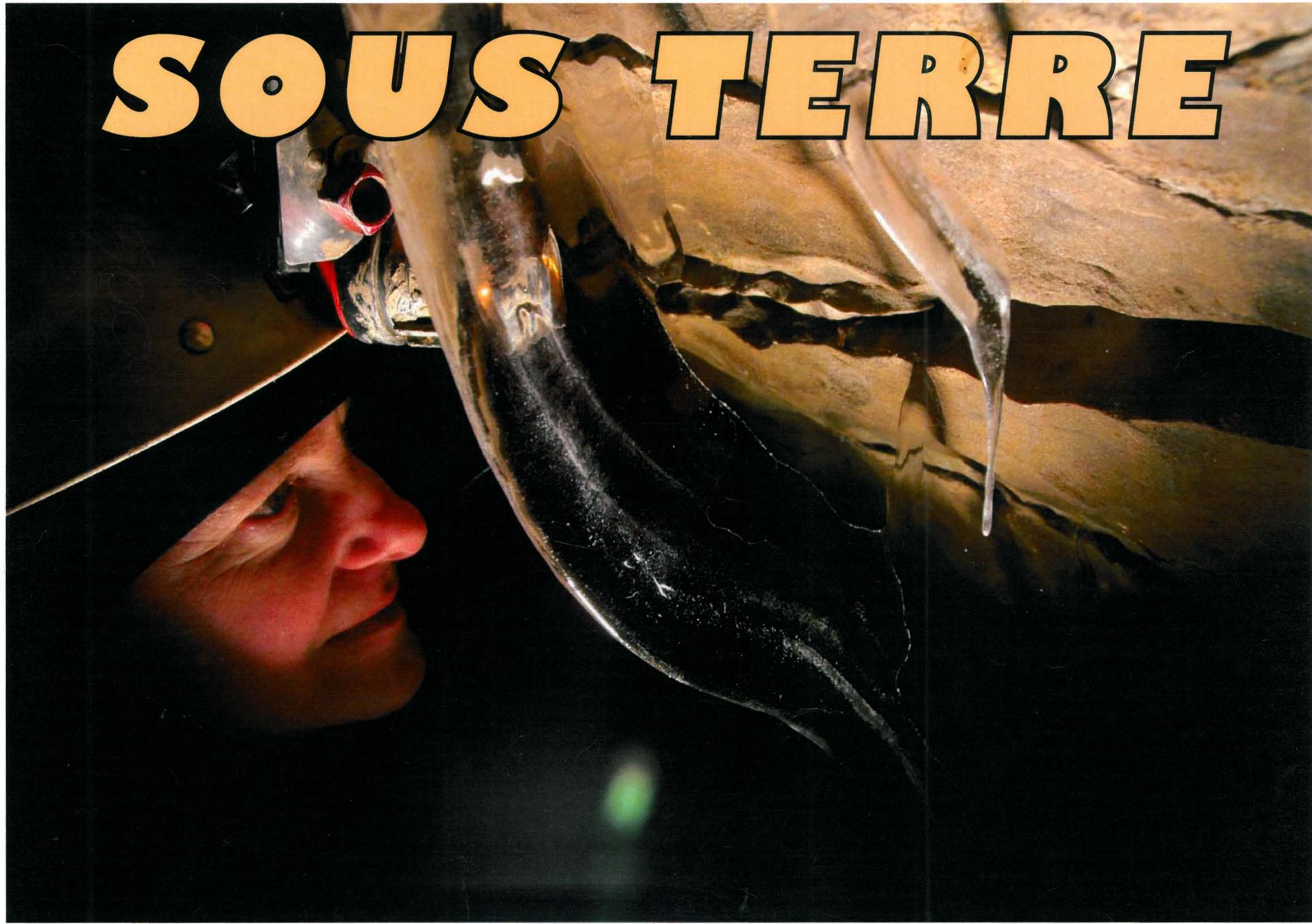


# SOUS TERRE



8-2008 Mexique 2008 / 1108

# SOMMAIRE

Hiver 2012  
Volume 22  
Numéro 1

- 3 **Éditorial**  
**Des défis à relever tous ensemble**  
par Christian Chénier
- 4 **Expédition**  
**Mexpé 2008 : à la recherche de jonctions**  
par Christian Chénier
- 10 **Expédition**  
**Sótano Tres Quimeras**  
par Guillaume Pelletier
- 15 **Cinéma**  
**On a tourné dans la Sierra Negra!**  
par Marc Tremblay
- 16 **Topo de TP5-07-11**
- 19 **Biospéléologie**  
**SMB : La collaboration des  
spéléologues est importante!**  
par Frédérick Lelièvre
- 21 **Technochronique**  
**Le Distobidule**  
par Guy Cadrin
- 25 **Topographie**  
**Mathématiques souterraines**  
**L'analyse des boucles**  
par Luc Le Blanc
- 29 **Lauréats – Salon de l'Image 2009**
- 31 **Encart**  
**Plan de localisation Mexpé,  
topos de Mexpé 2008 et 2009**



**Société québécoise de spéléologie**

**L'équipe du SOUS TERRE**

Michel Cadieux, François Gélinas, Gaël Hervé,  
Luc Le Blanc, Martine Chiasson  
**Montage:** Gaël Hervé  
Merci aux auteurs!

**Page couverture:** *Éphémère*, meilleure photographie dans la  
catégorie Québec au Salon de l'Image spéléo 2009.  
photo: François Gélinas

**Couverture arrière:** *KLM* (Krem [grotte] Labit Moolesngi),  
Meghalaya, Inde, gagnante d'une mention spéciale du jury au  
Salon de l'Image spéléo 2009.  
photo: Guillaume Pelletier

**Impression:** Regroupement Loisir Sport Québec

**Le SOUS TERRE**

est réalisé et publié par la  
**Société québécoise de spéléologie**  
4545, av. Pierre-De Coubertin  
C.P. 1000, Succ. M  
Montréal (Québec) H1V 3R2  
Téléphone: 514 252-3006  
Télécopieur: 514 252-3201  
Courriel: info-sqs@speleo.qc.ca  
www.speleo.qc.ca  
Dépôt légal: ISSN 0827-9772  
Bibliothèque nationale du Québec  
Bibliothèque nationale du Canada

**Conseil d'administration**

Christian Chénier, président  
Christian Francoeur, vice-président  
Guy Cadrin, secrétaire  
Alain Bélanger, trésorier  
Estelle Dion, administratrice  
Jean-Luc Gagnon, administrateur  
Alain Goupil, administrateur

**Prêt et location de matériel**  
Montréal, secrétariat de la SQS

514 252-3006

La SQS est la fédération qui regroupe les spéléologues du  
Québec. À ce titre, elle est reconnue par le ministère de  
l'Éducation, du Loisir et du Sport du gouvernement  
québécois, et elle en reçoit un soutien financier.

**Éducation,  
Loisir et Sport**

**Québec** 

## Des défis à relever tous ensemble

*par Christian Chénier, président*

Même si nos valeurs demeurent les mêmes depuis les débuts de la SQS en 1970, la façon de les mettre en application doit être revue régulièrement. C'est sous la forme d'un plan d'orientation stratégique revu aux trois à cinq ans que le Conseil d'administration, de concert avec le directeur général, se charge de donner un azimut à la SQS. C'est avec ce même outil que le suivi peut être fait, année après année, pour s'assurer que nos buts sont atteints.

Le dernier plan triennal tirant à sa fin, nous avons choisi il y a un an d'entreprendre une réflexion stratégique, plutôt que de simplement prolonger le plan précédent. Ceci nous a permis de nous concentrer sur nos forces afin de relever les défis d'actualité qui se présentent à nous.

Un de ces défis est le recrutement de nouveaux membres, plus particulièrement des jeunes qui se montreront dynamiques et actifs. En effet, assurer une relève est le meilleur moyen de créer la synergie nécessaire pour encourager l'exploration et la découverte, améliorer et augmenter notre offre de stages et assurer l'organisation d'activités de toutes sortes.

Un autre défi ne surprendra personne : le budget. Notre subvention demeure à peu près constante depuis plus de vingt ans, mais ne tient pas compte de l'inflation. Nous devons prendre action et viser une éventuelle autosuffisance, donc bien sûr développer de nouvelles sources de revenus. Nous avons déjà des revenus non négligeables provenant des stages Découverte, offerts principalement à Saint-Casimir et à Boischatel, ainsi que des visites à Saint-Léonard. Ce sont ces avenues qui seront renforcées en premier lieu, et ce, dès cet été puisque nous détenons déjà l'expertise et le marché dans ce domaine.

Nous sommes d'ailleurs en pleine procédure d'embauche pour le poste de responsable du développement. Cette personne aura comme première tâche l'organisation de la saison à Saint-Léonard afin d'en assurer une plus grande rentabilité.

Il y aura un ajustement des frais d'inscription pour les diverses activités afin de s'assurer de ne pas opérer à perte tout en assurant aux cadres – dont le nombre diminue toujours – une rémunération adéquate.

Tous ces changements, en plus d'apporter de l'argent, nous apporteront une meilleure visibilité. De plus, des ressources humaines additionnelles à la SQS permettront d'augmenter les services aux membres. Ces éléments devraient aider à recruter de nouveaux membres, ce qui vient rejoindre notre premier défi. ┘

# Mexpé 2008 : à la recherche de jonctions

par Christian Chénier, coordonnateur de Mexpé 2008

**P**ar manque de temps à la fin de Mexpé 2007, la grotte du Vingtième (*Cueva del Vigésimo*), nouvellement découverte, a dû être laissée avec quelques suites d'importance. De plus, l'analyse de sa topographie montrait que le siphon terminal était tout à côté du *Sistema Tepepa*. Aussi, au premier coup d'œil du réseau entier (voir plan de localisation, à la toute fin du Sous Terre), chacun remarque la courte distance séparant les plus grandes grottes en importance : entre *Sistema Tepepa* et *Brumas-Selvática* (particulièrement le secteur aval de la rivière de *Las Brumas*), ainsi qu'entre *Brumas-Selvática* et *La Ciudad*.

Établir certaines de ces jonctions faisait rêver d'un réseau grandissant rapidement; ce fut identifié comme l'objectif principal de Mexpé 2008.

Après avoir recruté les participants à l'automne 2007, nous avons tenu une succession de rencontres préparatoires et de sessions

d'entraînement au cours de l'hiver. Les préparatifs avançaient comme prévu quand, à peine quelques semaines avant le début de l'expédition, une balle courbe nous a été lancée : un accident d'une expédition franco-belge à une douzaine de kilomètres au nord-ouest de notre lieu d'expédition, toujours dans la *Sierra Negra*, a fait couler beaucoup d'encre dans les journaux de tout le Mexique, ce qui a fait en sorte que la position officielle des autorités semblait être d'exiger des explorateurs des visas scientifiques (FM3), coûteux et difficiles à obtenir.

Ne sachant trop à quoi nous attendre sur place, il fallait prévoir toutes les éventualités. Plus d'une centaine de courriels et quelques coups de fil ont dû être échangés lors des préparatifs, tant avec diverses autorités qu'avec certains groupes de spéléologues mexicains. Ce fut pour moi une bonne occasion de travailler mon espagnol, mais aussi une source de soucis et de perte de temps, choses dont on pourrait bien se passer alors que les préparatifs pour une telle expédition sont déjà assez exigeants. La conclusion



## Les participants à Mexpé 2008 (de gauche à droite)

### En haut :

Daniel Richer  
Gaël Hervé  
Christian Chénier  
Estelle Dion  
Eric Légaré  
Jacques Orsola (La Rouille)  
Laurent Richard  
Alain Bélanger  
Jocelyn Moreau

### En bas :

Christian Francoeur  
Geneviève Lamarre  
Pedro Intxaurreaga  
Amaia Castellano  
Ainara Razkin

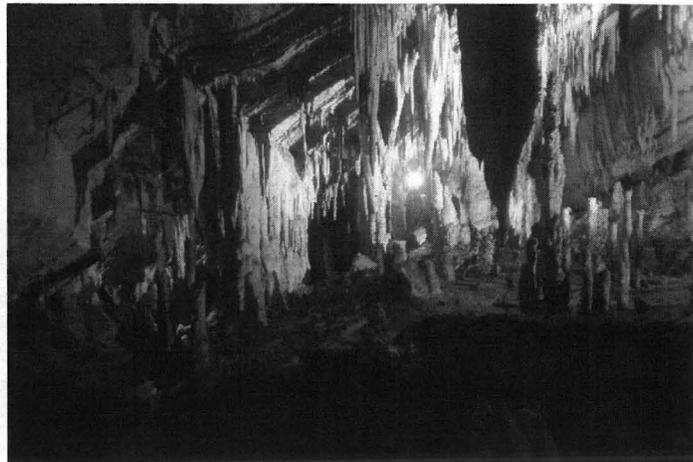
Toute l'équipe de Mexpé 2008

Photo : Mexpé 2008



Une galerie de la grotte du Vingtième

Photo: Jocelyn Moreau



Concrétions dans la grotte du Vingtième

Photo: Jocelyn Moreau

de ces échanges a été qu'on aurait à s'arranger sur place... nous n'étions pas trop avancés !

Pour diverses raisons de logistique, c'est Eric et Christian F. qui ont dû se charger de la lourde tâche des permissions. Christian ne parle pas espagnol alors qu'Eric en était à son premier Mexpé. Malgré cela, ils ont fait un excellent travail alors que la tâche a été bien plus complexe qu'initialement prévu.

Les diverses autorités, tant au niveau de l'État que municipales, ne voulaient pas trop se mouiller pour accorder les permissions nécessaires à l'expédition, mais elles ne voulaient pas pour autant nous mettre des bâtons dans les roues. C'est donc avec une promesse que l'État nous enverrait les documents directement au camp dans la jungle à *Hoya Grande* que nous pûmes commencer l'expédition. (Lesdits documents ne sont jamais parvenus; ni pour confirmer la permission, ni pour nous empêcher d'explorer).

Finalement, c'est au niveau du village de Tepepa, où tout se passe plutôt bien depuis 1987, que les négociations furent les plus difficiles. Le juge de paix, apparemment investi d'un certain pouvoir officiel, croyant que nous enrichissions quelques villageois, dont le propriétaire du terrain où nous comptions camper, ne voulait pas nous laisser commencer l'expédition. Appartenant à l'autre clan (le même que le propriétaire...), Don Eligio Gergue, notre contact principal depuis les débuts de Mexpé et patriarche du

village, nous incitait à commencer l'expédition quand même: nous n'avions pas besoin du support officiel puisque nous serions sur un terrain privé. Le dilemme fut donc de choisir entre le chef officiel et le chef moral (Eligio). Ne voyant aucune autre issue, nous avons choisi d'écouter ce dernier et nous n'avons subsequmment eu aucun problème !

Même les négociations avec le propriétaire ont été plus longues qu'à l'habitude, le taux d'inflation dont il rêvait n'étant pas réaliste! C'est après avoir réglé tous ces problèmes que nous avons finalement pu organiser un train de mules en direction de *Hoya Grande*.

## Grotte du Vingtième et Sistema Tepepa

Étant donné les différends que nous avons eus l'année précédente avec le propriétaire de l'unique entrée de la grotte du Vingtième et la faible profondeur de la plupart des galeries, une des priorités de l'expédition fut de prospecter en surface, surtout au-dessus des suites probables pour trouver une nouvelle entrée. En effet, une découverte dans ce secteur éviterait de devoir négocier avec le propriétaire récalcitrant et permettrait un accès plus rapide au « fond » de la grotte et à une jonction possible avec le *Sistema Tepepa*. Les sorties de prospection ont donc débuté rapidement dans le secteur situé au nord de la grotte avec comme participants principaux Alain, Jocelyn, Daniel et Christian F. Ça a



Perles des cavernes dans la grotte du Vingtième

Photo: Alain Bélanger

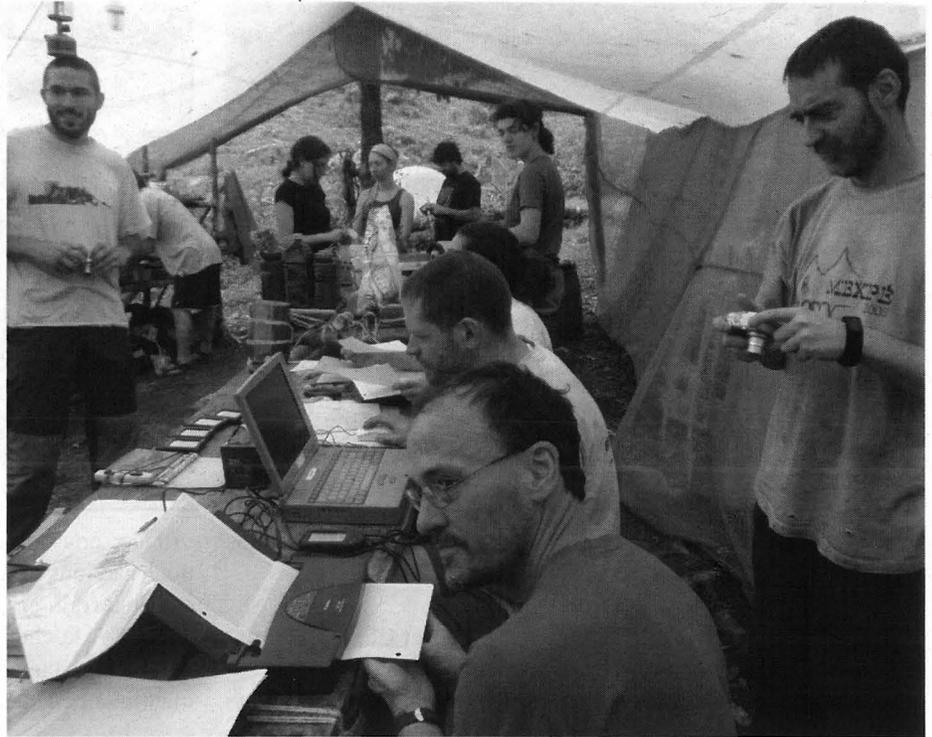
porté fruit après quelques jours avec la découverte d'un petit puits débouchant dans une salle avec suite.

Ce fut à peu près cette même équipe qui a procédé à l'exploration et à la topographie de cette grotte, demeurée sans nom puisque les explorateurs étaient certains qu'ils la jonctionneraient avec la grotte du Vingtième. Le 30 mars, alors que la suite de la grotte se divisait en deux – le fossile qui continuait vers le nord et un petit actif qui s'enfonçait plus bas – il fallait deux équipes fraîches. Gaël et moi nous sommes rapidement portés volontaires et avons hérité de l'actif alors que les quatre Basques ont choisi le fossile.

Il faut préciser que jusqu'alors, la grotte se développait sur un plan strictement horizontal, hormis le puits d'entrée ainsi qu'un énorme bloc qu'il fallut équiper d'une corde pour descendre ! Connaissant la position et l'altitude de l'entrée, nous savions que notre galerie était à peine quelques dizaines de mètres plus haut que le fossile de la grotte du Vingtième. En analysant la topographie de cette dernière, il n'était pas difficile de déterminer à quel endroit le petit actif pouvait jonctionner : une petite galerie amont de la grotte du Vingtième n'ayant pas été poussée jusqu'au bout correspondait aussi au seul secteur de cette grotte où j'avais vu de l'eau l'année précédente.

