserve biologique et faunistique importante ainsi qu'un centre de loisir ouvert aux touristes. Ceux-ci peuvent tout particulièrement profiter des poissons qui vivent ici en très grand nombre et facilement observable en apnée. La Calieta, ouverte d'un côté sur la mer des caraïbes est alimentée également en eau douce par plusieurs sources.

A l'ouest, un bras de mer étroit est le témoin d'une rivière effondrée. Plusieurs ravins dans la jungle, un cénote et quelques courts tunnels noyés montrent qu'une rivière arrivait, arrive ici. Malheureusement, l'effondrement des galeries ne permet pas de pénétrer dans la rivière.

Au centre, plusieurs petites grottes sont rapidement impénétrables, même si un courant important se fait sentir venant de l'ouest. A l'est de cette zone réurge la rivière de Xel-Ha, puissante source, provenant du Nord.

A l'est, un bras de mer se prolonge par deux couloirs noyés, vers la Laguna Negra. La profondeur de ces tunnels empêche l'eau saumâtre stagnant en surface de la lagune de s'échapper vers la mer. L'eau est donc trouble, marron et, ... très peu visitée par les touristes. Pourtant, une rivière débouche à son extrémité.

Le complexe touristique, restaurants, boutiques, douches, ... et les bureaux administratifs de la réserve sont situés sur la péninsule qui sépare la zone des ruines maya, de la zone de la laguna negra.

La source pénétrable la plus importante de Xel-ha est celle de la zone des ruines maya. En fait, elle constitue le bras principal d'un delta souterrain dont l'autre bras réurge dans la laguna negra. La galerie haute et vaste est malheureusement totalement troublée par l'halocline (mélange d'eau douce et salée), obligeant à circuler à des niveaux différents selon que la marée soit montante, l'eau de mer pénétrant alors dans la grotte, l'halocline est haut ou descendante, l'eau de mer sortant de la cavité, l'halocline est bas. Peu après l'entrée dans la galerie, un trou au plafond montre l'épaisseur très faible du recouvrement rocheux. Nous sommes pourtant exactement au niveau de la route d'accès au parking du complexe, où passent près d'une centaine de bus chaque jour!!

Après deux cent mètres et le passage d'une grande dalle effondrée, le couloir se rétrécit et se dédouble. Nous trouvons ici la physionomie particulière de ce réseau. Les passages ne sont pas évidents, avec de fréquents éboulements et des élargissements importants par endroits. La fin de cette branche est trouvée vers les huit cent mètres dans un laminoir très bas où les robinets des bouteilles doivent creuser leurs traces au plafond de la galerie. Plusieurs passages se connectent dans ce qui forme un beau labyrinthe trouble. Cette zone est intensément corrodée, sans qu'un courant n'y soit sensible.

La descente vers la résurgence de la Laguna negra, est étrange. Il faut traverser une couche floconneuse de tanin et d'algues avant de déboucher dans une eau cristalline sous un ciel d'orage. Les parois de la lagune sont extrêmement verticales, souvent surplombantes, signe manifeste de l'origine souterraine de ce lac, résultant de l'effondrement de la voûte d'une galerie très large. L'entrée de la grotte est cachée par de gros blocs de rocher, mais trahie par la danse de 5 poissons âgés de 50 cm de diamètre qui se tiennent habituellement sous la voûte d'entrée de la cavité.

La progression s'est faite dans un premier temps sur le flanc est de la galerie, sans que le côté opposé soit distinctement visible. Cette galerie est d'origine karstique, anciennement exondée, ce que prouvent plusieurs concrétions. Aujourd'hui, la corrosion intense du mélange

eau douce eau saline élargie la cavité au niveau de l'halocline, en des salles plutôt basses. A 250 mètres, un squelette de lamantin repose au sol, en connexion anatomique. La confusion avec un squelette de vache qui aurait pu venir de la surface par un effondrement proche, fera nommer cette galerie « no bullshit », puis « bullshit » par nos amis portugais. Les vertèbres caudales très caractéristiques et la forme du crâne ont vite levé tous les doutes. 2 autres squelettes seront trouvés dans des galeries proches, dans un rayon de 100 mètres. Cimetière marin ou trace d'une tragédie pour un groupe d'adultes aventureux? La qualité des ossements ne permet cependant pas de les sortir sans précaution, tant leur fragilité est importante. Cependant, un projet de stabilisation par traitement électrique sera proposé aux responsables de la réserve.

Immédiatement au Nord, la galerie devient sinueuse, tortueuse, encombrée de blocs, la suite ne peut être là. D'ailleurs le passage devient vite impossible. Il faut retourner.

La suite est du côté ouest de la galerie, vaste mais basse. La roche friable est totalement rongée, d'une blancheur aveuglante. Au sol, une vase marmoréenne, impalpable se lève au moindre mouvement. Pourtant le ramping est souvent le mode de locomotion privilégié, source de brouillard opaque. Heureusement, la diversité et la beauté des coquillages fossiles qui parsèment le sol, font oublier une ambiance un peu éprouvante.

La fin du réseau est atteinte après près d'un kilomètre, plusieurs chemins conduisant tous à des rétrécissements impénétrables. Il s'agit d'un immense plan noyé, creusé par l'halocline. Les mouvements du plafond plus ou moins bas séparent ce laminoir en plusieurs zones. Les blocs de roches retrouvés à la sortie entre les bouteilles et dans les robinetteries, sont les témoins des heurts perpétuels entre le plongeur et la cavité. Mais la roche est fragile, et, si cela provoque des pluies de fragments, cela permet aussi de forcer le passage lorsque cela devient nécessaire.

De retour vers l'entrée de la cavité, un effondrement donne accès à une belle galerie phréatique peu remaniée dans sa première partie. La suite est plus classique et on devine vers la mer d'immenses espaces malheureusement trop bas. Cette galerie rejoint la galerie principale à un carrefour ou aboutit une autre galerie. Cette galerie est en réalité la plus importante.

La galerie d'entrée est en réalité très vaste. A l'est le passage fait 2 à 3 mètres de diamètre. A l'ouest, le passage est plus grand et est très régulièrement connecté à l'autre par des galeries transversales, des salles de 10 à 20 mètres de diamètre. Les galeries sont très nettement phréatiques, avec la présence de stalactites, de stalagmites et de colonnes massives. A 600 mètres environ une étroite galerie, ancienne arrivée d'eau exondée, permet après passage d'une étroiture verticale, de rejoindre la branche de Xel-Ha.

En fait, les deux branches sont sans doute connectées par une multitude de passages, ou plutôt par un vaste et mince plan, creusé au niveau de l'halocline. La galerie la plus à l'ouest, Xel-ha intercepte l'eau douce provenant de l'intérieur des terres. La galerie, la plus à l'ouest Laguna negra, sert de réservoir d'équilibre où se mélangent en permanence l'eau douce et l'eau salé, ce qui explique son aspect protéiforme.

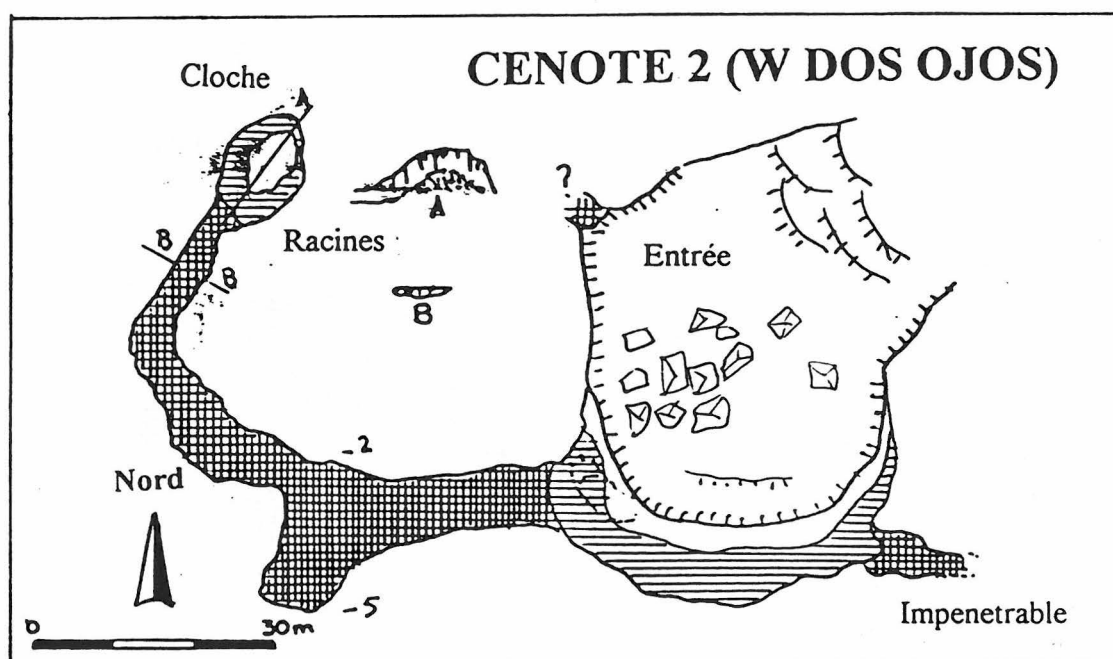
L'examen attentif de topographie montre où se trouve la véritable arrivée de la rivière. Une dernière plongée confirma cette analyse avec la découverte d'une zone où l'halocline est anormalement bas. Il ne reste plus qu'à poursuivre.

## LES CENOTES AU NORD DE DOS OJOS

Nous avons prospecté de 1995 à 1997 la zone située au Nord de DOS OJOS. Nous y avons découvert des phénomènes de surface, témoins d'anciens écoulements aujourd'hui obstrués ou effondrés. Nous en donnons ci dessous la description.

### Cenote 1

Un guide maya du ejido Jacinto Pal nous a montré en 1995 deux cenotes situés à l'Ouest de DOS OJOS, à 1 heure et demi de marche. Le premier cenote est une grotte sympathique qui donne sur un petit plan d'eau dont la plage est constituée d'écailles de calcite. La calcite se forme en surface et coule au fond quand les cristaux sont trop lourds. Une vingtaine de mètres de galerie descendant jusqu'à -5 mène à un endroit où le passage est définitivement bouché par le concrétionnement.



Topo J.P. Stefanato 20.02.95

### Cénote 2

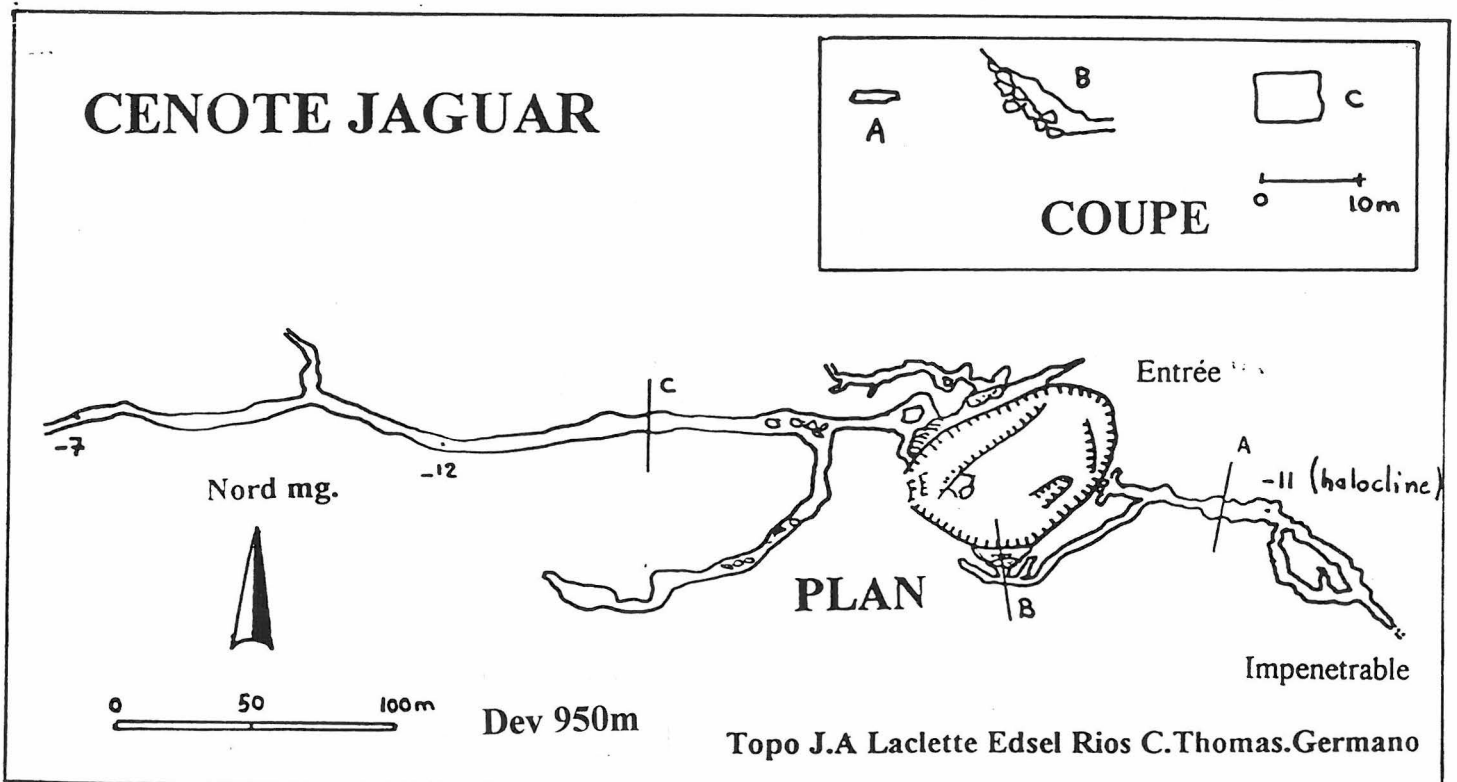
Le second cenote est situé à une centaine de mètres du premier. C'est une dépression d'une cinquantaine de mètres de diamètre, encombrée par la forêt, qui s'ouvre sur un plan d'eau d'une dizaine de mètres de longueur

Une galerie pouvant atteindre une dizaine de mètres de large aux concrétions immaculées, et envahissantes qui obligent parfois à chercher le passage. mène au bout d'une trentaine de mètres vers l'Ouest à une étroiture entre les stalagmites avant de déboucher au bout de 90 mètres de fil dans une salle encombrée d'un monticule de sable. Un amas de racines et quelques chauves-souris marquent la fin de la cavité.



## Le Cénote JAGUAR

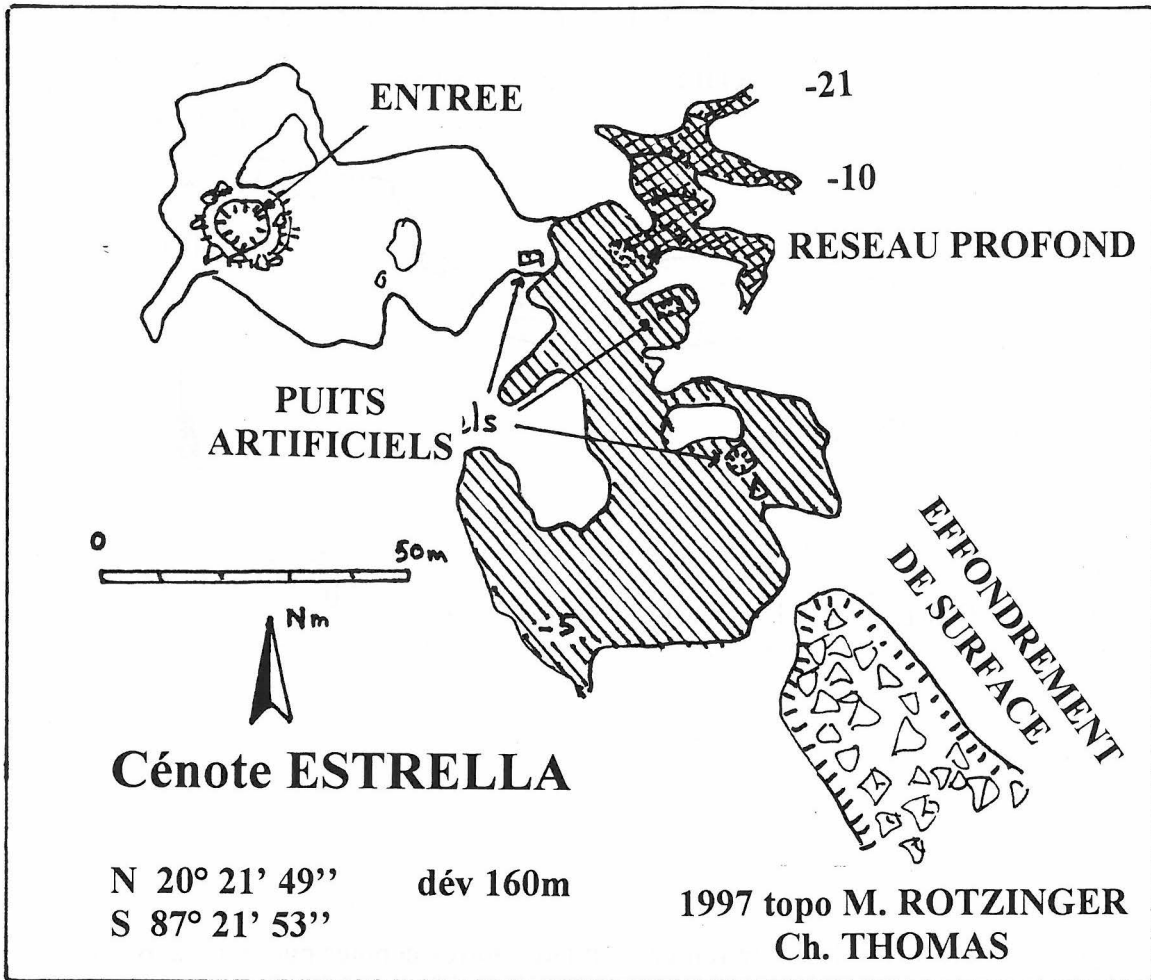
Au cours de l'expédition 1996, puis en 1997 nous explorons un cénote situé au Nord du Ejido.: le CENOTE JAGUAR . L'entrée nous est montrée par JORGE le propriétaire du terrain. Il a ouvert le chemin et débrousser le cénote. Il espère que son cénote se transformera en un haut lieu touristique. Le cénote se présente comme une vaste dépression de 50 mètres de diamètre. Un premier plan d'eau est d'accès évident. MIKE MADDEN a déjà plongé une fois ici sur environ 300 mètres et nous avons son croquis d'exploration. La galerie est très peu concrétionnée, creusé dans l'halocline et très argileuse. La galerie principale large de 3 mètres pour 2 de haut et se termine sur des passages étroits et argileux . Nous topographions au total 700 mètres de galerie dans cette zone . De l'autre coté de la dépression, une mare peu engageante permet d'explorer la partie amont du réseau . Une étroiture donne accès à un petit réseau de galeries surbaissées (moins d'un mètre de haut en moyenne creusé dans l'interface eau douce / eau salée. ) . 250 mètres de réseau sont topographiés, ce qui porte le développement de ce réseau à 950 mètres.



## Le cénote ESTRELLA

JORGE poursuit un travail de prospection systématique de son terrain et des dizaines de cénotes y ont été découverts. Aucun ne donne accès à de grands réseaux. Nous sommes très souvent dans des cavités situées très au dessus de l'halocline actuel. Ils sont les témoins d'écoulements anciens à une époque où le niveau de la mer était plusieurs mètres au dessus du niveau actuel. Le cénote ESTRELLA s'ouvre par un petit gouffre d'effondrement qui donne accès à une galerie sèche dont la morphologie évoque un creusement en halocline (2 mètres de hauteur pour 20 de large. Après une cinquantaine de mètres de progression, on rencontre l'eau . Un lac semi siphonnant constitue la suite de la cavité. Le sol est remblayé par des paillettes de

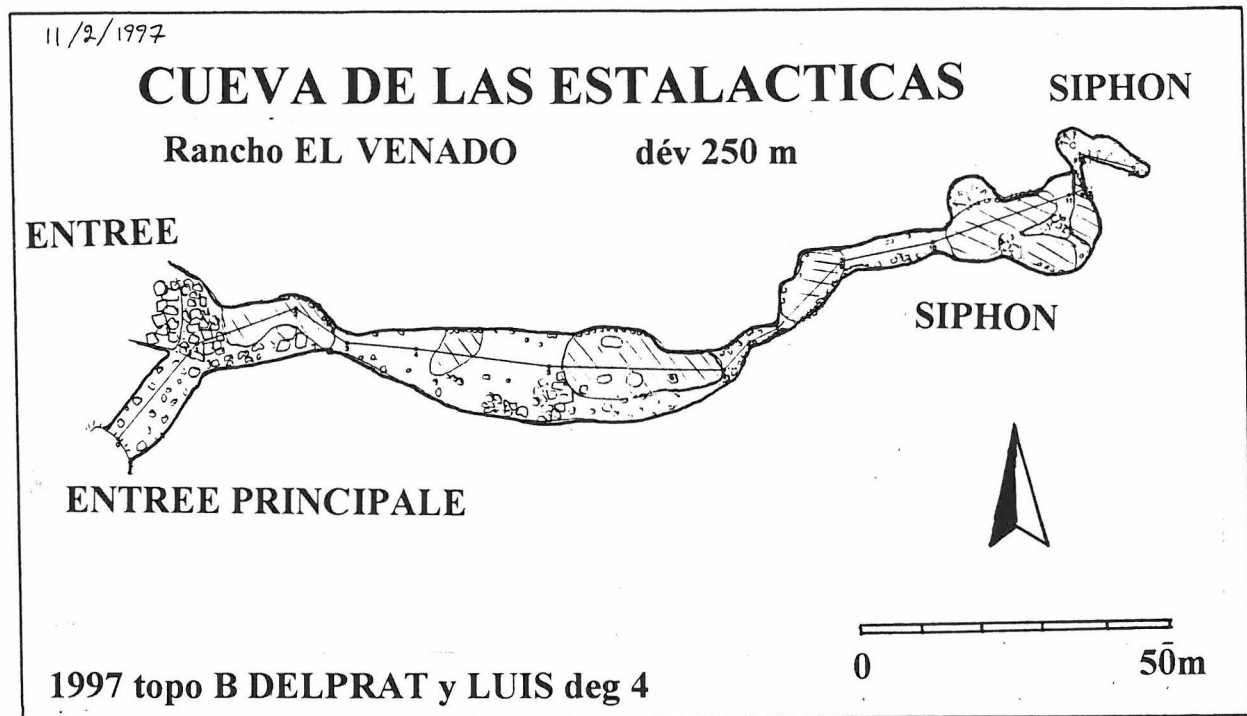
calcite flottante. Un expérience de creusement à l'aide d'une pompe réalisée par Marco Rotzinger et par Jorge a montré que cette couche était épaisse d'au moins un mètre. Un puits donne accès à la partie profonde de la cavité, qui descend à 35 mètres de profondeur



### La CUEVA DE LAS ESTALACTICAS

Cette grotte de 250 mètres de développement se trouve également dans la propriété de JORGE, le rancho EL VENADO. De la même façon que le cenote ESTRELLA, cette cavité s'est creusée dans un paléohalocline situé 10 mètres au dessus de l'halocline actuel.

L'eau s'y rencontre sous la forme de lacs et de deux courts siphons ensablés par de la calcite flottante sédimentée typique de ce genre de cavités .



La jungle de la propriété de Jorge renferme quatre autres cénotes que nous avons explorés : Chango, Abismo, Mariano et Pitch. Ces cénotes sont très voisins et sont situés à une demi-heure de marche du chemin qui longe le sud du terrain de Jorge.

### Cénote Abismo

Le cénote mesure une trentaine de mètres de diamètre. Son accès nécessite une désescalade de 5 m relativement périlleuse avec le matériel de plongée. La descente se poursuit par un éboulis au bout duquel on trouve un vaste lac (10 m x 5 m). On s'immerge afin de reprendre la descente., Vers -15 m, on croise l'hallocline. Au fond (profondeur -18m) une salle creusée par l'hallocline s'est développée sur une cinquantaine de mètres de circonférence, la hauteur moyenne est de 1,5 m. La salle se termine en pincement sol - plafond. Le sol est recouvert d'un dépôt sédimentaire très fin rendant rapidement la visibilité très médiocre. La roche est très friable (elle se broie lorsque l'on attache un élastique de fil d'ariane). Sur le versant sud de l'éboulis, vers -10 m, on ressent un léger courant entrant.

### **Cénote Pitch**

Marco a plongé dans ce cénote. Après avoir regroupé nos observations il semble que le cénote Abismo soit en relation avec le cénote Pitch. En effet, celui-ci présente une zone de courant absorbant dans le fond et la distance à vol d'oiseau n'est que de quelques dizaines de mètres.

### **Cénote Chango [20°21'26,9 N - 87°22'25,5 W]**

C'est un tout petit cénote dont l'accès est aisé. Sur le coté, on pénètre par un petit porche. Au bout de l'effondrement se cache une magnifique vasque (5m x 2m). Après immersion, on poursuit la descente du cône d'éboulis jusqu'au terminus situé à -12 m. Le bas du cône fait une trentaine de mètres de diamètre et peut être visité sur  $\frac{3}{4}$  de tour, pas de suite apparente dans le fond, ni sur les cotés. L'eau est douce, sa clareté est bonne.

On notera la présence de plusieurs planchers stalagmitiques effondrés (concrétions à 45°).

### **Cénote Mariano**

Denier cénote du coin. Comme pour tous ces cénotes on y accède par la descente d'un éboulis. On pénètre ensuite dans une admirable petite grotte concrétionnée d'une trentaine de mètres de long terminé par un siphon. La galerie possède une section moyenne de 2 m par 1,5 m de haut, elle est jonchée de concrétions du type coulée stalagmitique ou colonne d'un blanc presque parfait. Le siphon prolonge la galerie de 25 mètres, au bout le dépôt sédimentaire rejoint le plafond rendant la progression impossible. L'eau est douce. Le tour détaillé du siphon ne révèle aucun départ mais lève une abominable touille blanche. Dommage, cette jolie petite grotte laisse un goût de trop peu.

### **Cénote San Miguel**

Cette source est connue localement pour son captage d'eau potable. Le cénote est gigantesque : 30 m x 20 m. L'eau, située 8 m en dessous recouvre la totalité de celui-ci. Une rapide plongée ne nous a pas permis de trouver de départ, mais la totalité du lac n'a pas été explorée. La profondeur maximale est -21 m. L'exploration est à poursuivre.

