

FORAGE DE QATTINE AZAR (LIBAN) 1997-1999

Paul Courbon

Il s'agit ici de l'une des 12 interventions spéléologiques que j'ai effectuées dans un cadre professionnel.

Aïntoura est un petit village situé quarante kilomètres à l'est de Beyrouth. Il est perché sur une croupe comme beaucoup de villages libanais. Un peu à l'est, se trouve une vaste zone karstique où a été exploré Faouar Dara, gouffre le plus profond du Liban avec 603 m de dénivellation.

En juin 1996, trois membres de l'Association Libanaise d'Explorations Souterraines (ALES), apprennent que deux habitants du village, Tony et Nora Azar, avaient découvert une suite dans une grotte très connue, servant de bergerie. En recherchant un hypothétique trésor, Nora et Tony avaient fait une escalade délicate jusqu'au plafond de la grotte. Là, dans le prolongement de la galerie, ils avaient trouvé un boyau parcouru par un violent courant d'air. Au bout d'une trentaine de mètres, ils étaient arrivés au bord d'un puits où les pierres mettaient beaucoup de temps à tomber.

A partir du 16 juin, plusieurs expéditions de l'ALES se succèdent et le 6 octobre, en collaboration avec le Spéléo Club du Liban, les explorateurs atteignent le siphon terminal, à la cote -465, après avoir descendu plusieurs puits importants et parcouru 2 km d'une magnifique rivière souterraine. Le 12 octobre, une coloration est effectuée qui ressort à plus de 20 km et 1.400 m plus bas à Faouar Antelias, comme les eaux de Faouar Dara.

Parmi les explorateurs se trouvait Tony Comaty, bras droit de Michel Majdalani, ancien spéléologue lui-même, hydrogéologue et directeur d'un bureau d'études (BTD) spécialisé dans la recherche de l'eau. Ils pensèrent immédiatement à l'intérêt que représentait cette rivière, dans un pays qui a besoin d'eau. Un forage fut envisagé pour capter l'eau du siphon terminal, mais il fallait une topographie précise et son report aussi précis en surface. Par l'intermédiaire de Paul Dubois, le BTD me contactait.

Cette topographie de précision hors du commun par sa longueur et les puits profonds dont le défaut de verticalité posait un gros problème était un défi bien tentant. Le 1^{er} septembre 1997, je débarquais à Beyrouth en compagnie d'Hervé Tainton. Une quinzaine de jours était employée à faire la topographie jusqu'à -240, puis son report en surface. Les Libanais voulaient tester ma topographie avant le forage final qui demandait l'aménagement d'une piste et de lourds investissements! Nous revenions en 1998, pour finir la topographie et son report en surface.

En 1999, le Toulonnais Joan Erra venait de mettre au point son appareil ARCAS, destiné au positionnement électromagnétique. A la demande de Michel Majdalani, nous revenions à Beyrouth le 1^{er} novembre 1999. Les mesures confirmaient ma topographie.



La cible était grande (18 m de large), mais voir le premier forage arriver presque au centre est une grande satisfaction. Surtout après la traversée de presque 300 m de calcaire. On voit que le forage de droite est parti de travers, il n'est pas vertical.



Départ (en 1997) et arrivée (en 1998) du P. 180. Sa forme en hélice empêche de voir le fond d'en haut et il y a plus de 5 m de déviation de la verticale. Le forage d'essai de 1997 a amené des coulées de boue désagréables lors de la topographie. Ici, descente avec théodolite et trépied. Nous resterons quatre jours sous terre.

Photo du bas: un passage surbaissé (0.25 m) au dessus de l'eau, peu avant le siphon terminal.



Topographie

Histoire d'eau Positionnement d'un siphon en surface

■ Paul COURBON - Ingénieur des Travaux (IGN)

Le gaspillage, la pollution, les modifications climatiques, l'urbanisation et l'explosion démographique vont créer une grave pénurie d'eau dans de nombreux pays, au Proche-Orient entre autres. La découverte d'une importante rivière souterraine au Liban a fait naître un projet de captage nécessitant un forage de 280 mètres à travers le calcaire. L'auteur, qui a déjà réalisé avec succès plusieurs positionnements pour ce type de forage, décrit la méthode topographique utilisée pour lever la cavité et positionner le futur forage en surface. Cette détermination topographique a été complétée par un positionnement électromagnétique ARCAS mis au point par Joan ERRA. La précision des deux déterminations est évaluée.