De la dernière station laissée la veille, il ne fallut que quelques descentes et sept visées topo pour arriver à l'extrémité d'une grande salle comportant une grosse dépression au centre. Juste après avoir contourné ce trou, je ne fus pas très surpris de rencontrer un cairn. C'était comme Auriga nous l'indiquait, une jonction avec la grotte du Vingtième. Sauf que nous n'arrivions pas dans la petite galerie prévue, mais bien dans un grand fossile d'une dizaine de mètres de largeur. Pourtant, ça ne pouvait être que la grotte du Vingtième, puisqu'aucune autre n'était connue dans le secteur. Mais où étions-nous ? Le cairn ne comportant aucune identification (nous étions à un endroit où il aurait été logique de laisser un bout de carnet topo avec le nom de station), j'ai couru 100 ou 200 m plus loin afin de reconnaître les lieux. Arrivé à une jonction, je reconnaissais effectivement être passé par là l'année précédente mais, n'ayant fait le trajet qu'une seule fois, il m'était impossible d'identifier notre position sur la topographie.

Il n'y avait pas beaucoup de choix : il fallait retopographier jusqu'à ce qu'on rencontre une station permanente bien identifiée. Le croquis n'étant pas nécessaire pour la grotte « connue », nous avons pu progresser assez rapidement. Nous avons décidé

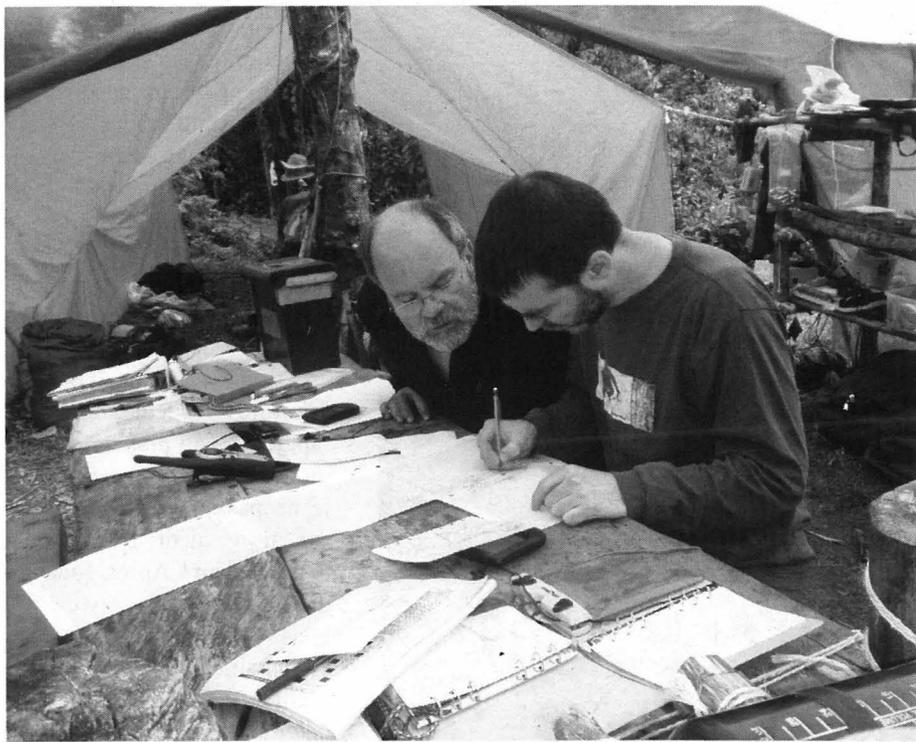


Technologie de pointe au camp

Photo : Jocelyn Moreau

de prendre à droite à la fourche (vers le fond) puisque c'est ce secteur que je croyais être en mesure de mieux identifier. Une succession de cairns anonymes (plusieurs décorés d'une pelote de topofil) a permis de retopographier le parcours original (nous en avons profité pour identifier les cairns avec les nouveaux noms de station), dans l'espoir de pouvoir superposer deux sections de squelette identiques et ainsi déterminer notre position. Malgré tout, nous avons dû topographier vingt visées, sur une distance d'environ 140 m, pour enfin arriver... non pas à une station bien identifiée, mais à une descente entre des blocs qui était facile à localiser sur la topo, suivie d'un ramping soufflant (tous ceux qui sont passés par là s'en rappellent; pas moyen de se tromper). Ouf ! Nous savions enfin exactement où nous étions... pourtant, malgré le trajet supplémentaire, nous étions encore à plus de 50 m de là où nous étions censés arriver. Comment était-ce possible ? Comment une des deux topographies pouvait-elle être aussi mauvaise ?

Il était assez simple de mesurer avec Auriga que nous étions environ 200 m plus au sud qu'anticipé. Soudain, je me suis rappelé que la différence entre les coordonnées en NAD 27 de nos cartes topographiques de la Sierra et le WGS 84 des GPS était justement d'environ 200 mètres dans le secteur. De retour à la surface, après vérification sur le GPS laissé à l'entrée, cette erreur de datum correspondait bien à la différence. Seule explication possible : les coordonnées de la grotte du Vingtième, prises l'année précédente, auraient subi deux conversions de coordonnées plutôt qu'une seule. Évidemment, il faut se demander combien d'autres localisations prises cette année-là ont subi la même transformation... Inquiétant !



Mise au propre des topographies

Photo: Mexpé 2008

Nous connaissons enfin une seconde entrée pour la grotte du Vingtième, mais elle n'était pas vraiment plus près du fond, elle ne permettait pas encore de jonctionner au Sistema Tepepa et, pire, elle était vraisemblablement chez le même propriétaire que l'autre entrée ! Heureusement, elle était plus facile à pénétrer, et nous en avons profité pour aller vérifier les suites identifiées l'année précédente dans la grotte du Vingtième. L'extrémité nord du fossile principal, la suite la plus prometteuse, ne nous a donné que 40 m additionnels. La Rouille a traversé le pseudo-siphon, où le bruyant courant d'air faisait des vagues sur l'eau, pour devoir s'arrêter immédiatement sur une étroiture. Les autres suites n'ont pas été beaucoup plus fructueuses. Pour rejoindre le Sistema Tepepa à partir de la grotte du Vingtième, la seule possibilité reste la plongée du siphon terminal, ou encore de trouver où se perd le courant d'air en amont.

Christian F., Alain et Daniel en ont profité pour retopographier le fossile principal de la grotte du Vingtième, jusqu'au bas des puits de l'entrée « historique », puisque nous ne disposons que du squelette de ce secteur, tandis que Laurent, Amaia et Ainara ont réussi à fermer une grande boucle.

Avec la nouvelle entrée, la profondeur est passée de -279 m à -333 m. En tout, ce sont plus de 1 800 m qui ont été ajoutés à la grotte du Vingtième, pour un total de 5 552 m. Pas mal du tout pour une grotte découverte et explorée en seulement deux expéditions.

Dans cette grotte, la présence de deux réseaux fossiles superposés, à une si petite différence d'altitude (variant entre

20 m et 60 m) et presque parfaitement juxtaposés fait réfléchir sur la genèse de ce système. Combien d'autres niveaux y aurait-il ? Certes, la galerie de la jonction est beaucoup plus récente (étant beaucoup plus petite et encore active), mais on comprend que les réseaux fossiles ont vraisemblablement profité de deux périodes stables rapprochées pour se former. De plus, la faible profondeur est surprenante pour une grotte de cette taille et la position de la grotte tout en haut de l'arête montagneuse témoigne de l'ancienneté de ce réseau.

Outre de multiples tentatives en surface et ces explorations dans la grotte du Vingtième, le secteur « Amonts des Galeries » du Sistema Tepepa a aussi été visité pour pousser une galerie non explorée partant en direction de l'aval de la grotte du Vingtième. De la première y a été faite sur 135 m pour finalement jonctionner... un peu plus bas dans le Sistema Tepepa. Notre plus grande grotte

s'est donc agrandie de quelques poussières, mais la jonction Vingtième-Tepepa reste à faire.

### La Ciudad et Brumas-Selvática

Au cœur même de *Hoya Grande*, l'absence de galerie connue est intrigante, et ce n'est pas faute d'avoir cherché. En 2006, lors de la jonction d'une nouvelle grotte avec la Grande salle de *La Ciudad*, Michel Cadieux avait fait une escalade pour voir, plus loin, deux puits qui, pour des raisons de manque d'accès sécuritaire, n'avaient pas été descendus. Après réflexion, en l'absence de meilleure option, il fallait y retourner. Nous l'avons fait à partir d'une autre entrée, à l'accès plus rapide et qui permettait d'éviter la zone instable. Une petite escalade facile m'a rapidement permis de constater que j'arrivais du bas, dans ces mêmes puits ! C'était le dernier point d'interrogation du secteur sud de la Grande salle de *La Ciudad*.

Il a donc fallu continuer le travail en surface, en prospectant de façon très poussée ce secteur de *Hoya Grande*. Toute la région qui se trouve entre les entrées connues, ainsi qu'une bonne partie du flanc de montagne à l'ouest, ont été passées au peigne fin. Quelques petits trous ont été trouvés, dont une nouvelle entrée qui a permis d'ajouter 177 m de développement au TP6-06-09. Après plusieurs jours, nous avons dû nous rendre à l'évidence : le potentiel de trouver une nouvelle entrée dans le fond de *Hoya Grande* entre *La Ciudad* et le Sistema *Brumas-Selvática* était fort mince. Même s'il semble évident que *La Ciudad* ait déjà fait partie du même réseau que *Brumas-Selvática*, une éventuelle



Coucher de soleil sur la Sierra Negra

Photo: Alain Bélanger

jonction risque d'être assez difficile à trouver. La seule chose restant à faire serait de scruter avec une lampe puissante les hauts plafonds de la Grande Salle de *La Ciudad*, ainsi que la partie nord de la Salle des Colonisateurs du *Sistema Brumas-Selvática*. Autre possibilité: la supposée galerie qui les relierait se trouverait sous les énormes blocs de ces deux grandes salles, mais creuser là demanderait des jours de travail avec des pelles mécaniques!

### *Brumas-Selvática et Sistema Tepepa*

Au cours de Mexpé 2007, certains avaient essayé de retourner au siphon aval de *Las Brumas* afin d'en vérifier le niveau d'eau lors de la saison sèche. Qui sait, peut-être n'était-ce pas un siphon à l'hiver? Malheureusement, le chemin à travers les éboulis n'a pas été trouvé et la branche nord de la grotte n'a donc pas été revue. Cette année-là, de nouvelles entrées au-dessus de ce secteur avaient aussi été repérées; il fallait maintenant les explorer, dans l'espoir de découvrir une galerie qui mènerait à l'une ou aux deux grottes importantes du secteur. L'entrée TP5-07-11 (voir topo en page centrale) semblait la plus prometteuse malgré son éloignement du camp: plus d'une heure de marche d'approche. Bonne nouvelle: son accès de l'année précédente, à la machette à travers la jungle; était remplacé par une balade à travers une nouvelle coupe forestière.

Dès la première sortie, une petite désescalade nous a menés rapidement à une galerie active. Nous avons choisi de suivre l'aval, puisque c'est par le bas qu'on s'attendait à faire des

modifié quelque peu l'étréture pour permettre à tous de passer. Une cinquantaine de mètres plus bas, nous arrivions dans une salle, mais la suite n'était pas évidente.

Une reconnaissance rapide a permis de trouver un autre amont, un point bas où le courant d'air passe à travers les blocs, et un petit fossile horizontal. Ce dernier donnait espoir avant de queuter sur un puits aveugle, un actif éventuellement trop étroit et une étréture descendante. C'est sur corde que je me suis attaqué à cette dernière. Je suis descendu aussi bas que mon corps le permettait, et un peu plus. Le courant d'air y était, ainsi que le bruit d'une petite cascade plus bas: très attirant! Mais rien à faire, ça rétrécissait toujours. Éventuellement, j'ai dû me résigner à remonter, mais ce n'était pas aussi facile à faire que je le pensais. J'ai dû me contorsionner un bras pour démousetonner à l'aveuglette le bloqueur de mon harnais. Juste passer la corde dans le Croll a dû prendre un bon cinq minutes, puis il fallait réussir à mettre un pied dans une pédale, sans pouvoir voir ce qui se passait plus bas que ma taille: encore au moins cinq minutes. Finalement prêt à monter, je ne pouvais fléchir mes genoux en raison du manque d'espace. C'est donc avec des mouvements de chevilles que j'ai pu pousser mon corps vers le haut, alors que les parois essayaient de me garder sur place. La montée des quatre mètres qui me séparaient du haut a été assez longue... avec des « foulées » d'environ deux centimètres!

La grotte continue... mais pas pour moi! Fin à -228 m de profondeur, après 703 m de galeries. Le courant d'air entre les blocs en bas du puits m'intrigue toujours...

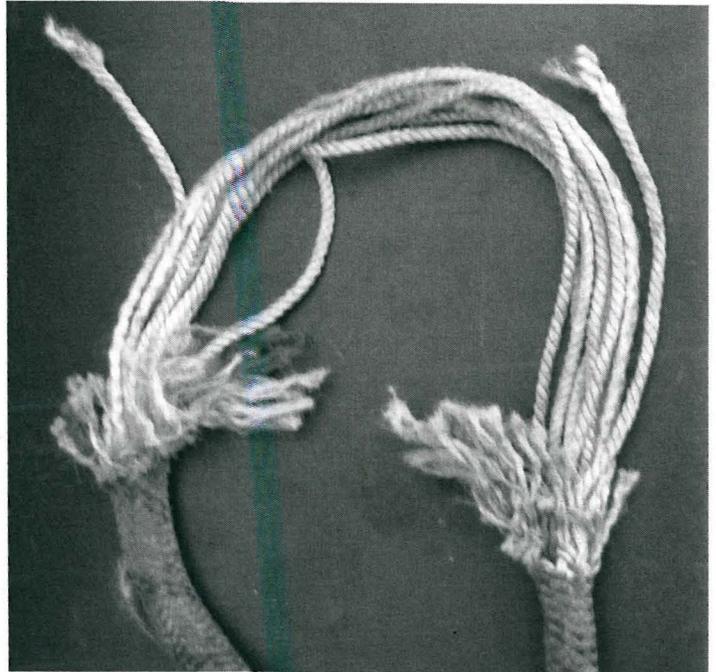


## Le plateau

Là, il n'y avait aucun objectif de jonction avec un grand système du réseau, puisque ce secteur en est séparé par une faille importante qui semble bien être imperméable, mais il y avait tout de même un gouffre prometteur, le CT3-06-06, qui n'avait pas été terminé lors de sa première exploration en 2006. Cette grotte est voisine du *Sumidero Año Nuevo*, ce qui laissait quand même espérer une jonction. Cette grotte explorée en 1988 descend à -400 m pour se terminer sur une galerie horizontale qui siphonne.

Plus d'une heure, dont une longue montée très à pic, est nécessaire pour se rendre au secteur à partir du camp. C'est donc en alternant journée de repos avec journée d'exploration que ce gouffre a été exploré. Lors de la remontée du puits d'entrée (70 m) par Amaia à la fin de la deuxième journée d'exploration, Eric, qui était en haut, l'a entendu crier, d'un ton assez agité: « ¡¡¡ Pedro!!! ¡ Hay una flor en la camisa! » (Pedro, il y a une fleur dans la chemise!). De quoi parle-t-elle? s'est demandé Eric. Ce n'est que plusieurs minutes plus tard qu'il a compris la source de l'excitation, qui s'explique avec la traduction non littérale: Il y a une tonche dans la gaine!!! (voir photo ci-contre). Heureusement, elle a pu franchir cette « irrégularité » de la corde et y faire un nœud, mais elle a eu une bonne frousse. Un équipement possiblement un peu limite, qui vraisemblablement demandait une attention particulière lors de la remontée, semblait être en cause. Inutile de dire que ce puits a rapidement été rééquipé différemment!

Après quelques jours d'exploration, c'est au bout d'une longue galerie horizontale se terminant sur une salle d'éboulis que la



Quand la gaine n'y est plus...

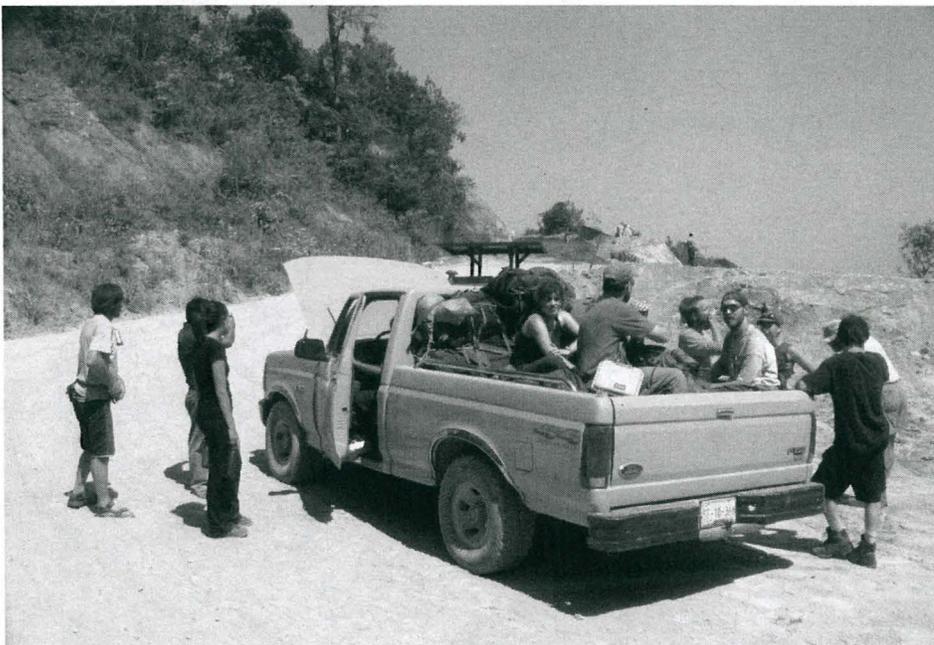
Photo: Christian Chénier

grotte décida de forcer l'arrêt de notre exploration. Avec ses 383 m de profondeur pour 1423 m de galeries, le CT3-06-06 ressemble finalement beaucoup à son voisin *Año Nuevo*.

## L'avenir ?

L'exploration dans *Hoya Grande* a été très poussée ces dernières années; en effet, cinq expéditions y ont établi leur camp de base depuis 2002. Il reste sûrement de la première à faire dans cette méga-doline, mais les nouvelles découvertes se font de plus en plus difficiles à trouver. Il sera plus productif de déplacer le camp vers d'autres parties de notre zone d'exploration dans la *Sierra Negra*.

L'expédition a répondu à bien des questionnements par rapport aux grottes découvertes, leur genèse et leur relation avec leurs voisines mais, comme c'est habituellement le cas, un grand nombre de nouvelles questions ont été mises de l'avant. Pourra-t-on un jour jonctionner *La Ciudad* à *Brumas-Selvática*? J'avoue que je commence à douter. Mais c'est tout le contraire pour ce qui est des autres jonctions majeures: le trio grotte du Vingtième, *Sistema Tepepa* et *Brumas-Selvática*. Où, quand et comment se feront-elles? Il faudra y retourner pour répondre! ■



Pause réparations sur le chemin du retour

Photo: Christian Chénier

# Sótano Tres Quimeras

L'expédition Mexpé 2009 explore la deuxième traversée souterraine la plus profonde des Amériques !