# Cénote MARIANO

EXPEDITION YUC 97 FFS FFESSM CDe 08-02-97

PLAN

Nm  
1997

0 Mètres 25

SIPHON

# Cénote ABISMO

COUPE

0 m

[20°21'26,9 N - 87°22'25,5 W]

# Cénote CHANGO

COUPE

HALLOCLINE -15 m

-18 m

0m

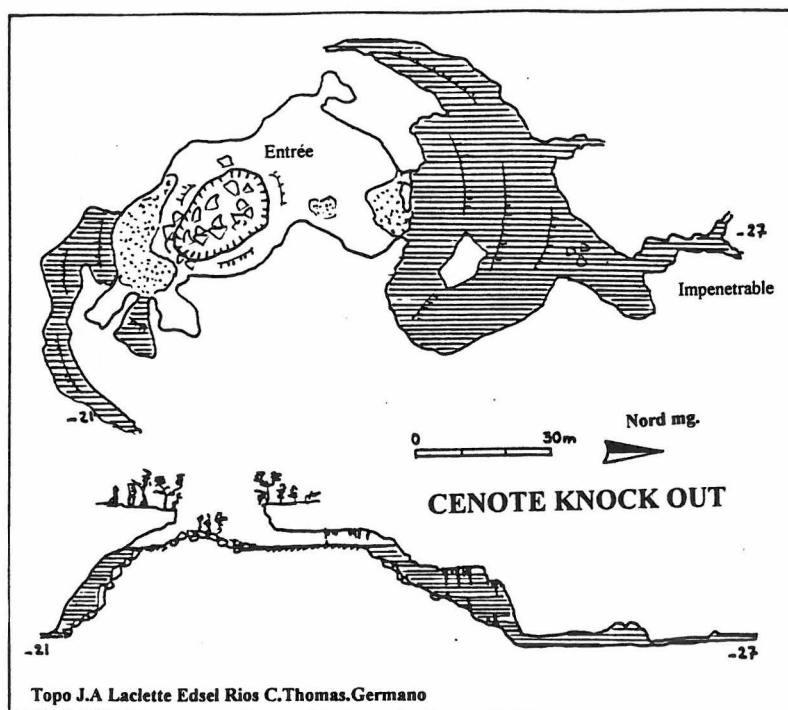
-12 m

## V LE COMPLEXE DE X-CACEL

Connu aussi sous le nom de cénote CAN (le serpent), ce cénote est à quelques dizaines de mètres d'un autre cénote sans continuation.

Nous l'avons exploré au cours de l'expédition de reconnaissance de 1995 . A partir de la route 307, prendre à hauteur du croisement vers AKUMAL le chemin carrossable qui rentre dans la jungle. Après quelques dizaines de mètres, prendre à droite le chemin qui suit la ligne électrique. Le suivre pendant deux kilomètres, jusqu'à l'endroit où il cesse d'être pénétrable. Nous sommes à cet endroit à environ 1500 mètres de la côte, juste à hauteur de la caleta YALKU. Cette caleta est formée de deux courtes rivières séparées de 800 mètres.

Nous passons auprès d'un premier cénote déjà exploré par JOSE ANTONIO et EDSEL. Quelques dizaines de mètres plus loin, un puits de 20 mètres de diamètre et 5 mètres de profondeur s'ouvre devant nous. Deux vasques, l'une au Nord, l'autre au Sud sont explorées . Cependant, aucun de ces deux siphons ne donne accès à une continuation. Nous sommes sous l'halocline, à une profondeur de 21 mètres dans des galeries sans courant et extrêmement corrodées. Peut être s'agit il d'un paléohalocline qui serait situé 8 mètres sous l'halocline actuel.



D'autres cénotes sont isolés, et ne donnent accès qu'à des grottes de courte extension

Le cénote ALHAMBRA est situé à hauteur de PLAYA AVENTURAS 2 kilomètres à l'intérieur des terres. Il est indiqué sur les cartes hydrogéologiques. C'est une galerie unique correspondant à un collecteur effondré à l'amont et à l'aval. Il est visitable sur 250 mètres à l'aval et 400 mètres à l'amont. Il pourrait être en relation avec l'exurgence de X-CACEL.

Le cénote TEMPLE, et le cénote MARIA ISABEL pourraient être des regards sur cette circulation. . Nous n'avons en revanche pas d'informations sur les cénotes HALF MOON , 27 STEPS et X'DZONOT situés à hauteur d'AKUMAL.

## VI LE COMPLEXE DE XPU HA

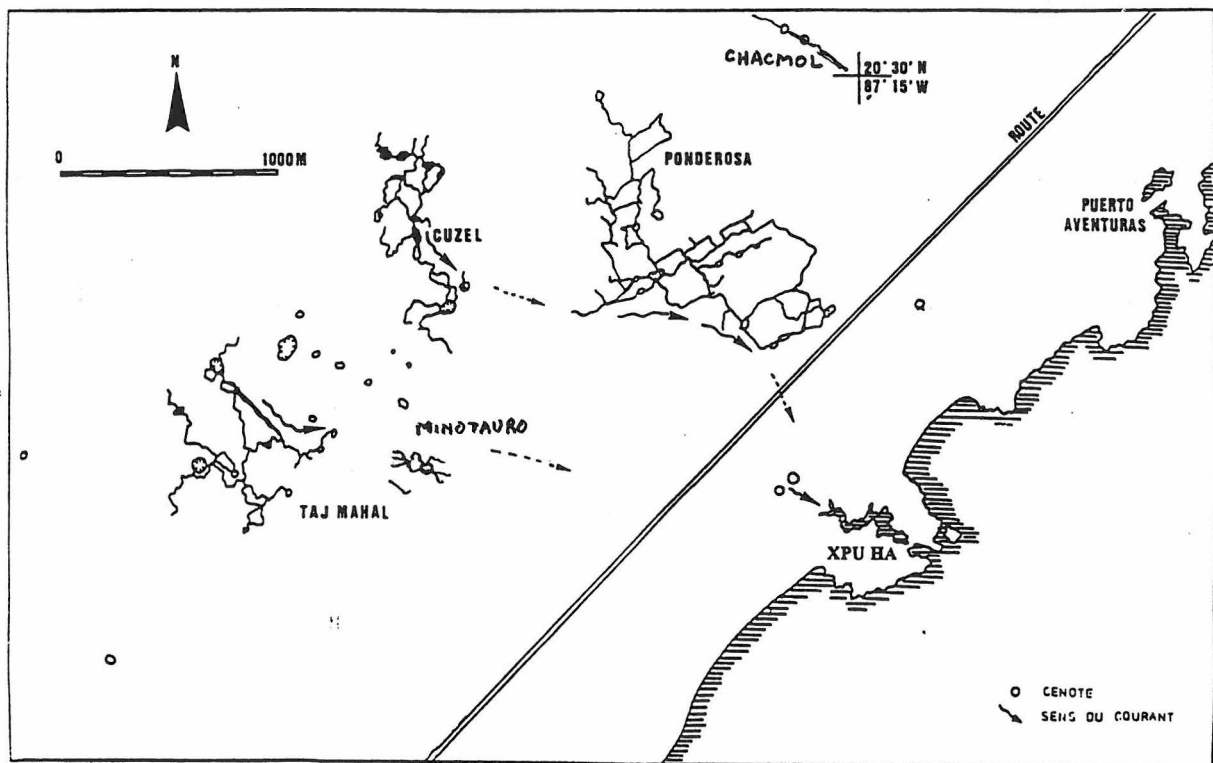
En juin 1990, TONY ET NANCY DE ROSA découvrent et explorent un cénote près de PUERTOS AVENTURAS. Ils découvrent entre autre une salle de 30 mètres de large pour 100 mètres de long, richement ornée qu'ils baptisent la CHAPELLE. La cavité développe 12 kilomètres de long et est connectée à 19 cénotes. Son aval est situé à moins de 800 mètres de XPU HA exurgence assez puissante mais impénétrable. Parmi les cénotes du système deux s'ouvrent près de la route et font l'objet d'une exploitation touristique. Le système est appelé PONDEROSA, allusion au nom des découvreurs.

En 1993, la même équipe découvre le cénote TAJ MAHAL. Elle découvre le grand couloir qui est l'intérêt principal de la cavité avec des dimensions de 15 à 20 mètres de large pour 10 de haut. Ils topographient environ 3000 mètres de grotte.

En 1996, MARCOS ROTZINGER ouvre une piste jusqu'à un nouveau cénote baptisé CUZEL (jeune fille) qu'il nous offre d'explorer avec lui. Nous explorons 5000 mètres de cavités. Nous reprenons également la grotte de TAJ MAHAL dans laquelle nous topographions également 5000 mètres de tunnels.

En fin, deux cénotes moins importants sont découverts en 1997, le MINOTAURE, et CHACMOL.

Au total, ce complexe totalise 25000 mètres de réseau répartis en cinq cavités. CUZEL est distant de PONDEROSA d'environ 500 mètres, et de TAJ MAHAL de 600 mètres. Des cénotes sont visibles en photographie aérienne entre CUZEL et TAJ MAHAL.



SYSTEME XPU-HA

**CUZEL**

Le cénote de CUZEL a comme nom maya TAN CAH le cénote de l'once. Le nom de CUZEL qui veut dire jeune fille en maya est en fait le nom du terrain occupé par le ranch de MARCO ROTZINGER au bord de la route.

Un chemin de terre, ouvert par MARCO et JORGE permet après deux kilomètres de progression d'atteindre une dépression taillée à l'emporte pièce dans la roche. C'est l'entrée principale du cénote de CUZEL. Au nord de la dépression, un lac donne accès au réseau.

**La galerie A**

Au Nord, laprès avoir nagé une quarantaine de mètres dans le lac d'entrée, la voûte rejoint la surface de l'eau et l'exploration en plongée peut commencer. Un passage surbaissé donne accès à une très grande salle bien concrétionnée de 50 mètres de large pour 60 de long. Au nord de la salle, les dimensions deviennent plus raisonnables et nous navigons dans une galerie drain de 10 mètres de haut pour 7 de large. A 250 mètres de l'entrée cette galerie que nous avons baptisé galerie A, marque un tournant à 90° sur la droite. Nous sommes en fait à un carrefour et une galerie surbaissée se poursuit vers le Nord : la galerie B.

Poursuivant la galerie A, nous aboutissons à 500 mètres de l'entrée à un nouveau carrefour, et à un nouvel angle droit. Deux galeries partent de ce carrefour : La galerie F, en contrebas vers le Nord Ouest, et la galerie E, orientée vers le Nord, une vingtaine de mètres plus loin dans la paroi gauche de la galerie A. Au carrefour avec la galerie F, la galerie A se poursuit sur la droite.

Elle suit maintenant une fracture N E/S W. Plusieurs cloches sont visibles au plafond. A 700 mètres de l'entrée, une salle de 40 mètres de long pour 20 de large marque le terminus des grandes galeries. La descente d'un petit puits permet en plusieurs crans d'atteindre une galerie creusée dans l'halocline, et après une petite zone labyrinthique d'arriver dans une grande salle surbaissée de 100 mètres de long pour 40 de large.

La profondeur est ici de 11 mètres. Cette salle ne mesure que deux à trois mètres de hauteur et se développe entièrement dans l'halocline. La voûte extrêmement fragile, et le sol recouvert d'argile fine limitent très rapidement la visibilité à quelques décimètres. Quelques prolongements sans importance conduisent à des passages très étroits que nous n'avons pas forcés à un peu plus de 1000 mètres de l'entrée.

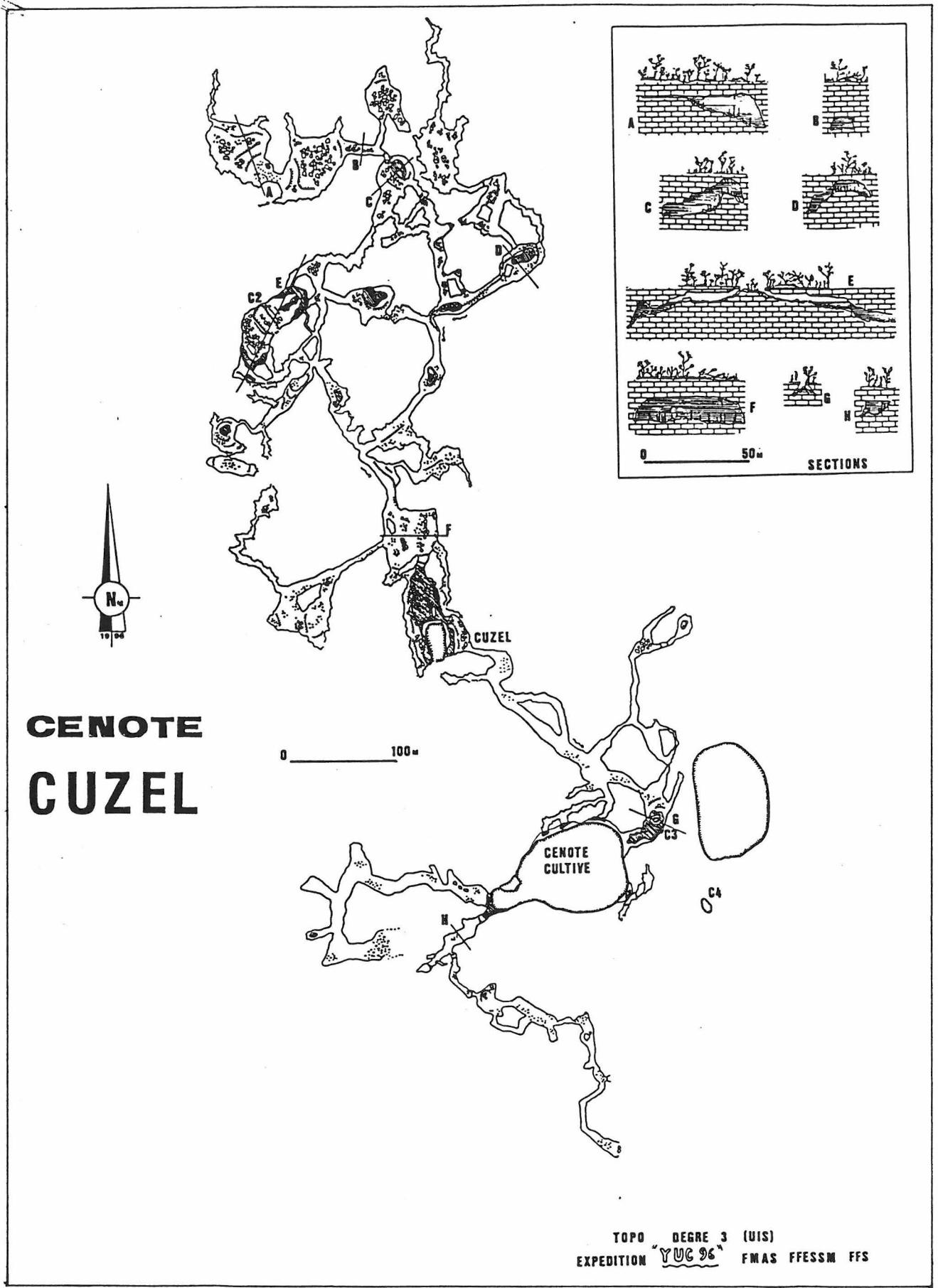
Sur la galerie A, se branchent quelques ramifications. La plus importante se branche à 50 mètres de l'entrée, dans la grande salle, à gauche en regardant le fond. Un réseau de 150 mètres de long, se dirigeant grossièrement vers l'Ouest, se termine dans une salle concrétionnée, partiellement éboulée se poursuivant par des étroitures que nous n'avons pas forcées. La topographie montre que nous sommes à moins de 30 mètres de la partie terminale de la galerie B qui se poursuit au Sud du cénote DEDALE.

Une autre ramification se branche en face de la galerie B. Elle donne accès à un petit labyrinthe très concrétionné, creusé à 5 mètres de profondeur dans une ancienne salle de corrosion correspondant à un ancien halocline. La largeur des galeries atteint 15 mètres de large pour une hauteur n'excédant pas deux mètres.

**La galerie B . Le cénote DEDALE**

Cette galerie commence par une partie étroite, qui débouche sur une galerie de belle taille surmontée par une grande cloche d'air. Nous arrivons à un carrefour. La galerie de gauche se poursuit par un chapelet de salle dont certaines mesurent jusqu'à 30 mètres de





diamètre qui se dirige vers le Sud Ouest. La partie terminale de cette galerie se termine sur des étroitures impénétrables.

La galerie de droite conduit après un petit labyrinthe à un nouveau cénote que nous avons baptisé le cénote DEDALE.

#### **Les galeries E et F**

A l'Est, le cénote se poursuit par une galerie qui redonne après avoir traversé une belle salle dominée par une cloche dans la galerie A Cette galerie n'est autre que la galerie F

Au Nord le cénote donne sur une galerie de grande taille mesurant par endroit 20 mètres de large. Après 150 mètres, on rejoint la galerie E qui vient de la droite. Une grande salle de 20 mètres de large pour 60 mètres de long est dominée par une cloche où pendent des racines. Le prolongement vers le Nord mène à une grande salle creusée dans l'halocline de 70 mètres de diamètre. Un deuxième niveau de paléohalocline est visible à la cote -2. En passant par l'Ouest de la salle au niveau de ce paléohalocline, on accède à la salle terminale de la cavité bien ornée, qui ne mesure pas moins de 40 mètres de large pour 80 mètres de long. De petites galeries sans importance se développent dans l'halocline.

#### **L'aval**

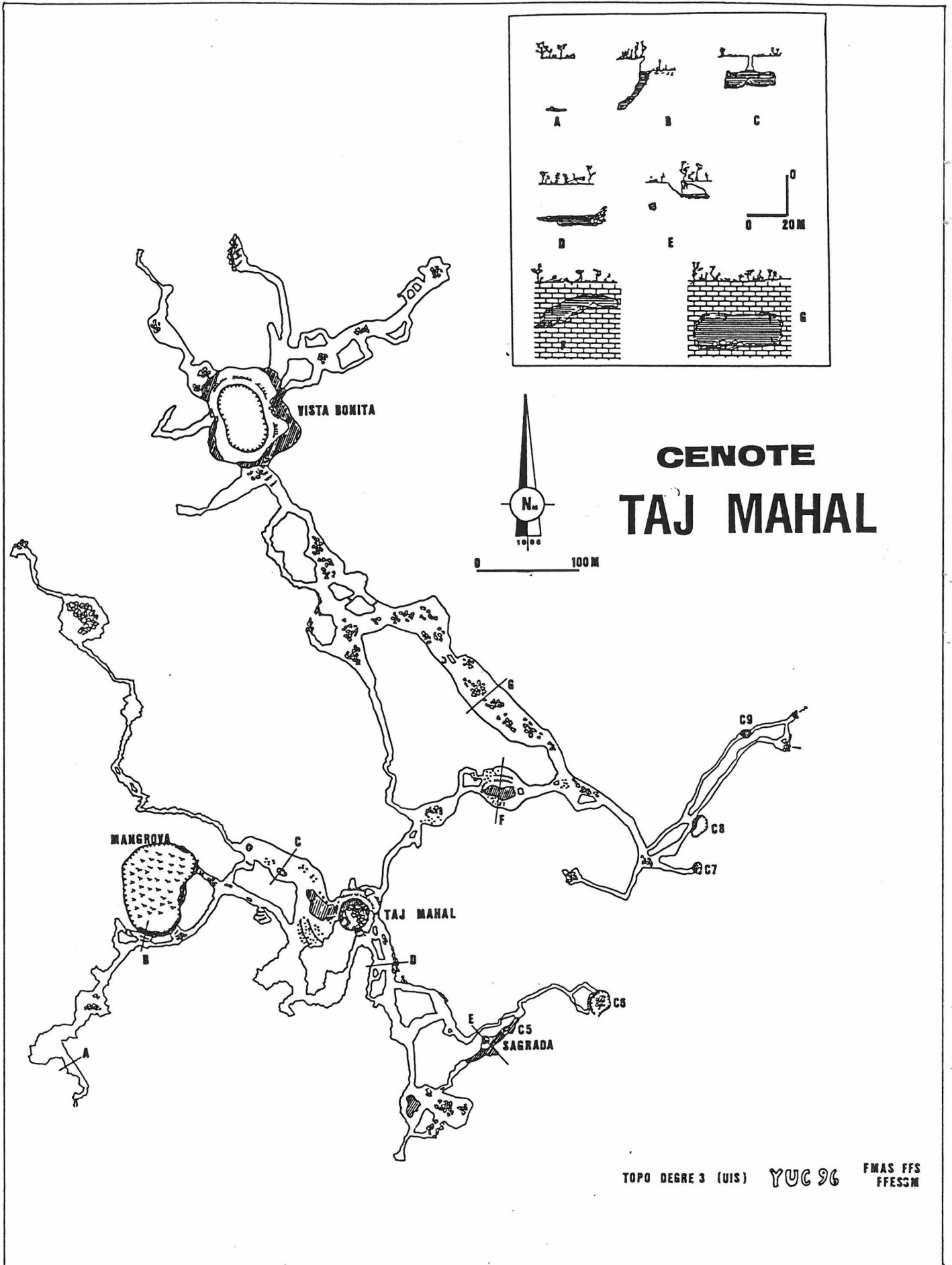
Le lac du cénote CUZEL donne aussi accès à une galerie qui se développe au Sud. Cette galerie aboutit après 250 mètres à un nouveau cénote auquel l'accès se fait par un petit labyrinthe. Peu avant, une galerie sur la gauche remonte vers le Nord, court amont sans grand espoir de continuation.

Le nouveau cénote s'ouvre au bord de la piste qui mène à CUZEL. La piste passe au dessus de la galerie sur un pont rocheux de moins de DEUX mètres d'épaisseur. Il s'agit d'un cénote de grande dimension, environ 100 mètres de diamètre. Quelques petites continuations ont été explorées au Sud, mais la plus importante se situe à l'Ouest. A cet endroit une petite vasque donne accès à deux galeries l'une se dirigeant vers l'Ouest et se terminant sur un rideau de concrétions, et l'autre se dirigeant vers le Sud au profil complexe développant plusieurs centaines de mètres.

Nous sommes dans la partie la plus au Sud du système dans une branche où aucun courant notable n'est perceptible. Cette partie de la grotte est très concrétionnée. La galerie principale avec une section de deux mètres de haut pour cinq de large est de dimension moyenne. Elle se développe à une profondeur de l'ordre de 10 mètres.

### **TAJ MAHAL**

Le système de Taj Mahal a été découvert par l'équipe de Tony de ROSA en 1993, puis exploré en 1995 et immédiatement ouvert au tourisme subaquatique grâce à son accès facile et à la beauté de sa zone d'entrée. D'ailleurs, Don Féliciano Tun Tha, propriétaire du site a remarquablement aménagé le cénote d'entrée et son environnement en construisant une Palata (hutte maya très vaste, ouvert au vent procurant un lieu ombragé et frais), en défrichant les alentours puis le fond du cénote, apportant du sable pour assainir les parties marécageuses et cimentant l'escalier d'accès et la plate forme de mise à l'eau.



TOPO DEGRE 3 (UIS) YUC 96 FMAS FFS FFESM

En février 1996, le système n'est pas encore totalement exploré, partiellement topographié par plusieurs équipes gardant chacune secrète son plan, et exploité touristiquement par plusieurs prestataires, tous locataire de Don Feliciano!

Le système de Taj Mahal est constitué d'un vaste labyrinthe dont l'organisation n'apparaît pas immédiatement. En fait, il s'agit de deux galeries orientées nord-est / sud-ouest partiellement doublées et reliées et/ou prolongées par des galeries d'orientation générale sud-est / Nord-Ouest. L'écoulement principal de la cavité se fait par la galerie la plus à l'Est: « le grand couloir » qui est l'un des points remarquables de la cavité avec ses 10 mètres de haut pour 15 à 20 mètres de large et une longueur de près de 500 mètres, dans une eau cristalline.

Le système communique avec la surface dans quatre zones effondrées.

La **zone d'entrée autour du Cénote Taj Mahal** est magnifique. C'est le domaine du « cavern diving ». La golden line, solide fil d'ariane jaune permet de parcourir au nord-est un circuit de 200 à 300 mètres en restant en permanence en vue de plusieurs surfaces libres illuminées par le soleil du Yucatán. Cette zone, très parcourue reste claire malgré le passage de très nombreux visiteurs.

Plus loin, dans la même direction, une galerie affectueuse (très corrodée, basse et parfois étroite), permet d'atteindre dans un nuage de lait une salle effondrée puis un nouveau effondrement stoppe la progression. Cette galerie sans courant livre de très beaux fossiles en forme de cône ou de spirale.

Au sud, une galerie contourne le cénote Taj Mahal avant de rejoindre l'autre côté de la Golden Line.

A l'Est, une galerie mène vers le **cénote Manglar**, ce qui veut dire marécage. Le centre du cénote est constitué d'une vaste étendue plane où l'humus flotte sur une couche d'eau stagnante et nauséabonde. Ce type de cénote permettait aux anciens maya de faire des cultures dans des champs riches et irrigués. Des galeries basses permettent de suivre le pourtour du cénote, en ressortant régulièrement dans de petites mares. Cette zone se prolonge au sud-est sans particularité intéressante si ce n'est le seul puits de la cavité.

Ce puits descend jusqu'à 25 mètres et est colmaté au fond. L'espoir d'un gouffre insondable est déçu!

Au sud, le **cénote Sagrada** (sacré) recèle quelques restes? Maya. Une rivière souterraine mène à un effondrement éclairé par un trou de la voûte. Là, le siphon débute au travers de blocs épars. Une galerie conduit après 12 à mètres dans un nouveau cénote. La végétation luxuriante (et piquante) de ce cénote ne permettra pas d'aller voir de l'autre côté une possible continuation, ni d'ailleurs de rejoindre par la surface ce cénote. Vers le nord, deux passages à travers l'effondrement rejoignent une belle galerie parfois haute de 5 à 10 mètres qui va d'un vaste effondrement formant un lac souterrain d'un côté, à la golden line de l'autre côté, tout près du cénote Ta Mahal.

La Golden Line est formée d'une galerie très belle et concrétionnée se dirigeant vers le nord avant de rejoindre le collecteur principal du système. L'amont (au nord-est) devient majestueux: c'est la plongée au Yucatán popularisée par les photos de Mike Midden. Il rejoint après quelques centaines de mètres un nouveau effondrement géant: Vista Bonita (c'est le nom maya, les américains l'avaient rebaptisé Shah Jahan pour le rendre plus exotique. Ah, les milles et une nuits!).