MOTS CLES

Besoins en eau, rivière souterraine, topographie souterraine, implantation, positionnement électromagnétique (radio localisation), précision.

Les besoins en eau

Le problème de l'eau est l'un des défis à relever par l'homme dans les décennies à venir. D'un côté, le gaspillage, les excès polluants et la goinfrerie des pays riches, de l'autre côté, l'explosion démographique, l'urbanisation galopante et l'absence de programmes des pays du tiers-monde, sont autant de facteurs aggravants.

■ Le Proche-Orient

Bien que l'expansion démographique soit moins forte au Proche-Orient qu'en Algérie, par exemple, elle existe de manière très visible. Les besoins d'eau accentués par l'urbanisation et les progrès économiques sont en augmentation constante. De plus, ici, point commun avec les pays du sud de la Méditerranée, la pluviométrie décroît très vite à mesure que l'on s'éloigne de la mer. Le problème de l'eau prend alors une importance exceptionnelle, une dimension géopolitique qui peut devenir explosive. Israël pompe chaque année 320 millions de mètres cubes dans le Lac de Tibériade et les ponctions faites au Jourdain avec la Jordanie amenuisent la rivière au point que le niveau de la Mer Morte s'abaisse d'année en année. La construction de quatre bar-



rages énormes sur le Tigre et l'Euphrate peut permettre à la Turquie d'assoier la Syrie et l'Iraq. Quant à la Syrie, elle a su faire pression sur le Liban pour s'accaparer l'eau de l'Oronte.

■ Le Liban

Une analyse primaire, donnant au pays le surnom de "Suisse du Proche-Orient", pourrait faire croire qu'il échappe aux problèmes de l'eau. D'ailleurs, les apparences sont trompeuses. Alimentées par les karsts d'altitudes, de nombreuses sources jaillissent un peu partout. Mais, si les montagnes sont arrosées, elles appauvrissent les nuages qui après elles sont

beaucoup moins généreux. Alors que Beyrouth reçoit 800 mm d'eau par an, on tombe à moins de 600 mm sur la Bekaa. L'Anti-Liban prend encore de l'eau aux nuages, si bien que la Syrie ne reçoit plus que 400 à 250 mm par an. De plus, depuis six ans, une pulsion aride a diminué ces quantités de 20 à 25 %.

La saison sèche, plus longue et beaucoup plus marquée qu'en Europe, accentue grandement les besoins en eau. La longue période de sécheresse estivale nécessiterait d'importants barrages de stockage. Mais, le karst, qui occupe 65 % du territoire, limite les écoulements de surface, de plus sa perméabilité complique la construction de ■ ■ ■

■■■ barrages. Aussi, le pays ne compte-t-il aujourd'hui qu'un seul barrage digne du nom, celui de Qaaraoun au sud de la Bekaa. Il faut ajouter qu'avec une densité de près de 400 habitants par km², le Liban est proportionnellement très peuplé. Ses besoins sont donc importants et, chaque été, Beyrouth souffre du rationnement de l'eau dont la distribution est coupée plusieurs heures par jour.

■ Qattine Azar ou une belle histoire d'eau

En 1996, sur les indications d'un villageois, l'Association Libanaise d'Études Spéléologiques (ALES) découvre de

belles continuations dans une grotte connue, maintenant appelée Qattine Azar. Les explorations menées avec le Spéléo Club du Liban (SCL) permettent d'atteindre une belle rivière souterraine se terminant sur un vaste siphon. Dans un pays qui souffre chaque été du manque d'eau, c'est une belle aubaine et le Bureau Technique pour le Développement (BTD) dirigé par Michel Majdalani et Tony Comaty pense tout de suite au parti que l'on pourrait tirer d'un captage. Il monte un projet, en liaison avec le Ministère de l'Énergie et de l'Eau et le Conseil du Développement et de la Reconstruction. Paul Courbon est contacté pour réaliser une topographie

précise du gouffre, en vue de l'implantation d'un forage en surface. Cette topographie, compliquée par la présence de nombreux puits, dont un de 180 mètres, sera réalisée en 1997 et en 1998, avec l'aide du spéléologue Hervé Tainton et des deux groupes spéléologiques libanais précités.