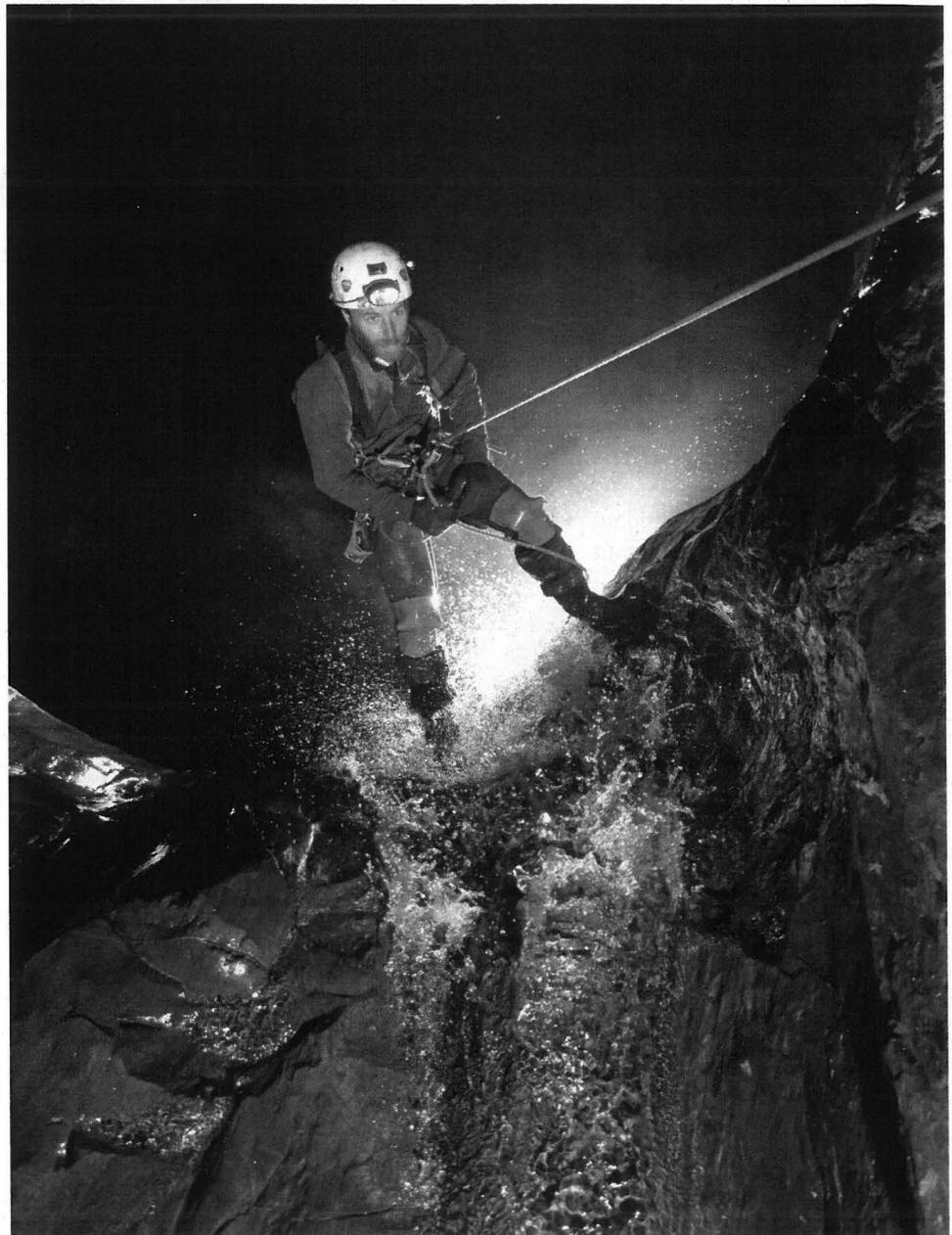
par Guillaume Pelletier, coordonnateur de Mexpé 2009

**28** mars 2009. Ambiance karstique dans la luxuriante jungle mexicaine... « Bon, encore lui ! Mais à la fin, il veut quoi cet hurluberlu suspendu au bout de son fil qui se permet de troubler la quiétude de notre paisible demeure ? » Voilà en substance ce que hurlent les hirondelles qui s'excitent davantage sur mon cas à mesure que j'équipe et m'enfoncé plus profondément dans la gueule du mythique *Sótano Tres Quimeras*. Depuis Mexpé 2005, alors que Christian, Michel, Pierre et moi avons localisé pour la première fois cette entrée exceptionnelle<sup>1</sup>, c'est la quatrième expédition où j'installe la corde et les six fractionnements nécessaires à la descente de ce P105 d'entrée. Alors que la corde sort du sac sherpa et file dans mon descendeur, je repense à la « p'tite vite », en 2006, avec Diana et Michel (-106 m)<sup>2</sup> et aux interminables retours à pied sous la pluie, en 2007, tandis que nous explorions depuis un camp de base à *Hoya Grande* (un dénivelé de 513 m).

Aujourd'hui, pour cette première sortie sous terre de l'expédition Mexpé 2009, Eric L. et Jean-François m'accompagnent, pendant qu'en surface, sur le terrain d'Alejandro Aguilar à Buenavista, le reste de l'équipe s'affaire à fignoler notre camp de base, à préparer le matériel pour les prochaines sorties et à tourner des images vidéo pour un documentaire sur l'expédition.

Toujours plus profond sous terre, l'équipement va bon train. C'est qu'après toutes mes descentes et remontées dans ce gouffre vertical et aquatique, j'ai l'impression de connaître chaque obstacle que je négocie en anticipant déjà la suite. Cette année, grâce à une commandite en ancrages véritablement adaptés d'Hilti à Québec, la section de roche merdique de -30 m à -300 m est sécurisée. Les longues tiges (200 mm)

à coller me permettent d'installer la corde à l'endroit exact désiré et enfin ne plus être inféodé aux caprices lithologiques du gouffre qui, lors des expéditions précédentes, nous imposait sa trajectoire, dans certains cas aux dépens d'une sécurité optimale ! Sonder, percer, insérer la colle, insérer la tige avec la plaquette au bout, attendre environ dix minutes que la colle prenne, visser



Eric Légaré au départ du P45

Photo: Alan Warild



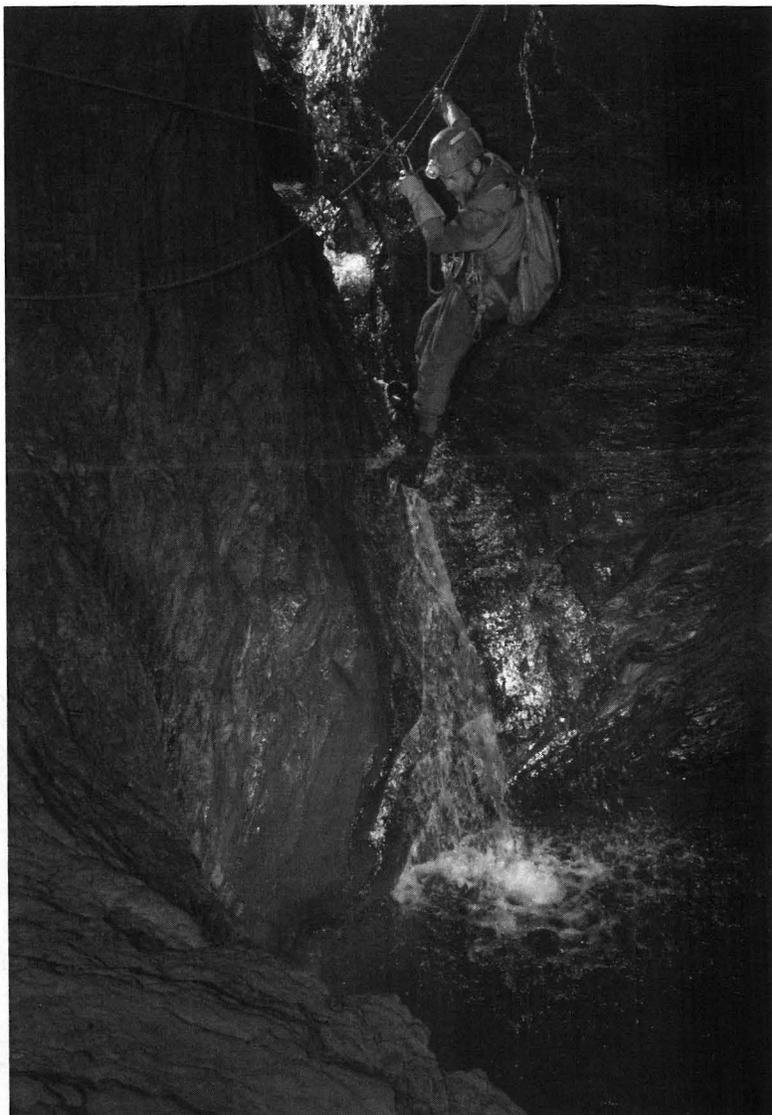
le tout et équiper: tel est le rythme lent qu'impose l'équipement avec ces ancrages chimiques. Vers -220 m, je manque de corde et de batteries, il faut donc remonter vers le camp. Il restera encore 293 m à descendre pour atteindre le terminus d'exploration de 2007 à la profondeur de -513 m. Sortie sous les étoiles.

Le lendemain matin, au camp, je retrouve avec entrain Alan qui est arrivé hier après-midi alors que j'étais sous terre. Son arrivée me soulage un peu car, sur l'équipe de 15 participants, lui et moi sommes les seuls à connaître le gouffre jusqu'au terminus d'exploration de 2007. Sa présence facilitera énormément la coordination du rééquipement du gouffre. Chose dite, chose faite, Alan s'entoure des deux Américains de l'équipe, Bev et Mike, pour entamer la deuxième sortie d'équipement.

Commence alors une série de quatre journées consacrées au rééquipement du gouffre où quelques imprévus (manque de matériel par mauvaise évaluation des nombreux obstacles à franchir, accumulateurs noyés, perceuse détruite, temps de prise des ancrages chimiques, etc.) viennent allonger le scénario de rééquipement que j'avais en tête. Mais qu'à cela ne tienne, l'ambiance est géniale et l'équipe internationale de Mexpé 2009 est maintenant d'attaque pour commencer la première!

### Des pointes de plus en plus longues...

Entre le 1<sup>er</sup> et le 4 avril, il aura fallu trois longues et exténuantes pointes pour explorer et topographier environ 1150 m de galerie. La dernière tentative de pointe avec Imo, Ross et Bev fut peu productive et inquiétante, comme l'histoire qui suit le démontre, mais pour le moins convaincante d'évoluer vers l'installation d'un bivouac à -530 m afin de poursuivre de manière



Alan négocie un passage aquatique à la base du P62, vers -260 m de profondeur  
Photo: Gustavo Vela Turcott

sécuritaire et efficace les explorations...

7 h 30, le 5 avril. Ross et Imo ne sont toujours pas rentrés. Décidément, ça devient récurrent pour moi ces pré-alertes de sauvetage spéléo! En trois ans, sur différentes expéditions, c'est la quatrième fois que je m'appête à descendre avec l'équipe qui « part aux nouvelles » retrouver des « retardataires » qui pourraient, dans le pire des cas, être impliqués dans un grave accident. Chaque fois, l'imagination est à son paroxysme: toujours cette dualité entre le scénario sanguinolent à l'extrême et le simple retard pour cause de fatigue, ou de nouvelles découvertes captivantes qui font oublier que le temps existe! Bev se réveille et m'explique que Ross, plus habitué à creuser dans les étroites cavités du Derbyshire qu'aux longues sorties en gouffre alpin, trouvait la grotte très technique et s'épuisait énormément à

franchir les rappels guidés, mains-courantes athlétiques et autres fantaisies techniques de ce gouffre. Avec l'accord de Ross et Imo, elle a préféré ressortir seule plutôt que de se refroidir et s'épuiser à attendre. Elle les quitte vers 23 h et ressort aux environs de 3 h 30. Il est maintenant 9 h. Avec six heures de plus (sur un trajet de 4 heures), Ross et Imo auraient dû avoir amplement le temps de ressortir. Quelque chose ne va pas, il faut descendre à leur rencontre.

Jean-François prépare des boissons réhydratantes, de la nourriture et une trousse de premiers soins, tandis que je m'occupe de rassembler de la corde et du matériel pour confectionner un palan. Alors que je visse les derniers filets de mon MAVC, soulagement de joie! Au loin, marchant vers le camp, je vois Ross, totalement vidé, suivi d'Imo, tout sourire, heureuse d'enfin voir le jour après s'être affairée toute la nuit à motiver Ross pour qu'il persiste à sortir du trou! Ouf, plus de peur que de mal pour une mémorable



sortie de 28 heures, mais sans bivouac.

### Bivouac, escalade et connexion imminente !

Cette mésaventure laisse tout de même en place le matériel nécessaire aux bivouacs suivants. Ainsi, le 6 avril, Eric L., Jean-François, Bev et Alan explorent environ 300 m de galeries très aquatiques, passent une nuit au bivouac et ressortent en début de soirée le 7 avril après plus de 34 heures passées sous terre.

Il faudra une seconde équipe pour refaire une pointe à partir du bivouac. N'ayant pratiquement jamais fait de véritable spéléo avec ma bonne amie Imo, rencontrée en 2008 en Inde, je l'invite à se joindre à Gustavo et moi pour cette pointe qui pourrait, selon nos reports topographiques, devenir historique. Malheureusement pour elle, la grippe mexicaine aura raison de son système immunitaire anglais et la clouera au lit. Finalement, Christian, fraîchement débarqué au Mexique et fort de ses

défenses naturelles de bûcheron canadien-français sera l'heureux élu pour passer 34 heures sous terre !

Je dois aussi dire que depuis quelques jours nous profitons des 4x4 de Bev, Franco et Gustavo pour descendre tout au fond de la vallée du *Rio Petlapa* et y explorer une résurgence, théoriquement liée à *Tres Quimeras*, découverte par Daniel Caron et Bruno Fromento lors de Mexpé 2007. Ainsi, le 4 avril nous retrouvons enfin la résurgence et j'assure Eric L. qui escalade – 5.8 en libre s'il vous plaît ! – une voie qui donne directement au sommet de la résurgence. Le temps nous presse, car nous sommes attendus à Matzazongo avant la tombée de la nuit. Eric fixe une corde d'accès et rejoint le sol 20 mètres plus bas. Après 40 minutes de marche, nous revoilà au village d'où nous repartons en camion, non sans boire quelques bières et refaire des provisions en produits frais pour le camp de base chez Alejandro.

Le 8 avril, Bev, Alan, Gaël et Eric S. retournent pour une journée tranquille à la résurgence de la « vallée enchantée du *Petlapa* » et



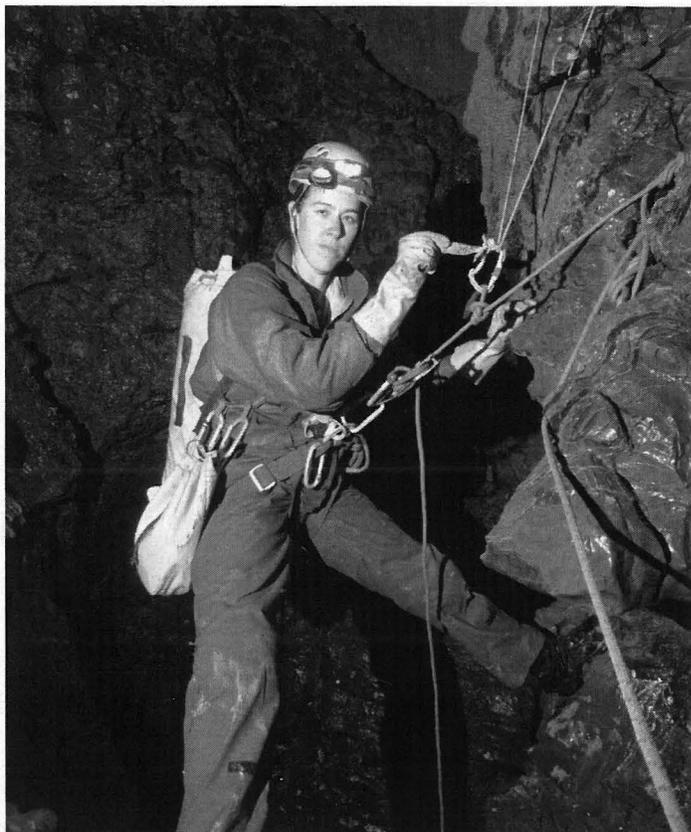
Guillaume négocie la base du P45 en évitant la baignade dans la vasque profonde

Photo: Alan Warild



topographient 65 m sur 3 m de dénivelé positif pour s'arrêter à la base d'une cascade évaluée à 30 m avec laquelle ils n'ont pas envie d'engager le combat, particulièrement en cette journée de repos ! Eric L. et Jean-François reprennent le flambeau lors d'une troisième « pointe escalade » le jour suivant.

Pendant ces deux dernières journées d'action à la résurgence, Christian, Gustavo et moi entrons, le 8 avril au matin, par l'entrée principale et fonçons vers l'inconnu dans l'espoir sans cesse renouvelé de ressortir à la résurgence. Une sortie de nuit certes, mais il ne nous resterait alors qu'à dormir dans la jungle et à attendre la prochaine « équipe résurgence » pour leur annoncer la jonction, troquer nos bloqueurs pour un 4x4 et remonter sans effort ! Une première de rêve : descendre en explorant, mais sans avoir à remonter sur corde ! La réalité sera toute autre... Une fois quelques vivres laissés au bivouac (dans l'espoir de ne pas y revenir), je découvre pour la première fois les galeries explorées par les trois dernières équipes de pointe et je suis impressionné par le travail colossal effectué pour équiper complètement hors cascade et hors crue. Pour tout dire, dans certaines sections, c'est pratiquement comme suivre un fil d'Ariane tellement le temps passé sur corde est important ! Une fois arrivé à la dernière station topographique, je me charge en matériel et laisse Gustavo et Christian me suivre en topographiant. En exploration, de 14 h à 3 h, je répète machinalement les mêmes gestes : trouver le meilleur passage jusqu'aux puits, sonder la roche, purger la tête du puits des débris, percer les trous, enfoncer les ancrages, installer la corde et descendre en évitant l'eau. De temps à autre, Christian et



Bev lors de la première traversée intégrale de *Tres Quimeras* montre la station topographique située à 15 minutes de la sortie à -740 m

Photo : Alan Warild



Lors du déséquipement en rappel, Alan saute dans une vasque après avoir retiré la corde initialement en place !

Photo : Gustavo Vela Turcott

Gustavo me rattrapent avec la topographie et peuvent ainsi me renflouer en matériel me permettant de poursuivre mon « quart de nuit » sur l'équipement. Vers 2 h du matin, mon corps se met au diapason des piles du perfo pratiquement vides. Avec lassitude, je pose mon dernier ancrage au tamponnoir pour éventuellement rejoindre la tête d'un puits très arrosé que j'estime à 30 m de profondeur. Il ne me reste que dix mètres de corde. Je jongle avec l'idée de désescalader le puits, mais après discussion avec mes deux compères qui viennent de me rejoindre, nous estimons être trop fatigués pour entamer ce genre d'acrobatie, surtout que nous sommes maintenant à la profondeur de -740 m ! « On se casse ! » Il nous faudra trois heures pour remonter au bivouac que nous rejoignons vers 5 h 30. Bouffe, dodo, réveil et déjeuner. Nous entamons la remontée vers 14 h, pour ressortir le soir venu juste à temps pour le souper.

Le soir, au camp, nous sommes attablés





Alan franchit une des rares « étroitures » de la traversée. À cet endroit vers -700 m le courant d'air est si fort qu'il projette l'eau à la verticale. Photo: Gustavo Vela Turcott

et discutons en attendant l'arrivée d'Eric L., Jean-François et Bev pour en savoir plus sur leur escalade à la résurgence... Soudainement, coup de théâtre! « Vous reconnaissez ça? » s'exclame Jean-François qui apparaît brandissant un bout de rubalise rose! Incrédule, je reconnais tout de suite la station topographique laissée au sommet de la cascade de 30 m par Christian la nuit dernière. « La connexion est effectuée: *Tres Quimeras* est maintenant une traversée! » Nous improvisons une soirée bien arrosée de bière accompagnée de *caña* et rigolons en songeant au fait que l'équipe qui devait conduire la pointe de demain réalisera en fait la première traversée « classique » du gouffre *Tres Quimeras*!