Peu après le début de la golden line, un shunt permet de rejoindre l'extrémité de celle-ci. Ce passage tortueux, tenu secret (pas de fil de connexion, pas de topo) est le circuit des plongeurs confirmés. Ils y passent d'ailleurs leur brevet d'advanced divers.

L'aval du collecteur est plus tortueux. Une grande salle basse livre plusieurs passages aboutissant dans des culs de sac après être passés sous de petits cénotes. L'un des passages mène à une trémie avale aspirante, à l'extrémité d'une galerie nord-est. Nous sommes à l'extrême aval de la cavité.

A l'extrême Nord, le **cénote de Vista Bonita** est différent. L'effondrement de la voûte à laisse subsister une immense caverne en forme d'anneau qui contient à sa partie basse un lac et a sa partie haute quelques lucarnes vers le soleil. Ce cénote qui présente une dépression très faible sera d'ailleurs très difficile à localiser en surface. Plusieurs galeries partant de son coté nord livreront quelques centaines de mètres de conduits souvent effondrés, parfois vastes, d'ou provient l'eau d'une façon certaine. Nous sommes à l'extrême amont sans suite pénétrable. Il faudra repérer de nouveaux cénotes en surfaces qui permettront d'intercepter le collecteur plus en amont.

Au total, plus de 5000 mètres de galeries noyées, une topographie rapide donnée au propriétaire, la jonction de plusieurs cénotes par le dessous et sans doute d'autres explorations à venir dans les cénotes non encore plongées de la propriété. Un Tony de Rosa et un Dann Lins pas très heureux que les frenchies soient passés par là.

Exploration: Philippe, Jean Pierre, Christian, Bruno, Lucien, Laurent, Jose Antonio, German et Denis.

## XPU-HA

Il s'agit d'une des grandes résurgences de la côte Est du Yucatan. L'accès peut se faire à pied ou en bateau à partir de la plage de XPU-HA en allant vers le Nord. D'autres résurgences sont connues en mer mais sont peu importantes. Une résurgence située 1km au Sud au delà de la plage de ROBINSON. a été reconnue lors de notre expédition de 1997 . Elle présente un débit de l'ordre de 1000 litres par seconde. Elle comporte une petite galerie creusée aux dépends d'une fracture, rapidement impénétrable après une vingtaine de mètres de progression. De même, dans la marina de PUERTO AVENTURAS, environ un kilomètre au Nord de XPU-HA, une petite exurgence est en cours d'exploration par MIKE MADDEN. Cette exurgence a été le théâtre d'un drame avec la mort d'un plongeur spéléo, fils d'un politicien très en vue au Mexique, il y a une dizaine d'années.

La source de XPU-HA donne lieu à une courte rivière de surface d'environ 500 mètres de long. L'eau sort d'un ensemble de sources venant directement des mangroves. La pénétration, du fait des racines est problématique. Deux petits cénotes en amont de la source mériteraient visite et pourraient donner accès au chînon manquant entre XPU-HA et PONDEROSA. La reconnaissance a été faite par Bruno et Claude, lors de l'expédition de 1996.

Le débit estimé à 5m<sup>3</sup>/sec en fait l'une des sources les plus importantes de la côte Est des Caraïbes.

## CHACMOL

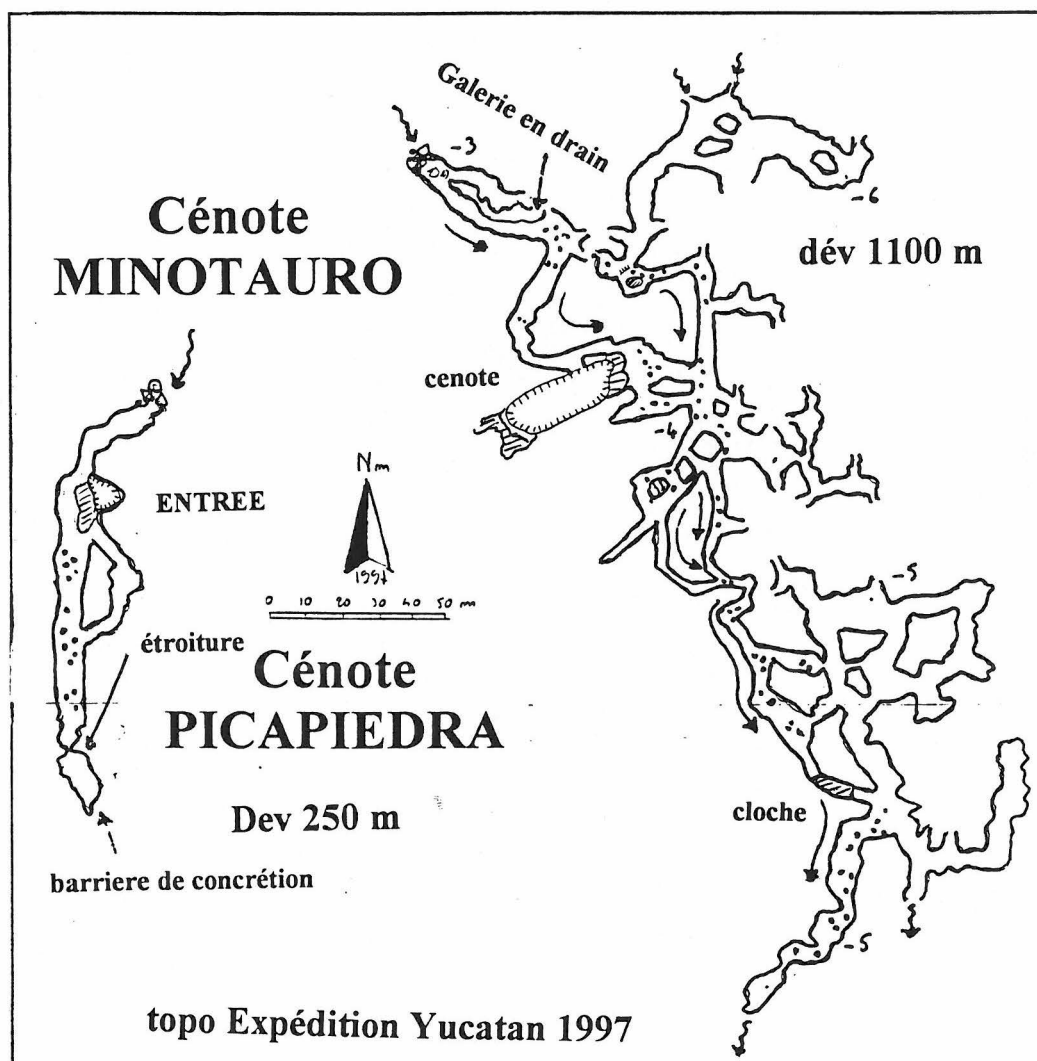
Nous n'avons que peu d'informations sur cette cavité découverte en 1996, et dont nous avons repérés les entrées par photographie aérienne. Il s'agit d'une grotte explorée sur 1500

mètres par les plongeurs américains Gary et Kay WALTEN. Une très grande galerie comparable à la grande galerie de TAJ MAHAL y aurait été découverte.

## MINOTAURO

Nous avons exploré cette cavité située au Sud de TAJ MAHAL en février 1997. Il s'agit d'une grotte de 1200 mètres de développement, très labyrinthique, située à 1200 mètres de la route dans la propriété de INOCENCIA. Deux cenotes s'ouvrent à 150 mètres l'un de l'autre. La grotte se développe dans l'étage intermédiaire, entièrement dans l'eau douce. Des prélèvements de concrétions en vue de datation ont été effectués. Ces concrétions montrent deux étapes de dépôt. Sur le plan morphologique, on retrouve une galerie en drain, autour de laquelle se développe un labyrinthe creusé par un paléohalocline.

La cavité est parcourue par un léger courant. L'influence des marées y est visible, et le niveau de l'eau fluctue d'une quinzaine de centimètres.



## VII LE COMPLEXE DE XCARET

Nous n'avons pas beaucoup d'informations sur la rivière de X-CARET, dont nous espérons pouvoir entreprendre l'exploration dans le courant de l'année 98. Une rivière dont nous estimons le débit à environ 1,5 m<sup>3</sup>/sec a été aménagée pour permettre aux touristes une très belle excursion souterraine à la nage. Le complexe écotouristique du parc de X-CARET est une merveille d'organisation, et un des bijoux touristiques du QuintanaRoo.

En amont, une cavité de 1500 mètres de développement a été découverte et explorée par des plongeurs américains, puis mexicains et français . Ce cenote nommé Cénote TORTUGA pourrait être un des bras d'une rivière alimentant X-CARET

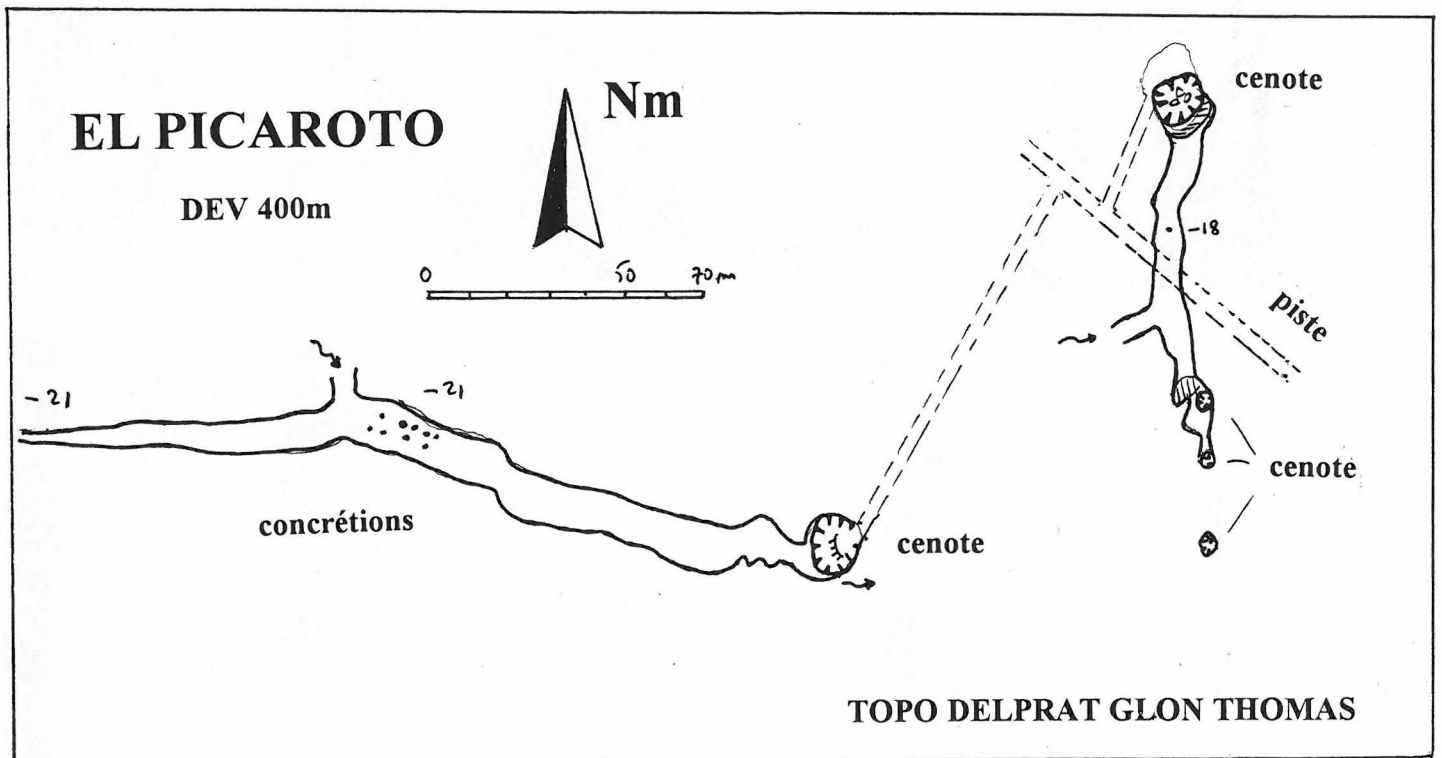
### COMPLEXE TOURISTIQUE DE X-CARET



## VIII LE COMPLEXE DE CHUCHUEN

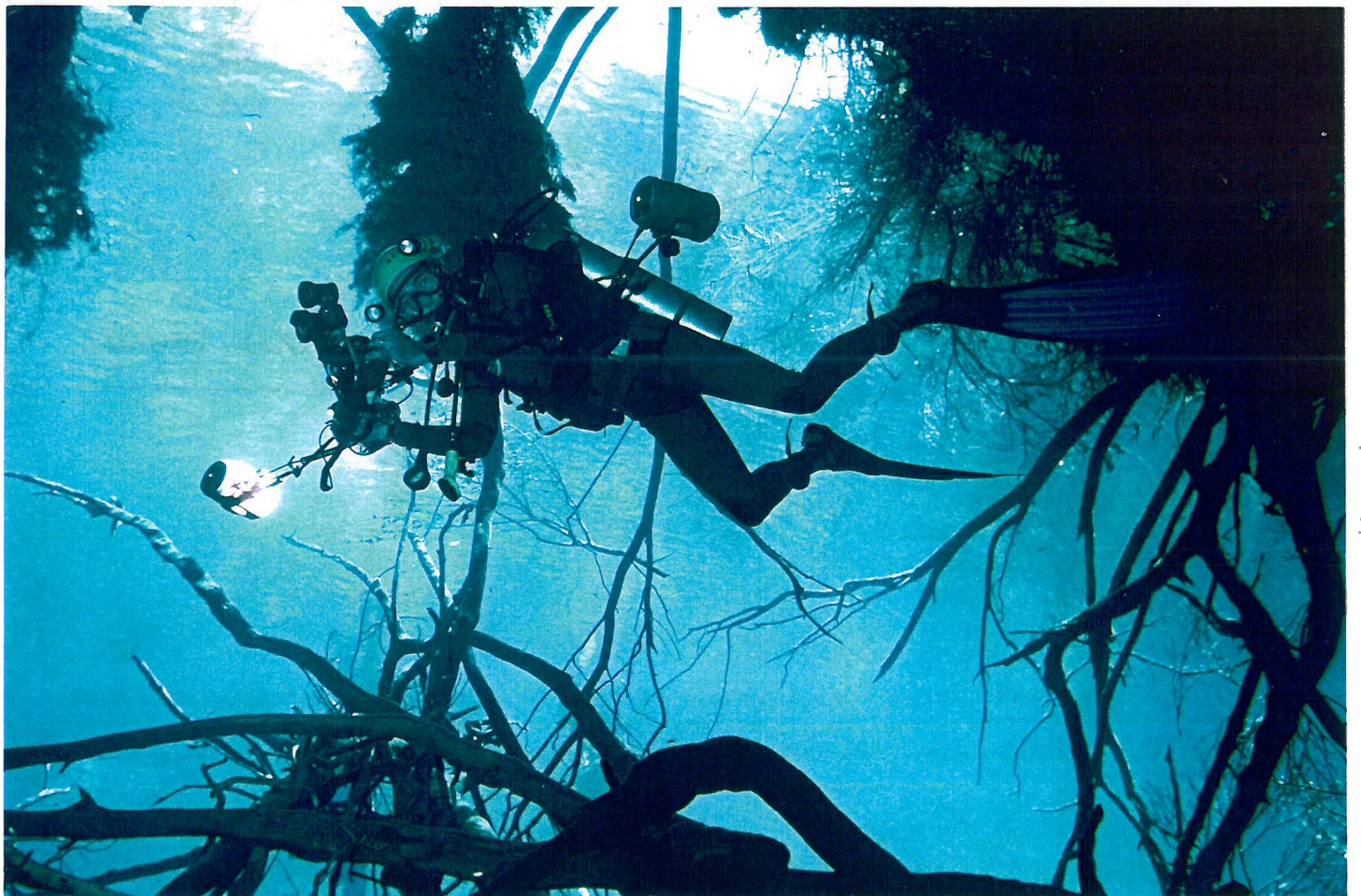
Au nord de PLAYA DEL CARMEN, on trouve l'une des plus grosses résurgences de Quintana Roo. Les exurgences de CHICHUEN. Celle ci se présente sous la forme de deux résurgences. La plus grosse est située 150 mètres au Sud de l'autre. Malgré un courant extrêmement fort, elle est pénétrable sur une trentaine de mètres qui s'effectuent sous des blocs maintenus en place par la mangrove !!! Le débit total en a été estimé à 5 m<sup>3</sup>/s

Nous avons commencé l'exploration en 1997 d'une cavité prometteuse située à environ 4 kilomètres de la côte. Cette cavité se présente sous la forme de trois cenotes dont deux ont été reliés au cours de notre plongée. La profondeur est d'environ 25 mètres. Un courant notable, et les dimensions des 400 mètres de galeries que nous y avons découverts laissent présager une importante cavité qui pourrait être liée à Chuchuen





# MANGROVES LAGUNE DE CONIL



## **X LA RIVIERE DE CONIL**

### **I LE FLEUVE DE CONIL**

On voit en photographie aérienne une « ligne d'eau » de 80 kilomètres de longueur, orientée du Sud vers le Nord, qui coupe la route 180 à hauteur de LEONA VICARIO et se jette au Nord dans la lagune CONIL.

Elle est repérée sur la carte par une appellation « zona de lagunas y cenotes »

Au cours de l'expédition 1995, nous y avons effectué une reconnaissance et y avons exploré plusieurs cénotes sans courant, et à l'eau douce et stagnante. Une épaisse couche d'eau trouble chargée de débris végétaux flotte sur une eau plus transparente en profondeur. Les profondeurs atteintes dépassent 40 mètres.

Toutefois d'autres cénotes sont connus pour avoir un léger courant et une eau cristalline dans cette zone. Ces cavités restent à explorer.

L'eau à l'amont de cette « ligne d'eau » se trouve à une cote de trois mètres au dessus du niveau de la mer. Les terrains environnants sont à des côtes de l'ordre de 5 mètres. Cette zone était donc probablement une zone de lagune où la mer pénétrait 80 kilomètres à l'intérieur des terres au cours du dernier interglaciaire. Si l'hypothèse de la date de mise en place des grands réseaux de l'Est du Yucatan au moment de cet interglaciaire était juste, il ne fait aucun doute que cette configuration particulière ait joué un rôle essentiel dans la karstification de cette zone. Notons que l'absence de caletas et de réseaux importants connus (pour l'instant) sur la partie de la côte Est qui se situe à la hauteur de cette ligne d'eau, c'est à dire au delà de 15 kilomètres au Nord de PLAYA DEL CARMEN, s'expliquerait alors naturellement. Cela signifierait en effet, que les écoulements, au moment de la mise en place des grands réseaux, étaient drainés dans la partie Nord du QUINTANA ROO par ce « fleuve » aujourd'hui fossile.

## **II LA RECONNAISSANCE DE 1995**

### **Village d'AGUA AZUL**

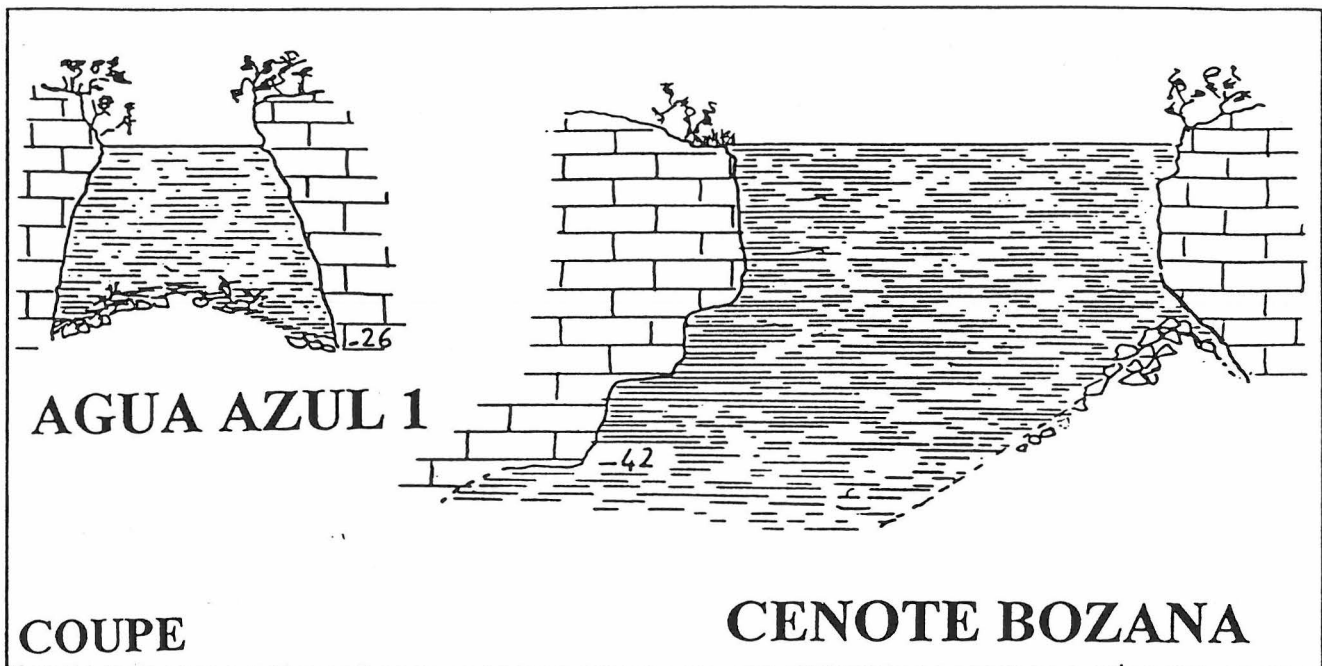
#### **CENOTE AGUA AZUL**

Situé au milieu du village, ce cénote avait été plongé par des archéologues hollandais. Il de présente classiquement comme une dépression circulaire d'une vingtaine de mètres de diamètre. Le niveau de l'eau est atteint après une descente de 7 mètres. La forme en cloche est elle aussi classique. Le fond se trouve à -26. La visibilité est réduite à moins de 2 mètres et le fond est encombré de branchages. Aucun départ apparent (17/02/95)

#### **CENOTE BOZANA**

Une marche de 50 minutes en suivant un chemin à travers forêt et champs nous amène au bord d'un grand lac défendu par une frange d'herbes hautes et coupantes. Le lac de 60 mètres de diamètre s'avère être un cénote au parois abruptes dont le bord taillé à l'emporte pièce est caché sous 30 centimètres d'eau. Une reconnaissance jusqu'à -42, où le cénote

s'évase à perte de vue n'a pas permis de trouver le fond. Arrêt sous un plafond horizontal surplombant le grand noir...



### Village de JUAREZ

#### CENOTE DE JUAREZ

En poursuivant vers le Sud, nous arrivons au petit village de JUAREZ. Situé au Sud Est du village dans des champs, près de ce qui semble être un ancien tumulus maya, ce cenote se présente comme un plan d'eau de 40 mètres de diamètre. JOSE ANTONIO et EDSEL ont exploré ce cenote jusqu'à -20 sans atteindre le fond. Une nouvelle plongée est organisée Le fond se situe vers -30 dans un amas de branchages. Nous notons un concrétionnement important de tuf autour des branchages (plongées du 17 et 18 02 95)

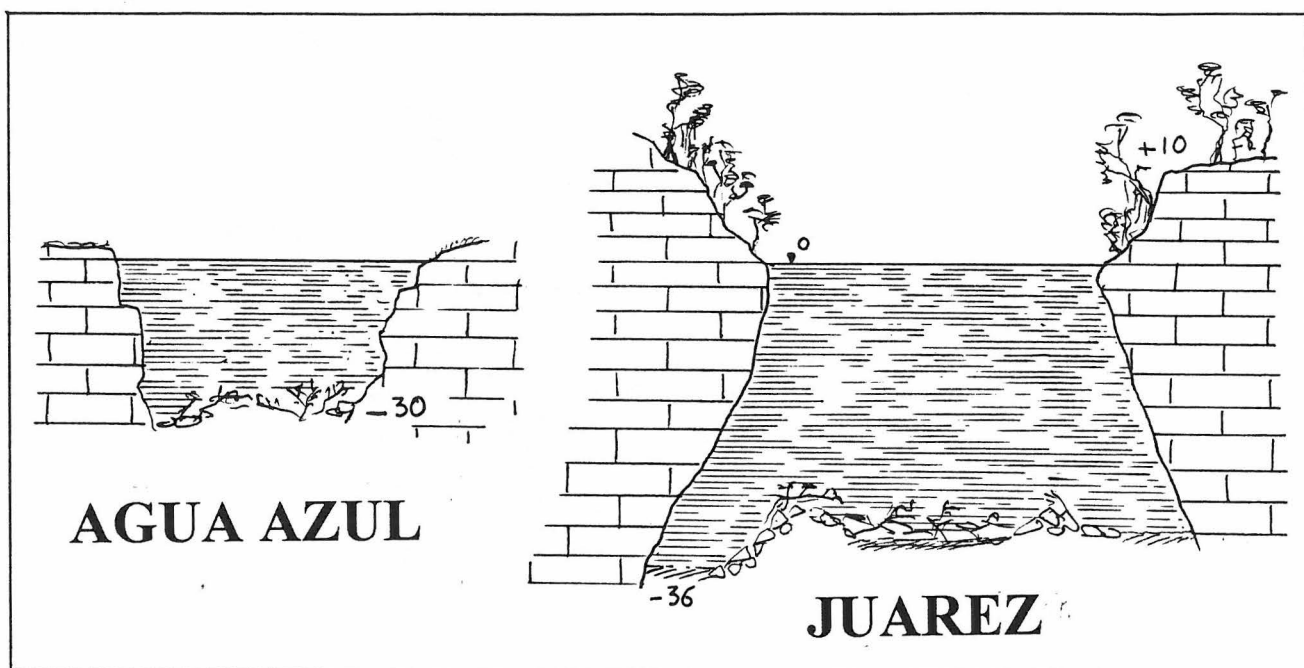
#### LAGUNE AGUA AZUL

Située près du cenote, cette lagune d'eau douce peu profonde (maximum 2m) sert d'abreuvoir à quelques vaches réunies dans un pacage. Le nom AGUA AZUL (eau bleue) relève de la publicité mensongère. Il ne semble pas qu'il y ait de galeries. Mais la visibilité de 20 cm ne permet pas de l'affirmer.