En 1999, en vue de contrôler ce lever, une détermination électromagnétique est réalisée par Paul Courbon et Joan Erra, inventeur du procédé ARCAS (Appareil de Recherche de Cavités Aveugles Souterraines). Nous exposons, ci-après, les méthodes employées et la précision envisagée.

Topographie souterraine

Dans une grotte peu accidentée, on peut appliquer les méthodes de lever classique avec orientation goniométrique. C'est-à-dire qu'avec un théodolite, à chaque station on s'oriente sur la station précédente. Cette méthode demeure la plus précise, à la condition que les distances entre les stations soient suffisamment longues et homogènes. Il n'en est pas de même dans un

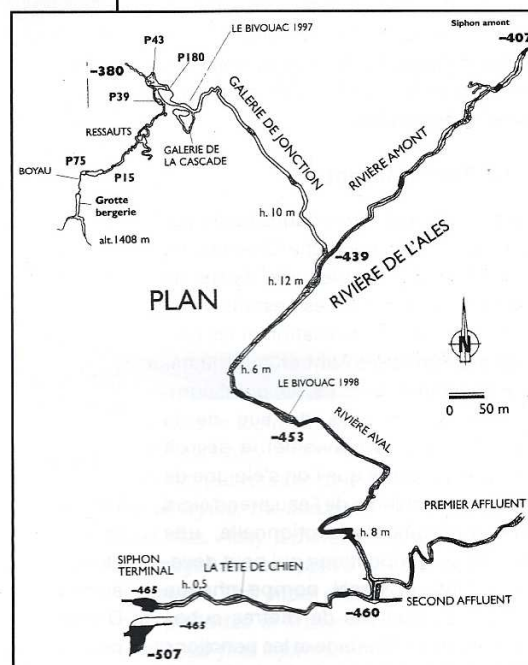
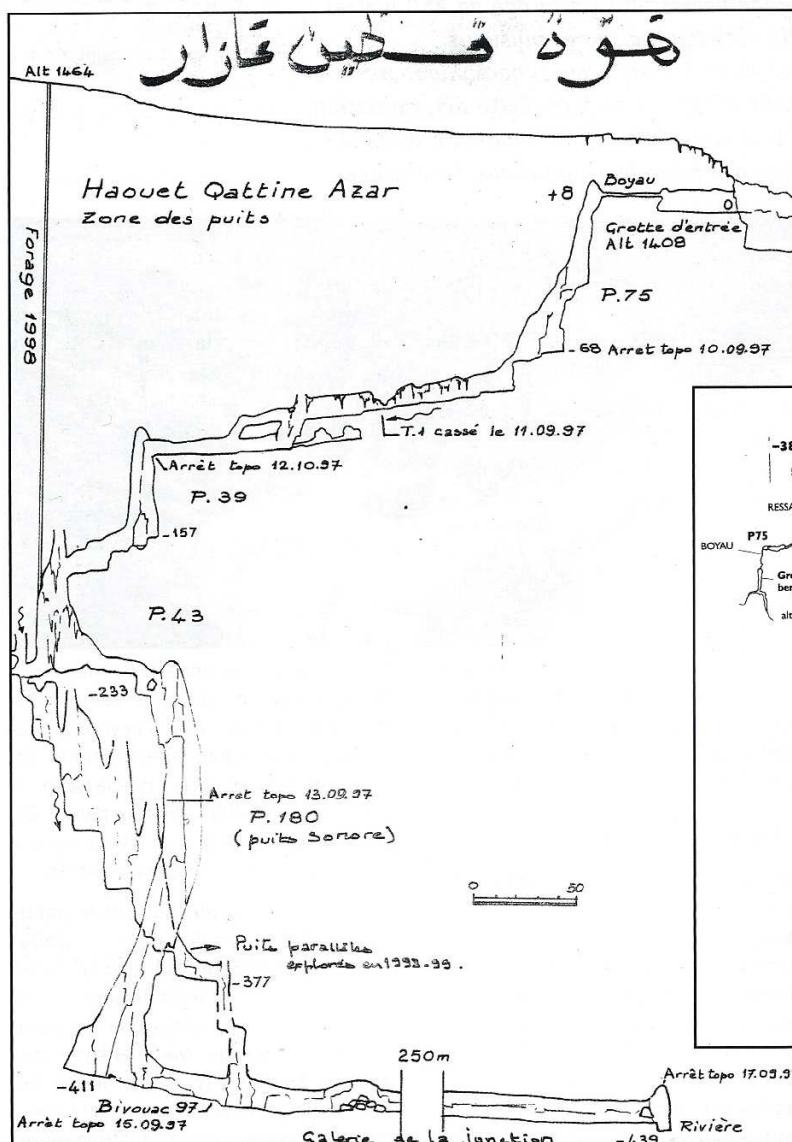
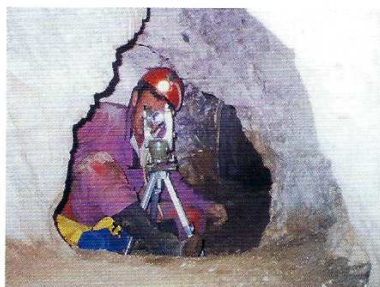