11 avril. Une fois la première traversée intégrale du gouffre effectuée, les neuf journées restantes à l'expédition furent

consacrées à explorer et connecter au réseau une entrée supérieure (mais heureusement sans réussir à niveler le Français de l'équipe sous une dalle d'une demi-tonne...), se régaler d'un ludique et redoutablement efficace déséquipement en rappel de corde depuis la cote -500 m jusqu'à la résurgence, déséquiper « traditionnellement » le reste de *Tres Quimeras*, et finalement, retourner au village de Tequixtepec où, pour une première fois, la communauté nous autorise à explorer le *Sótano del Centro* qui, comme son nom l'indique, est situé en plein cœur du village. Une fois au fond (-125 m) Bev et Imo ont vite compris pourquoi Tequixtepec est un village si propre et ont renommé leur découverte *Sótano de la Basura*<sup>3</sup>...!

Alors qu'en retournant vers Montréal l'euphorie de l'exploration retombe légèrement, je me remémore ces quatre inoubliables semaines durant lesquelles les équipes se sont succédé sans relâche pour installer 250 ancrages et 1 600 m de corde afin de franchir les puits, ressauts, lacs et canyons qui mènent à la sortie inférieure située au fond de la vallée. Cette série de cascades souterraines constitue une traversée de 815 m de profondeur, pour 5,2 km de développement. C'est peut-être « seulement » la deuxième plus profonde traversée souterraine des Amériques, mais c'est sans l'ombre d'un doute la plus spectaculaire! À quand la prochaine visite en classique? ▀

#### Les participants à Mexpé 2009

Guillaume Pelletier, Québec  
 Christian Chénier, Québec  
 Gaël Hervé, Québec  
 Eric Légaré, Québec  
 Jean-François Lévis, Québec  
 Marc Tremblay, Québec  
 Franco Attolini, Mexique  
 David Tirado, Mexique  
 Gustavo Vela Turcott, Mexique  
 Andy Chapman, Royaume-Uni  
 Ross Davidson, Royaume-Uni  
 Imogen Furlong, Royaume-Uni  
 Beverly Shade, États-Unis  
 Mike Frazier, États-Unis  
 Alan Warild, Australie  
 Eric Sanson, France

1 Sous Terre, pp 7-8: *Las Tres Quimeras*, par Michel Cadieux

2 Sous Terre, p 25: Retour tardif à *Tres Quimeras*, par Guillaume Pelletier

3 Gouffre des Ordures



Nom	Ref	UTM Zone 14 N/NAD27			WGS84		Dev.	Prof	Terminé	?
		X	Y	Z	N	W				
Grotte du XXem	TP6-07-11 TP5-08-41	726732	2028505	1601	18° 20' 9.9"	96° 51' 17.4"	1800	-334	Non	Dev Total : 5552 M, -334 Entrée Sup. possible du Sistema Tepepa ?
Buenavista, Tlacotepec de Diaz, Puebla, Mexique										
Cueva ?	TP5-07-11	725374	2029707	1380	18° 20' 49.5"	96° 52' 3.2"	703	-228	Oui	
Tepepa, Coyomeapan, Puebla, Mexique										
Plateau	CT3-06-06	725022	2027762	1779	18° 19' 46.4"	96° 52' 16.0"	1423	-383	Oui	
Tequixtepec, Coyomeapan, Puebla, Mexique										
Las Três Quimeras		727682	2025892	1440	18° 18' 44.6"	96° 50' 46.2"	5212	-815	Oui	Traversée réalisée en 2009 2ém des Amériques
Buenavista, Tlacotepec de Diaz, Puebla, Mexique										

**Total Mexpé 2008-2009**

**9138 m**

# On a tourné dans la *Sierra Negra*!

par Marc Tremblay

**D**epuis l'incroyable naufrage du Svalbard en 1989<sup>1</sup>, où j'ai perdu mon équipement vidéo en mer, je ne savais pas si je reprendrais la caméra pour filmer. Chaque fois que j'allais au Festival international de films d'aventure et de montagne de Montréal (feu le FIFAM et FestiVA), les organisateurs m'encourageaient à réaliser un court métrage. « C'est pas très compliqué Marc, apporte un caméscope et prends des images... ». Dans l'aube des préparatifs de Mexpé 2009, Guillaume Pelletier s'est senti motivé pour coréaliser avec moi un documentaire sur l'expédition à *Tres Quimeras*. Une aventure dans une aventure!

Dans les années 80, j'avais mis beaucoup d'énergie pour faire des vidéos d'une qualité aujourd'hui vraiment dépassée. De plus, il y avait un obstacle majeur que je ne pus surmonter: la technologie de montage était coûteuse et difficile à utiliser. En une vingtaine d'années, l'évolution du matériel est majeure et nous surprend chaque année. Outre le fait que le montage peut se faire sur l'ordinateur à la maison, nous avons par exemple des appareils photo réflex qui filment en haute définition avec des objectifs de qualité.

Il y a cependant des choses qui ne changent jamais. D'abord, un investissement de temps et d'argent. Une bonne préparation. Des références et l'appui de professionnels. Enfin, de la patience et de la persévérance.

Nous avons donc entamé des préparatifs quelques mois avant

le départ pour élaborer un synopsis, acheter le matériel et solliciter des commanditaires. Le but de l'expédition n'étant pas de faire un film, il était clair que le tournage devrait s'intégrer à la progression de l'exploration et cela conditionnerait aussi le propos du documentaire. Donc, une équipe légère à laquelle s'est ajouté Eric Légaré pour faire la prise de son. Voici quelques décisions que nous avons prises :

- Apporter deux caméscopes de résolution HD 1980x1020 pour plus de polyvalence et avoir encore une caméra en cas de bris;
- Prendre le son sur un enregistreur indépendant et de qualité, avec la location d'un micro monté sur une perche à suspension et l'utilisation de micros-radio gracieusement prêtés par Richard Lavoie;
- Utiliser des éclairages HID portatifs et assez puissants;
- Employer sous terre un boîtier conçu pour la plongée sous-marine.

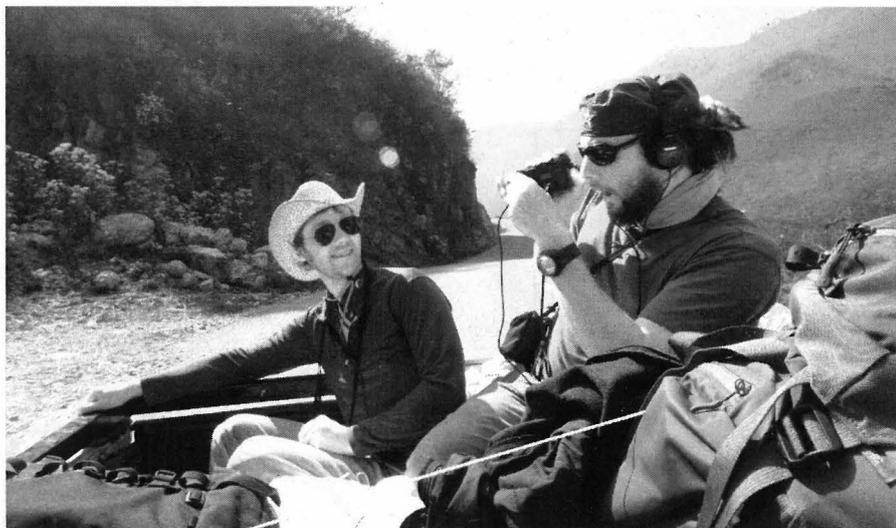
*A posteriori*, nous sommes très satisfaits de la qualité de l'image en plein jour et des micros supplémentaires apportés. Par contre, les éclairages se sont avérés insuffisants dans les grands espaces souterrains. Quant au boîtier sous-marin, il s'est révélé loufd à emporter, difficile à manipuler, propice à la buée et ne valait pas son coût ni le stress de transport aéroportuaire...

Le tournage s'est très bien déroulé durant l'expédition et nous avons obtenu la collaboration des participants qui ont donné un solide coup de main pour transporter de l'équipement,

bien figurer dans les scènes, assister à l'éclairage et se confier de manière superbe à la caméra. J'estime que ce sont ces entrevues avec les personnages (réels!) qui rendent cette aventure souterraine encore plus extraordinaire aux yeux du public. Guillaume et moi voulions présenter un portrait humain du spéléologue et non des super-héros. Nous avons une belle équipe internationale pour faire cette introspection.

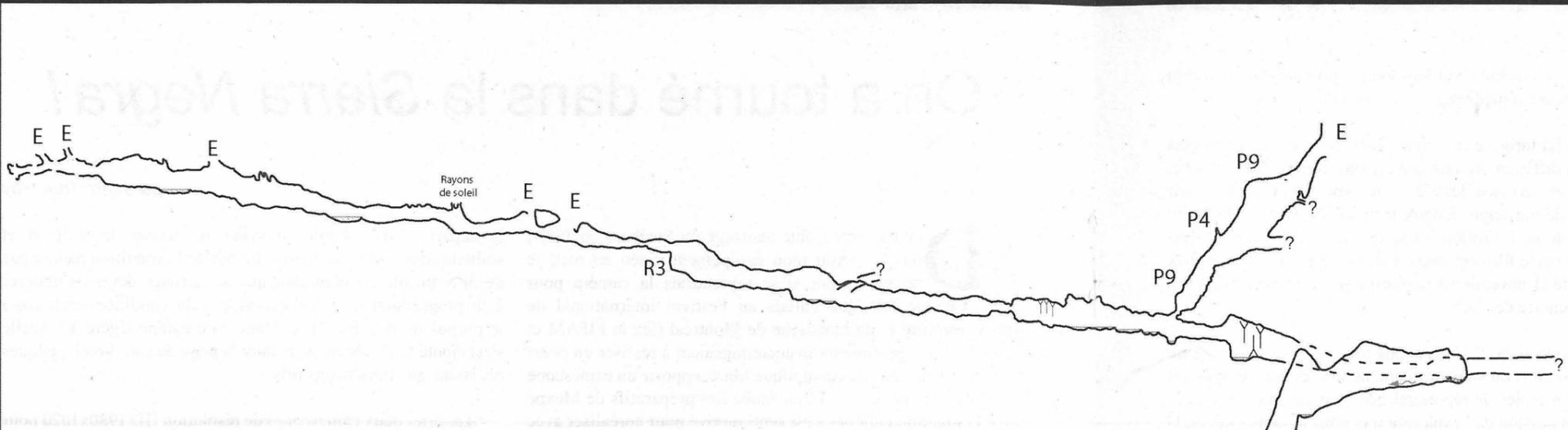
Nous sommes revenus de l'expédition avec une douzaine d'heures de tournage. C'est à ce moment que le casse-tête a débuté puisqu'il était question de monter un documentaire de 20 à 30 minutes. Il nous a fallu d'abord composer avec le fait que Guillaume était en environnement informatique Windows et moi sur Macintosh: pas facile de trouver un logiciel commun. Ensuite, nous avons

*Suite en page 18*

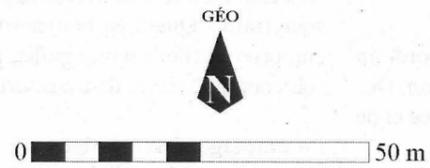


Andy et Guillaume tournent des images en route vers Buenavista, où sera installé le camp de base de Mexpé 2009  
Photo: Jean-François Lévis





COUPE DÉVELOPPÉE

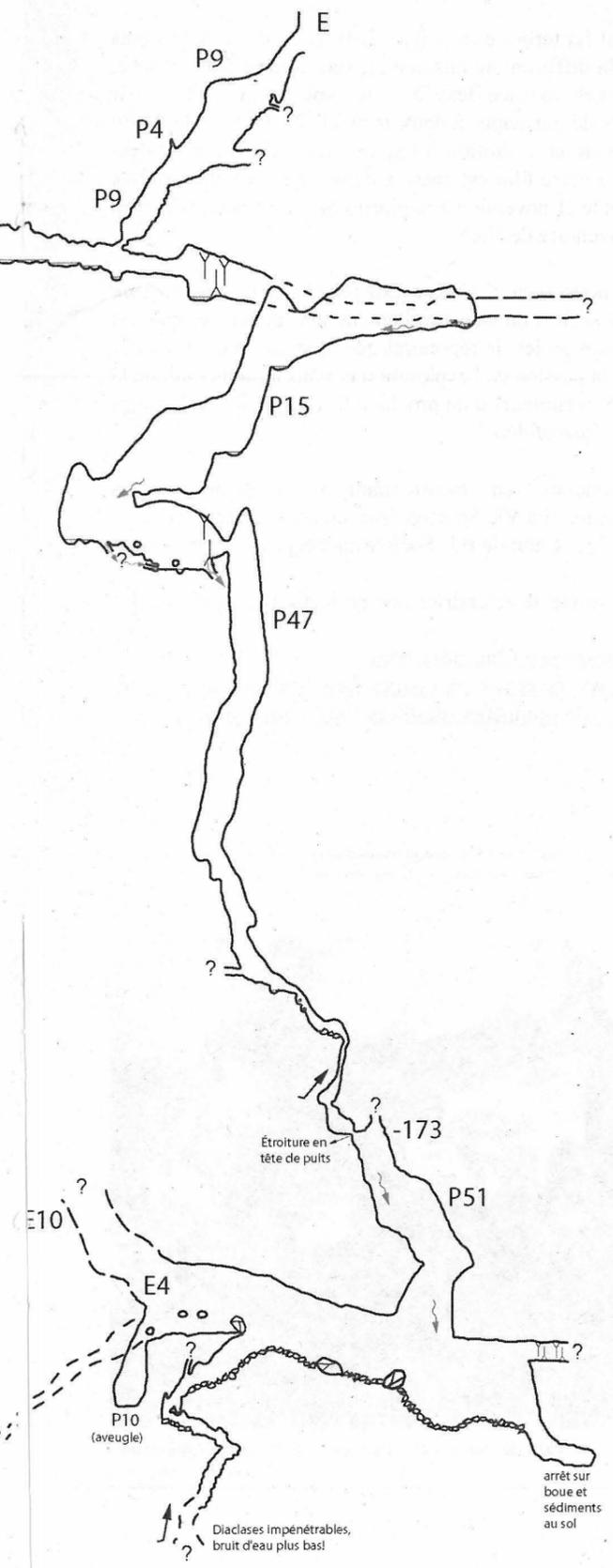


**TP5-07-11**  
**(Mexpé 2008)**  
 TEPEPA, COYOMEAPAN,  
 PUEBLA, MEXICO

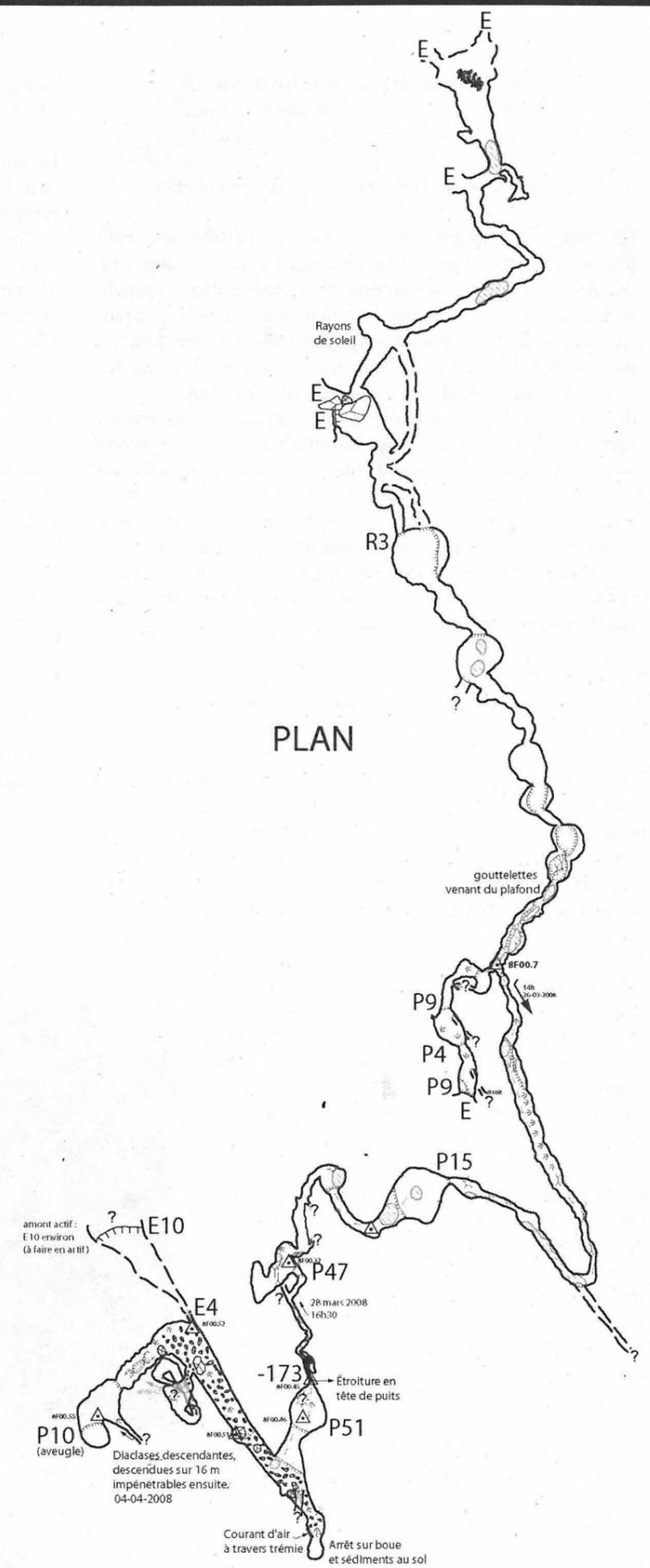
Altitude : 1380 m  
 Développement : 703 m  
 Profondeur : -228 m

Relevés topométriques effectués par :  
 Alain Bélanger, Christian Chénier, Gaël Hervé, Geneviève Lamarre  
 Eric Légaré, Jacques Orsola, Laurent Richard, Daniel Richer  
 Traitement des données : Christian Chénier  
 Dessin : Gaël Hervé, Geneviève Lamarre  
 Dessin vectoriel : Christian Chénier, Gaël Hervé

© Société québécoise de spéléologie 2008  
<http://mexpe.org>



PLAN



**Attention : traversée de gouffre mexicain !**

*Explorer : découvrir un territoire inconnu  
où l'homme n'a jamais mis le pied*

Un film de Marc Tremblay et Guillaume Pelletier

En 2009, une équipe internationale de spéléologues tente d'effectuer au Mexique la plus profonde traversée souterraine des Amériques. Le film entraîne le spectateur dans la jungle et les nombreux puits arrosés qui tombent dans l'inconnu. Au jour le jour, les réalisateurs font vivre les découvertes, donnent le pouls de la vie au camp de surface, révèlent les difficiles conditions de progression sous terre, assistent à la découverte d'une nouvelle espèce de scorpion, interrogent les habitants de la Sierra, captent les attentes et les motivations des explorateurs : des personnages colorés et attachants. Le suspense augmente alors qu'il devient nécessaire de dormir sous terre pour continuer. Une équipe escalade une entrée prometteuse qui pourrait bien être la « sortie » inférieure...

Un portrait de personnes qui investissent leur vie, leurs vacances mais surtout leur passion à s'enfoncer dans des gouffres aussi inhospitaliers que fascinants.

*Suite de la page 15*

découvert avec horreur que le format compressé de nos images devait être converti pour le logiciel de montage.

La scénarisation a pris de nombreux mois à aboutir sur un *storyboard*. Nous avons finalement identifié les scènes les plus pertinentes et avons ébauché un patron de 48 séquences de 30 secondes sur un quadrillage que nous avons ensuite découpé en petits carrés. Au fil des discussions, les carrés de papier ont été réorganisés pour constituer la trame du pré-montage.