#### CENOTE JUAREZ

Au Nord Est du village, une approche d'une vingtaine de minutes à travers la forêt nous amène au bord du cenote. Il faut descendre un dizaine de mètres pour atteindre l'eau. Le diamètre est de 40 mètres en surface et d'environ 60 à 70 mètres au fond. Les cenotes étant

apparemment alignés sur une fracture Nord Sud, nous avons particulièrement fouillé les parois Nord et Sud sans même trouver de trace de fracture. Le fond est encombré d'une couronne d'arbres enchevêtrés disposés à la verticale des parois. Hélas, aucun départ de galeries n'est visible (18 02 95)



### Les autres lagunes et cenotes (19 02 95)

Une petite grotte au Sud Ouest de JUAREZ avec un plan d'eau qui s'avère bouché à -2. (présence de serpent)

Au Sud de JUAREZ, une autre petite grotte de 5m par 4 recèle un minuscule plan d'eau où s'ébattent des poissons chats : ici non plus, pas de continuation.

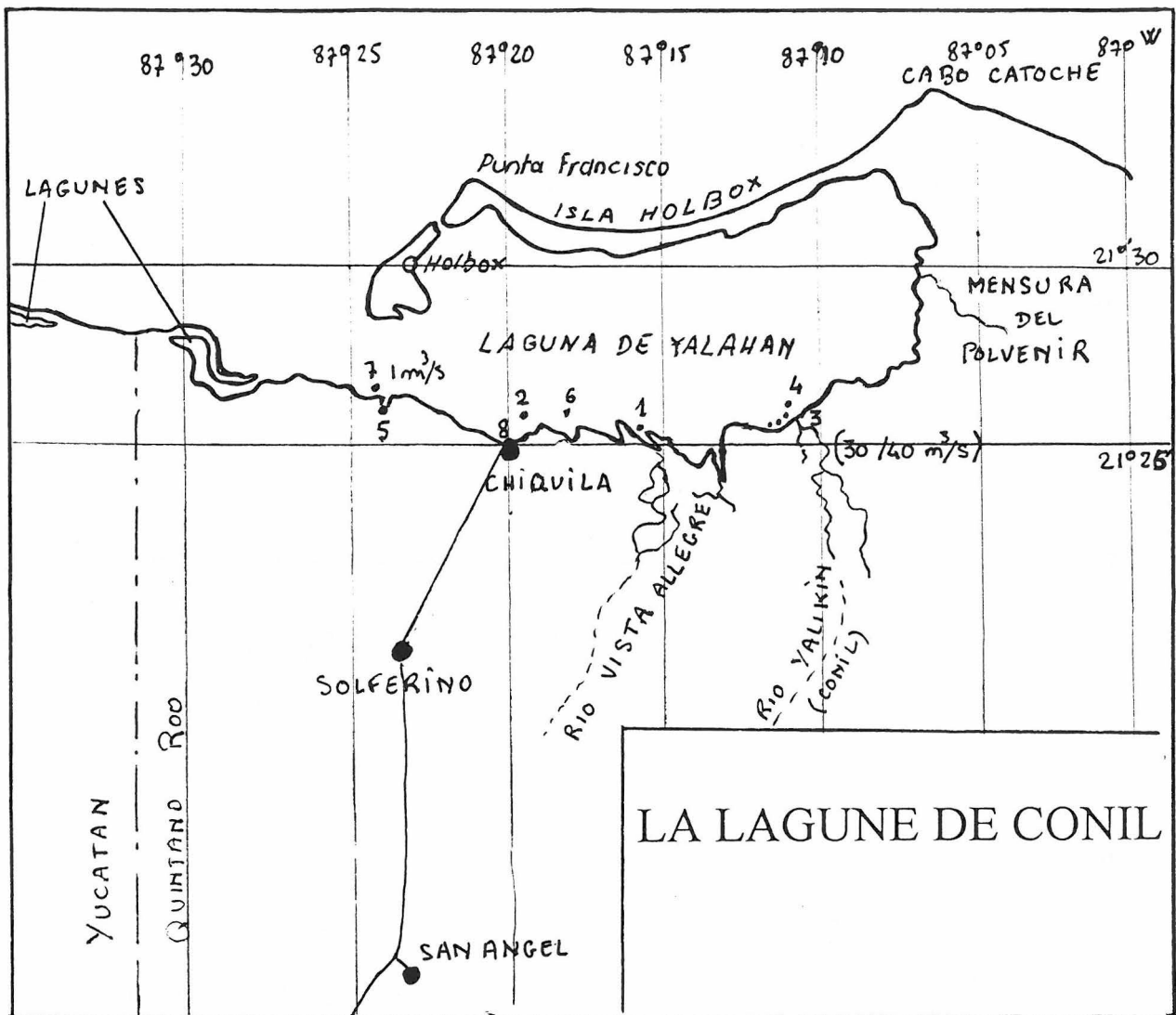
La lagune de JUAREZ près du village est complètement envasée et ne semble pas avoir de continuations.

### EXPEDITION DE 1997 : L'embouchure du fleuve de CONIL

En 1997, nous avons effectué la reconnaissance de la lagune de Conil en barque, assisté par les pêcheurs de CHIQUILA. L'un d'eux nous a accompagné dans cette reconnaissance. Nous avons procédé à des mesures de débit, des prélèvements et des analyses d'eau. Les phénomènes karstiques ont été positionnés au G.P.S., et ont tous donné lieu à une plongée de reconnaissance.

Le phénomène le plus important est l'embouchure du fleuve de CONIL ou rio YALIKIN. Deux bras de fleuve dont le plus important est situé à l'Est déversent dans la baie un total de 30 à 40 m<sup>3</sup>/s (à marée montante)

Al'embouchure du fleuve un alignement de trois petits trous bleus impénétrables donnent un débit total n'excédant pas quelques dizaines de litres / seconde



A l'embouchure du rio Vista Alegre, un trou bleu débite une dizaine de litre / seconde . Il est impénétrable. Au moment où nous avons atteint l'embouchure du fleuve, celui-ci aspirait l'eau de la lagune.

Au large de Chiquila, deux autres trous bleus de taille comparable aux précédents ont été explorés. Ils sont également obstrués.

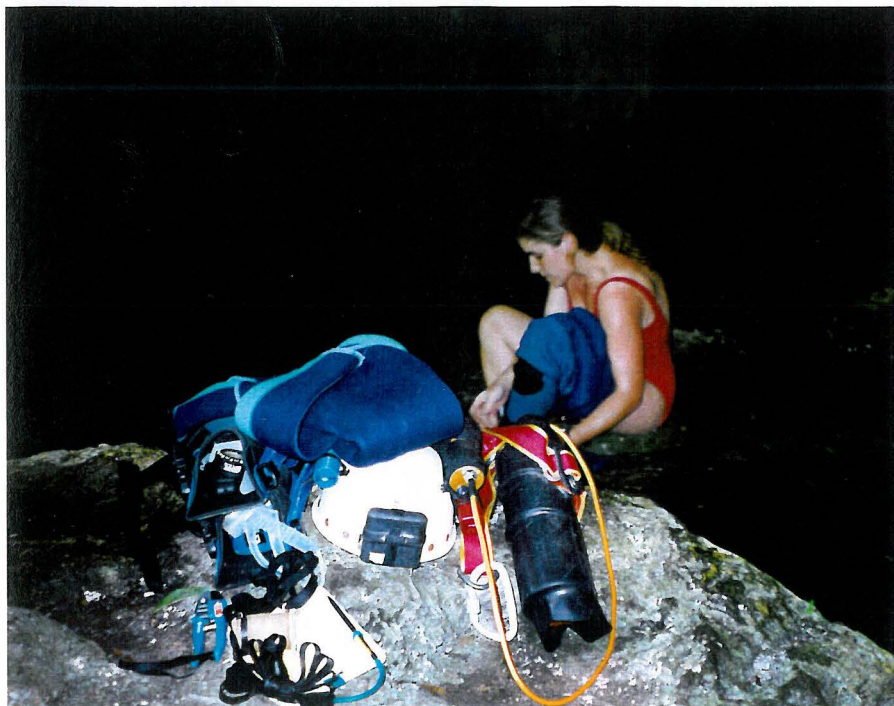
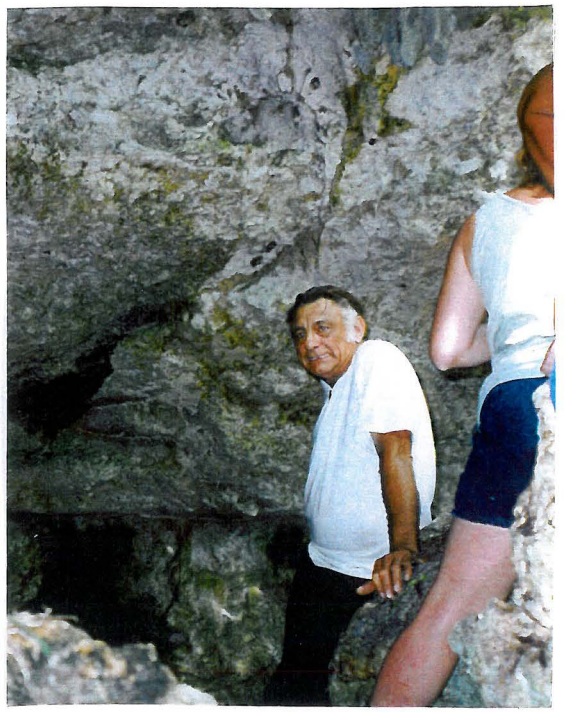
En revanche, à l'entrée de la lagune, le cénote Yalahau débite  $1,2 \text{ m}^3/\text{s}$  d'eau très douce. L'eau sort d'une fracture parallèle aux grands système de HOLBOX, impénétrable.

Les coordonnées de ces diverse cavités sont données en page 41.

Nous avons mesuré la salinité de ces différentes sources. La lagune elle même présente une salinité près de deux fois supérieure à celle de l'eau de mer.

XEL-HA

# **LES EXPEDITIONS AU JOUR LE JOUR**



# Rapport journalier - Yucatan 97

par Christophe Depin

## 31 janvier 97

Départ de Christian et Anne Marie d'Orly par American airline via Miami  
A l'arrivée Jacqueline nous attend. Jacqueline vit au Mexique depuis 20 ans et travaille dans le tourisme. Nous prenons un taxi et allons à PUERTO MORELOS où nous allons résider pendant tout le séjour. Le « Petit hotel » appartient à Vincent Bodinier français travaillant au Mexique depuis dix ans, qui a construit le petit hotel. Quatre bungalows et une grande salle à manger-salon-bureau-bar constituent notre home suit home. Beaucoup plus confortable que les gîtes de Puerto aventuras de l'année dernière !

## 1 février 1997

Nous nous mettons en quête d'une voiture et du matériel de plongée. Après de nombreuses discussions sur la place centrale de Puerto Morelo, on nous amène un énorme camion, puis un gros camion, puis une petite voiture. Trop gros, trop cher, trop petit ... mala suerte

Finalement, nous sommes dépanné par une connaissance de Jacqueline qui négocie pour nous un combi VW (à la qualité des voitures allemandes!) pour 100 dollars par jour. Nous prenons un taxi pour aller chercher notre char à Playa del Carmen. A SHANGRI-LA, nous sommes invités pour une fête le soir même où nous allons rencontrer le monde entier !

Retour en fin d'après midi à CANCUN pour aller chercher Philippe Wohrer, Christophe Depin et Bernard Glon à l'aéroport. Nous les installons dans notre gîte et repartons dare dare vers Playa pour la soirée.

Nous espérons y rencontrer le propriétaire de X CARET. En fait, celui ci ne vient pas. Nous rencontrons Laure Anne plongeuse blonde, aux yeux bleus, qui connaît très bien l'équipe de Tony de Rosa. Elle nous raconte que Gary et Kay Walten ne font plus partie d'Aquatech. Ils ont fondé leur propre business. Ils ont exploré un cenote de 9000 pieds (chiffre incertain) nommé CHACMOL constitué d'une énorme galerie à peu de distance au Nord de Ponderosa. Sinon, quelques petites premières par ci par là ... Ah si ! ils ont aussi connecté Grand cenote à un cenote voisin. Elle évoque son attachement à la fédération (sans préciser laquelle) Je lui répond que je suis aussi très attaché à la fédération (sans préciser laquelle). Il se fait tard et est ce vraiment raisonnable de parler de ces sujets là à une jolie fille? Nous rentrons en nous promettant de revenir en deuxième semaine.

## 2 février 97

De bon matin, Jacqueline téléphone à son excellent ami Carlito, plongeur responsable du dive shop de SHANGRI LA. Nous sommes à la recherche d'équipements. Il nous explique qu'il peut nous fournir 10 bouteilles aujourd'hui mais qu'il faudra les rendre demain . Nous expliquons que nous cherchons plutôt une location sur quinze jours. Il nous parle de Tony de Rosa. Finalement nous décidons de nous rencontrer.

Voyage rapide jusqu'à Playa, où nous rencontrons Carlito . Grand bonhomme à l'allure heureuse avec lequel nous sympathisons immédiatement. Il nous montre le cenote qu'il a au fond de son jardin . Je lui raconte un peu le monde de conflit dans lequel les plongeurs spéléos évoluent et conclue que nous préférions éviter d'emprunter du matériel à T de Rosa. Lorsque je mentionne Marco Rotzinger, il me dit qu'il le connaît très bien et que c'est un ami de longue



date. Le monde est petit. Finalement nous téléphonons à Marco et partons pour le voir à Cuzel où il s'est installé avec sa femme, et ses deux enfants.

Bernardo (le fils de Marco) est en grande forme. Joies des retrouvailles. Nous commençons à exposer nos objectifs, photos aériennes à l'appui. Marco ranch s'est bien développé. Il s'y est installé avec sa petite famille. Le camion Mad Max et l'énorme compresseur sont toujours à l'appel. Marco vend un peu de gonflage aux dive shops de la région. Il cherche toujours à établir un commerce de plongée en caverne et cherche la caverne idéale. Nous lui remettons un draft du rapport d'expédition de l'année dernière. Nous organisons finalement la plongée du lendemain qui se fera dans l'un des 29 cenotes que Jorge a découvert sur son terrain.

Retour à PUERTO MORELOS., puis à l'aéroport de CANCUN pour aller chercher Bruno.

### **3 02 97 JAGUAR et ESTRELLA**

Après avoir attendu un peu Jorge, nous voilà parti pour son terrain. Christophe et PhW reprennent la galerie ouest de Jaguar. Marco, Bruno et Christian plongent dans ESTRELLA. Bruno fait des analyses d'eau des deux cavités ainsi que d'une troisième sans nom que nous reconnaissons brièvement. Nous faisons aussi des prélèvements dans la partie profonde d'ESTRELLA pour mesurer la salinité de l'eau sous l'halocline: aussi salée que l'eau de mer.

Le cenote ESTRELLA mesure un peu plus de 100 mètres de longueur, et est assez richement décoré. La profondeur de la partie principale ne dépasse pas 5 mètres. Il s'agit d'une galerie de très grande largeur, 35 mètres, pour 3 mètres de hauteur.

Pendant ce temps Bernard affine le réglage de la nouvelle génération de glonomètre.

### **Mardi 4 Février 97**

Toute l'équipe se rend à Chiquila afin de prospecter dans la lagune de Conil. Le voyage est périlleux : l'autoroute ne disposant de sortie que tous les 100 km, nous sommes obligés de faire demi-tour sur l'autoroute afin de prendre un chemin empierré qui nous mènera sur la route de Chiquila.

Une fois arrivé, nous discutons avec le propriétaire d'un pêcheur local afin d'obtenir un bon prix pour la visite des trous bleus (mais ils sont fous ces français ! enfin qu'est-ce que l'on ne ferait pas pour 60 \$). Nous commençons par jeter un œil au bras principal du fleuve qui se jette dans la lagune : il présente un débit de l'ordre de 35 m<sup>3</sup>/s à marée montante.

La visite se poursuit par l'exploration de 5 petits trous bleus : ils sont situés à 2m de fond, ils présentent 1 débit de l'ordre de quelques dizaines de l/s mais ils sont tous malheureusement impénétrables. L'expédition se termine par une plongée dans une source située dans les palétuviers à 50 mètres de la mer, donnant un m<sup>3</sup>/s d'eau très douce. Bruno fait toute sorte d'analyse d'eau.

De retour au Petit Hôtel, Christian part sur Cancun pour y accueillir Joao et Laura Neves

### **Mercredi 5 Février 97**

Christian a rendez-vous avec la direction du parc naturel de Xel-Ha. Il nous propose d'aller en pèlerinage sur les découvertes de l'année précédente.

Nous abandonnons donc Christian, Marco et Bruno afin de nous rendre au cenote Cuzel. Après une demi-heure de marche nous rejoignons le matériel déposé par les autres. Nous nous immergeons, impossible de trouver la bonne galerie dans cette vasque d'entrée énorme. Les yeux écarquillés par la grandeur majestueuse des galeries et par la beauté des concrétions, nous parcourons 500 m où le rêve se transforme enfin en réalité : j'ai l'impression de me promener dans les photos de Mike Madden ! Les manomètres nous rappellent à l'ordre :

le tiers est bien frappé, l'heure de demi-tour a sonné. Nous rentrons paisiblement en savourant intensément chaque minute de cette plongée.

A la nuit tombante, nous attendons toujours Christian qui doit passer nous reprendre. Pensant qu'il nous propose un exercice de survie, nous décidons d'allumer un feu afin d'éloigner les moustiques.

Une heure après, Christian arrive triomphant au volant du combi : il vient d'obtenir l'autorisation des explorations à Xel-Ha. Nous serons donc les premiers à pénétrer ces terres vierges !!!

#### **Jeudi 6 Février 97**

Christian, en grand professionnel expose notre méthode exploration au staff de Xel-Ha. Par équipe de 2 nous allons prospecter systématiquement tout le contour de la lagune (la Caleta comme l'appellent les locaux).

Les équipes sont Christian et Marco pour la zone Sud - Ouest, Bernard et Bruno pour le Nord - Ouest, Juan et Laura pour les 2 lacs de la zone Nord - Est, et enfin Christophe et PhW qui finiront la zone Sud - Est.

OK guys, GO, rendez-vous à 16h00 pour le checkpoint intermédiaire.

Avec PhW nous devons en plus plonger 3 cenotes enfouis dans la végétation très dense qui borde la caleta. Nous décidons de porter un unique matériel au 1<sup>er</sup> cenote. Je pars en déroulant mon fil, voilà quelque moi que j'attendais ce moment avec impatience ! Malheureusement 100 m après j'aperçois la surface, c'est la fin. J'émerge dans un autre petit cenote. Au retour je fais la topo et visite 3 départs qui se révèlent pas être très prometteurs. Nous explorons ensuite le 2<sup>ème</sup> cenote ensemble : deux galeries d'une cinquantaine de mètres se terminent sur des zones d'éboulis. C'est PhW qui plongera le 3<sup>ème</sup> cenote. Malheureusement arrivé devant la vasque je reconnais le cenote de mon terminus précédent. Philippe plonge histoire de se faire plaisir et de ne pas avoir porter pour rien !

Nous arrivons au debriefing bon dernier, les autres sont en train de se bâfrer de tacos en se racontant leurs découvertes : Christian et Marco ont vu des zones très prometteuses au premier abord (car fort courant) mais finissent systématiquement sur des zones effondrées.

Bruno et Bernard ont trouvés une galerie majeure où ils ont déroulés une centaine de mètre de fil avant de tomber sur un carrefour avec une galerie comportant un vieux fil américain (facilement reconnaissable aux étiquettes plastiques à 5 dollars et aux pinces à linge qui le jalonnent) et une bifurcation vierge.

Joao et Laura n'ont pas chaumés : ils ont jonctionnés les 2 lacs par 2 galeries différentes et ils ont trouvés 2 grosses galeries très prometteuses dans le lac le plus au nord.

#### **Vendredi 7 Février 97**

Nous récidivons à Xel-Ha. Briefing avec le staff de Xel-Ha, nous leurs montrons les topographies de la veille reportées sur la carte générale du parc, ils sont fortement impressionnés. Bruno leur explique que 3 mètres sous leur parking géant pour autocars américains se développe une belle galerie et que dans cette galerie on entend les vibrations induites par le déplacement de ces monstres !

Une autre chose les dérange : nous laissons un fil d'Ariane dans chaque galerie que nous inspectons. Ils nous demandent de retirer systématiquement ces fils. Nous transigeons avec acceptant de déséquiper les zones d'entrée jusqu'à la limite de la Daylight zone.

PhW et moi continuons la reconnaissance de notre secteur, cette exploration systématique ne nous livre que des départs qui s'effondrent une dizaine de mètres après.

Christian et Marco observent le même genre de phénomène dans leur zone. Il semble que le secteur Sud drainait de grosses arrivés d'eau qui sont aujourd'hui impénétrable pour cause d'effondrement. Ce secteur devra être prospecter dans la jungle plus en amont (c'est à dire vers le Sud - Ouest) afin d'en trouver des possibilités de pénétration.

Joao et Laura explorent la 1<sup>ère</sup> des 2 grosses galeries sur un peu plus de 200 m. Cette galerie présente des dimensions impressionnantes : une section qui va jusqu'à 10 m de haut par plusieurs dizaines de mètres de large. Ils la baptisent galerie du tanin en raison de la terre ocre décollée par les bulles au plafond de la galerie. Une fois de plus la galerie est très proche de la surface.

Bruno déroule une centaine de mètres de fil dans la galerie repérée la veille. Bernard commence à remonter la galerie du fil américain.

Arrivée des petits derniers : Delphine Molasse et Philippe Brunet (PhB). L'équipe est maintenant au grand complet.

### **Samedi 8 Février 97**

Bruno, les Philippes, Delphine, Bernard, Juan et Laura se rendent à Xel-Ha.

Le biologiste de Xel-Ha nous a indiqué une petite grotte : la grotte aux champignons (cueva de los hongos) dans laquelle se trouverait une magnifique arrivée d'eau. Les Philippes s'y rendent et ce qui devait être un siphon se révèle n'être qu'une minuscule flaque de boue !

Bruno part en prospection en amont du secteur Sud - Ouest. Il visite plusieurs petites grottes quelconques, dont la grotte aux langoustes.

Bernard continue sa découverte de la veille : il remonte le fil américain sur 270 mètres tout en déroulant un fil propre et métré. Topographie au retour.

PhW et Delphine vont se promener dans la galerie du fil américain.

Joao et Laura se rendent dans la 2<sup>ème</sup> galerie aperçu dans le lac Nord. Ils pénètrent de 300 m dans la «grande galerie du Nord».

Pour ma part, lassé par le confort de Xel-Ha je décide de m'attaquer à la jungle. Je me rend chez Jorge pour lui demander s'il lui reste en stock des cenotes à plonger. Il consulte un de ses Mayas, Mariano. Après 2 minutes de palabres Jorge m'explique que Mariano me montrera quelques cenotes sur ses terres. Mariano me donne un coup de main pour le portage jusqu'au 1<sup>er</sup> cenote. Sous un effondrement se cache une magnifique vasque. Je m'immerge et en fais rapidement le tour : un cône d'éboulis d'une dizaine de mètres de profondeur. Nous repartons vers le 2<sup>ème</sup> cenote, il s'agit d'une admirable petite grotte concrétionnée d'une trentaine de mètres de long terminée par un siphon. Il prolonge la galerie de 25 mètres, au bout le dépôt sédimentaire rejoint le plafond rendant la progression impossible, je cherche sur la droite, puis sur la gauche, rien n'y fait, une touille blanche s'est levée et je dois me résoudre à rentrer. Mariano reprend mes bouteilles et repart au pas de course. Essayez donc avec une combinaison Néoprène et une Fenzy au tour du cou de suivre un maya qui court dans la jungle. Le 3<sup>ème</sup> cenote a été exploré partiellement par Marco. Je me rends donc directement au fond : - 18, c'est un record pour la région ! Là une salle creusée par l'hallocline s'est développée sur une cinquantaine de mètres de circonférence, pas de suite apparente. Exténué, je retrouve les autres chez Marco. Alors que je demande à Jorge le nom des cenotes, il me répond que c'est à moi de les choisir. Tout impressionné je nomme le premier Chango, du nom des singes qui affluent à ses abords. Le 2<sup>ème</sup> je le désigne du nom de son inventeur : Mariano. Enfin, je laisse à Marco le soin de nommer le dernier, il choisit cenote Abismo.

Pendant ce temps Christian et Marco sont allés rendre visite à un propriétaire maya : Innocentio. Ils se sont mis d'accord pour aller repérer certains cenotes dans sa propriétés.

### **Dimanche 9 Février 97**

Bruno, les Philippes et Christophe se rendent à Xel-Ha.

Je prolonge le terminus de Bernard de 100 mètres sur le fil américain, arrêt sur manque de fil, cela m'apprendra à faire le fainéant le matin.

PhB part dans la grande galerie du Nord et porte le terminus à plus de 500 mètres. En chemin il découvre un squelette de lamantin.

Bruno et PhW recherche dans la zone Sud - Ouest des cénotes aperçus sur les photos aériennes. Ils vont ensuite plonger dans la galerie au fil américain pour PhW et dans sa galerie pour Bruno (où il déroule encore une centaine de mètres).

Joao et Laura trouvent des nouvelles salles proche de l'entrée de la galerie du tanin, ils découvrent un crâne de crocodile. Le crâne est sorti dans une grosse caisse et confié au biologiste de Xel-Ha.

Christian, Bernard et Marco effectuent un repérage de trous bleus et de cénote en bord de mer au niveau de Hpu-Ha. Ils aperçoivent un trou bleu au bord de la plage : une plongée ici s'impose. L'après-midi, reconnaissance à pied des cénotes chez Innocentio

Enfin Delphine fait vacances forcées à la plage en attendant un hypothétique maya qui doit lui indiquer un non moins hypothétique cénote.

### **Lundi 10 Février 97**

Bruno, Philippe B, Delphine et Christophe se rendent à Xel-Ha.

Christophe et PhB permutent afin de mieux poursuivre les hostilités.

Je déroule 250 m de fil dans la grande galerie du nord, portant ainsi le développement à plus de 750 mètres.

Bruno pousse un peu plus loin l'exploration dans sa galerie à droite de la galerie au fil américain. En même temps PhB atteint le terminus des américains, en farfouillant au terminus il trouve une galerie qui revient en arrière, il s'y engage et aperçoit bientôt des lampes venant en face de lui. Avec Bruno, ils viennent de jonctionner.

Delphine cherche désespérément la galerie du tanin.

A Xel-Ha, les plongées deviennent de plus en plus complexe à gérer, nous devons commencer à emmener des relais et à utiliser le scooter Apollo. Les règles se multiplient : double scaphandre, règle du tiers et maintenant «Tacos moins le quart ». Eh oui, en mettant à notre disposition le stand de tacos de 16h à 17h, la direction de Xel-ha nous impose de nouvelles règles de plongée !)