Figure 01 et figure 02

gouffre coupé par des puits verticaux ou subverticaux et des étroitures. Ces puits forment une cassure dans le cheminement, empêchant d'orienter la station du bas sur la station du haut. De plus, si certaines visées peuvent être longues, elles peuvent être très courtes dans les passages exigus. Une orientation sur une visée très courte peut générer de grosses erreurs planimétriques en fin de travail (Fig. 1).

Le mode d'orientation magnétique est alors nécessaire, ce qui est possible dans le calcaire [CP1]. Chaque visée est orientée indépendamment de la précédente, par rapport au nord magnétique. L'erreur sur une visée reste attachée à cette seule visée, elle ne s'amplifie pas avec les suivantes. On démontre que lorsqu'une polygonale a un très grand nombre de côtés, cette indépendance des visées rend la méthode déclinée plus précise en planimétrie que la méthode goniométrique, malgré une précision angulaire bien inférieure (Fig. 3).



Les spéléologues se servent de boussoles, en général de type Sunto, qui permettent une lecture au grade et même une estimation au demi-grade. On peut admettre pour chaque visée une précision de l'ordre du grade, ce qui donne une indécision de 20 cm à 13 mètres. Au bout de 100 visées de mètres, on peut espérer une précision de $0,20\sqrt{100}$, soit 2 m et une tolérance de 5,4 m.

En ce qui nous concerne, nous employons un théodolite Wild T1 associé à un déclinatoire observé à travers un système grossissant. Nous rappelons qu'un déclinatoire est une aiguille

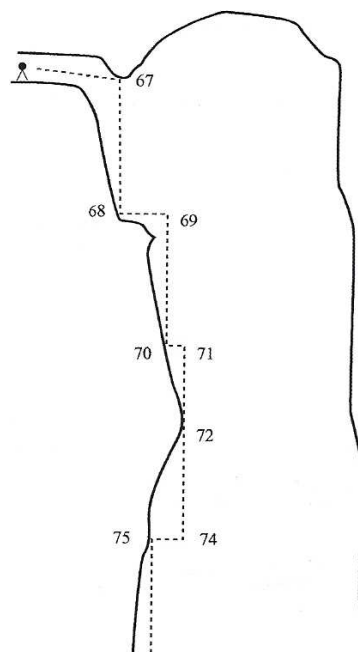
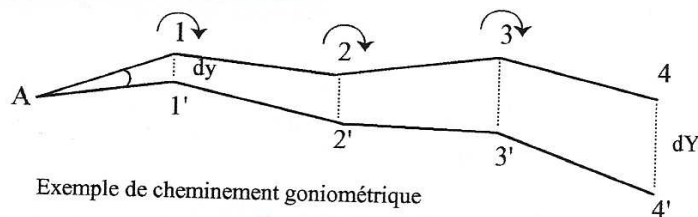


Figure 04 : décomposition du P.180 en tronçons verticaux et horizontaux.