Nous avons pu ainsi nous diviser le travail pour faire le montage de chacune de ces séquences, une étape qui a duré quelques mois devant l'ordinateur et comprenant toujours beaucoup d'échanges. Cela a produit un pré-montage du film que nous avons ensuite remis à Simon Perrier, un monteur professionnel de Québec. Ce dernier avait donc en main un plan précis du film à figoler.

Le montage final représente beaucoup de travail, car il y a une révision intégrale de l'ensemble du documentaire. L'ordre des séquences est parfois appelé à changer. De nombreux éléments sont incorporés : les transitions d'image, les sous-titres, le générique, l'animation, la musique, la narration, etc. J'ai passé beaucoup d'heures en compagnie de Simon pour poursuivre la réalisation et accepter ses propositions.

Pendant ce temps, Miguel Puerto, grimpeur et spéléo de Québec, composait la musique originale

du film. Nous avons même utilisé son studio pour enregistrer la narration avec un comédien professionnel de Québec.

Le film final fut terminé en janvier 2011, presque deux ans plus tard. Mais la diffusion ne faisait alors que commencer : affiche, campagne Web, tournée, festivals, etc. Nous avons eu le plaisir et l'honneur de participer à deux festivals en France : le 4 juin dernier lors de la 4<sup>e</sup> édition d'Explos Film Festival, à Ax-les-Thermes, où notre film est passé à deux votes de rafler le Prix du public, et le 11 novembre à Explorimages, au Festival du Film Nature et Aventure de Nice.

Où cela va nous mener ? Nous avons fondé *Les Productions au Bout de la Corde* et on va naturellement nous demander quel est notre prochain projet. Je répondrai que c'est comme en spéléo : nous avons la passion de l'exploration et nous aimons faire de la première... Les rumeurs d'un prochain film sont fondées : le titre prévu est *Claustrofobia*.

Il faut conclure en mentionnant la contribution des commanditaires : La Vie Sportive (présentateur principal), Hilti, Les Copies de la Capitale et la Société québécoise de spéléologie.

On pourra suivre le calendrier des projections à venir sur les sites suivants :

- <http://mexpe.org/film/index.html>

- <http://www.facebook.com/pages/Les-Productions-au-Bout-de-la-Corde-production-de-films/196120567066742>

1 L'auteur a fait naufrage dans l'Arctique au retour d'une expédition spéléologique sous glaciaire (voir *Sous Terre*, vol. 6 n° 4, page centrale B). [NDLR]



Eric L., Guillaume et Marc en train de tourner des images dans l'entrepôt matériel du camp de base

Photo : Eric Sanson

Syndrome du museau blanc chez les chauves-souris

# La collaboration des spéléologues est importante !

par Frédérick Lelièvre, biologiste, ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec

**D**epuis l'hiver 2006, un grave problème affecte sérieusement les chauves-souris de l'est de l'Amérique du Nord, et ce phénomène se répand de plus en plus. Dans les cavernes et les grottes touchées, c'est par milliers qu'elles succombent de ce qui semble être un syndrome jamais observé auparavant. Fait plutôt inusité, on remarque que le museau des individus touchés semble couvert d'une moisissure blanchâtre; on nomme donc ce nouveau phénomène « Syndrome du museau blanc (SMB) ».

Devant une mortalité aussi impressionnante qui menace la survie de plusieurs populations de chauves-souris de l'Amérique du Nord, des efforts importants sont déployés afin de trouver la cause menant à ces hécatombes. C'est en 2008 qu'une pièce du puzzle est enfin découverte: *Geomyces destructans*. Cette nouvelle espèce de moisissure (champignon) semble jouer un rôle très important dans le SMB, car il semble qu'elle soit présente dans tous les sites touchés. De plus, l'analyse de spécimens affectés indique que cet organisme infecte bien la peau des chauves-souris, et ce, alors qu'elles sont vivantes, ce qui rend encore plus plausible la thèse voulant que celui-ci soit l'agent responsable du SMB.

Malheureusement, ce syndrome encore méconnu démontre une propagation rapide depuis le nord-est des États-Unis et touche maintenant plus de 16 États et quatre provinces (l'Ontario et le Québec depuis l'hiver 2009-2010, le Nouveau-Brunswick et la Nouvelle-Écosse depuis le printemps 2011). Il est estimé que plus d'un million de chauves-souris ont succombé à ce syndrome depuis sa découverte, ce qui démontre toute l'ampleur de ce fléau dévastateur.

## Un envahisseur venu d'outre-mer ?

Depuis l'identification de *G. destructans*, une question demeure: d'où provient cette moisissure aussi dévastatrice? Actuellement, la réponse est toujours en suspens. Toutefois, des chercheurs

européens pourraient bien avoir mis le doigt sur une piste intéressante. Ils ont en effet identifié la présence de la même moisissure chez certaines chauves-souris de France, d'Allemagne, de Hongrie et de Suisse. Or, bien que ce fameux mycète soit présent dans ces pays, il semble que les cousines européennes de nos chauves-souris n'en subissent pas les mêmes conséquences. Cette nouvelle découverte supporte donc l'hypothèse que *G. destructans* pourrait être un pathogène exotique récemment introduit dans les populations de l'est de l'Amérique du Nord.

## Des conséquences importantes

Dans les colonies touchées par le SMB, on note une mortalité moyenne de 73 % des individus, ce qui est énorme pour les chauves-souris qui ne donnent généralement naissance qu'à un seul petit par année. Les chauves-souris jouent un rôle important dans les écosystèmes, en s'alimentant d'insectes dont certains sont nuisibles pour les humains et pour l'agriculture. Un peu comme un insecticide naturel, elles nous débarrassent d'une quantité phénoménale d'insectes. Par exemple, une petite chauve-souris brune adulte peut consommer près de 50 % de son poids en insectes chaque nuit et, s'il s'agit d'une femelle qui doit allaiter un petit, cette valeur peut même atteindre 75 % de sa masse! La disparition des chauves-souris pourrait donc avoir

des répercussions notables sur le nombre d'insectes présents dans l'environnement.

## Comment éviter leur disparition

Présentement, peu de solutions s'offrent à nous pour contrer les contrecoups dévastateurs du syndrome du museau blanc. En effet, il n'y a pas à ce jour de traitement disponible pour les chauves-souris affectées par le syndrome. La protection des sites de maternité et d'hibernation utilisés par les chauves-souris représente actuellement la seule avenue possible pour tenter de



Une petite chauve-souris brune affectée par le syndrome du museau blanc. Remarquez les petites taches blanches sur les ailes. Photo: Frédérick Lelièvre





Une autre chauve-souris atteinte du SMB

Photo : Frédérick Lelièvre

souris affectées par le SMB, mais aussi celles semblant en bonne santé. À cet effet, si jamais des chauves-souris sont observées lors de vos sorties spéléologiques, il nous serait fort utile que vous notiez le nombre approximatif d'individus observés, de même que la localisation précise de la caverne ou de la grotte visitée (position GPS idéalement). De plus, si des signes visibles du SMB sont présents (taches blanches sur les chauves-souris, grande mortalité), il est important de noter combien d'animaux approximativement présentent ces signes. La prise de photographies numériques à haute définition, lorsque possible, est toujours intéressante afin de permettre d'identifier les espèces observées et de confirmer la présence de signes du SMB.

En respectant les règles de décontamination du matériel utilisé et en rapportant leurs observations lors des sorties effectuées, les spéléologues contribueront à ralentir la propagation du SMB et nous aideront également à mieux suivre sa progression. C'est le mieux qu'ils puissent faire pour le maintien des populations de chauves-souris du Québec. ─

### Renseignements complémentaires

- Pour plus d'information sur le syndrome du museau blanc, veuillez consulter le site internet du ministère des Ressources naturelles et de la Faune :

<http://www.mrnf.gouv.qc.ca/faune/sante-maladies/syndrome-chauve-souris.jsp>

- Les mesures de décontamination recommandées peuvent être consultées à l'adresse suivante :

<http://www.mrnf.gouv.qc.ca/publications/faune/sante-maladies/mesures-biosecurite.pdf>

- Si vous observez des chauves-souris lors de vos visites, veuillez communiquer vos observations à :

[frederick.lelievre@mrnf.gouv.qc.ca](mailto:frederick.lelievre@mrnf.gouv.qc.ca)

ou par téléphone au : 1 866 248-6936

limiter les dégâts. De plus, le respect de mesures de biosécurité lors des travaux de recherche, de même que lors de la visite de cavernes, pourrait contribuer significativement à ralentir la propagation du syndrome.

### Comment les spéléologues peuvent-ils contribuer à la protection des chauves-souris ?

Les spéléologues représentent un segment de la population dont la collaboration est particulièrement précieuse pour le ministère des Ressources naturelles et de la Faune (MRNF), et ce, pour deux raisons. Tout d'abord, par le fait que les spéléologues fréquentent plusieurs sites souterrains lors de la pratique de leur activité, ils peuvent contribuer à la propagation du syndrome dans de nouveaux secteurs si leur matériel n'est pas décontaminé après la visite d'un site affecté. En effet, des études américaines récentes ont démontré la présence de nombreuses spores de *G. destructans* sur le matériel utilisé dans les cavernes contaminées. Donc, si les équipements ne sont pas bien décontaminés entre chaque site, le risque de transporter ce champignon dans plusieurs endroits est bien réel. Pour cette raison, le MRNF demande aux spéléologues d'être extrêmement vigilants et de bien respecter les consignes de décontamination (voir **Renseignements complémentaires**), ce que bon nombre d'entre eux ont déjà mis en pratique.

Ensuite, comme les spéléologues fréquentent des milieux hostiles peu fréquentés par le public en général, mais recherchés par les chauves-souris, ils peuvent grandement nous aider à suivre l'évolution du syndrome au Québec. La collaboration des spéléologues sera donc très importante afin de nous aider à documenter la présence de sites d'hibernation de chauves-

### Nouvelles récentes

Les résultats d'une recherche publiée dans la revue *Nature* en octobre 2011 indiquent que le mycète *G. destructans* est véritablement responsable de la maladie qui affecte les populations de chauves-souris du nord-est de l'Amérique. Pour en arriver à cette conclusion, les auteurs ont infecté des chauves-souris saines avec le mycète et mis celles-ci en hibernation dans un environnement contrôlé. Le groupe de chiroptères infectés a développé les mêmes symptômes que ceux atteints de la maladie en milieu naturel.

D'autres études tendent à confirmer l'origine européenne de *G. destructans*, et le rôle de l'humain dans son arrivée en Amérique. Toutefois, la transmission d'une chauve-souris à l'autre semble être la principale méthode de dispersion de la maladie.

Les méthodes de désinfection de l'équipement préconisées par le ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec et la SQS demeurent essentielles et écologiquement responsables pour éviter que les spéléologues deviennent une cause de dissémination du SMB.



# Le Distobidule

Un trépied pour le DistoX: un projet à volets multiples!

par Guy Cadrin

**A** l'automne 2009, j'ai fait l'acquisition d'un distancemètre laser Disto A3 de Leica sur eBay. J'ai par la suite acquis le module permettant de transformer ce Disto en DistoX, y ajoutant ainsi la mesure d'azimut et de pente et la communication sans fil Bluetooth.

Habitué à travailler avec des instruments sur trépied, j'ai rapidement songé à construire un tel support pour le DistoX. J'avais en tête un vague concept dérivant du Topobidule<sup>1</sup>. Mon design se devait d'être simple à fabriquer, compact, solide et léger pour le transport sous terre.

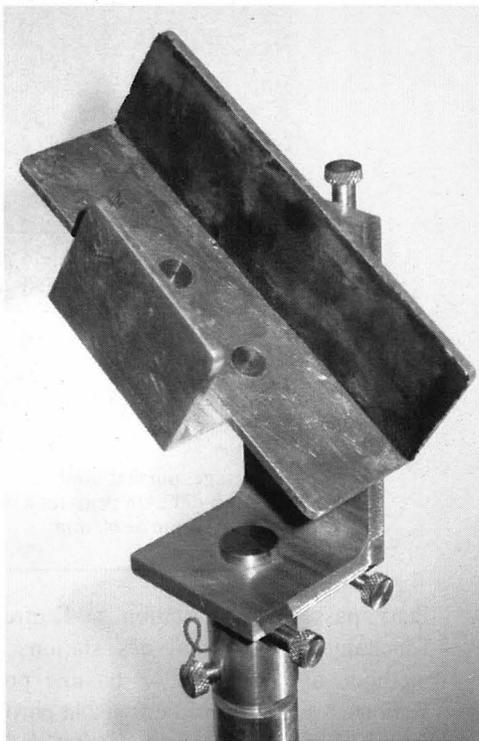
Il devait en outre permettre de retirer facilement et rapidement le DistoX du trépied en cas de besoin et pour le transport sécuritaire de l'instrument. Bien sûr, ce trépied devait être entièrement fabriqué de métaux non ferromagnétiques. Même l'acier inoxydable, souvent considéré amagnétique, dégage encore trop de magnétisme pour être utilisé autour d'un DistoX, mes essais ayant montré une déviation magnétique importante causée par de simples vis en inox. Au cours de l'hiver 2010, j'ai commencé par chercher les matériaux de base, soit dans ma boîte de rebuts, soit dans un magasin vendant de l'aluminium et du laiton en petite quantité.

## Le concept initial

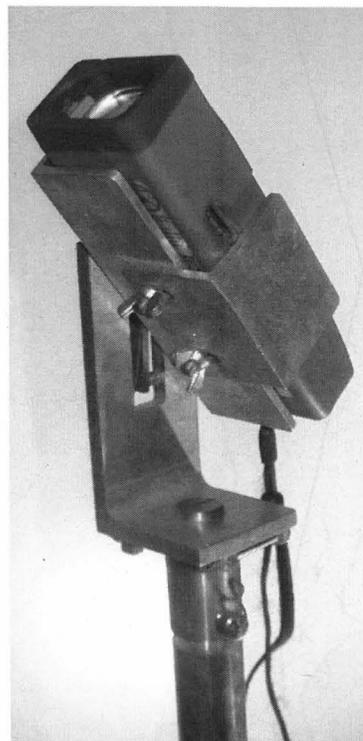
En réfléchissant au mode de fixation du DistoX sur le trépied, j'ai considéré deux possibilités pour la position du pivot vertical (pente): à l'arrière du boîtier ou à son centre de gravité. À la

suite d'essais effectués avec des pièces d'aluminium taillées pour supporter l'appareil, j'en suis arrivé à la conclusion que le pivot devait préférablement se situer au centre de gravité de l'appareil, pour diverses raisons techniques:

- le support est plus stable au moment d'appuyer sur le bouton d'acquisition de données;
- le support est plus compact durant le transport;
- le frein requis pour maintenir l'inclinaison de l'appareil peut être beaucoup plus petit grâce à l'équilibre naturel du DistoX autour de son pivot.



**Le Distobidule. Ajoutée, une bande de néoprène accroît la friction et facilite le montage et le démontage du DistoX.** Photo: Guy Cadrin



**Le DistoX monté sur le Distobidule. On voit les vis papillon d'ajustement.** Photo: Guy Cadrin

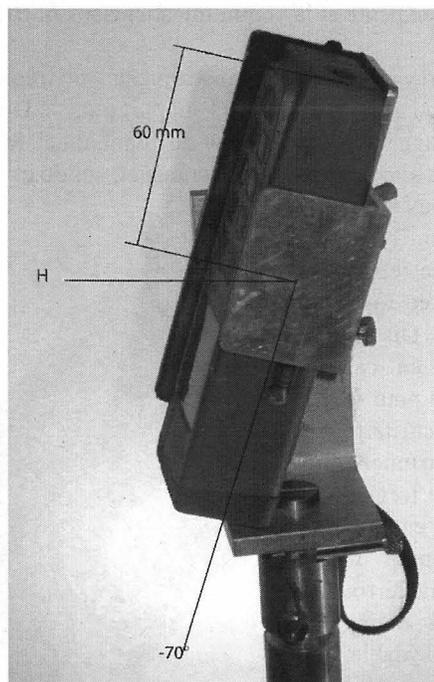
Le seul inconvénient de ce design est qu'il faille systématiquement déduire 60 mm à la distance mesurée pour en ramener le 0 (l'arrière de l'appareil) au point de pivot vertical, situé au centre du trépied (photo p. 22). Ce paramètre de correction est déjà configurable dans Auriga, le gratuitiel de topographie souterraine développé par Luc Le Blanc.

J'ai commencé l'usinage des composantes au début de juillet afin d'être prêt pour le congrès de la NSS au Vermont en 2010. Comme j'avais l'intention de faire quelque chose de

simple, j'ai recyclé certains concepts du Topobidule: même type de frein et même système d'ajustement fin. J'estime qu'environ dix heures de travail ont été requises afin de fabriquer le prototype. Certaines composantes ayant été fabriquées sans dessin préalable, j'ai souvent couru le risque d'erreurs de dimensions. Une seule pièce a dû être fabriquée à trois reprises: une vis de verrouillage qui s'est avérée trop courte à deux occasions. Cette dernière pièce a été fabriquée la veille de mon départ pour le Vermont (voir encadré en page 23)!

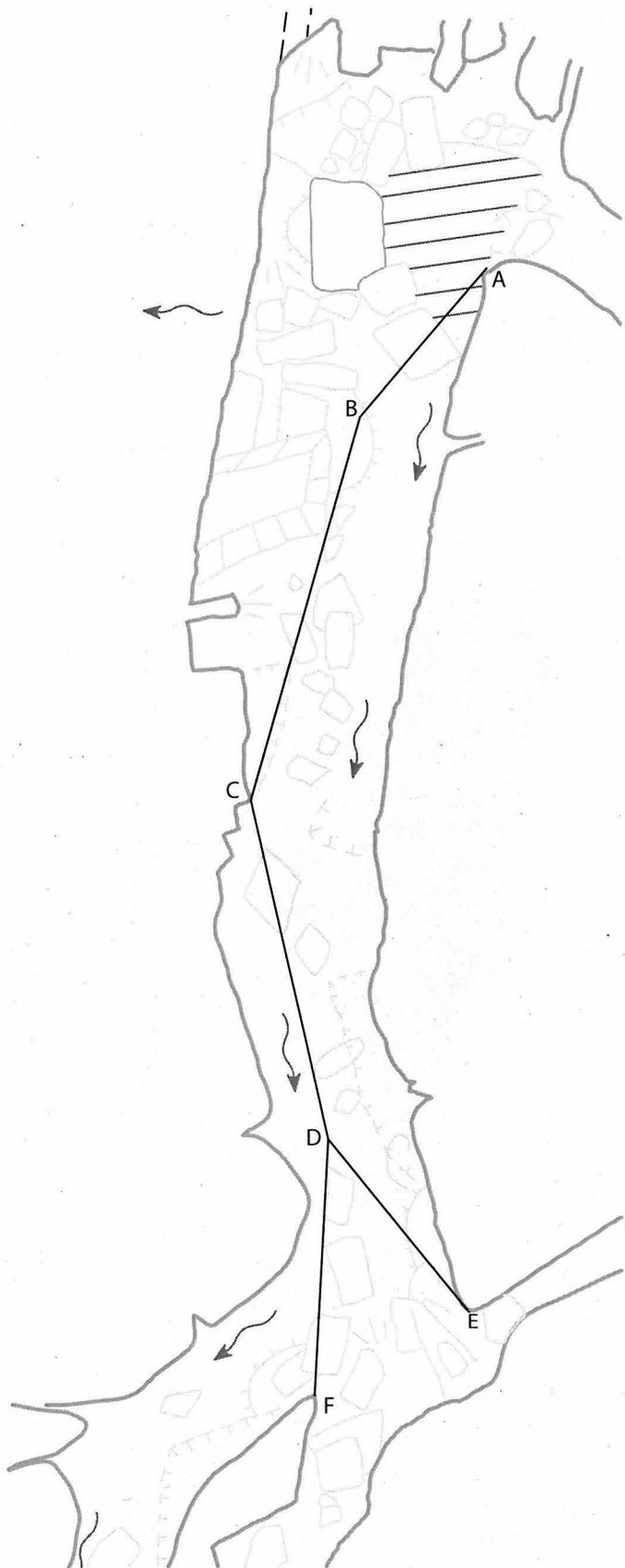
**Le Distobidule en action**

Un essai dans la grotte de Boischatel a montré que le montage d'un DistoX sur un trépied d'appareil photo s'avère fort utile lorsqu'on désire produire une topographie de précision. Et lorsque vient le temps de faire des visées radiantes pour déterminer le pourtour d'une salle, le Distobidule se révèle un outil remarquable. L'ensemble, entièrement réalisé en aluminium, est compact et n'ajoute que peu de poids au trépied, qui reste par ailleurs utilisable pour la photographie.