Christian, Juan, Laura et Bernard effectuent un portage pour les premières plongées dans les cénotes situés chez Innocentio.

Christian plonge le cénote du Minotaure. PhW contraint de rester en surface (ils ont porté un unique équipement) observe les tortues dans la vasque.

Bernard aidé de Joao et Laura reconnaît le cénote Piqua piedra. Arrêt sur barrière de concrétions.

### **Mardi 11 Février 97**

PhB et Delphine restent les seuls représentants de l'équipe à Xel-Ha.

PhB atteint la fin de la grande galerie du nord (soit 900 m de l'entrée), plus de suite, la galerie se termine dans une vaste salle laminante creusée par l'hallocline.

Delphine, qui a enfin trouvé la galerie du tanin, en prolonge le terminus de 50 mètres.

Christian, Joao et Laura se rendent au cénote Minotaure, c'est au tour de Joao et Laura de poursuivre les explos : la cavité se dessine lentement freinée par la multitude de petits départs et d'obstacles encombrants le cheminement.

Bernard retourne au cénote Piqua piedra, il casse la barrière de concrétions à coup de marteau, sauvage !) arrêt sur autonomie sans avoir franchit l'étroiture. PhW profite de la touille levée par Bernard pour dresser la topo.

Bruno reconnaît des cénotes dans les environs de Xel-Ha (Doña Clarita et El Basurero). Il plonge le siphon au fond de la cueva de las Estalactitas chez Jorge.

Je tente de nouveau ma chance au cénote Jaguar. Armé d'un bi et d'un relais je dépasse le terminus américain pour mieux me stopper 20 mètres plus loin dans une galerie de plus en plus laminante. Après Marco accepte de me servir de mannequin pour quelques prises de vues sous-marines.

**Mercredi 12 Février 97**

Christophe , PhB et Delphine se rendent à Xel-Ha.

PhB cherche des départs dans la grande galerie du nord. Tous ceux qu'il trouve ne sont que de petites branches parallèle. En chemin il découvre de 2 nouveaux squelettes de lamantin.

Je poursuis la galerie du tanin sur 50 m, arrêt sur trémie de blocs immenses . Je cherche désespérément à passer en haut, en bas , à droite et à gauche, rien n'y fait, c'est la fin. Topo complète au retour.

Après le tacos, je replonge dans la galerie du Nord afin de topographier la pointe de PhB. En effet ce brave Philippe avait oublié sa plaquette topo (dans la rubrique faites ce que je dis, pas ce que je fais ;-)

Delphine s'est vu confier la redoutable mission de recherche de départs sur la gauche de la galerie des américains (localisation supposée des arrivées d'eau majeure). Peu de succès pour aujourd'hui.

Christian, Joao, Laura et Bernard retourne au cénote du Minotaure : la cavité devient de plus en plus labyrinthique et la progression n'est pas des plus aisée. Bernard découvre un nouveau départ dans la vasque d'entrée, il le suit sur 70 mètres.

PhW décide de plonger seul le trou bleu de Hpu-Ha, il effectue un 1<sup>er</sup> portage avec tout le matos sauf les blocs. Lorsqu'il revient avec les blocs, il a la désagréable surprise de s'être fait taxer tout le matos. Il aperçoit deux mexicains modèle « Ayons l'air de rien », il en attrape un des deux qu'il réussit à faire parler : tout son matériel est en fait caché dans la végétation avoisinante. Il récupère la quasi totalité de son matos. Il peut enfin s'immerger. Il parcourt 2 galeries sur 15 mètres, arrêt sur rétrécissement et touille. Au retour, ne voulant pas rééditer l'exploit, il portera tout le matériel en un voyage.

Bruno prospecte avec Jorge, il reconnaît en apnée le cénote Ojo del Chucken.

**Jedi 13 Février 97**

PhB se rend seul à Xel-Ha. Il recherche des départs sur la gauche de la grande galerie du nord. Il finit par faire une jonction avec la galerie au fil américain ! Les 2 cavités principales sont désormais connectées.

En sortant, une désagréable surprise l'attend : tout son matériel a disparu. Il ne lui reste qu'un unique maillot de bain en guise d'habillement.

Avec Delphine, nous nous rendons au cénote Minotaure. Je visite quelques nouveaux départs qui ne donnent rien, Delphine va fureter dans la galerie explorée la veille par Bernard et la prolonge de 50 mètres.

Bernard retourne au cénote Piqua Piedra, il franchit enfin la barrière de concrétions, il poursuit la galerie jusqu'à une salle terminale d'une quinzaine de mètres de diamètre. Au retour il pense avoir trouvé une nouvelle galerie, celle-ci se révèle n'être qu'une galerie parallèle.

PhW et Bruno plongent le cénote Ojo del Chucken. Il ne trouve pas de suite intéressante.

Christian, Juan et Laura vont prospecter vers Tulum avec Marco. Ils repèrent une série de 3 cénotes à plonger. Une reconnaissance dans les vasques confirme la présence de départs importants.

Le soir c'est avec regret que nous accompagnons Joao et Laura à l'aéroport après une dernière Margarita.

**Vendredi 14 Février 97**

Avec Bernard, Bruno et Marco nous devons nous rendre à Tulum pour reprendre les explorations de la veille, mais faute d'explications claires, nous faisons demi-tour. Nous décidons d'aller rendre visite à Jorge. Il nous montre le cénote San Miguel où se trouve un

captage d'eau douce. Ce cénote est gigantesque : la vasque approche les 20 m par 30 m. J'effectue une plongée de reconnaissance à la nuit tombée (la plongée est supposée y être interdite mais aucun panneau ne l'explique).

Delphine se rend seule à Xel-Ha, elle recherche des départs sur la gauche de la galerie du fil américain. Victoire ! l'importante galerie d'alimentation est trouvée. L'exploration sera à poursuivre par cette voie.

Christian aide PhB à faire le portage jusqu'au Minotaure. Seul PhB plonge. Il termine tous les départs non reconnus. L'exploration est bouclée.

### **Samedi 15 Février 97**

Delphine et Bruno plongent au cénote Cuzel afin de faire prélèvements biologiques.

Je me rends avec Bernard et les Philippes à Taj-Mahal, une autre des merveilles explorée lors de la précédente expédition. C'est la grande séance photo - vidéo - photo en relief. Nous grillons une dizaine de rouleaux durant l'après-midi.

Ce soir c'est la fête, nous avons invité Marco et toute sa famille pour un grand dîner.

### **Dimanche 16 Février 97**

L'heure du retour sur Paris a sonné pour Delphine, les 2 Philippes et moi. Bruno nous accompagne à l'aéroport. Nous quittons la terre magique en nous promettant de revenir poursuivre nos explorations.

L'après-midi, Bruno et Bernard plongent les cénotes Picanate, Picarito et Rancho los Picaros où ils déroulent environ 400 mètres de fil. A poursuivre !!!

### **Lundi 17 Février 97**

Christian, Bruno et Bernard se rendent à Xel-Ha pour faire le bilan.

Une visite préparatoire est organisée avec la direction du parc touristique de Xcaret.

### **Mardi 18 Février 97**

Départ de Bernard.

### **Mercredi 19 Février 97**

Bruno explore une petite grotte sèche chez Jorge, il y découvre des poteries mayas, dont un fragment avec des glyphes.

L'après-midi est consacrée à une reconnaissance en PMT de la rivière souterraine aménagée du parc de Xcaret.

### **Jeudi 20 Février 97**

Départ des derniers membres de l'équipe.

## FEVRIER 1996

### Janvier 96

C THOMAS, invité pour une présentation à TEC 96 à New Orleans prend contact avec l'équipe de Steve GERRARD qui a négocié un droit d'accès exclusif avec le Ejido Jacinto Pat. Le projet d'explorer Dos Ojos paraît donc compromis. Mise au point de l'appareil topographique glonomètre.

### Samedi 3 février

Départ de Paris pour les trois premiers membres de l'équipe: Ch THOMAS, C TOULOUMDJIAN, B. GAUCHE. Arrivée à CANCUN où nous attendent JA LACLETTE et EDEL RIOS. Installation à l'hôtel. Marco ROTZINGER a trouvé un nouveau cénote qui paraît prometteur et a ouvert une piste de 2 kilomètres qui permet d'y accéder en véhicule.

### Dimanche 4 février

Attente à l'hôtel à CANCUN

### Lundi 5 février

Mise en place de la logistique avec l'aide de Edsel.

### Mardi 6 février

Nous nous déplaçons vers Puerto aventuras, où nous louons un bungalow. Ceux qui ont participé à l'expé 1995 connaissent déjà puisque c'est dans ce village de vacances que nous avons rencontré Mike Madden. Le cadre est plus que sympa : piscine, palmiers, parking ombragé. A ce propos on nous fait plusieurs fois la remarque que nous ne nous garons pas dans les emplacements qui sont attribués à nos deux appartements mais personne n'est capable de nous dire quels sont ces emplacements. Ca se termine par un pneu criminellement dégonflé en guise d'avertissement : message reçu, nous stationnerons au soleil, ce qui, compte tenu de nos horaires, ne sera pas trop gênant.

### Mercredi 7 février

Première plongée à Cuzel . Christian et Jose Antonio explorent la partie amont sur 400 mètres (topographiés) . Pendant ce temps, Bernard explore et topographie 400 mètres à l'aval. La cavité est de grande dimension et est parcourue par un courant sensible. Elle se développe à une profondeur n'excédant pas dix mètres.

### Jeudi 8 février

Arrivée de Bruno Delprat qui est passé par Mexico.

Poursuite des galeries explorées la veille par les mêmes équipes.. La galerie du Nord (gal A) est poursuivie jusqu'à 700 mètres de l'entrée. La galerie aval jonctionne avec un petit cénote situé au bord de la route. Bruno fait une plongée vers l'aval.

### Vendredi 9 février

Germano et Edsel entreprennent l'exploration de galeries annexes sur la gauche à 150 mètres de l'entrée dans la galerie du Nord puis explorent rive droite à 250 mètres de l'entrée un départ sur la droite . Christian et José Antonio poursuivent la galerie A jusqu'à 950 mètres de l'entrée dans un vaste salle basse. Bernard termine l'exploration du labyrinthe des galeries aval. Bruno découvre une continuation à 350 mètres de l'entrée dans l'axe de la galerie A.

**Samedi 10 février**

Denis Sablé Jean Pierre Stéfano, Philippe Brunet, Bernard Glon, Lucien Ciesielski et Hervé Chauvez sont chargés chacun de 2 bagages de soute et d'un sac de cabine : déballage au milieu du hall pour répartir les charges de façon à ce qu'aucun sac ne dépasse 30 kg. Il faut dire que cette année nous emportons un compresseur (en pièces détachées), deux propulseurs Appolo, 3 batteries d'Apollo, 4 bouteilles de 7 litres, 3 glonomètres (voir description plus loin), des km de fil d'Ariane, un ordinateur portable, plus tout le matériel perso, ainsi que les caméras et autres équipements photo indispensables à toute expé qui se respecte. Claude Toulomdjian et Bruno Delprat les accueillent à l'aéroport. Arrivée à 22 heures à Puerto Aventuras où nous avons loué un deuxième bungalow.

José Antonio et Edsel tournent un peu de film. C Thomas explore la galerie E jusqu'à 850 mètres de l'entrée. Arrêt après une grande salle sur un carrefour avec deux grosses galeries. Bernard explore la salle terminale de la galerie A. Arrêt à 1100 mètres de l'entrée.

**Dimanche 11 :**

**Cuzel.** Philippe et Jean Pierre plongent dans le cénote principal et jonctionnent deux galeries. Pendant ce temps Bernard Gauche retourne au terminus de la galerie A qu'il prolonge de 52 m et revient en visitant plusieurs départs. Bernard Glon et Denis topographient la salle d'entrée et visitent la galerie B : ils sont nettement déstabilisés par la physionomie des galeries et la quasi-absence de marquage sur les fils et posent des élastiques de chambre à air partout.

C'est vrai qu'il faut une période d'adaptation à ces réseaux qui sont plutôt labyrinthiques, bien que des axes de drainage préférentiels soient nettement décelables. Dans les grandes galeries l'eau est très claire tant qu'on évite de palmer près du fond. Les seules particules proviennent du plafond c'est d'ailleurs très beau de suivre un plongeur à 10 ou 20 mètres et de voir les colonnes de sédiments descendre aux endroits précis où sont montés les panaches de bulles. Dans les parties basses c'est par contre très différent. On peut y faire plusieurs observations troublantes : le sol souvent très blanc s'envole sous les palmes, mais même si on ne palme pas, c'est le plafond qui descend sous l'effet des bulles (parfois même des morceaux de plafond) et même quand on retient sa respiration l'halocline, cette ligne de démarcation entre l'eau salée en bas et l'eau douce au dessus provoque des aberrations optiques qui peuvent interdire la lecture des instruments. En effet ces galeries basses qui constituent le terminus des galeries de Cuzel semblent creusées par l'halocline. On serait tenté de les qualifier d'interstrates mais il n'y a pas de strates dans ce calcaire récifal. Enfin une dernière remarque : le fil peut sembler bien fin et bien peu fractionné mais contrairement à nos réseaux européens les crues sont ici très atténuées et les courants la plupart du temps très faibles.

Lucien visite la galerie A sur 300 m, Bruno topographie le couloir D jusqu'au cénote des Dalles. Christian assure le soutien de surface avec José-Antonio Laclette (le représentant de la FMAS, Fédération Mexicaine d'activités subaquatiques) et négocie avec Marco. Quant à Marc, Hervé et Claude ils grillent de la pellicule dans le Cénote de la Route qui fait partie du système Cuzel.

**Lundi 12 :**

**Cuzel.** Jean pierre explore le terminus de la galerie E où un courant sortant est très perceptible bien que la suite soit très difficilement pénétrable.

Denis filme l'aval du cénote puis le monstre de rouille surnommé Mad Max qui nous sert à convoyer le matériel depuis la base de Marco jusqu'au cénote. Il se laisse même convaincre par Philippe de réaliser un plan où la bête d'acier roule au dessus de sa caméra posée au milieu du chemin. Philippe filme quant à lui le cénote de la Route : très beau plan séquence en travelling arrière paraît-il. Du côté des explorateurs, Bernard Glon, Lucien et



Bruno taillent à la machette autour du cénote de la Route et trouvent deux mares plongeables mais il faudra revenir par manque de fil, d'éclairage et de stab.

José-Antonio et Germàn se font montrer des cénotes par le Maya Blanc : rien de passionnant mais à noter quand-même un ravin (folla en langage local) qui pourrait être une galerie effondrée. Ils accompagnent ensuite Christian chez un voisin, Don Feliciano Tun Tha qui possède un réseau de cénotes intéressant dont **Taj Mahal** (ne cherchez pas ce n'est pas du maya) qui est exploré et exploité par des américains qui n'ont jamais daigné lui en fournir la topo : rendez-vous est pris pour la plongée le lendemain à 14 heures.

Nos autres compères Bernard Gauche, Marc, Claude et Hervé sont partis faire du photo-tourisme au **Gran Cénote** (Sak Aktum en maya) puis aux ruines de Tulum.

### Mardi 13 :

Récupération de Laurent Caillère à l'aéroport.

**Taj Mahal.** Pendant ce temps Christian et José Antonio visitent et topographient 240 m du cénote Taj Mahal exploré il y a 7 mois par les américains de l'équipe De Rosa et déjà exploité touristiquement.

**Cuzel.** Denis et Philippe rééquipent la galerie D de Cuzel et explorent quelques galeries parallèles après les 200 m. Denis ressort après 56 mn, inquiet de ne pas voir revenir Philippe qui réapparaît 50 mn plus tard après avoir topoté et connecté la galerie G, puis modifié l'équipement de la galerie A.

Bruno et Bernard explorent les deux trous d'eau près du cénote de la route : ils se rejoignent et s'arrêtent pour l'instant à -10 dans une salle concrétionnée.

Hervé et Marc torturent Claude qui sert de modèle pour des photos dans Cuzel. A la sortie ils rencontrent une équipe de Trieste (Italie) qui part explorer un cénote profond vers Valladolid.

### Mercredi 14 :

**Taj Mahal.** Jean Pierre plonge au cénote Manglar (le marécage) en poursuivant la galerie explorée la veille par Christian. Il progresse de 25 m de plus jusqu'à la fin du laminoir. D'autres tentatives au retour ne donneront rien de plus. Il découvre un fossile qu'il laisse finalement en place car trop fragile : c'est une spirale conique de 10 cm à la base et de 12 cm de haut formée d'une lanière de calcaire blanc enroulée sur elle-même. Il fait ensuite le tour du cénote jusqu'à la jonction avec **Taj Mahal** et descend jusqu'à -22, dans le puits aperçu par Christian. Du mal à franchir la bouche du puits à -12 car il est plein d'eau salée et que les bouteilles presque vides flottent.

Bruno topographie la "**golden line**", le fil principal (et jaune) de Taj Mahal sur 350 m et laisse une étiquette repère (survey point 1). Ca continue gros ! L'installation de fils jaunes bien visibles et très différenciés des petits fils d'exploration se systématise dans les galeries les plus visitées des réseaux touristiques. Elles permettent de matérialiser des parcours continus faciles à suivre, sans croisements ni jonctions de fils.

En ressortant il rencontre deux instructeurs (Steve et Bill) qui lui expliquent que 8000 pieds ont été explorés et qu'une topo existerait chez Dann Lins à Akumal. Le problème est que cette topo n'a jamais été communiquée aux propriétaires du terrain (qu'est-ce qu'ils pourraient bien en faire?) et c'est pour ça que Feliciano compte sur nous.

Lucien et Laurent reconnaissent l'entrée de la galerie B.

Philippe part du **cénote Sagrado** en direction d'un autre cénote sans nom qu'il atteint au bout de 118 m. Il fait surface et explore deux autres départs qui rejoignent la même galerie. Retour à Sagrado et sortie par **Taj Mahal**.

**Cuzel.** Après une autre reconnaissance à partir du couloir D, Denis repère un cénote plongeable à 150 m du "parking" et aide Bernard à plonger un cénote en limite de la propriété. Bernard entre par une petite cavité à côté du cénote et débouche au plafond d'une galerie

d'environ 20 à 30 m de diamètre qu'il parcourt sur 150 m après avoir rejoint un fil en place. Arrêt sur un embranchement avec halocline.

Philippe filme avec Denis dans le cénote de la route et sur le chemin.

L'équipe photo (Hervé, Marc et Claude) s'éclate à **Car Wash** : mise à l'eau ensoleillée, troncs d'arbres, concrétions et petites tortues. En rentrant ils s'arrêtent au cénote Temple of Doom.

**Jaguar.** Christian a rendez-vous avec Jorge, propriétaire d'un terrain au Nord de l'Ejido Jacinto Pat (là où se trouve **Dos Ojos**). Il plonge avec José Antonio vers l'Est dans le cénote Jaguar où ils topographient 240 m de galeries basses dans l'halocline. Pendant ce temps Edsel et Germàn plongent à l'Ouest dans une branche explorée sur 350 m par Mike Madden. Ils explorent et topotent 150 m de galerie latérale. Christian explore encore 60 m de galeries étroites et boueuses au Nord.

#### **Jeudi 15 :**

**Taj Mahal.** Comme tous les matins nous passons à l'échoppe de Feliciano pour lui montrer l'avancement de la topo (le report est fait systématiquement tous les soirs). Jean Pierre poursuit la descente du puits vu la veille dans Manglar, espérant battre des records de profondeur (il a été question d'une descente à -90 dans Dos Ojos). Las, tout est bouché à -24. Bouclage topo de la vasque sous l'eau et en surface.

Laurent et Lucien, accompagnés en partie par Hervé pour les photos, partent de la vasque de Taj Mahal en direction de Manglar et topographient 310 m d'une galerie qui se dirige en fait plus au Nord que Manglar.

Philippe tombe en panne de globo à 50 m de l'entrée de Taj Mahal. Il poursuit la topo en comptant les noeuds du fil en place (un tous les 10 pieds) jusqu'au terminus de la galerie qui jonctionne avec Sagrada.

Christian topographie la Golden Line jusqu'au bout.

**Cuzel.** Bruno replonge dans le cénote "de l'arbre de la route" déjà reconnu le 12. Arrêt à 60 m -7 devant une étroiture soufflante.

Denis plonge le cénote situé à 150 m du parking dit "**cénote de la canalisation maya**" en raison d'un vestige de canalisation bâtie. 150 m de galerie à poursuivre.

**Ponderosa** (ou Pond De Rosa) : c'est le nom du cénote dans l'amont duquel Bernard a plongé la veille. Il y replonge avec Claude : 100 m de topo. Pour la petite histoire c'est Tony De Rosa qui a découvert et baptisé ce cénote à son nom : édifiant n'est-ce pas?

#### **Vendredi 16 :**

**Taj Mahal** : Jean Pierre part visiter l'extrême aval. Philippe le dépasse sur la Golden Line, avant la bifurcation (il est motorisé). Jean Pierre pose le relais au terminus topo de Christian et poursuit la topo sur 400 m. Il arrive au carrefour de trois fils dans une grande salle basse. Deux fils se terminent l'un dans un cul de sac, l'autre sous un cénote. Le troisième se dirige vers l'aval, il passe sous un autre cénote : le courant est très sensible. Plus loin le fil se divise à la base d'une trémie aval où je m'arrête. Au retour j'observe une crevette de 4 cm sur la Golden Line, juste avant une zone très troublée.

Lucien et Laurent ont visité un départ en rive gauche (arrêt sur étroiture et touille laiteuse) puis topoté 110 m de galerie vers le Nord à partir de la Golden Line (cette galerie constitue un shunt utilisé par les "advanced divers" pour rejoindre l'extrémité de la Golden Line).

Philippe a abandonné scooter et relais à 500 m au bout de la Golden Line, dans un paysage superbe : vaste galerie qui a été comblée puis revidée avec plancher stalagmitique suspendu sur des colonnes et halocline. 100 m plus loin il a fait surface dans un effondrement de 100 m de diamètre. Il se réimmerge dans une autre vasque et déroule 135 m de fil. Au retour il rencontre deux US divers .

**Cuzel** : Denis prolonge le cénote de la canalisation maya jusqu'à 220 m. Arrêt dans une salle basse de 50 m de large. Christian lève 260 m de topo à partir d'une deuxième entrée du même cénote.

Marc, Hervé et Bernard photographient la grande salle de Cuzel. Les tirages étant effectués le soir même, ils sont plutôt satisfaits de leurs résultats.

Claude, Bruno, José Antonio et Edsel se font guider par Jorge et repèrent trois cénotes situés sur sa propriété. Le plus long développe 120 m.

### **Samedi 17 :**

**Car Wash** : photos avec Philippe (dans le rôle de la star), Hervé et Marc. Arrêt au retour à Temple of Doom, puis baignade à la playa.

**Cuzel** : Denis prolonge jusqu'à 355 m la deuxième galerie du cénote de la canalisation. Bernard mètre le fil posé par Christian la veille sur 220 m. Bruno ne plonge pas (otite). Il fait de la topo de surface.

**Taj Mahal** : Laurent et Lucien topographient la branche Nord-Ouest sur 310 m. Claude et Christian aidés de deux mayas prospectent à partir des échoppes vers Taj Mahal. Découverte au bout de 700 m de marche (dont 200 à la machette), d'un premier cénote avec un départ, puis d'un autre, 200 m plus loin, équipé d'un fil (les deux ont été repérés au GPS).

Jean Pierre retourne voir l'aval. Au pied de la trémie aspirante un premier fil bute au bout de 100 m vers le Nord, un second fil zigzague à travers les blocs jusqu'à - 3, le troisième fil remonte vers le cénote qui précède le terminus. Au retour il suit un fil en rive gauche qui revient en vue du cénote par une galerie parallèle. Avant de ressortir il topographie à partir de la Golden Line 168 m de la galerie du shunt vers l'amont (jolie galerie un peu technique).

Christian, Jean Pierre, Lucien et Laurent tentent d'ouvrir une trace vers le cénote amont à partir du report de la topo de Philippe. Retour au crépuscule (l'heure où les Luciens montent au perchoir) sans avoir rejoint le cénote.

**Car Wash** : photos avec Hervé et Marc.

### **Dimanche 18 :**

**Taj Mahal** : Claude rejoint le cénote Nord en passant par le shunt. Il sert d'appeau vivant aux machetteros brothers (Lucien et Laurent) qui ont tôt fait de le rejoindre par la surface.

Pendant ce temps Jean Pierre poursuit la topo du shunt commencée la veille. Après leur défrichage Lucien et Laurent opèrent la traversée entre Taj et Manglar.

**Cuzel** (cénote de la canalisation maya) : Denis pousse jusqu'à 395 m arrêt à quelques mètres de la surface dans un effondrement. Au retour encore 40 m dans une galerie adjacente.

Bernard explore un départ à 210 m dans le même cénote : au bout d'une quinzaine de mètres ça se resserre. Il sent une pression importante sur les bouteilles : une partie du plafond s'est détachée, il est coincé, fait comme un rat à des milliers de km de la maison ! Il s'en sort en décapelant les bouteilles puis le casque et en marche arrière.

Pendant ce temps Bruno (otite externe gauche) prospecte en surface : deux petits cénotes repérés.

### **Lundi 19 :**

Philippe accompagne Christian à l'aéroport à Cancun.

**Cuzel** (cénote de la canalisation maya) : Denis explore une galerie Ouest vers 184 m : elle rejoint le fil principal. Bernard déroule 80 m à partir du point 225. Jean Pierre revoit le terminus de cette galerie. Il s'agit d'un effondrement de 15 m de large. Les particules sont nettement aspirées : c'est un aval. Quinze mètres en amont il s'engage dans une galerie basse (très basse) et limoneuse (très) mais l'orientation est bonne (Ouest) et c'est clair devant. Il zigzague entre les concrétions avant de déboucher dans une petite salle (diamètre 5 m, hauteur

1,5 m). C'est bouché plus loin (déroulé 30 m). Retour sans topo : impossible de voir quoi que ce soit.

Bruno explore le cénote qu'il a repéré vers l'Est, en aval de Cuzel. C'est bouché au bout de 90 m vers le Nord.

**Taj Mahal** : Laurent fait des photos au scooter avec Hervé. Lucien explore l'aval du cénote **Vista Bonita** : c'est le nom du cénote Nord de Taj Mahal. A noter que les américains qui l'avaient découvert (20 ans au moins après les mayas) l'avaient baptisé Shah Jahan (to reinforce a positive image) ce qui est nettement plus exotique.

José Antonio et Germàn poursuivent la galerie de Philippe sur 100 m vers le Nord, sans suite. Au retour ils découvrent une prolongation qui traverse une grande salle ornée. Germàn déroule 300 m de fil jusqu'à un rétrécissement.

Claude plonge à leur suite et fouille pendant 1 h 30 sans trouver de prolongement.

### **Mardi 20 :**

**Taj Mahal (Vista Bonita)** : C'est un large effondrement de 50 m de diamètre mais le dénivelé entre le centre et les bords n'est que de deux mètres, ce qui explique que nous en soyons arrivés si près sans le voir lors de notre première tentative. On pénètre dans la cavité par un décollement entre le plafond et l'éboulis central. Le tour complet et possible au ras de l'eau mais certaines zones ne reçoivent pas la lumière du jour. Nos amis mayas nous montrent comment se débarrasser d'un essaim de guêpes mal situé : on enfume avec un brûlot d'herbe sèche tenu au bout d'une perche, on décroche et on brûle. Exit las abejas!

Jean Pierre topographie la galerie équipée par Germàn en rajoutant 40 m dans l'halocline : c'est fermé de partout. Il topographie ensuite la galerie explorée par Philippe; sur la fin elle suit un effondrement qui semble remonter en surface. Elle se termine sur une surface mais un effondrement empêche de voir le jour.

Laurent explore la zone située près de la sortie du shunt de la Golden Line (c'est moins loin en passant par Vista Bonita). Ensuite avec Lucien ils lèvent la topo de surface du cénote.

Pendant ce temps Denis, Bernard, Philippe et Bruno font du tourisme à Tulum puis partent en quête d'un authentique village maya qu'ils ne trouveront pas.

### **Mercredi 21 :**

**Taj Mahal (Vista Bonita)** : Comme tous les matins, déballage de la topo, qui commence à devenir conséquente, dans l'échoppe de Feliciano. Arrive le célèbre Tony De Rosa soi même et en personne. Il a l'air nettement interloqué en apercevant la topo. Il se présente et nous donne rendez-vous le lendemain soir à 18 h au dive shop d'Akumal (pour discuter autour d'une bière).

C'est la foule à Taj. Bill et Kay encadrent un groupe de 7 cavern tourists, juste derrière Germàn et ses 3 clients. Au retour de notre premier portage vers Vista Bonita Germàn me demande la topo et la montre à ses clientes californiennes qui poussent des Ha, des Ho et des Great pendant que leur mec vidéote la topo (qui, attention, n'est pas encore complètement apprivoisée)

A Vista, Denis compte poursuivre et topographier la galerie commencée par Laurent. Il ne retrouve pas le fil posé par celui-ci. Il décide alors d'explorer un départ aperçu au retour. Au bout de 30 m il croise le fil de Laurent qui n'était pas attaché, va au bout de la galerie et lève la topo. A la sortie il s'ensuit des explications un peu vives entre eux. En fait, après analyse des deux récits Laurent avait amarré le fil affluent directement sur le fil principal (la Golden Line) ce qui n'est pas une pratique recommandée en Europe et qui relève de l'hérésie aux Etats Unis. Encore fallait-il le savoir. C'est donc un américain qui a détaché rageusement ce fil, sans doute le même qui a enlevé nos provocantes étiquettes topo FMAS/FFESSM (Dann Lins?).

Laurent plonge la vasque Nord-Ouest. Il déroule 150 m dans une grande galerie orientée vers le Nord.

Bruno poursuit la galerie de Lucien. Terminus dans l'halocline, 125 m de topo.

Lucien plonge dans la galerie Sud Ouest où il déroule 130 m dans une eau cristalline.

Philippe récupère ses bouteilles et plonge sur ses traces (un nuage blanc). En fait le fil décrit un N et la distance réelle n'est que de 15 m!

**Xpu Ha** : ne cherchez pas à prononcer ce nom, ça s'éternue ! C'est l'exsurgence du système Taj Mahal en mer. Bernard et Claude y accèdent en bateau à partir de la crique de Cha Ka Lal jusqu'à la propriété privée d'un notable de Mexico City au bord du lagon. Ils explorent une grande salle sans suite évidente. Une autre tentative dans le lagon s'arrête sur une succession d'étranglements dans des blocs traversés par un fort courant. Le soir, pâtes au thon épicé à la maison (une recette exclusive, improvisée par Stef et Philippe).

#### **Jeudi 22 :**

**Taj Mahal (Vista Bonita)** : Départ matinal pour la dernière grosse pointe de l'expé. Portage de trois bouteilles par Laurent, Lucien et Denis. Je m'immerge à 11 h dans la vasque Nord-Ouest pour poursuivre la galerie vue par Laurent la veille. Jean Pierre amarre son fil à 150 m, au bout de celui de Laurent, dans une petite salle de 10 m. Ça continue derrière un rétrécissement puis la galerie butte irrémédiablement dans une autre "salle" de 5 mètres. Il n'a déroulé que 55 m de plus. Retour en topo, le tout en continuant de respirer sur le relais. Il fouille la salle à 50 m de la sortie sans rien trouver : tout n'est qu'un effondrement et bute sur les bords du creusement haloclinesque. Par contre c'est bien un amont car l'eau trouble s'évacue vers la sortie.

Une équipe de journalistes accompagne José Antonio et Germán sous l'eau : c'est épique ! Claude participe à l'interview pour la télé mexicaine avec José Antonio. Il est impressionné par la Bétacam du cameraman : en fait une Sony Hi8 de 500 grammes. Dans l'eau, Hervé surveille de près le commentateur qui débute en plongée.

Denis plonge en maillot, sans palmes. Il saute de rocher en rocher et regarde passer, inquiet, la palanquée de la télé. Bernard reste en surface.

Philippe filme avec Hervé. En réalité c'est une course poursuite où Hervé semble tenter de semer son cameraman à la palme. Et en plus l'eau est laiteuse : évidemment avec tout ce passage.

L'après-midi nous faisons nos adieux à Feliciano et quelques achats de souvenirs. Il est très content du plan de Taj que nous lui avons remis le matin. Nous passons ensuite prendre une bière avec Marco avant notre meeting chez De Rosa.

Nous arrivons chez De Rosa à 18 h 30 au lieu de 18 h pour apprendre qu'il est en train de revenir de Cancun et qu'il sera là dans 45 mn. Après quelques mots échangés avec sa "charmante" Nancy (est-ce qu'il y a des grottes en France?) nous prenons congé à 19 h sans avoir vu le Tony mais avec un exemplaire d'une petite revue promotionnelle (Cenotes, news from Aquatech / Villas De Rosa) qui retrace la découverte et l'exploration de Taj Mahal.

A l'appartement nous prenons un dernier verre avec José Antonio et Marco avant d'aller déguster nos derniers tacos et churros à Playa. Au retour, il reste encore à Philippe à recopier une deuxième fois au Rotring la carte de Taj Mahal, pour Marco cette fois, afin de garder l'original. En échange José Antonio nous remettra la topo du cenote Jaguar.

#### **Vendredi 23 :**

Nous débarrassons les appartements. Les provisions et les ustensiles restants sont donnés à Marco. Bruno qui n'est pas satisfait du rangement de la maison refuse d'aller rendre les clés. Nous nous en chargeons donc avec Philippe et Claude, avant d'aller saluer Mike Madden. Il est en pourparlers avec une équipe de la télé française. Nous l'interrompons quelques instants pour un bilan rapide de nos travaux. Il est intéressé par nos topos, nous par ses cartes : I think it's a good deal ! Pendant ce temps, Claude se tuyaute auprès des français : il s'agit d'un apnéiste soutenu par le magasin Plongespace qui envisage le franchissement d'une

galerie descendant à - 40 dans un cénote de la région de Merida. L'équipe de Mike est chargée de sa sécurité.

Ensuite Cancùn aeropuerto internacional. Rendre les deux fourgons, inspection des bagages, enfin les deux premiers, car on leur explique que toutes nos malles contiennent des objets aussi bizarres que sur la radio (accus, bouteilles, propulseurs...). Retour par Dallas dans un avion pas trop chargé puisque nous avons la place de nous allonger en travers des banquettes.

# FEVRIER 1995

(Compte-rendu par JP Stefanato)

Au cours du symposium TEK 94 à New Orléans, en janvier 1994, C. THOMAS établissait des premiers contacts avec les plongeurs américains du YUCATAN. Ces derniers commençaient activement à publier leurs explorations dans les revues de technical diving. (voir article dans SIFON 22, 1994). Parallèlement, Claude TOULOUMDJIAN avait noué des relations avec José Antonio LACLETTE représentant de la Fédération Mexicaine de Actividades Subaquaticas (FMAS) au sein de la Confédération Mondiale d'Activités Subaquatiques (CMAS). En février 1995, la première expédition franco-méxicaine est organisée par claudetouloumdjian. Elle réunit Bozana OSTOJIC, Marc DEBATTY, José Antonio LACLETTE, Edsel RIOS, Jean Pierre STEFANATO, Christian THOMAS et Claude TOULOUMDJIAN.

## Le voyage (prologue)

L'aventure commence à Paris le samedi 11 février, dans l'appartement de **Christian Thomas** : avant de partir j'avais soigneusement (comme d'habitude) réparti mon équipement dans 3 sacs ne dépassant pas le poids autorisé. Mais **Claude Touloumdjian** a débarqué de Marseille avec 5 énormes sacs de matériel Beuchat "qu'il faut absolument emmener pour les photos"; le tout est étalé au milieu du salon-dortoir de Christian qui ressemble à l'arrière-boutique du Vieux Plongeur. Après d'âpres négociations nous parvenons à convaincre Claude de laisser sur place près de la moitié du matériel, mais impossible de transiger pour Bozana qui insiste pour emmener ses palmes de nage en plus d'une garde-robe déjà fournie (elle réussira à utiliser une partie de ladite garde-robe pendant le séjour, mais jamais ses palmes de nage).

Mais je manque à tous mes devoirs en omettant les présentations : **Bozana Ostojic** est Serbe (de Bosnie), monitrice CMAS 3 \* et responsable du plus gros club de Belgrade, vice championne d'Europe de nage avec palmes (ou quelque chose comme ça), secrétaire de la commission des brevets de la CMAS, elle ne parle que le serbe et l'anglais (avec un exotique accent slave) et c'est Touloum qui l'a initiée à la plongée souterraine lors d'un camp dans le Monténégro. Le salon se transforme en dortoir bien après 23 h, alors que le réveil sonne quelque 4 heures plus tard. Il faudra 2 taxis bien pleins pour nous acheminer tous les quatre à Orly. Au passage des détecteurs Bozana se fait délester de son couteau suisse, on frôle l'incident, plus loin une contrôleuse repère le kit sherpa qui sert de bagage de cabine à Christian et commet l'imprudance de le peser : cette fois il faudra négocier. Pendant ce temps Bozana photographie : l'aéroport, Touloum croulant sous son petit sac bourré de matériel vidéo et d'éclairages (qui ne serviront guère plus que les palmes de nage), la mer à travers le hublot de l'avion, les îlots des Bahamas (tient on doit approcher).

Après une escale à Madrid et une à Miami, nous arrivons enfin à Cancun, pas vraiment frais. Nous sommes soulagés d'être accueillis par **José Antonio Laclette** et **Edsel Rios de Los Rios**, nos contacts mexicains. Récupération des bagages (nouvel incident : le couteau suisse n'a pas suivi), transfert du matériel dans le fourgon d'Edsel et des passagers dans un énorme taxi climatisé qui décharge en route quelques imposants américains dans leurs hôtels du bord de mer. Nous atteignons Cancun City, le magasin de plongée d'Edsel et notre piaule d'hôtel (un studio climatisé prévu pour 3 personnes).

Le lendemain lundi, préparatifs, premiers contacts avec les blocs US-style à étrier : des 80 cubic-feet à 2500 PSI (ça fait à peu près 10 litres à 200 bars, c'est en alu mais ça a le poids et l'encombrement d'un 12 litres). On insiste pour avoir des monos, mais ils manquent de cerclages : t'inquiète José, on a des Spansets et de la ficelle! Oui mais les buoyancies? On montre nos stab sans fixation, les discussions techniques s'engagent, et l'éclairage, les dévidoirs...

Christian et Touloum vont louer le fourgon qui nous servira de camp de base annexe pendant que je vais faire les provisions avec Bozana (je reste ferme sur les pommes de terre, mais dois céder sur la lessive pour avoir droit à la Tequila, je sais pas si tout le monde a suivi).

### Sak Aktun

Le mardi 14, baptême de circulation mexicaine et de plongée en cénote. Le site choisi s'appelle Sak Aktun, ça veut dire Grand Cénote en maya, c'est à une centaine de km au Sud de Cancun, mais le super ne coûte que 1,37 franc le litre. Nous passons au diving center d'Akumal (sable blanc et cocotiers) récupérer notre cave diving instructor qui s'appelle **German** mais est néanmoins mexicain.

Une fois les véhicules garés, on accède au site en passant devant un "ranch" où il paraît qu'il faut laisser une obole pour le dérangement. Ensuite le cénote se présente comme une dépression de 30 mètres de diamètre dans laquelle on descend par une échelle en rondins de 4 mètres. La plage est encombrée de plantes tropicales et il fait chaud; German explique le trajet prévu qui doit nous conduire jusqu'à un autre cénote. Il utilise, tout comme nos hôtes mexicains, un bi dorsal couplé muni d'un buddy regulator, dont le tuyau MP rallongé permet de nager à deux même dans des passages rétrécis, et un éclairage dont les accus sont rangés sous le bi, alors que la lampe est tenue à la main.

Je fais partie de la première palanquée, celle qui équipe, avec Claude et Bozana. Immersion : eau 25 °, visi... loin, concrétions ben... blanches, enfin c'est comme dans les films à la télé, sauf que là on est dedans. German déroule un premier dévidoir pour rejoindre le fil en place qui, comme dans tous les sites touristiques américains, débute après la zone éclairée par la lumière du jour (daylight zone). Passée la première impression on peaufine les réglages, prend l'azimut, contrôle le fil (ni distances, ni sens), trouve que ça ne va pas trop vite (Touloum profite du paysage). Tiens on a encore changé d'azimut, German raboute deux fils avec un second dévidoir (jump reel) cette fois il pose une flèche amovible personnalisée qui indique la sortie.

Au troisième dévidoir je craque, l'azimut a encore changé 2 fois et en plus on navigue depuis 35 minutes dans une espèce d'interstrate encombrée de concrétions (c'est d'un monotone) sans véritable galerie, sans courant, et sans beaucoup de passages à touiller pour être sûr que c'est bien là qu'on est passé. D'ailleurs Touloum a encore ralenti (je ne croyais pas que c'était possible); bon allez, pour une première plongée loin de la maison, on décide qu'on est sur les tiers. On croise la palanquée des vidéastes (quelle horreur ce mot) qui fait aussi demi-tour peu après nous.

Le dernier bonheur avant la sortie c'est la vasque bleue qui se découpe au bout de la galerie; c'est carrément magique. Je récupère mon appareil laissé à - 5 sur le fil et grille quelques poses sur Bozana à contre-jour : on a fait 75 minutes sans dépasser - 12, l'eau est bonne, et on caresse l'espoir qu'il reste encore du vierge qui ressemble à ça.

Comme il n'est pas trop tard on s'accorde 2 heures pour visiter notre premier site maya : TULUM, et oui (ils vendent même des T-shirts où c'est écrit dessus). Les ruines surplombent une sympathique crique sable blanc et cocotiers : il paraît que c'est là que les Mayas ont vu débarquer les blancs hirsutes venus d'Espagne, leur deuxième vague d'envahisseurs, puisque les Aztèques les avaient déjà repoussés jusqu'au bord de la péninsule (la troisième vague paye en US \$ et les emploie comme larbins).

Mais l'autre grand moment de la journée, c'est le rendez-vous avec **Mike Madden**. Nous repartons vers le Nord en direction de Cancun jusqu'à Puerto Aventuras où est établi le "Mike Madden's dive center", impressionnant de professionnalisme. La grande gigarelle sympathique qui nous accueille s'avère être française (et du midi en plus) elle nous conduit au bureau de Mike, Mont-Blancs alignés sur la poche de la chemisette, PC allumé sur le bureau : le boss, mais très chaleureux (par contre la clim un peu fraîche). Et alors il parle de son réseau, Nohoch, 40 km topographiés (sympa, il convertit ses feet en km) son regard s'allume, bien sûr



il vend des tourist tours et autres jungle trips mais tous les bénéfices sont investis dans les expés (zyva, y cause en ricain mais je comprends tout, ma parole). Même il faut faire de la place dans le bureau pour dérouler la topo intégrale du trou, impressionnant. Bref on se retrouve le lendemain pour plonger.

### Nohoch

Mercredi 15 le garde-barrière de Puerto Aventuras nous ouvre spontanément (on est repéré), on rejoint Mike, cette fois en tenue de broussard (pantalon plein de poches et surtout le chapeau du baroudeur-j'en-veux-un-comme-ça) dernières consignes au staff avant de partir, le maya charge bouteilles sac et glacière dans le 4x4, on mate discret son local à matos, surtout les propulseurs Tekna modifiés. Du coup Bozana craque un peu, elle délaïsse notre fourgon pour la Chevy de Mike.

Alors voilà, Nohoch c'est d'abord la marche d'approche. On gare les véhicules à l'entrée d'un chemin. Les mayas (les fils de Don Pedro) sortent des arbres avec leurs chevaux et ficellent le matos sur leur dos. Nous les précédons en devisant gaiement, sauf Touloum, qui commence à avoir mal au dos (d'ailleurs il ne plongera pas). Trois km de chemin plus loin nous franchissons la barrière du "ranch" de Don Pedro, avec lequel Mike entame les palabres traditionnelles (en espagnol, il sait se mettre à leur portée). Le cénote est en plein sur son terrain, un site exceptionnel. Les chevaux restent au bord, le matos descend par une corde, et nous par un escalier en bois.

Une petite cabane en bois au bord de l'eau abrite les tenues (gilets, PMT et lampes) pour la visite du cénote à la nage qui est fournie avec le jungle trip. D'ailleurs on a à peine commencé à s'équiper qu'ils arrivent guidés par Indiana Jones, sandwiches et boîtes de soda, les maillots de bain qui débordent de viande rosie par le soleil, et tout ça se met à barboter derrière la monitrice. Mike enlève sa culotte ("you can look here or you can look there, but if you look here please don't laugh!" je m'étais juré de la replacer) pendant ce temps on détaille son équipement, je parle bien sûr de ses bouteilles, qui sont fixées chacune en 2 points (haut et bas) sur les côtés d'un harnais qui lui procure un profil très hydrodynamique et parfaitement équilibré. Contrairement aux autres il utilise des bouteilles séparées en DIN et un éclairage frontal sur casque : c'est un explorateur.

Il nous observe discrètement pendant la mise à l'eau, nous briefe sommairement : je comprends qu'on va sauter d'un fil à un autre, mais que ça ne posera pas de problèmes compte tenu de la visi, que les fils principaux sont munis tous les 100 pieds de plaquettes indiquant la distance par rapport à la sortie la plus proche. J'ai l'honneur d'ouvrir la route avec le chef et Bozana. Alors là, c'est fabuleux, je sais même pas si j'essaie de décrire. Bon puisque vous insistez j'essaie. Le corridor : c'est tout droit, en se retournant on voit les lumières de la deuxième équipe 100 m plus loin, c'est tout blanc, des concrétions grosses comme des baobabs, - 18 au sol, -4 au plafond, la largeur difficile à dire (ça dépend où on considère que la "galerie" s'arrête) mais au moins 20 mètres. Plus loin un rétrécissement on frôle le sable blanc, ça rassure un peu, avant de déboucher dans une salle où les concrétions émergent d'un sol de poussière noire.

C'est là qu'on change de fil, pour (dans l'idée de Mike) ressortir par une autre galerie. Cent mètres plus loin nous lui signalons la proximité de nos tiers et une petite confusion lui fait faire demi-tour, ça ne fait rien, on ne s'en lasse pas. Nous avons parcouru un peu plus de 600 m à une profondeur moyenné de - 6 (90 mn de plongée en tout). Au retour c'est à nouveau l'extase en apercevant le cobalt fluorescent de la vasque; nous éteignons les lampes et flottons aspirés par la lumière. Près de la sortie, j'esquisse un pas de danse subaquatique avec Bozana, sous le regard attendri de Mike; merde Christian filmait, comment je vais expliquer ça à Joëlle?

## Cenote Can

Le 16 nous redescendons à Akumal pour faire de la première. Nous rejoignons German qui connaît l'homme qui connaît l'endroit. Nous retrouvons l'homme, dans un état éthylique avancé, il se munit d'une bouteille de "Ron" (une espèce d'alcool synthétique et bon marché, très efficace), pleine elle aussi, et nous guide à travers un chemin forestier tout juste carrossable. Il rejoint ses fils qui faisaient du bois; ils se mettent à deux pour le soutenir jusqu'au cénote. L'un d'eux nous montre comment descendre le long d'un tronc et Christian commence à plonger pendant que les indiens confectionnent une échelle en rondins.

Il ressort 40 mn plus tard avec la topo : terminus au bout de 90 m. L'autre branche est plongée dans une certaine confusion par les 3 mexicains (non, pas l'étroit mexicain) qui se refusent à admettre notre notion d'autonomie. Là non plus pas de continuation. Malgré nos avertissements Bozana avait choisi pour cette randonnée forestière un petit ensemble croquignolet : les mayas ont bien senti ce qu'est une baffe administrée par une serbe outragée d'un mètre soixante dix-huit.

Nous passons une partie de la soirée au centre de plongée d'Akumal, où les professionnels de la plongée souterraine organisent une réunion. Ils applaudissent poliment les représentants français de la CMAS et les représentants de la fédération mexicaine avant d'entamer des discussions sur l'entretien des fils dans leurs siphons touristiques, sur le niveau requis pour une cavern dive (plongée dans la day light zone : une \* CMAS), sur le nombre de plongeurs qu'on peut décemment emmener dans ces conditions etc. En fait il y a pas mal de texans dans l'assistance et je les comprends beaucoup moins bien que Mike (surtout qu'ils ne font pas d'effort), n'empêche, ils ont même des cave diving instructrices et ça, ça fait rêver : l'amitié virile entre spéléo-plongeurs c'est chouette, mais une petite nuance de tendresse de temps en temps...

## Village de Agua Azul (Quintana Roo)

Le 17, après avoir disserté sur des alignements Nord-Sud de cénotes qui apparaissent sur les cartes, nous changeons de secteur et nous dirigeons vers l'intérieur du Yucatan. Nous atteignons le pueblo Agua Azul au bout de 20 km de piste. Jose Antonio conduit les palabres avec l'autorité locale dont le fils nous conduit à travers 20 minutes de jungle jusqu'à un cénote d'au moins 50 m de diamètre. Retour au fourgon sur la place, Christian propose d'aller plonger ce cénote vierge mais ne soulève pas l'enthousiasme. Qu'à cela ne tienne, il se répartit l'équipement avec Bozana et part à l'aventure, pendant que je me prépare à plonger sur la place avec Jose Antonio et Edsel.

- **Cénote AGUA AZUL** : situé au milieu du village, ce cénote avait été plongé par des archéologues hollandais. Il se présente classiquement comme une dépression circulaire d'une vingtaine de mètres de diamètre. Le niveau de l'eau est atteint après une désescalade de 7 mètres. Je m'immerge en écartant ce qui flotte à la surface et je descends en suivant la paroi Sud, qui s'éloigne à partir de - 3 : la forme en cloche est elle aussi classique. Je trouve le fond à -26 et j'entreprends le tour de la paroi. La visibilité est réduite à moins de 2 mètres et le fond est encombré de branchages. Aucun départ apparent. Je propose à José Antonio et Edsel de plonger pour récupérer le fil, mais ma description ne les enthousiasme pas; tant pis, j'y retourne.

- **Cénote BOZANA** : Christian descend le long d'une paroi; à - 10 la paroi disparaît, et, n'ayant pas de bouée, il décide de s'arrêter à - 40, suspendu au fil d'Ariane, toujours dans le vide. Bozana vient lui tenir compagnie en apnée au palier, ce qui explique le nom attribué au

cénote (parenthèse culturelle : cenotes désigne aussi les seins en maya - "I'll kill you Zan-Pierle").

### Village de Juarez (Quintana Roo)

En poursuivant la piste on parvient au pueblo de Juarez. Après une première reconnaissance le 17 nous y revenons le 18 puis le 19. Les indiens sont sympas (moins pollués que sur la côte) et commencent à nous connaître; Bozana a beaucoup de succès auprès de Saturnino (12 ans) qui l'amadoue en lui offrant des orchidées.

- **Cénote AGUA AZUL** : situé au Sud Ouest du village, au milieu des champs, près de ce qui semble être un tumulus, ce plan d'eau de 40 mètres de diamètre a été exploré par José Antonio Laclette jusqu'à - 30, sans atteindre le fond. Nous avons noté un concrétionnement important sous forme de tufs autour de branchages. (plongées du 17 et du 18.02.95).

- **Lagune AGUA AZUL** : située près du cénote, cette lagune sert d'abreuvoir à quelques vaches réunies dans un pacage. Une reconnaissance en apnée confirme une visibilité peu engageante (moins d'un mètre).

- **Cénote de JUAREZ** : au Nord Est du village une approche d'une vingtaine de minutes à travers la forêt nous amène au bord de ce cénote. Il faut descendre d'une dizaine de mètres pour atteindre l'eau. Le diamètre est de 40 mètres en surface et d'environ 60 à 70 mètres au fond. Christian descend le long de la paroi Nord, tandis que je m'intéresse à la paroi Sud. J'atteins le fond à - 36 et entreprends de suivre la paroi. Je rejoins Christian à mi-parcours : il a eu la bonne idée de ne pas tourner dans le même sens que moi. Nous échangeons nos dévidoirs et effectuons chacun un tour complet du fond. Le côté Nord est moins profond : - 26 m. Le fond est encombré d'une couronne d'arbres enchevêtrés disposée à la verticale des parois. Nous ne trouvons aucun départ. (plongée du 18.02.95).

- **Secteur sud-ouest de Juarez** : je m'immerge dans une petite grotte avec un plan d'eau qui s'avère bouché à - 2. D'ailleurs un serpent surpris par le faisceau de ma torche (ami? ennemi?) m'incite à ne pas troubler davantage son vivarium. (le 19.02.95).

- **Secteur Sud de Juarez** : une autre petite grotte de 5 m par 4 recèle un minuscule plan d'eau où s'ébattent des poissons-chats : ici non plus pas de continuation.