Montage normal limitant la mesure de pente à -70°. On peut aussi voir le décalage systématique de 60 mm.

Photo: Guy Cadrin



Exemple de topo d'une section de galerie: méthode dite « basque », variante théodolite  
Dessin: Guy Cadrin

Pour passer d'une station à l'autre avec un Distobidule, l'enchaînement optimal des stations est une variante de la méthode dite « basque »<sup>2</sup> où une première et une troisième stations A et C sont situées sur la paroi, tandis que la station B intermédiaire est placée au centre de la galerie. On installe le couple DistoX-trépied en B, puis on mesure les visées B->A et B->C. On déplace ensuite le Distobidule à une station D située au centre de la galerie puis on mesure la visée D->C et ensuite D->E (sur la paroi) et ainsi de suite. De cette manière, on n'a jamais à positionner le trépied à une station contre paroi déjà mesurée, ce qui serait souvent difficile à faire avec la précision recherchée.

**Un support de calibration**

Mis au courant de mon projet, Christian Chénier m'avait mentionné l'utilité potentielle d'une telle tête de trépied pour la calibration du DistoX. En effet, cette opération requiert d'effectuer



56 mesures successives, l'appareil étant placé au centre d'un cube imaginaire dont on vise successivement les huit coins puis les six faces, chaque fois en faisant tourner l'appareil d'un quart de tour sur lui-même. En visant soigneusement, en angle et en pente, on

obtient une calibration de bonne qualité, garantissant ainsi des mesures précises par la suite. Finalement, aucune modification n'a été nécessaire pour satisfaire ce besoin : il suffit d'immobiliser la tête du trépied vers une des directions à viser, puis de réaliser

## Un outil de vérification des mesures

J'ai assisté à la série d'ateliers de topographie au premier jour du congrès 2010 de la NSS. Une présentation m'a particulièrement intéressé, celle où Lynn Brucker présentait ses résultats comparés de mesures effectuées avec trois appareils différents : le SAP<sup>3</sup>, le DUSI<sup>4</sup> et le DistoX. Elle utilisait des points topo permanents précédemment positionnés dans une grotte à l'aide d'une station totale (théodolite muni d'un distancemètre laser). Elle avait fait construire un dispositif lui permettant d'immobiliser successivement chaque appareil sans aucun déplacement, et donc de réaliser des mesures comparables.

Contrairement à mes attentes initiales, le DistoX ne permet pas d'obtenir mieux que 1° de précision, malgré une mesure affichée au dixième de degré. Plusieurs facteurs entrent en ligne de compte dans ce résultat, notamment le soin apporté lors de la calibration et la fréquence avec laquelle celle-ci est répétée. Il semble en effet que le mouvement des piles dans leur logement et la variation de leur état de charge affectent la calibration; Lynn recommande une recalibration aux trois semaines. Quant à lui, Luc Le Blanc rapporte que lors de ses missions d'une semaine de retopographie à Lechuguilla, les DistoX sont vérifiés entre eux par paire tous les matins, et il n'est pas rare de devoir les recalibrer aux deux jours.

Cette expérience et ces résultats m'ont inspiré: j'ai imaginé une procédure simple pour vérifier l'exactitude et la

calibration d'instruments de topographie à partir de mon théodolite. Celui que je possède me permet de mesurer des angles avec une précision de l'ordre de 30 secondes d'arc (1/120° de degré). J'ai donc fabriqué une tête de trépied



À gauche, un théodolite. À droite: Distobidule monté sur une base de théodolite.  
Photo: Guy Cadrin

s'installant sur une base de théodolite et qui permet d'aligner le faisceau laser du DistoX dans l'axe optique du théodolite. Cette base permet aussi de soutenir le Topobidule avec le faisceau laser situé lui aussi dans le même axe optique que le théodolite. Il est donc possible avec cet arrangement de permuter les instruments très rapidement. En théorie, tous devraient lire la même pente (mesure absolue sur le théodolite) et le même azimut relatif. Comme le théodolite mesure des angles relatifs, en établissant une station permanente dont on connaît une visée précise par rapport au nord, il est possible d'établir plusieurs cibles avec azimuts et pentes connus et de comparer ainsi les résultats des visées des compas et du DistoX sur ces points aux coordonnées connues (voir croquis en page suivante).

En installant un repère permanent dans un parc, il est possible d'établir avec une grande précision la ligne de visée du nord géographique, en se servant de l'étoile Polaire et de l'heure à laquelle elle passe par le méridien (l'étoile Polaire n'est pas parfaitement alignée sur le pôle Nord céleste). Après avoir obtenu cette information, on détermine un autre point permanent au sol, ou on fait appel à un point permanent au loin dont l'azimut sera mesuré au théodolite à partir de l'étoile Polaire. Comme l'information sur la déclinaison magnétique d'un lieu pour une journée précise est facilement accessible (les variations journalières sont moindres que la résolution angulaire de nos instruments), il est possible d'établir un point de visée (point A sur le

dessin) avec un azimut magnétique connu et d'en déterminer la pente. Si on souhaite utiliser le laser du DistoX pour effectuer le pointage de la cible, celle-ci devra être à moins de 100 m de l'observateur, soit la portée de l'appareil; dans le cas de la calibration d'appareils optiques (comme les Suunto), cette limite ne s'applique pas. Une fois le protocole établi, il sera possible de vérifier chacun de nos compas et clinomètres envers cette cible et d'en déterminer l'erreur et le facteur de correction. Il est ainsi possible d'établir plusieurs points d'azimuts connus et de vérifier les instruments sur plusieurs points autour de notre station par visées radiantés.

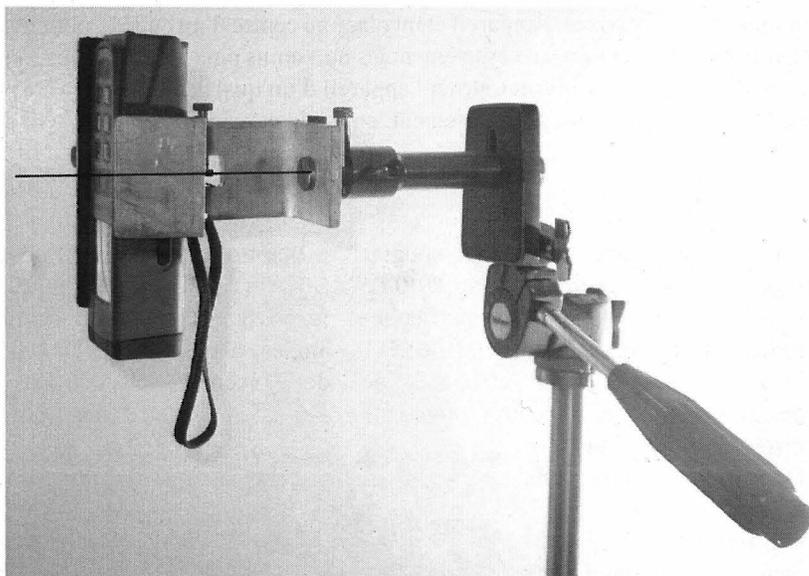
Ainsi, nous disposons à peu de frais d'une installation permettant la vérification de nos instruments.



quatre mesures en faisant tourner le DistoX sur lui-même dans son logement. Seules les mesures vers le bas doivent être effectuées à main levée. En effet, lorsque installé dans le Distobidule, le DistoX retourne un message d'erreur quand on vise vers le bas, car le trépied en interrompt le faisceau et la visée est trop courte (le DistoX ne mesure pas les distances de moins de 20 cm).

**La mesure des sections**

De son côté, Luc Le Blanc m'avait parlé de son projet de modifier Auriga pour permettre d'acquérir une grande quantité de mesures radiantes autour d'une station topo dans le but de réaliser avec précision le dessin de sections de galeries. La tête de mon trépied devait donc permettre la rotation complète du DistoX dans un axe perpendiculaire à la visée (et la galerie). Mon Distobidule, ayant une course limitée en pente, ne pouvant aller en deçà de -70° (photo p. 22), ce besoin d'atteindre +/-90° m'embêtait passablement, car il obligeait à compliquer le principe de pivotement déjà fabriqué. Cependant, après réflexion, il apparut qu'il suffisait de mettre à profit la bascule inhérente au trépied photo pour atteindre le résultat attendu sans aucune

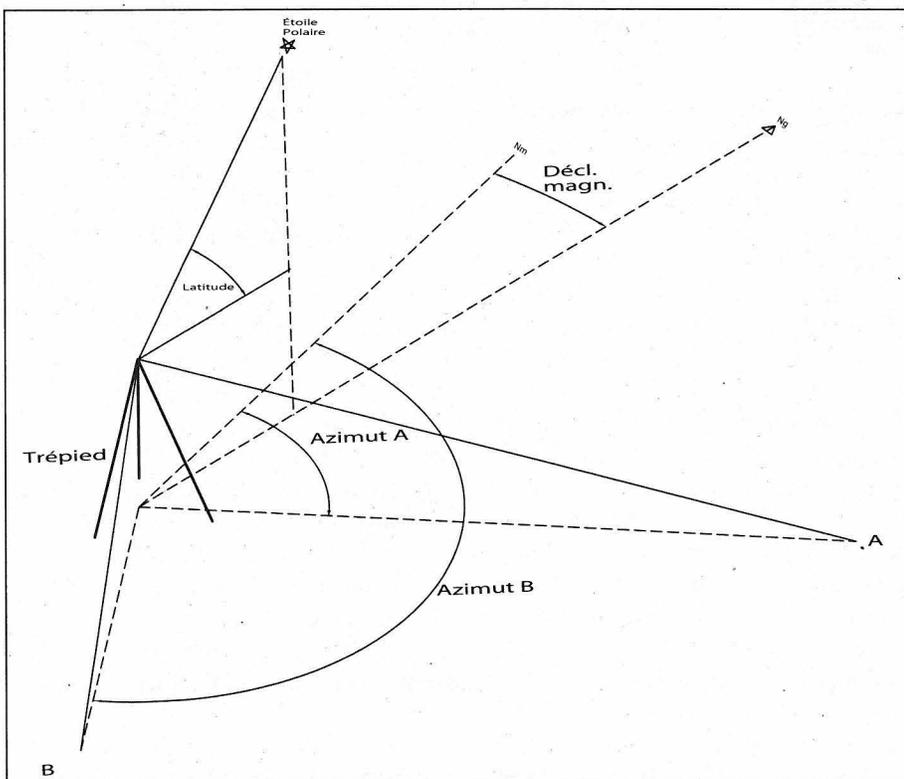


**Distobidule monté sur un trépied d'appareil photo avec l'axe vertical couché à l'horizontale. Cet arrangement permet de faire des visées radiantes sur 360° pour dessiner une coupe de la galerie.**  
Photo : Guy Cadrin

modification de mon dispositif. Ainsi basculé à 90°, le DistoX tournait dans le sens de la section de la galerie aussi bien qu'il le fait en azimut à l'horizontale! Seules les mesures vers le bas risquent d'être interceptées par les pattes du trépied, ce qu'on peut

souvent éviter avec un peu de soin. Dans plusieurs cas (par exemple, des galeries au plancher relativement plat), l'utilisation de la bascule du trépied peut même s'avérer superflue.

Ce projet de tête de trépied pour DistoX, qui ne visait initialement qu'à stabiliser l'appareil durant la prise de mesures topo courantes, permet donc également de faciliter la calibration de l'appareil et de réaliser des vues en section!



**Croquis d'un trépied dans un champ; une première visée est faite sur l'étoile Polaire. Avec la déclinaison magnétique connue, il est possible de connaître avec précision les azimuts A et B. On peut ainsi établir plusieurs points autour du trépied.**  
Dessin : Guy Cadrin

- 1 Sous Terre, vol. 19 n° 1, p 16 et ss.
- 2 Ainsi nommée car c'est au contact de Basques présents à Mexpé que nous découvrîmes cette méthode s'apparentant au parcours usuel d'un théodolite. *Leap-frog* en anglais, son nom a été traduit par « aller-retour » dans Auriga.
- 3 Shetland Attack Pony, un appareil mesurant l'azimut et la pente. Voir [www.shetlandattackpony.co.uk](http://www.shetlandattackpony.co.uk).
- 4 Digital Underground Survey Instrument, un appareil ressemblant à une calculatrice, et mesurant l'azimut, la pente, l'intensité du champ magnétique local, etc.; sa fabrication a été abandonnée en 2010. Voir [www.sparkfun.com/products/8939](http://www.sparkfun.com/products/8939).



# Mathématiques souterraines

## L'analyse des boucles

par Luc Le Blanc

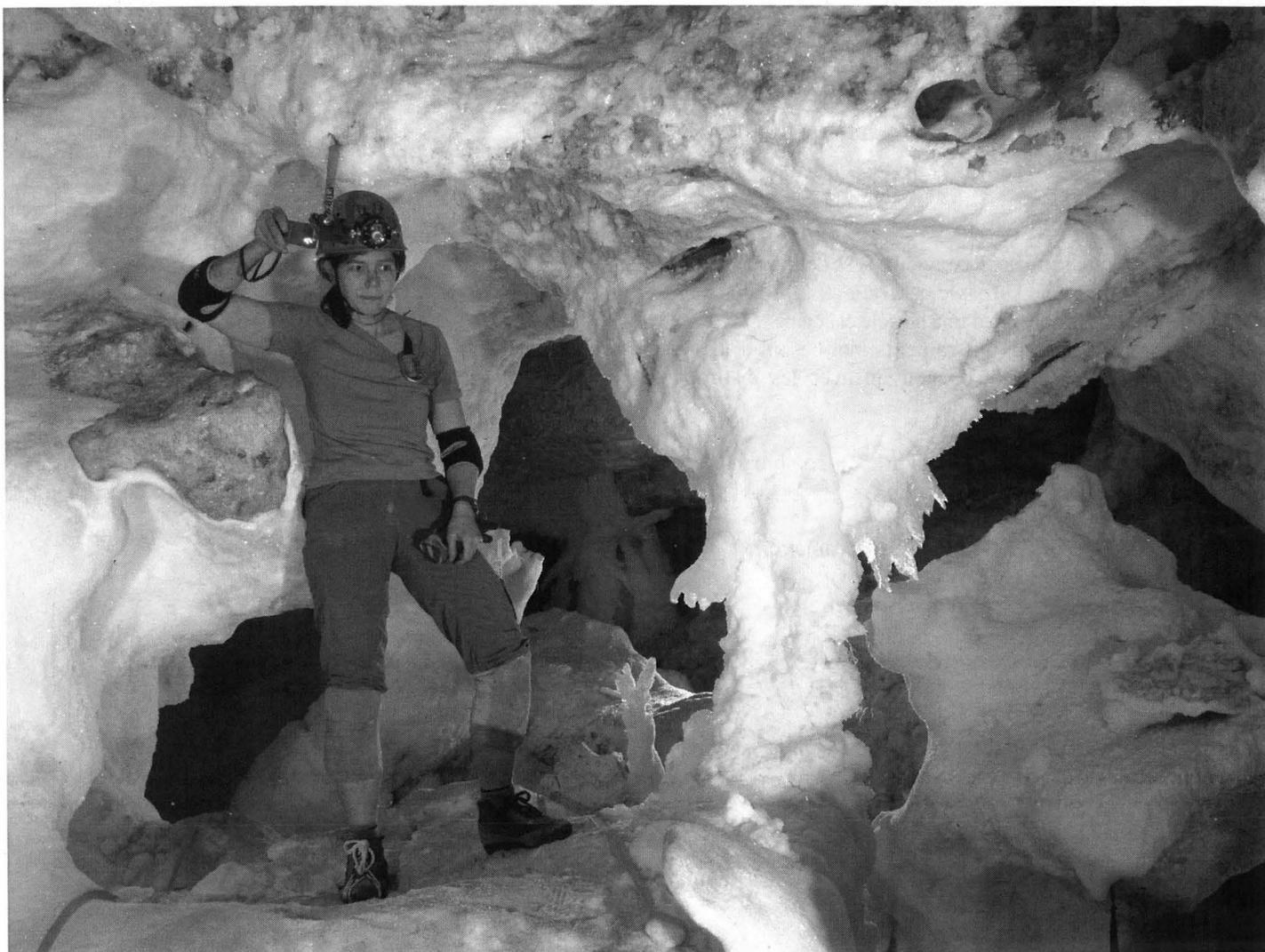
Ce troisième article sur les mathématiques souterraines poursuit l'exploration des algorithmes utilisés en topographie de grottes tels qu'implantés dans le gratuiticiel Auriga<sup>2</sup>.

les erreurs de mesure sont dites aléatoires. À ces erreurs attendues, inévitables, le topographe ajoute des erreurs humaines occasionnelles (inattention, manipulation, inscription, transcription) qui, souvent, dépassent en amplitude le niveau d'erreur attendu des seuls instruments.

### Les erreurs de fermeture des boucles

La topographie d'une grotte s'effectue à l'aide d'instruments, imparfaits par nature, comportant un taux d'erreur intrinsèque. À moins qu'un instrument soit affecté d'une erreur systématique,

Depuis les débuts de la version publique d'Auriga en 2003, on m'a régulièrement demandé si le logiciel effectuait la fermeture des boucles. Comme nous l'avons vu précédemment<sup>3</sup>, cette fonctionnalité consiste à répartir l'erreur de fermeture d'une boucle sur l'ensemble de ses visées de façon à produire un



Annick Normandin visant au DistoX à partir d'une station (en bout de ruban) lors d'une semaine de correction de mauvaises boucles à la grotte Lechuguilla, Nouveau-Mexique (États-Unis) en 2010

Photo : Peter Bosted



squelette « parfait » où ont été corrigées les visées qui autrement ne rejoindraient pas exactement leur station d'arrivée.

La fermeture des boucles, qui ne me semblait pas prioritaire, ne fut implantée qu'en 2009. En effet, Auriga étant davantage un outil de saisie sur le terrain qu'un outil de mise au propre, il m'apparaissait plus important d'offrir une fonction d'analyse qui puisse aider à trouver la cause humaine, s'il y a lieu, des erreurs de fermeture, et permette ainsi de les corriger *in situ*, plutôt que de les masquer. Cependant, tant l'analyse automatique des boucles que leur fermeture nécessitaient d'abord de savoir déterminer par programme le parcours d'une boucle, ce que fournit un algorithme<sup>4</sup> issu de la théorie des graphes dont je n'ai pris connaissance qu'en 2009. Depuis son implantation dans Auriga, on obtient maintenant le parcours d'une boucle, sa longueur totale, et donc son erreur relative de fermeture, ce qui d'emblée fournit au topographe une indication de la qualité de son travail. À partir de là, l'ajout du processus de fermeture n'était plus qu'une formalité, qui a semblé plaire à plusieurs. De mon côté, je songeais encore à une fonction d'analyse des visées en cause dans les boucles en erreur. La solution ne m'est apparue qu'à force de réflexion et d'échanges avec Larry Fish, auteur du logiciel Compass<sup>5</sup> dont le système de détection des bourdes (*blunder detection*) est bien apprécié.