- Nous terminons la journée au bord de la lagune de Juarez près du village : je m'enlise copieusement dans la vase histoire de faire marrer les petits mayas (sacré Saturnino!).

Le soir même nous récupérons **Marc Debatty**, aussi célèbre pour Bozana que Géwâ Dipâdiou. Nous retrouvons Touloum à l'hôtel, son mal de dos persiste mais il se soigne à la Tequila au grand désespoir de Bozana dont il refuse la nourriture (mais accepte les massages).

### Secteur de Dos Ojos (Quintana Roo)

Mais avec tout ça je ne vous ai pas encore parlé de **Marcos Rotzinger** et sa communauté maya. Dans le cadre d'un projet gouvernemental de réhabilitation du territoire et des populations indigènes, quelques arpents de jungle ont été répartis à des familles mayas qui essaient d'en vivre, en associant production vivrière, commerce et artisanat. Il se trouve que leur territoire comporte quelques cénotes, dont Dos Ojos, concurrent sérieux de Nohoch, développant paraît-il 30 km (pas vraiment topographiés) et potentiellement jonctionnable avec Nohoch (t'imagines le réseau?).

Or donc Marcos (pas le subcommandante) formé aux techniques de plongée souterraine US a obtenu la concession de l'exploitation touristique de Dos Ojos, espérant détourner par l'intermédiaire du diving center d'Akumal une partie du tourisme souterrain, en misant sur une approche plus... disons latine et ça marche pas trop mal.

D'abord l'approche : cette fois pas de marche, mais c'est sportif quand même. En effet le transport des troupes et du matériel est assuré (si si) grâce à des véhicules retournés à l'état sauvage : un châssis, un moteur, un siège pour le chauffeur, un plateau en planches, des ridelles

en rondins et on parcourt les 4 km de piste debout en se cramponnant aux traverses et essayant d'amortir les cahots du mieux possible.

Il reste quand même 200 m à marcher pour arriver au cénote dont l'entrée ressemble un peu à Nohoch. Nous y sommes le 20 février mais pour l'intérieur il faudra se référer aux photos de Marc, car je n'ai pas visité. En effet nous sommes venus pour prospecter et justement il paraît qu'il reste des cénotes vierges.

- **Cénote 1** : Un guide maya nous conduit Christian et moi à 2 cénotes situés à l'Ouest de Dos Ojos, à 1 heure 30 de marche (chargés d'un équipement pour deux). Le premier cénote est une grotte sympathique qui donne sur un petit plan d'eau dont la plage est constituée d'écailles de calcite : la calcite se forme à la surface de l'eau et coule au fond quand les cristaux sont trop lourds. Sans méditer davantage ces considérations, je me faufile sur une vingtaine de mètres jusqu'à - 5 où le passage est définitivement bouché par le concrétionnement.

- **Cénote 2** : sans me déséquiper, nous nous dirigeons vers le second cénote situé à une centaine de mètres du premier. C'est une dépression d'une cinquantaine de mètres de diamètre, encombrée par la forêt, qui s'ouvre sur un plan d'eau dans la plus pure tradition des Nohoch et autres Sac Aktun : cette fois on y croit!

Je progresse au milieu des concrétions immaculées dans une galerie pouvant atteindre une dizaine de mètres de large. Ces concrétions sont d'ailleurs envahissantes et obligent parfois à chercher le passage. Au bout d'une trentaine de mètres vers l'Ouest je fouille la base des colonnes : c'est bouché à - 5. Je remonte et parviens à me faufile entre les concrétions avant de déboucher au bout de 90 mètres de fil dans une salle encombrée d'un monticule de sable.

Ne trouvant aucune suite dans l'eau, je m'extraie de l'amas de racines pour escalader le monticule en dérangeant les chauves-souris. Rien ne semble continuer par ici non plus. Il ne me reste plus qu'à lever la topo en rentrant.

Nous rejoignons les autres peu avant la tombée de la nuit : notre guide maya qui a eu l'occasion de porter les bouteilles sur quelques centaines de mètres ne renouvelle pas sa proposition au retour (mucho pesante). Intellectuellement nous lui posons un problème : dans quelle catégorie de touristes doit-il nous cataloguer? Il n'est partiellement rassuré que lorsque nous lui remettons le prix de sa course.

### Secteur de Merida (Yucatán)

Le 21 nous nous tassons à 6 dans le fourgon, direction Merida, chef-lieu du Yucatán. Escalade touristique obligatoire à Chichen Itza, métropole maya mondialement connue. Le soir nous sommes accueillis à Merida par les plongeurs locaux et reçus en grande pompe (Touloum nous a distribué le T-shirt officiel de la fédé) par le directeur de l'Institut Technologique de Merida. Nous engageons la discussion sur nos objectifs avec diverses personnalités : géologue, anthropologue, plongeurs... Touloum rencontre même une mignonne archéologue métisse baptisée "Elle est à ta taille" par Bozana que cette expression fait beaucoup rire.

Le lendemain les plongeurs locaux nous guident vers les cénotes qui nous ont paru les plus intéressants d'après leur description. Nous en profitons pour regarder le paysage : les traversées de villages sont entrecoupées de ralentisseurs à franchir absolument au pas sous peine de casser la voiture. Les cabanes sont en bois à claire-voie, ce qui permet de faire du feu sans cheminée. Les femmes tirent l'eau au puits : pas une seule rivière à la surface de la péninsule, mais l'eau souterraine est partout présente. Je ne sais pas si les indiens la boivent telle quelle mais la plupart des mexicains consomment de l'agua purificada vendue en bidon.

A l'extérieur des villages des usines désaffectées servaient à la transformation du hennequen en fils pour hamacs et autres cordages. Les plantations sont elles aussi en grande partie abandonnées. Au début du siècle de grandes fortunes ont dû se faire ici puis se défaire.

- **Cénote ZADZINACHE** : il paraît que ça signifie "lugar de la hormiga roja de madera". En tout cas le folklore débute dès la "marche" d'approche qui consiste à traverser 4 km de plantations de "hennequen" plus ou moins abandonnées en suivant une voie ferrée

Decauville sur une plate-forme tractée par un petit cheval (non il n'était pas blanc et d'ailleurs il faisait beau).

Après une reconnaissance au fond d'un aven situé près de la voie ferrée, nous acheminons notre équipement jusqu'au cénote. Celui-ci n'est pas complètement débouché, on aperçoit l'eau 15 mètres plus bas à travers un regard de 50 cm de diamètre aménagé en puits. Un autre regard est situé au pied d'un arbre dont la racine descend jusqu'à l'eau. c'est par un troisième regard latéral qu'on peut descendre le plus facilement grâce à une échelle de corde dans la plus pure tradition marine (je préfère les échelles spéléo). Ce cénote est déjà connu par les plongeurs de Mérida qui nous accompagnent et qui l'ont exploré jusqu'à - 30. Ils connaissent en particulier une boucle qui part de la base du puits et qui descend jusqu'à - 30 avant de remonter, mais ils n'ont jamais continué la descente à partir de ce point bas.

Christian s'immerge suivi de peu par José Antonio qui filme. Il trouve en bas de l'éboulis une galerie descendante qu'il explore jusqu'à -57 sur 90 m de distance. Nous le rejoignons en apnée aux paliers avec Bozana et il me conseille d'aller voir la galerie de la boucle.

J'amarre donc mon fil à la base du puits et parvenu au bout d'une cinquantaine de mètres au point bas je distingue une suite possible qui s'avère bouchée à - 40 sur des bancs d'argile rouge foncé stratifiée. Je termine la boucle et en lève la topo au retour. (plongée du 22.02.95).

En revenant nous arrêtons le train à proximité d'un cénote où un escalier maçonné permet d'accéder à ce qui constitue une piscine naturelle (et couverte) que les plongeurs locaux utilisent pour l'initiation.

- **Cénote PAKAKAL** : Christian explore ce cénote sur 150 m jusqu'à une trémie à - 30, toujours talonné par José Antonio et sa vidéo. (plongée du 23.02.95).

- **Cénote EL CARACOL** : situé au milieu des champs de maïs, on pénètre dans ce cénote par une petite ouverture, puis un colimaçon naturel (el caracol) permet l'accès au plan d'eau, 12 mètres plus bas. Cette cavité avait été visitée par les plongeurs locaux qui annonçaient une profondeur de - 30.

La vasque fait 8 mètres de diamètre et permet d'atterrir au sommet d'un éboulis 10 mètres en dessous. la base de cet éboulis est à - 20. Deux départs et un puits remontant sont explorés. J'ai prélevé deux tessons de poterie aux points bas de l'éboulis et les ai remis aux plongeurs de Mérida . Il y en a d'autres, ainsi que des morceaux d'os. (plongée du 23.02.95).

Le soir même retour vers Cancun (300 km d'autoroute).

Le 24 nous retournons à Sak Aktun pour faire des photos et de la vidéo (avec scénario). Cette fois Touloum est remis, il plonge. Christian ayant dû prêter la stab Beuchat à Bozana pour les photos, il "s'équilibre" à l'aide d'un bidon accroché aux bouteilles. C'est la dernière plongée en cénote du séjour, des naïades mexicaines s'ébattent dans la vasque, le soleil descend dans l'axe de la galerie, j'ai vraiment du mal à m'extraire de cette ambiance.

### Cozumel (épilogue)

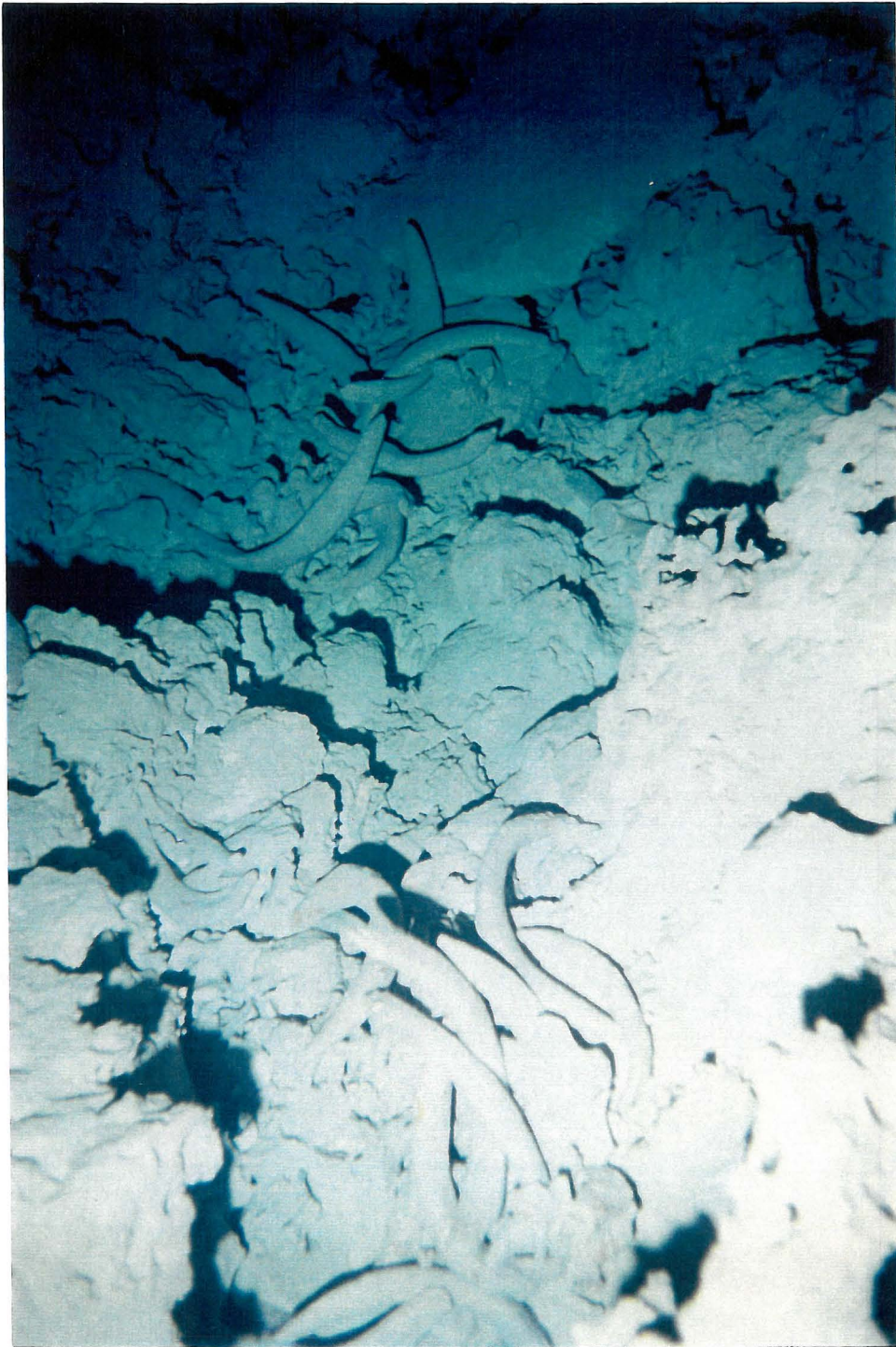
Pour en profiter jusqu'au bout nous décidons de passer la dernière journée sur l'île de Cozumel. Marc y connaît une monitrice française qui gère un club de plongée. **Corinne Lambert** nous accueille à bras ouverts et nous emmène sur deux de ses plus beaux sites.

Le soir au moment de reprendre le bateau vers le continent, nous sommes pris dans un embouteillage : c'est le carnaval. Nous nous installons donc dans un restau pour le voir passer en attendant la prochaine traversée. Retour sur Cancun bien cassés.

Le dimanche 26 c'est le retour : trouver le patron pour payer l'hôtel, rendre le véhicule (l'état du fourgon après 15 jours...), embarquement, escale à Miami, rembarquement, réorganisation du plan d'occupation du 747 par Bozana qui veut être au milieu de son harem d'hommes. A Madrid on abandonne une partie du harem : Claude et Marc rentrent directement à Marseille. L'avion arrive à Paris. Grisaille, adieux attristés...

# BIBLIOGRAPHIE

*par Bruno Delprat  
décembre 1996*



**SQUELETTE DE LAMANTIN DANS  
LES RESEAUX NOYES DE XEL-HA**

**Explorations - Exploraciones:***Mexicaines - Mexicanas*

DÁVALOS HURTADO, Eusebio (1964): Into the Well of Sacrifice : I return to the Sacred Cenote - National Geographic, vol. 120, n° 4, Washington D.C.

GAMBOA VARGAS, José A. (1990), Notas sobre la gruta de Waybil-actum ( gruta embrujada) o Yaax-nic (Yerba Verde) de Yucatán.-

Mundos subterráneos N°3, agosto 1992: 23-27 (1 survey) (engl.summ.; rés. franç.).  
General information about speleology of Yucatan Peninsula and in particular of Yaax-nic cave are given, as well as a description and survey of this cave. (RB).

LAZCANO SAHAGUN, C. (1985), The deep cenotes  
Association for Mexican Cave Studies Activities Newsletter, n°15, dec. 1985, pp. 70-76

LAZCANO SAHAGUN, C. (1986), Yaac-nik, una fantasía subterránea.  
México Desconocido, n°111 : 8-13  
Association for Mexican Cave Studies Activities Newsletter, n°17, dec. 1988, pp. 150-154

MARDEN, Luis (1959): Up from the Well of Time,  
National Geographic, vol. 115, n° 1, Washington D.C.

MARDEN, Luis (1963), Into the Well of Time, National Geographic Society, pp 185- 190  
Plongées au cénote de Dzibilchaltún au nord du Yucatan.Découvertes archéologiques et accident de décompression suite à une plongée à 144 pieds.

PÉREZ, Jorge (1992): Información preliminar sobre la Gruta Actun Ix Pukil ( Calcehtok), Yucatán.- Mundos subterráneos N°3, agosto 1992: 32-37 (survey) (engl.summ.; rés. franç.).  
Historic information, description and survey of Actun Ix Pukil cave. (RB).

PÉREZ Y PÉREZ, Carlos Alberto (1995): Aktunchen: el Pozo de la Cueva.-  
Congreso Internacional LV Aniversario, Primera Reunión Iberoamericana, La Habana 11-15 set. 1995,  
Resúmenes: 33. (only abstract).  
Yucatán. (RB).

*Françaises - Francesas*

STEFANATO, Jean-Pierre (1996): L'expédition FFESSM Yucatán 1995,  
Compte rendu pour la CREI-FFS, 12 p. ( 3 topos )  
Compte rendu journalier de l'expédition avec description des cavités explorées et topographies, Quintana Roo et Etat du Yucatán.

THOMAS, Christian (1996): Les cénotes de la jungle mexicaine  
Subacqua, n°148 sept 1996, pp. 48-53 (photos, 1 topographie)  
Exploration franco-mexicaine de 6 km de galeries noyées et topographie de plus de 12 km au Quintana Roo, réseaux des cénotes Cuzel et Taj Mahal principalement.

THOMAS, Christian (1997): Les cénotes du Yucatan  
Rapport de 148 pages : Géologie, hydrogéologie, inventaire des grandes cavités de la côte Est, résultat des expéditions 1995 et 1996.

THOMAS, Christian (1997): Expédition 1996  
Plan du système de XPU-HA in sifon n°27

THOMAS, Christian (1997): Expédition 1997  
Plan du système de XEL-HA in sifon n°29



*Nord américaines - Norteamericanas*

- COKE, James (1988), Cenote Sac Actún, the white cave  
Association for Mexican Cave Studies Activities Newsletter, n°17, dec. 1988, pp. 100-103
- COKE, James G.IV. (1992): Guidelines and maintenance in Mexico.-  
Underwater Speleology vol.19 nr.6 / Nov/Dec 1992: 11.  
Describes the Popular dive sites of Carwash Cenote (4800ft) and Temple of Doom Cenote (7000+ft) in Quintana Roo. (RM).
- COKE, James G. IV (1993): The underwater caves of Quintana Roo.-  
Association for Mexican Cave Studies Activities Newsletter nr.20 / Oct 1993: 70-71. (photo) (spanish abstract).  
In the past nine years, over thirty independent cave systems totalling more than 67 kilometres in length have been explored and catalogued. (AUTHOR; RM).
- COKE James G. (1994): Liquid Wells of Antiquity - Dive Mexico, 1994, Cancún  
Liste des cénotes plongeables connus du Quintana Roo.
- COKE, Jim (1993): Obituaries. Carl Sutton NSS/CDS 243 1964-1993.-  
National Speleological Society News vol.51 nr.11 / Nov 1993: 304-305 (portrait).  
Carl Sutton was a leading cave diver in the Quintana Roo Speleological Survey, Yucatan. (RM).
- COLE, Leon J. (1995): The Caverns and People of Northern Yucatan.- Association for Mexican Cave  
Studies Activities Newsletter no.21 / May 1995: 65-70. (map. figs).  
Reprinted from Bulletin of the American Geographical Society vol.42 no.5 / 1910: 321-336. Describes cenotes and underground drainage. (RM).
- GERRARD, Steve (1993): Diving in Quintana Roo, Yucatán Peninsula. Three reports.-Association for  
Mexican Cave Studies Activities Newsletter nr.20 / Oct 1993: 84-87. (spanish abstract).  
Winter 1991 expedition diving in Toucha Ha, Bacca Ha and the Blue Abyss yielded more than a kilometre of new passage. (RM).
- GERRARD, Steve; WALTEN, Gary (1995): Recent Underwater Discoveries in Quintana Roo.- Association for  
Mexican Cave Studies Activities Newsletter no.21 / May 1995: 93-98. (surveys). (spanish abstract).  
Diving in Cenote 27 Steps, Cenote Ak Tulum, Cenote Ek Be, Cenote Ponderosa, Cenote Alhambra, Cenote Dos Ojos and Cenote Nohoch Nah Chich. (RM).
- GERRARD, Steve (1996): Quintana Roo's Cenotes, Caves hand carved by god. -  
DeepTech, jan 1996, pp 24-31  
Présentation avec photos de 10 principaux systèmes du Quintana Roo : Cenote Carwash, système Dos Ojos, Cenote Esqueleto, Najaron, Mundo Escondido, système Nohoch Nach Chich, Sistema Ponderosa, Sistema Sac Actun, Cenote Taj Mahal, Vaca Ha. Historique des explorations.
- HUPPERT, George N. (1995): Catacombs of Yucatan: a brief blink in American spelean history.-  
Abstract History Session 1995 NSS Convention, Blacksburg, Virginia [in] Journal of Spelean History vol.29 no.3 / July/Sept 1995: 67-68.  
The Catacombs of Yucatan (also known as Black Hammer Cave) were discovered sometime in the 1870s or 1880s and for a short time in the early to mid 1930s were open to the public and generated its own electric light. (RM).
- MADDEN, Mike & GERRARD, Steve (1988), Quintana Roo, Association for Mexican Cave Studies Activities  
Newsletter, NACD News, n°17, de. 1988, pp. 15-16
- MADDEN, Mike; WINIKER, Ron (1992): Search for Xibalba, the underworld at the ancients Maya Gods.-  
NSS News Vol. 50 Nr.10: 264.  
The exploration history of the underwater cave system of Nohoch Nah Chich, Quintana Roo, Mexico. Surveyed length 13,29 km/ -9 m. Survey and area map.(RB) 8.12.1992

MERCER, H. C. (1975): The Hill-caves of Yucatán  
University of Oklahoma Press, chap. III: 21-31

MINTON, Mark; WEAVER, Nancy (1993): Mexico News.-  
Association for Mexican Cave Studies Activities Newsletter nr.20 / Oct 1993: 7-24. (photos. surveys).  
A round up of world-wide published news and information on recent activities and cave discoveries. (RM).

RUSSELL, William (1995): Mexico News.- Association for Mexican Cave Studies Activities Newsletter no.21 /  
May 1995: 4-11. (surveys).  
A summary of new discoveries since the publication of the last newsletter. (RM).

SPROUSE, Peter (1993): Deep Pits of Mexico. Long Caves of Mexico. Deep Caves of Mexico.-  
Association for Mexican Cave Studies Activities Newsletter nr.20 / Oct 1993: 25-27.  
50 of each as of September 1993. (RM).

SPROUSE, Peter (1995): Long Caves of Mexico. Deep Caves of Mexico. Deep Pits of Mexico.-  
Association for Mexican Cave Studies Activities Newsletter no.21 / May 1995: 12-14.  
An updated 50 of each list. (RM).

STEPHENS, John Lloyd (1993): The Cave at Bolonchen.- Association for Mexican Cave Studies Activities  
Newsletter nr.20 / Oct 1993: 88-92. (illus. survey) (spanish abstract).  
Visit to Bolonchen Cave in the Yucatan reprinted from Incidents of Travel in Yucatan 1843. (RM).

WINIKER, Ron (1990): Cave diving in the Yucatan : the exploration of Nohoch Nah Chich.-Abstracts of the  
NSS Annual Meeting 1990, Yreka; in: NSS Bull.vol. 53, nr.1 (june 1991): 65(only abstract)  
Quintana Roo, México. (RB).

*Anglaises - Inglesas*

WRIGHT, M.J. (1994): Mexico.- Cave Diving Group Newsletter nr.111 / April 1994: 48-51.  
Reports on dives at 10 sites in Quintana Roo. (RM).

WRIGHT, M.J. (1994): Mexico.- Cave Diving Group Newsletter no.114 / Jan 1995: 20-22.

WRIGHT, Martin (1994): Cave diving in Mexico.-  
Caves & Caving nr.65 / autumn 1994: p8-9 (photos).  
Diving at Ponderosa, Cenote Carwash, Naranjal System, El Grande Cenote, Temple of Doom, Dos Ojos,  
Cenote Angelita, Cenote del Mundo Escondido and Cenote Tancah, all in Quintana Roo, Yucatán. (RM).

*Italiennes - Italianas*

FORTI, P. (1992): Il primo congresso messicano di speleologia.-  
Speleologia SSI, anno 13, n. 26, marzo 1992: pagg. 72-73.  
Cronaca del congresso e delle escursioni in grotte dello Yucatan. (GM)  
Mundo Maya, diciembre 1994, Cancún  
Plongées des italiens dans l'Etat du Yucatán en 1993. Liste des principaux cénotes de la péninsule.

RUGGIERI, Saro (1992): Yucatan '91.-  
Speleologia Iblea, Anno 3, N. 3 / dicembre 1992: 64-86 (foto, 3 rilievi, cartine) (engl.summ.).  
Breve cronistoria della spedizione. Geomorfologia carsica di alcune cavità dello Yucatan. Sintetica descrizione  
delle caratteristiche fisiche e geologiche. Descrizione, caratteristiche geomorfologiche e rilievi di Cueva  
Chocantes (svil. 480 m / -55 m); Cueva Ixmait (svil. 280 m / -35 m); Cueva Sabak Ha' (svil. 520 m / -25 m).  
Calcari eocenici. (RB).

*Espagnoles - Españolas*

LLORET, Jordi; UBACH, Montserrat (1993): Els cenotes del Yucatán (Méxic).-  
Endins, Nr.19 / desembre 1993 : 29-36 (2 phot., surveys, area map) (dtsche Zusammenf.).  
A morphological description and surveys of 23 cenotes of Yucatan is given. The geomorfological and paleo -  
hydrogeological evolution of this karst feature is discussed. (RB).

*Allemandes - Alemanas*

KNAB, Oliver. (1986), Plongées touristiques (expédition Australie, Pacifique Sud, Mexique, Floride ) - Info-  
Plongée, Fédération Française de Spéléologie, Paris, n°47, pp. 5-18

KNAB, Oliver (1987), Speleonautic 88 - Höhlenpost, n°78 : 3-83 ( 9 fig., 14 photogr., 40 topos )  
Summary of the results of mainly speleonautical trips around the world, including Yucatan in Mexico and  
Guatemala.

*Hollandaises - Holandesas*

PREVOT, René (1991): Grotduiken Mexico '91.- Speleo Nederland 4/91: 40-41.  
Cave diving in Mexico , Quintana Roo, an unknown caving area; among other Nohoch cave system. (RB)

*Belges - Belgas*

VANDEZANDE, Michel; LEVEQUE, Sylvie (1992): Spéléo Club Kiwi au Yucatan.-  
UBS Info 71: 8.  
Notes d'introduction à la spéléo au Yucatán, suite à un court séjour professionnel en décembre '91. (DU)

*Tchèques - Checas*

BENYSEK, Lubomir (1990) : (Expedition Cuba-Mexico '89) (Engl. abs.).-  
Speleoforum '90 : 35 and 37, 1 photo.  
Members of the July-December, 1989 expedition to Cuba and Mexico mapped and explored 31 caves. The most  
important were : in México - Cenote Azul, Maco Negro, Cenote del Muerte (Yucatán, Quintana Roo state), in  
Cuba - Tanque Azul (over 2 km), El Macío, Aguáda de Alla, Panaderos, Cueva del Agua, El Capitán, Martin  
Pérez, Los Farallones (Holguín Province). (BOS).