### L'erreur attendue

Avant d'analyser une boucle, il convient de se demander si le taux d'erreur qu'elle présente dépasse celui dû aux instruments. En effet, si l'erreur de fermeture d'une boucle est égale ou inférieure à l'erreur attendue liée aux instruments, nul besoin d'aller plus loin, on a fait du mieux qu'on pouvait avec les instruments utilisés.

L'erreur attendue d'une visée se calcule en combinant l'erreur propre à chaque instrument utilisé :

- dL : erreur de longueur (ex. 1 % pour un décimètre)
- dT : erreur d'azimut (ex. 2 ° pour un compas)
- dC : erreur de pente (ex. 2 ° pour un clinomètre)

et l'erreur de positionnement (dP) de la station (ex. l'épaisseur de la tête dans le cas d'instruments portés à l'œil).

L'erreur attendue d'une boucle est simplement la somme de l'erreur attendue de chacune de ses visées.

Mathématiquement, cela se traduit ainsi :

Le parcours en x, y et z d'une visée de longueur L, d'azimut T et de pente C se calcule selon la formule classique :

$$\Delta x = L \cos C \sin T \quad \Delta y = L \cos C \cos T \quad \Delta z = L \sin C \quad [1]$$

tandis que la variance de l'erreur attendue de la visée en x, y et z se calcule selon les formules suivantes<sup>6</sup> :

$$S_x^2 = \frac{dP^2}{3} + \left[ \frac{x \, dL}{L} \right]^2 + [y \, dT]^2 + \left[ \frac{1}{2} + \sin T^2 \cos C^2 \right] \times [z \, dC]^2 \quad [2]$$

$$S_y^2 = \frac{dP^2}{3} + \left[ \frac{y \, dL}{L} \right]^2 + [x \, dT]^2 + \left[ \frac{1}{2} + \cos T^2 \cos C^2 \right] \times [z \, dC]^2 \quad [3]$$

$$S_z^2 = \frac{dP^2}{3} + \left[ \frac{z \, dL}{L} \right]^2 + [L \cos C \, dC]^2 \quad [4]$$

où  $S_x^2$ ,  $S_y^2$  et  $S_z^2$  représentent la variance de cette erreur en x, y et z, soit le carré de l'écart-type. L'écart-type de l'erreur attendue ( $\sigma$  ou sigma, combinant l'erreur en x, y et z) d'une seule visée se calcule donc ainsi :

$$\sigma = \sqrt{\frac{S_x^2 + S_y^2 + S_z^2}{3}} \quad [5]$$

En additionnant la variance des  $n$  visées de la boucle, on obtient la variance totale de la boucle. La racine carrée de cette variance totale nous donne l'écart-type de l'erreur attendue de la boucle :

$$\sigma_t = \sqrt{\sum_{i=1}^n \sigma^2} \quad [6]$$

Le rapport entre l'erreur absolue de la boucle (soit la distance vectorielle entre le point d'aboutissement de la visée ayant permis de trouver la boucle et la station réellement visée) et son erreur attendue constitue un **indice de qualité** :

$$\text{indice de qualité} = \frac{\text{erreur absolue}}{\text{erreur attendue}} \quad [7]$$

Une boucle possédant un indice de 1 atteint exactement l'erreur attendue. Un indice supérieur indique une qualité moindre.

S'agissant d'erreurs aléatoires, la mesure répétée un grand nombre de fois d'une même visée produirait une distribution normale, dite courbe ou cloche de Gauss, dont la médiane constituerait la valeur exacte.

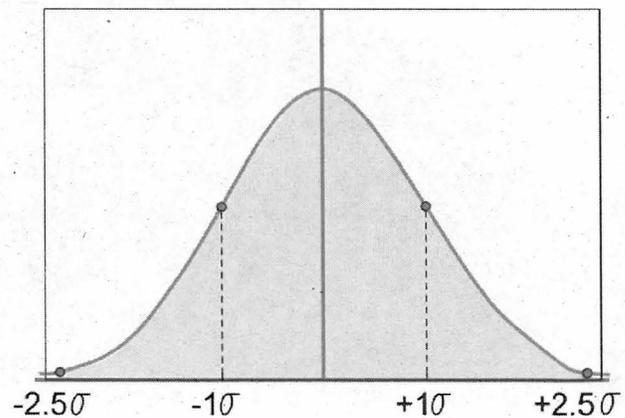


Figure 1. Distribution des mesures selon une courbe de Gauss



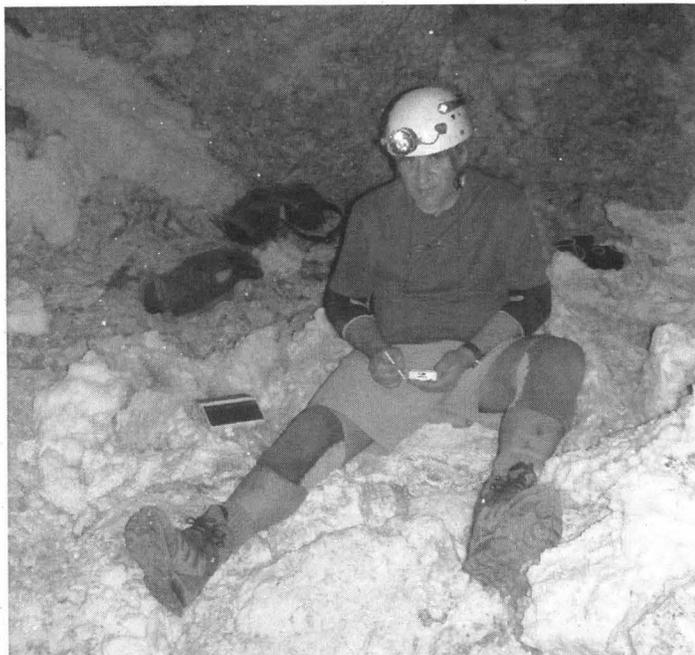
Selon cette courbe, 99 % des mesures se retrouvent à l'intérieur d'une fourchette de  $\pm 2,5$  fois l'écart-type autour de la médiane. Par conséquent, une boucle dont l'indice de qualité excède 2,5 est suspecte et on soupçonne alors avoir affaire à une erreur grossière en plus des erreurs aléatoires dues aux instruments. Cette boucle mérite donc d'être analysée pour y trouver la visée dont l'erreur excède celle des instruments.

## L'analyse d'une boucle

L'analyse des boucles telle qu'implantée dans Auriga – inspirée, on l'a vu, de celle de Compass – repose sur l'hypothèse que l'erreur de fermeture d'une boucle correspond à la somme des erreurs aléatoires dues aux instruments et, s'il y a lieu, à une erreur unique, dite « grossière ». À moins de recourir à une recherche statistique poussée<sup>7</sup>, il est en effet très difficile d'analyser une boucle comportant plus d'une erreur grossière. La fonction d'analyse d'une boucle consiste à déterminer, pour chaque visée de cette boucle, quelle correction unique produirait un effet positif sur l'erreur relative de la boucle. Chaque visée est passée en revue, pour ne retenir que les corrections qui produisent le meilleur résultat de fermeture, fournissant là un ensemble d'hypothèses d'erreurs grossières jugées les plus probables.

Trois types de corrections sont tentées :

1. trouver une station de départ ou d'arrivée alternative
2. inverser le sens de la visée (une erreur courante)
3. optimiser un des paramètres de la visée, sa longueur, son azimut ou sa pente.



L'auteur saisissant les nouvelles mesures d'une boucle à Lechuguilla  
Photo: Annick Normandin

Celles-ci s'apparentent aux causes habituelles des erreurs grossières rencontrées en topographie de grottes :

- erreur sur la station de départ ou d'arrivée
- erreur de direction de la mesure (en azimut et/ou en pente)
- erreur de transcription (ex. un « 3 » devient un « 8 », un « 6 » est entendu « 10 », une centaine est oubliée)
- erreur de lecture de l'instrument (ex. erreur de lecture de l'échelle du compas qui transforme  $37^\circ$  ( $40^\circ - 3$ ) en  $43^\circ$  ( $40^\circ + 3$ ))

Prenons un exemple simple pour illustrer le procédé :

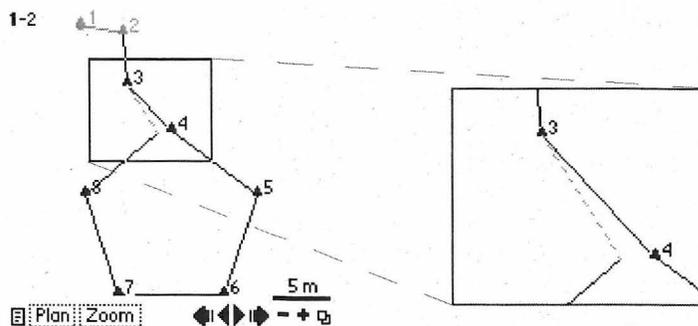


Figure 2. La topo de la boucle

Dans cette boucle, la visée 8-3 n'aboutit pas correctement à la station 3. L'écart en x, y et z entre l'aboutissement de la visée 8-3 et la véritable position de la station 3 est libellé dx, dy et dz. Cet écart constitue l'erreur de fermeture de la boucle; elle est signalée ici par une ligne pointillée – rouge à l'écran d'Auriga – entre la station 3 et le point d'arrivée de la visée. L'erreur absolue s'obtient comme toute mesure de longueur d'un vecteur dans un espace à trois dimensions :

$$d = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2} \quad [8]$$

Pour chaque visée, la fonction d'analyse calcule la nouvelle erreur de fermeture obtenue si :

1. on change la station de départ ou d'arrivée. Afin d'optimiser la recherche des stations alternatives, seules les stations situées à une distance égale ou inférieure à l'erreur absolue de fermeture de la station de départ ou d'arrivée de la visée sont considérées. Dans le cas présent, une telle recherche proposera de remplacer la visée 8-3 par une visée 8-4, l'hypothèse étant que l'utilisateur visait réellement la station 4 tout en croyant qu'il s'agissait de la station 3.
2. on inverse la visée.
3. on optimise l'un de ses paramètres. On tente d'abord une correction de la longueur de la visée en lui ajoutant l'erreur de fermeture (qu'elle soit positive ou négative) :

$$L' = \sqrt{(x + dx)^2 + (y + dy)^2 + (z + dz)^2} \quad [9]$$



à partir de laquelle on calcule les nouveaux x, y et z de la visée selon la formule vue précédemment :

$$\begin{aligned} x' &= L' \cos C \sin T \\ y' &= L' \cos C \cos T \\ z' &= L' \sin C \end{aligned} \quad [10]$$

En calculant la différence entre les x, y et z d'arrivée de la visée originale et les x', y' et z' d'arrivée de la visée corrigée, on peut calculer la nouvelle erreur de fermeture.

Le procédé est répété avec une correction sur l'azimut<sup>8</sup> :

$$T' = \text{atan2}(x + dx, y + dy) \quad [11]$$

puis sur la pente :

$$C' = \arccos \frac{x+dx}{y+dy} \quad [12]$$

Une fois toutes les visées parcourues et les corrections triées au mérite de leur effet sur l'erreur de fermeture, on peut les présenter à l'utilisateur sous forme d'une liste d'hypothèses d'erreurs grossières :

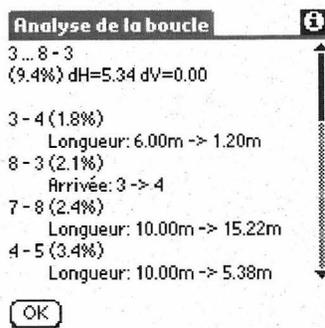


Figure 3. Le rapport d'analyse

La première ligne de l'affichage indique que le parcours rebouclant sur la station 3 et passant par la station 8 comporte une erreur initiale de fermeture de 9,4 %, soit 5,34 m en horizontale et 0 en verticale. Selon l'analyse, cette erreur serait réduite à 1,8 % si la visée 3-4 était rétrécie de 6 m à 1,20 m. Une telle erreur, bien que mathématiquement valable, apparaît peu probable (comment aurait-on confondu ces chiffres?). Au vu de la topo, la seconde hypothèse, soit le remplacement de la visée 8-3 par une visée 8-4, apparaît très probable, même si l'erreur résultante reste tout de même de 2,1 %. On comprendra qu'il ne s'agit pas ici de choisir aveuglément le meilleur résultat numérique proposé, mais bien de vérifier ces hypothèses, possiblement en allant reprendre une visée, et de trouver (puis de corriger) l'erreur grossière qui s'est réellement produite.

L'approche utilisée par Auriga pour évaluer des corrections aux visées peut certes être jugée par trop mathématique. Par

exemple, si la valeur exacte de l'azimut d'une visée est de 213 °, il est possible que le topographe ait mesuré 212 ° à son compas (dont, rappelons-le, l'exactitude n'est pas absolue). Supposons que le spéléo au carnet note plutôt 112 ° par erreur. Le processus d'analyse de boucle, qui tend vers une erreur nulle, proposera une correction de l'azimut à 213 °. En voyant la correction proposée, le topographe pourrait ne pas remarquer que ce changement de 112 ° à 213 ° correspond en fait à la correction de la centaine oubliée, doublée d'un ajustement exact de l'azimut pour atteindre une erreur nulle.

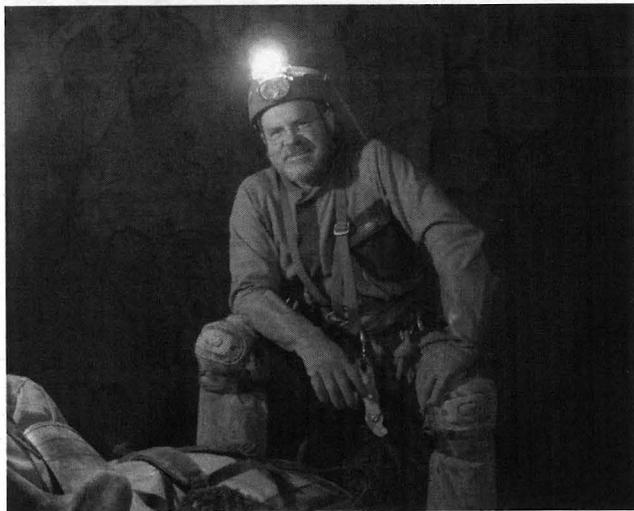
Une autre approche, plus intuitive que mathématique, consiste à évaluer des corrections basées sur les erreurs qu'est susceptible de commettre un topographe, par exemple l'oubli d'une centaine, l'inversion de deux chiffres adjacents (« 25 » au lieu de « 52 »), une erreur de saisie basée sur la sonorité des chiffres (« 6 » contre « 10 »), l'oubli du signe négatif, l'erreur d'échelle de lecture de l'appareil (ex. % au lieu de ° sur le clinomètre), l'erreur de lecture de l'échelle de l'appareil (ex. 37 ° au lieu de 43 ° sur le compas), etc. Cette approche aurait cependant un prix : elle nécessiterait d'évaluer un très grand nombre de corrections, au lieu des seules trois pour l'approche mathématique. En outre, pour élaborer ces corrections basées sur les chiffres saisis, il faudrait retourner aux visées brutes, alors que l'approche mathématique permet d'opérer à partir des visées calculées, où longueur, azimut et pente ont déjà été résolus en x, y et z. Le choix de l'approche mathématique dans Auriga a donc été dicté par une contrainte de rapidité de traitement sur un processeur dont la fréquence peut aller aussi bas que 16 MHz.

En conclusion, l'analyse des boucles, lorsqu'appliquée à une boucle dont l'erreur excède significativement l'erreur attendue, permet d'aider le topographe à identifier, s'il y a lieu, une visée erronée et la corriger immédiatement. Opérant sur un ordinateur de poche destiné à l'usage souterrain, cette fonctionnalité améliore encore la qualité des mesures dès leur saisie, avant le retour en surface. ▀

- 1 Sous Terre, vol. 21 no 1, Mathématiques souterraines, ou comment la matière que vous détestiez à l'école vous rattrape par là où vous ne l'attendiez pas!, pp 14-18 et Sous Terre, vol. 21 no 2, Mathématiques souterraines – Le traitement des boucles topographiques, pp 28-30.
- 2 Site web d'Auriga : [www.speleo.qc.ca/Auriga](http://www.speleo.qc.ca/Auriga)
- 3 *Op. cit.*, Le traitement des boucles topographiques.
- 4 *Ibid.*
- 5 [www.fountainware.com/compass/](http://www.fountainware.com/compass/)
- 6 Équations d'Andy Waddington dans [csg.bcra.org.uk/surveynotes.html](http://csg.bcra.org.uk/surveynotes.html)
- 7 Ce serait le cas dans le logiciel Walls, [www.utexas.edu/tmm/sponsored\\_sites/tss/Walls/tsswalls.htm](http://www.utexas.edu/tmm/sponsored_sites/tss/Walls/tsswalls.htm), mais vraisemblablement trop lourd à implanter dans un logiciel pour ordinateur de poche.
- 8 La fonction atan2, développée pour les ordinateurs, se définit formellement ainsi (Wikipedia):

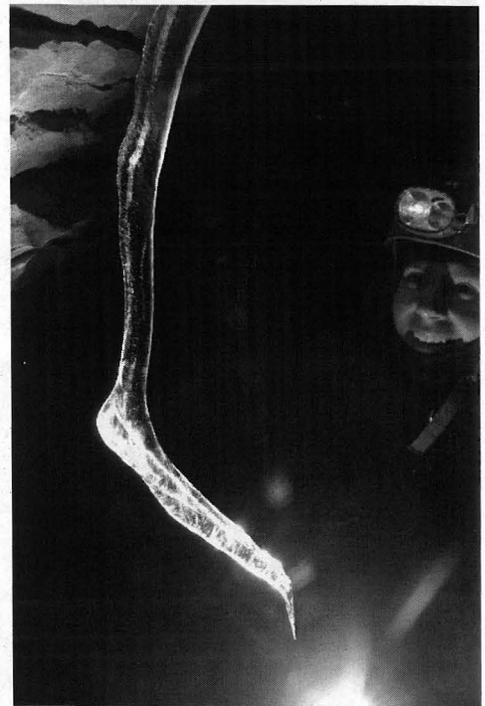
$$\text{atan2}(y, x) = 2 \arctan \frac{\sqrt{x^2 + y^2} - x}{y}$$





À partir du coin supérieur gauche, en sens horaire :

- *La penseuse de la Sierra Negra* de Jocelyn Moreau
- *Mystique* de Christian Francoeur
- *Plaisir de glace* de François Gélinas
- *Est-ce du glacio-tectonisme? No 2* de Guillaume Pelletier
- *Bonheur sous terre!* de Christian Francoeur

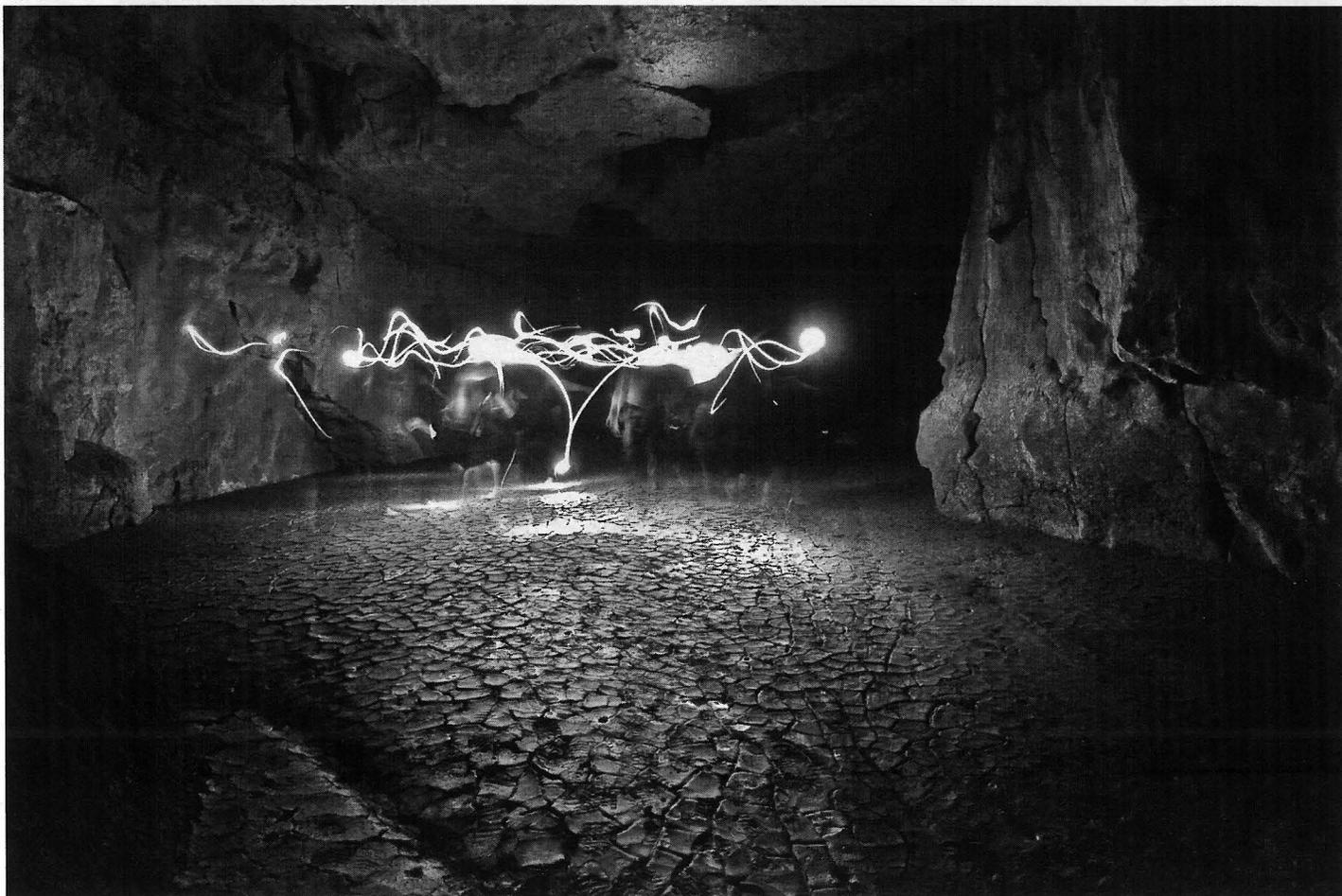
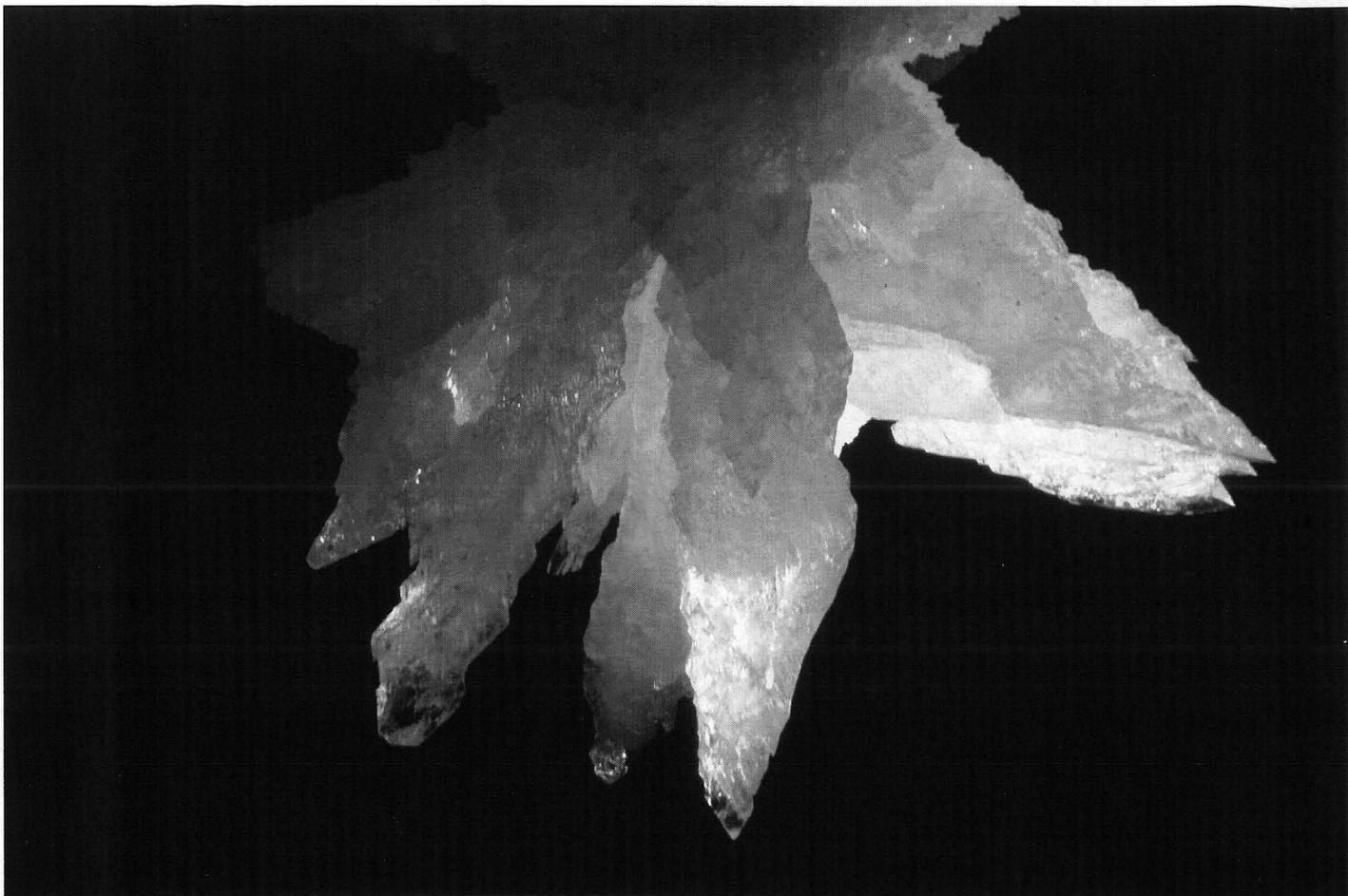


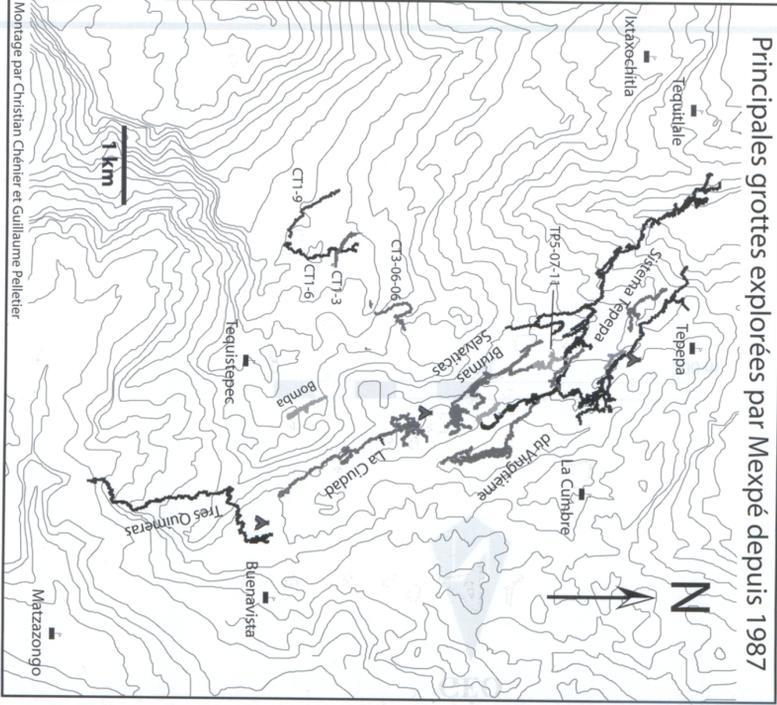
Au verso :

**Haut :** *Dents de lait*, de Christian Chénier et Gaël Hervé

**Bas :** *Dancing in Mudroom*, de Guillaume Pelletier



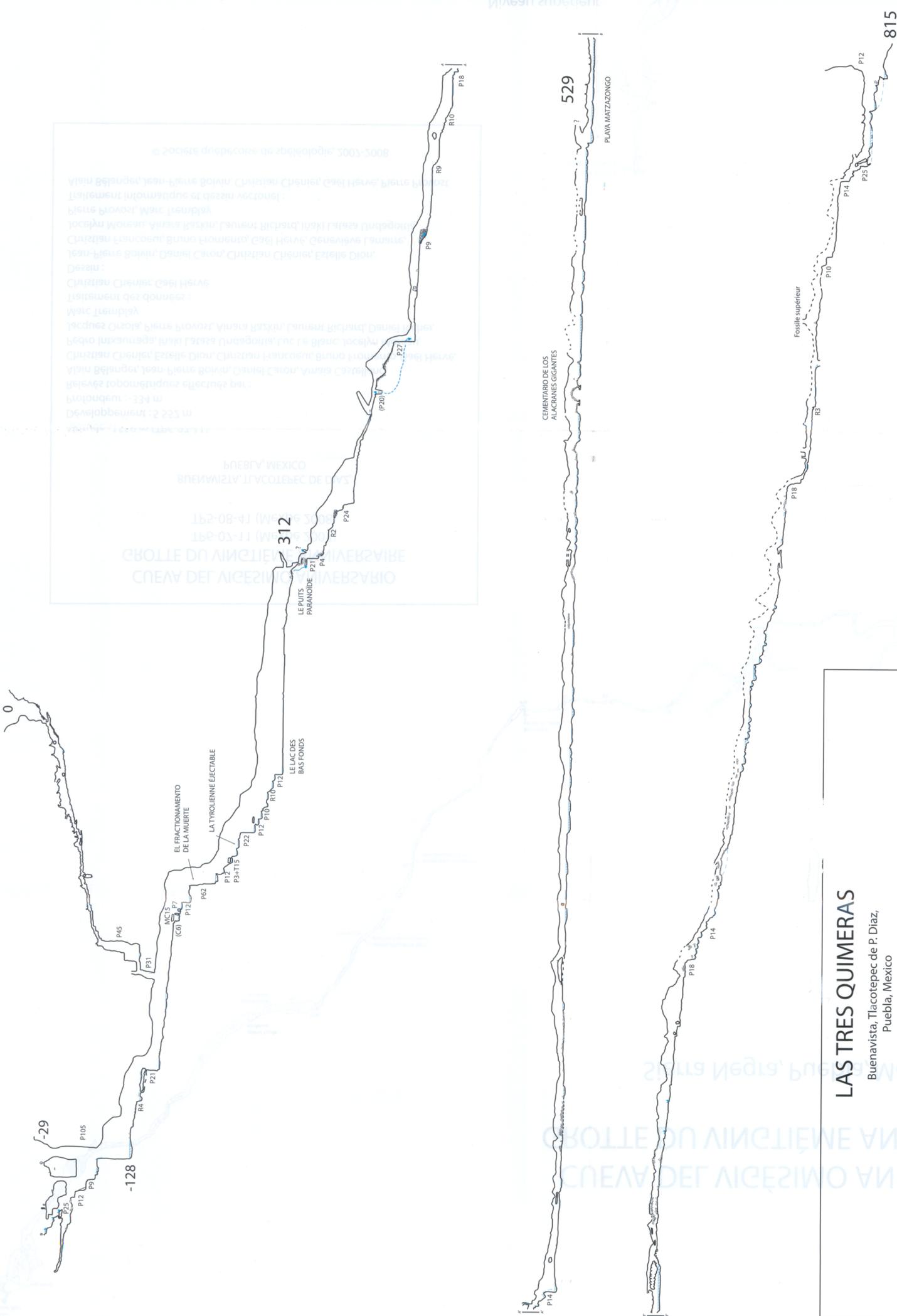




Principales grottes explorées par Mexpé depuis 1987

topos de Mexpé 2008 et 2009

À l'intérieur :



### LAS TRES QUIMERAS

Buenavista, Tlaxtepec de P. Diaz,  
Puebla, Mexico

**Altitude :** 1 440m  
**Développement :** 5 212m  
**Profondeur :** -815m

**Relevés topométriques effectués par :**

- (2005) Michel Cadieux et Guillaume Pelletier.
- (2006) Michel Cadieux, Diana Gietl et Guillaume Pelletier.
- (2007) Jean-Pierre Boivin, Bruno Fromento, Pedro Intxaurraga, Guillaume Lamarre, Matthieu Lévesque, Laurent Richard, Guillaume Pelletier, Jacques Orsola, Pierre Provost, Gustavo Vela Turcot et Alan Warild.
- (2009) Andy Chapman, Christian Chénier, Ross Davidson, Imogen Furlong, Gaël Hervé, Eric Légaré, Jean-François Lévis, Mike Frazier, Guillaume Pelletier, Eric Sanson, Beverly Shade, David Tirado, Marc Tremblay, Gustavo Vela Turcot, Alan Warild

**Traitement des données :** Guillaume Pelletier.

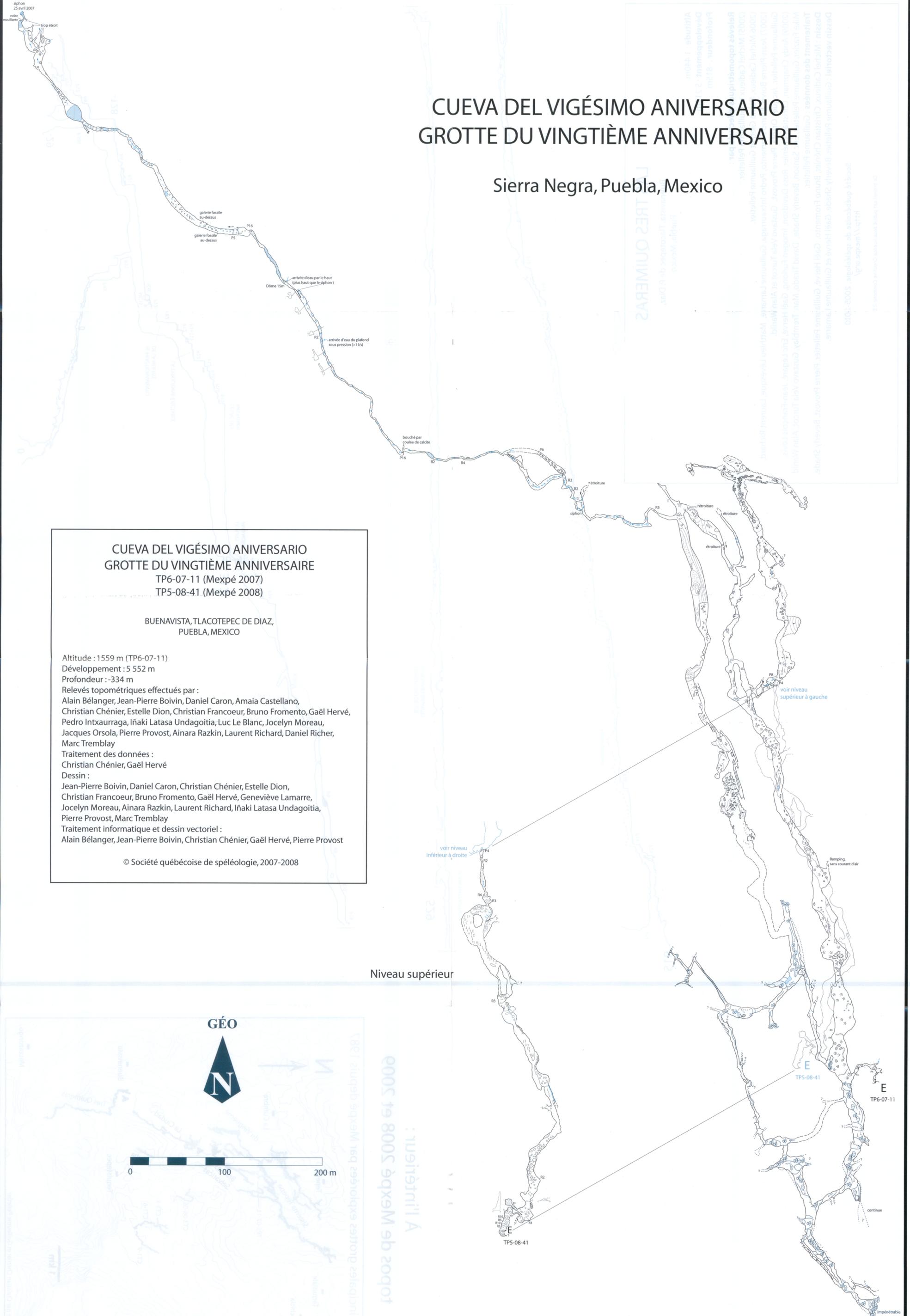
**Dessin :** Michel Cadieux, Christian Chénier, Bruno Fromento, Gaël Hervé, Guillaume Pelletier, Pierre Provost, Beverly Shade.  
**Dessin vectoriel :** Guillaume Pelletier, Beverly Shade, Gaël Hervé et Guillaume Lamarre.

Société québécoise de spéléologie, 2005-2010  
<http://mexpe.org/>

Ce travail est publié sous licence Creative Commons 2.5

# CUEVA DEL VIGÉSIMO ANIVERSARIO GROTTE DU VINGTIÈME ANNIVERSAIRE

Sierra Negra, Puebla, Mexico



CUEVA DEL VIGÉSIMO ANIVERSARIO  
GROTTE DU VINGTIÈME ANNIVERSAIRE  
TP6-07-11 (Mexpé 2007)  
TP5-08-41 (Mexpé 2008)

BUENAVISTA, TLACOTEPEC DE DIAZ,  
PUEBLA, MEXICO

Altitude : 1559 m (TP6-07-11)  
Développement : 5 552 m  
Profondeur : -334 m  
Relevés topométriques effectués par :  
Alain Bélanger, Jean-Pierre Boivin, Daniel Caron, Amaia Castellano,  
Christian Chénier, Estelle Dion, Christian Francoeur, Bruno Fromento, Gaël Hervé,  
Pedro Intxaurraga, Iñaki Latasa Undagoitia, Luc Le Blanc, Jocelyn Moreau,  
Jacques Orsola, Pierre Provost, Ainara Razkin, Laurent Richard, Daniel Richer,  
Marc Tremblay  
Traitement des données :  
Christian Chénier, Gaël Hervé  
Dessin :  
Jean-Pierre Boivin, Daniel Caron, Christian Chénier, Estelle Dion,  
Christian Francoeur, Bruno Fromento, Gaël Hervé, Geneviève Lamarre,  
Jocelyn Moreau, Ainara Razkin, Laurent Richard, Iñaki Latasa Undagoitia,  
Pierre Provost, Marc Tremblay  
Traitement informatique et dessin vectoriel :  
Alain Bélanger, Jean-Pierre Boivin, Christian Chénier, Gaël Hervé, Pierre Provost

© Société québécoise de spéléologie, 2007-2008

GÉO



0 100 200 m

Niveau supérieur

TP5-08-41

TP5-08-41

TP6-07-11

impénétrable