**Géologie - Geología:***Etudes générales - Estudios generales*

BACK, W. & HANSHAW, B.B. (1967), Hydrogeology of the northern Yucatan peninsula, Mexico. Ann. Soc. Geol. America, New Orleans, pp. 64-78

CORBEL, J. (1959), Karsts du Yucatan et de la Floride.  
Bull. Assoc. Géog. Franç., n°282-283, pp. 2-14

ESCOBAR NAVA, A. (1986), Geografía general del estado de Quintana Roo.  
Imp. Gales, Mérida, Yucatán, México, 141 p.

ESPINASA PEREÑA, Ramón (1990), Propuesta de clasificación del karst de la República Mexicana, Tesis de Ingeniero geólogo, UNAM, México

HÉRAUD-PIÑA, Marie-Anne (1995): La plate-forme du Yucatan, Mexique: un exemple de karst tropical péenninsulaire.- Karstologia, n°26 / 1995: 1-12 (11 fig., 3 tb., 8 ph.).

HÉRAUD-PIÑA, Marie-Anne (1996): Le Karst du Yucatan : Pays des Mayas  
Presses universitaires de Bordeaux, Talence, 1996, 282 p.  
Etude systématique faisant le point des connaissances karstologiques, incluant les explorations des réseaux noyés.

LESSER, J.M (1976) Resumen del estudio geohidrogeológico e hidroquímico de la península de Yucatan.  
in Boletim de divulgacion Técnica n°10

LESSER, Juan E., & WEIDIE, A.E. (1988) Region 25, Yucatan Peninsula, in *The Geology of North America, vol. O-2, Hydrogeology*, The Geological Society of America, Boulder, Colorado, pp 237-241  
Hydrogéologie et hydrogéochimie de la plateforme du Yucatan. Structure de l'aquifère souterrain. Exemple de l'étude de la salinité des eaux de l'île de Cozumel.

LOPEZ RAMOS, E. (1973), Estudio Geológico de la Península de Yucatán,  
Bol. Assoc. Mexicana de Geol. Petr. Vol.25, n° 1-3 1974, Geología General y de México  
Base de la carte géologique de Lopez Ramos pour le secteur de Cancún.

RUGGIERI, Saro (1994): Geomorphological aspects of caves in the Yucatán Peninsula  
International Caver, N°10, 1994: 3-8  
A general geological overview, study of 3 moderately sized caves: Cueva Chocantes, Cueva Sabak Há, Cueva Ix-Mait.

SAPPER, K. (1896), Sobre la Geografía Física y la Geología de la Península de Yucatán,  
Bol 3, Instituto Geológico de México  
Base de la carte géologique de Lopez Ramos pour le secteur de Playa del Carmen à la baie de l'Ascension.

S.A.R.H. Estudio 1976 Etude hydrogéologique du Yucatan

STRINGFIELD, V.T. & LEGRAND, H.E., ed., Karst hydrology of northern Yucatan peninsula, Mexico, pp. 26-44.

VINIEGRA F (1981) El gran banco calcario yucateco UNAM Revista de la facultade de ingeniería VI N°1 p 21-23

WEIDIE, A.E. (1985), Geology of Yucatan platform, in *Geology and hydrogeology of the Yucatan and quarternary geology of northeast Yucatan peninsula*,  
New Orleans Geological Society, 160 p.

*Etudes de réseaux - Estudios de sistemas*

BACK, W., HANSHAW, B. B., PYLE, T.E., PLUMMER, L.N., & WEIDIE, A.E. (1979), Geochemical significance of groundwater discharge and carbonate solution to the formation of Caleta Xel Ha, Quintana Roo, México : *Water Resources Research*, v. 15, pp 1521-1535

BACK, W. (1992), Coastal karst formed by ground-water discharge, Yucatan, Mexico. *Hydrogeology of selected karst regions*, International Assoc. of hydrogeologists, International Contributions to Hydrogeology, vol. 13, pp. 461-466

BUCKLEY, D.K.; PINO VILLASUSO, M.; CANT, R.V. (1994): Geophysical borehole logging : a tool for investigating aquifer variation and vulnerability in karstic limestone aquifers. Abstract International Symposium Changing Karst Environments [in] *Cave & Karst Science* vol.21 nr.1 / Aug 1994: 6  
Studies of the Pliocene and Pleistocene limestones of the Yucatán (México) and the Bahamas, and Cretaceous limestone (Chalk) in the British Isles. (AUTHORS; RM).

GERSTENHAUER, A. (1987), Kalkrusten und Karstformenschatz auf Yucatan. Mexico, *Erdkunde* 41 (1) : 30-37 ( 1 tab., 6 photos )  
Calcretes and karst features on the Yucatan Peninsula. In the northern part of Yucatan karst regions are covered by crusts which are conform to the topography of karst features. A layer in which limestone is desintegrated into calcareous fine sand is always found under the crust. The genesis of these two strata is discussed in details (WB)

LOGAN, W.B. (1962), Submarine topography of the Yucatan peninsula. *New Orleans Geol. Soc.*, New Orleans, Librito-guía de la Excursión a Yucatán, pp. 101-104

ROLLET, B. (1974), Introduction à l'étude des mangroves du Mexique, Photo-interprétation, types de forêt. *Revue Bois et forêts des tropiques*, n°156, pp. 3-26 & n°157, pp. 53-65

RUGGIERI, Rosario (1993): Italo-mexican speleological expedition in Yucatan region 1991: Karst geomorphology of Yucatan caves.- *Proceedings XI Intern. Congress of Speleology, 2nd-8th August 1993, Beijing 1993: 14-17* (area map; 3 cave surveys). (riass. ital.)  
This report treats about the geomorphologic aspects found out in 3 of 7 visited caves (Cueva Chocantes, Cueva Sabak Há, Cueva Ix-Mait); gives a synthetic description of general geologic and physical characteristics of Yucatan Peninsula (south Mexico). The erosion forms and checked detrital deposits showed tectonic up and down that accompanied Yucatan's platform lifting. (RB)

STOESSEL, R.K.; WARD, W.C.; FORD, B.H.; SCHUFFERT, J.D. (1989) : Water chemistry and CaCO<sub>3</sub> dissolution in the saline part of an open-flow mixing zone, coastal Yucatán Península, México.- *Geological Soc. of America Bulletin* v. 101 : 159-169 (9 figs., ttabl.)  
Along the Caribbean coast of the Yucatan Peninsula brackish ground water (mixed fresh water and sea water) is channeled through upper Pleistocene limestone via fracture-controlled caverns. In caves, cenotes, caletas this open-flow zone comprises three major layers. A comparison of saturation indices to calculated mixing curves is presented. (RB)

TULACZYK, Slawomir M.; PERRY, Eugene C.; DULLER, Charles E.; VILLASUSO, Miguel (1993): Influence of the Holbox fracture zone on the karst geomorphology and hydrogeology of northern Quintana Roo, Yucatán Peninsula, México.-  
in: Beck, Barry F. ed. *Applied Karst Geology ... Rotterdam, Balkema: 181-188* (map, figs).  
A regional tectonic feature extending in a 100 km long and 30 to 40 km wide belt, the Holbox fracture zone crosses the flat karstified terrain of the northeast Yucatan Peninsula controlling development of large, elongated, flat-bottomed swales. Continuous swales that intersect the northern coast support periodic and/or episodic water flow. The hydrological system of the area is affected not only by surficial flows but also by net loss of groundwater through evapotranspiration from the swale wetlands and enhanced discharge of groundwater on the coast where a few permanent streams have developed. (Authors; RM).

*Cratère de Chicxulub - Cráter de Chicxulub*

CLAEYS, Philippe (1996): Chicxulub, le cratère idéal. Le chaînon manquant identifié dans le golfe du Mexique, La Recherche, N°293, déc. 1996: 60-62 ( 1 photo, 1 carte )  
Description du cratère d'impact météoritique et ses conséquences visibles sur la géologie régionale.  
Photographie du cratère de plus de 180 km de diamètre par modélisation en 3D des anomalies du champ de pesanteur.

HILDEBRAND, A.R.; PILKINGTON, M.; CONNORS, M.; ORTIZ-ALEMAN, C.; CHAVEZ, R.E. (1995):  
Size and structure of the Chicxulub crater revealed by horizontal gravity gradients and cenotes.-  
Nature, vol. 376 / 3 August 1995: 415.

It is shown that the diameter of the crater Chicxulub in Yucatán, Mexico (resulting from a large impact at the end of the Cretaceous period) is approx. 180 km by examining the horizontal gradient of the Bouguer gravity anomaly over the structure. This size is confirmed by the distribution of karst features, mainly cenotes. The coincidence of cenotes and peripheral gravity - gradient maxima suggests that cenote formation is closely related to the presence of slump faults near the crater rim (RB)

PILKINGTON, M., & HILDEBRAND, A.R. (1994): Gravity and magnetic field modeling and structure of the Chicxulub crater, Mexico -  
J. Geophys. Res., 99 : 13.147-13.162

SHARPTON, V. L. & al. (1993): Chicxulub multiring impact basin : size and other characteristics derived from gravity analysis -  
Science, 261 : 1564-1567

TULACZYK, Slawomir (1995): Influence of the K/T Chicxulub Impact Crater and the Holbox Fracture Zone on the karst geomorphology of the northern Yucatán Peninsula, México.- Cave Research Foundation Annual Report 1993 pub 1995: 37-39. (figs).

This study provides new data on structure of the northern Yucatán aquifer and puts forward an hypothesis on the character and origin of the apparent differences in karstification of its NE and NW parts. RM

**Cartographie - Cartografía :**

Carta topográfica 1:250.000, planche : Cozumel F16-11.  
Dirección General de Geografía del Territorio Nacional, México (1982)  
Carte indiquant un certain nombre de cenotes, peu de détails.

Carta topográfica 1:50.000 ,planches : Tulum F16C88, Xel-Ha F16C78  
INEGI, México (1986),  
Réalisées d'après photographies aériennes, indiquent un certain nombre de cenotes, peu de chemins ou autres détails.

LOPEZ RAMOS, E. (1981), Carta Geológica de la Península de Yucatán 1:500.000,  
Instituto de Geología de la UNAM, México  
Carte géologique sommaire indiquant les circulations temporaires de surface et leurs points de perte.  
Photographies aériennes stéréoscopiques de la péninsule du Yucatán. Couverture complète.  
INEGI, années 70, México D.F.

**Biospéléologie - Bioespeleología :**

ÁLVAREZ, J. (1947): Descripción de *Anoptichthys hubbsi* caracínido ciego de la Cueva de los Sabinos, San Luis Potosí - Rev. Soc. Mex. Hist. Nat., 8:215-219

Peces Cipriniformes ciegos de la familia Characidae, se conocen de varias cuevas de México.

ÁLVAREZ, J. (1970): Peces mexicanos (claves) - Inst. Nac. Inv. Biol. Pesqueras. Ser. Inv. Pesquera, Est., 1, 166 p.

Con peces Cipriniformes ciegos de la familia Characidae, de varias cuevas de México.

BOWMAN, Thomas E. (1987), Bahalana mayana : a new troglobitic Cirolanid Isopod from Cozumel Island and the Yucatan peninsula, Mexico

Proc. Biol. Soc. Washington 100 (3) : 659-663

A new species from two mexican anchialine caves, related to the two known Bahamas' species (RB)

CARRANZA, J. (1954): Descripción del primer bagre anoftalmo y depigmentado encontrado en aguas mexicanas (Pisc., Ameiur.) - Ciencia, 14(7-8): 129-136

Poisson-chat cavernicole, famille des Ictaluridae.

DE LA CRUZ, George (1992): Bioecología de las Grutas de calor.-

Mundos subterráneos N°3, agosto 1992: 7-21 (4 fig.) (engl.summ.; rés. franç.).

Hot caves are a very interesting ecological phenomenon. Speleomorphy, climate and biological informations of this kind of caves are given, including the listings of bat species and insect communities. Hot caves are common on Cuba, these have temperatures between 25°C and 40°C. These caves and their fauna are very sensitive to human activities. (RB).

GALLETTI, Iolanda (1992): Gli aspetti biospeleologici di Yucatan '91.-

Speleologia Iblea, Anno 3, N. 3 / dicembre 1992: 87-92 (foto).

Con elenco parziale e preliminare della fauna raccolta in 5 grotte dello Yucatan. (RB).

GARCÍA DEBRAS, Alfredo; PÉREZ GONZALES, Abel (1992): Nueva forma y nueva variante en la relación de las aletas impares para *Lucifuga simile* Nalbant 1981.-

Mundos subterráneos N°3, agosto 1992: 28-31 (1 fig.) (engl.summ.; rés. franç.).

A study on unpaired fin of this blind fish of Cuba. (RB).

HOFFMANN, A.; PALACIOS-VARGAS, J. G.; MORALES-MALACARA, J. B. (1986) : Manual de espeleología. - Edit. Universidad nacional autónoma de México, 1986 : 274 p. (77 fig. & phot.). ISBN 968-837-406-7.

Historique de la biospéléologie au Mexique : Bilimak 1866; Reddel 1971 et 1981 etc., avec bibliographie. Généralités sur la faune et les aspects écologiques. Matériel et méthodes. Compte-rendu des expéditions biospéol. réalisées depuis 1980 dans les états de Morelos et Guerrero, avec description + topo des 8 cavités visitées et de la faune recoltée. Liste des taxa et composition des biocénoses cavernicoles trouvées. (RB)

HOLSINGER, John R. (1989) : Preliminary zoogeographic analysis of five groups of Crustaceans from anchialine caves in the West Indian region. -

Proceed. Intern. Congr. Speleol., Budapest 1989, Vol. 1 : 25-26 (6 fig.) (rés. franç.).

Five genera represented by 19 stygobiont species, 17 of which occur in two distinct areas of endemisms : the Bahamian archipelago, and the Yucatán Peninsula. A putative marine ancestral fauna previously ranging from the Bahamas to Yucatan is hypothesized, as well as a colonization of caves in response to changes of sea level during the Quaternary. (RB)

MARSHALL, R. (1936): Hydracarina from Yucatán

Carn. Inst. Wash. Publ., 457: 133-137

MILLS, H.B. (1938): Collembola from Yucatán

Carn. Inst. Wash. Publ., 491: 183-190

OSORIO-TAFALL, B. (1943): Observaciones sobre la fauna acuática de las cuevas de la región de Valles, San Luis Potosí (México), Rev. Soc. Mex. Hist. Nat., 4: 43-71

Protozoarios, cnidarios, rotíferos, oligoquetos y artrópodos crustáceos.

- PALACIOS-VARGAS, José G. (1988): La Bioespeleología en México  
Anais do 1º Congresso de Espeleologia da América Latina e do Caribe: 162-168
- PALACIOS-VARGAS, José G. (1993): Historia y estado actual de la bioespeleología en México, Bol. Soc. Venezolana Espel., N°27, 1993: 14-17 (biblio.)  
Panorama bibliographique commenté, incluant les principaux travaux sur la biospéléologie des milieux aquatiques et les revues publiant sur la spéléologie au Mexique.
- PALACIOS-VARGAS, José G. (1993): Evaluación de la fauna cavernícola terrestre de Yucatán, México, Mémoires de Biospéologie, Tome XX, 1993: 157-163, Bucarest (3 topo., 1 tableau)  
Présentation de la grande variété de la faune des cavités de l'Etat du Yucatán. Liste des taxa.
- PEARSE, A.S. (1936): Results of Survey of the Cenotes in Yucatán  
Carn. Inst. Wash. Publ., 457: 17-28
- PEARSE, A.S. (1938): Fauna of the Caves of Yucatán  
Carn. Inst. Wash. Publ., 491: 1-17
- RIOJA, E. (1953): Estudios hidrobiológicos. XI Contribución al estudio de las esponjas de agua dulce de México - Ann. Inst. Biol. Mex., 24: 425-433  
Crustáceos isópodos, ostrácodos y braquiuros.
- REDDELL, J. (1971): A Preliminary bibliography of Mexican Cave Biology  
Ass. Mex. Cave Stud. Bull., 3: 1-184
- REDDELL, J. (1981): A Review of the Cavernicole Fauna of Mexico, Guatemala and Belize  
Texas Mem. Mus. Univ. Texas at Austin Bull., 27: 1-327
- SBORDONI, V. et al. (1988): Evolutionary Genetics and Morphometrics of a Cave Crayfish Population from Chiapas (Mexico) - Int. J. Speleol., 17: 65-80  
Análisis morfométrico y estudio de genética evolutiva sobre crustáceos cavernícolas.
- THOMPSON, D.J.; KIAUTA, B. (1994): Odonatospeleology: dragonflies in caves, with a checklist of the known records (Odonata).-  
Opuscula zoologica fluminensia 118 (April 1994): 1-10.
- VILLALOBOS, F. A. (1951): Un nuevo misidáceo de las Grutas de Quintero en el Estado de Tamaulipas - An. Inst. Biol. Mex., 22: 191-218
- VILLALOBOS, F. A. (1953): Distribución geográfica y notas ecológicas de los camarinos mexicanos - Mem. Congr. Cienc. Mex., 7:343-374
- VILLALOBOS, F. A. (1958): Estudio de los camarinos mexicanos XIV. Estudio comparativo de las especies mexicanas del subgrupo *blandingii*  
An. Inst. Biol. Mex., 29: 303-327
- VILLALOBOS, F. A. (1960): Un anfípodo cavernícola nuevo de México: *Bogidiella tabascensis* n. sp. - An. Inst. Biol. Mex., 31: 317-334
- WILKENS, H. (1987): Genetic analysis of evolutionary processes - Int. J. Speleol., 16: 33-57  
Peces Cipriniformes ciegos de la familia Characidae, se conocen de varias cuevas de México.
- WILKENS, H.; STRECKER, Ulrike; YAGER, Jill (1989) : Eye reduction and phylogenetic age in ophidiiform cave fish. - Z. zool. Syst. Evolut. -forsch. 27 : 126-134.  
The different degree of eye reduction in the West Indian Ophidiiform cave fish (Yucatán, Cuba, Bahamas) probably reflect phylogenetic ages. A possible date of origin of *Lucifuga spelaeotes* could be at the beginning or the end of the last glaciation. (RB)



**Archéologie - Arqueología :***Généralités - Bibliografía general*

ADAMS, R.E.W. (1980): Swamps, canals and the location of ancient maya cities, *Antiquity*, LIV, 212-206/213

ANDREWS, A.P. (1978): Puertos costeros del Postclásico Temprano en el norte de Yucatán, *Estudios de Cultura Maya*, XI: 75-93, Centro de Estudios Mayas, UNAM, México

BOCCARA, M. (1985): Agua de los dioses y agua del Gobierno. Algunas reflexiones sobre la cuestión del agua en Yucatán,

Memorias del primer coloquio int. de mayistas, UNAM, México D.F., 1985: 1083-1087

Cérémonies de la pluie: les Cha'chak. Rites associés à l'exploitation des eaux des cenotes.

BUSTILLOS CARRILLO, Antonio (1964): El Sacbé de los mayas, Costa-Amic, México

ONOR VILLAREJO, J.L. (1989): Las cuevas mayas - Universidad Complutense de Madrid & Instituto de Cooperación Interamericana: 11-17, 114-120

SIMÕES, Washington (1991): The TEKAX '90 Project and the use of the caves by the Maya. - in *Karst Water and Cave Mineral Resources, Quality of Cave Environment*, pp. 143-146.

Proceedings XI Intern. Congress of Speleology, 2nd-8th August 1993, Beijing 1993:

Yucatán, México. Physiography and archaeological occurrence in the visited caves. (RB).

STONE, Andrea (1995): Regional Variation in Maya Cave Art. - Abstract NSS Annual Meeting, Brackettville, Texas, 1994

[in] *National Speleological Society Bulletin* vol.57 no.1 / June 1995: 59.

Considerations of the issue of stylistic variation in Maya cave art from a functional, chronological and sociological perspective from sites in Yucatán, México and Belize. (RM).

*Plongées archéologiques - Buceo arqueológico*

ANDREWS, A.P. (1978): Dzibilchaltún, guía oficial, INAH, México  
Plongées de recherches au cenote Xlakah à Dzibilchaltún.

BORHEGYI, S.F. (1959): Underwater archaeology in the Maya highland  
*Scientific American*, 200: 100-113  
Plongées de recherches archéologiques.

BORHEGYI, S.F. (1963): Exploration in Lake Peten Itza,  
*Archaeology*, XVI(1): 14-24

Plongées de recherches en lac, près du site de Tayasal, Chiapas (?).

Departamento de Arqueología Subacuática del INAH (circa 1985): Programa de estudio de los puertos, embarcaciones y objetos de comercio de la costa del Quintana Roo,

DÁVALOS HURTADO, Eusebio (1964): Into the Well of Sacrifice : I return to the Sacred Cenote - *National Geographic*, vol. 120, nº 4, Washington D.C.

DÁVALOS HURTADO, Eusebio (1964): El cenote sagrado de Chichén Itzá y su contribución a la arqueología subacuática -  
Memorias del Quinto Congreso de la Sociedad Interamericana de Actividades Subacuáticas, México.

EATON, J.D. (1978): Archaeological survey of the Yucatan-Campeche coast,  
(in) *Studies in the Archaeological Yucatan and Campeche, Mexico*,  
M.A.R.I., Pub. 46:1-67, Tulane, New Orleans.

FARRISS, N. M. (1977): Maritime culture contacts of the Maya : underwater survey and test excavation in Quintana Roo, *International J. of Nautical Archaeology*, 6(2): 141-151  
Plongées de recherches de 1974 sur la zone Muyil-Tancah-Tulum.

FOLAN, William J. (1974): The Cenote Sagrado of Chichen Itza, Yuc., México, 1967-1968 : the excavation, plans and preparation - *International J. of Nautical Archaeology*, 3(2): 283-293

GUZMÁN PEREDO, Miguel (1991): La arqueología subacuática en México; Subaquatic archaeology in Mexico, Ediciones Euroamericanas, México D.F., 150 p.  
Ouvrage bilingue espagnol - anglais. Plongées archéologiques et découvertes au Yucatan des cenotes de Chichén Itza, Dzibilchaltun, du centre cérémoniel de Coba. Découvertes dans d'autres régions du Mexique. Ouvrage de synthèse avec bibliographie.

HURTADO, Genaro (1964): Mineralogía del cenote sagrado de Chichén Itzá - Memorias del Quinto Congreso de la Sociedad Interamericana de Actividades Subacuáticas, México.

MARDEN, Luis (1959): Up from the Well of Time, *National Geographic*, vol. 115, n° 1, Washington D.C.

MARDEN, Luis (1963): Into the Well of Time, *National Geographic Society*, pp 185- 190  
Plongées au cenote de Dzibilchaltún au nord du Yucatan. Découvertes archéologiques et accident de décompression suite à une plongée à 144 pieds.

PIÑA CHÁN, Román (1968): Exploración del cenote de Chichén Itzá, *Boletín del Instituto Nacional de Antropología e Historia, Investigaciones* n° 32, México

PIÑA CHÁN, Román (1970): Informe preliminar de la reciente exploración del cenote sagrado de Chichén Itzá - *Instituto Nacional de Antropología e Historia, Serie Investigaciones* n° 24, México

PINCEMIN, S.(1985): La Exploración subacuática en la arqueología Maya - Memorias del primer coloquio int. de mayistas, UNAM, México D.F., 1985: 303-318 (Biblio., 19 fig.)  
Intérêt de nouvelles campagnes de plongées de recherches archéologiques. Possibilités actuelles dans la zone maya. Bibliographie sur les travaux subaquatiques déjà réalisés.

Médecine - Aspectos médicos :

GABRIEL, A. (1994): Principaux risques infectieux encourus pour une expédition spéléologique au Mexique. Conduite à tenir, conseils généraux. (resumen. en español)  
*Proc. of the Eur. Conf. of Speleo. (Hélécine, Belgique, 1992)*, vol. 1: 77-83

VELASCO CASTREJON, Oscar (1990): Aspectos epidemiologicos de la histoplasmosis en Mexico.- *Mundos subterranos*, N°1, agosto 1990: 31-35 (engl. summ.; rés. franç.).  
Epidemiology of the histoplasmosis in Mexico, role of the bats and birds in the geographic distribution of this disease. (RB).

## *Sources*

### Revue spéléologiques - Revistas de espeleología

Boletín del Grupo Espeleológico Mexicano " GEM " (1967, 1968)  
Caverna (1978)  
Spelaion, Grupo de Investigaciones Espeleológicas " GIE " (1974)  
Oztotl, Grupo de Investigaciones Espeleológicas " GIE " (1974)  
Boletín de la Asociación Mexicana de Espeleología " AME " (1978, 1979)  
Base Draco, Grupo Draco (1982-1990)  
Boletín de la Sociedad Mexicana de Exploraciones Subterráneas " SMES " (1982)  
Tepeyollotli, Sociedad Mexicana de Exploraciones Subterráneas (1987, 1988)  
Mundos Subterráneos, Unión Mexicana de Agrupaciones Espeleológicas " UMAE "(1989→)

Spelunca, Fédération Française de Spéléologie, Paris  
Sifon, bulletin de plongée souterraine, Paris.  
Association for Mexican Cave Studies Activities Newsletter, Austin, Texas

### Revue de géologie et géographie - Revistas de geología y geografía

Boletín de la Asociación Mexicana de Geología Petrolera., México  
Geografía, Revista del INEGI, México  
Karstologia, Fédération Française de Spéléologie & Association Française de Karstologie, Paris  
Water Resources Research

### Magazines de plongée - Revistas de buceo

Dive Mexico, Cancún  
Cenotes, Aquatech - Villas DeRosa, Tulum  
DeepTech, U.S.A.

Info-Plongée, Commission Plongée Souterraine, Fédération Française de Spéléologie, Oyonnax  
Sifon, Commissions Ile-de-France de Plongée Souterraine FFESSM-FFS, Paris  
Subacqua, Fédération Française d'Etudes et de Sports Sous-Marins, Marseille

### Revue d'archéologie - Revistas de arqueología

Boletín del INAH, México D.F.  
Estudios de Cultura Maya, Centro de Estudios Mayas, UNAM, México D.F.

Antiquity, USA  
Archaeology, USA  
International Journal of Nautical Archaeology

### Revue grand public - Revistas de divulgación

México Desconocido, México D.F.  
Mundo Maya, proyecto de la UNESCO, Cancún