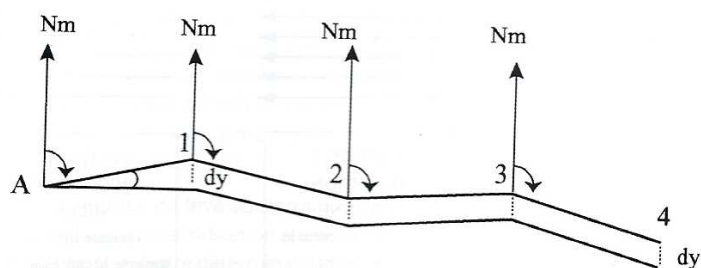
aimantée ne donnant que la direction du nord, quand cette aiguille est en coïncidence avec son repère. Par prudence, nous avons estimé la précision angulaire de ce système à 0,35 grade, soit trois fois mieux qu'avec une boussole. Cette précision de 0,35 grade résulte d'une dizaine de contrôles étalés sur le temps, sur des repères fixes de surface. Il faut dire qu'en été, la variation journalière de la déclinaison peut atteindre 0,23 grade. Elle est liée à l'activité solaire.

Lors de la topographie de Qattine Azar, nous avons rencontré deux difficultés. La première était constituée par un boyau de trente mètres de développement où nous avons dû faire 12 visées d'une longueur moyenne de 2,50 m. En mode goniométrique, dans les conditions difficiles de travail, une erreur de centrage de 5 mm sur une seule visée aurait généré une imprécision de 5 m au fond du gouffre ! Le boyau ayant été bien aménagé, nous pouvions cependant utiliser le théodolite avec un trépied spécial de 30 cm de haut.

Deuxième difficulté : la non-verticalité des puits. Seuls deux d'entre eux étaient verticaux. Pour tous les autres, nous avons dû scinder les puits en plusieurs tronçons, chaque fois que le



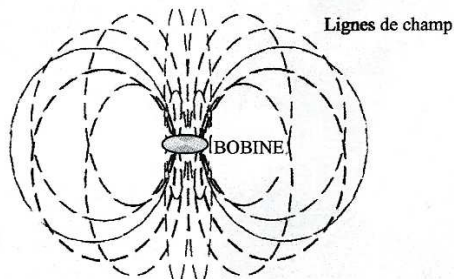
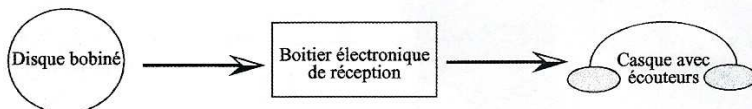
Exemple de cheminement goniométrique



Exemple de cheminement décliné

Figure 03 : l'erreur angulaire en A a généré un décalage planimétrique dy qui est amplifié par le mode goniométrique, mais pas par le mode décliné.

RECEPTEUR ARCAS



EMETTEUR ARCAS

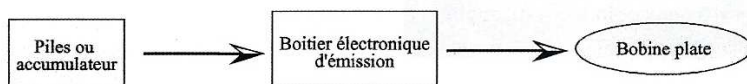


Figure 05

plomb accroché au bout du décimètre touchait la paroi. Le spéléologue, qui descendait en parallèle, devait alors faire une marque sur la paroi. Chaque déport était mesuré avec une tige graduée et une boussole (Fig. 4).

Positionnement électromagnétique

Le système de positionnement électromagnétique employé à Qattine Azar a été mis au point sous la direction de Joan ERRA, professeur d'électronique dans un lycée technique de Toulon. Il porte le nom d'ARCAS comme vu précédemment. Il se compose de :

■ Un émetteur

Nous rappelons que lorsqu'on fait passer un champ électrique dans une bobine, on crée un champ magnétique dont l'axe correspond à celui de la bobine (Fig. 5).

L'émetteur est constitué par une bobine raccordée à un boîtier électronique d'émission, alimenté par des piles en série ou un accumulateur. L'alimentation doit se faire entre 10 et 18 volts. Avec 4 batteries alcalines de 4,5 volts montées en série, on obtient une autonomie de 15 heures.

Le diamètre de la bobine dépend de

l'épaisseur de calcaire à traverser : 50 cm pour une épaisseur inférieure à 50 mètres. A Qattine Azar où les topographies souterraines et aériennes indiquaient 265 mètres d'épaisseur, nous avons employé une bobine torique de 2 mètres de diamètre.

L'émetteur envoie des salves de vibrations qui sont reçues en surface comme des "bips-bips". Ces "bips-bips" sont beaucoup plus perceptibles qu'un bruit continu, ce qui améliore énormément la sensibilité du système. Les ondes émises sont classées en basse fréquence.

■ Un récepteur

Il est constitué d'un boîtier électronique de la taille d'un baladeur, d'un casque

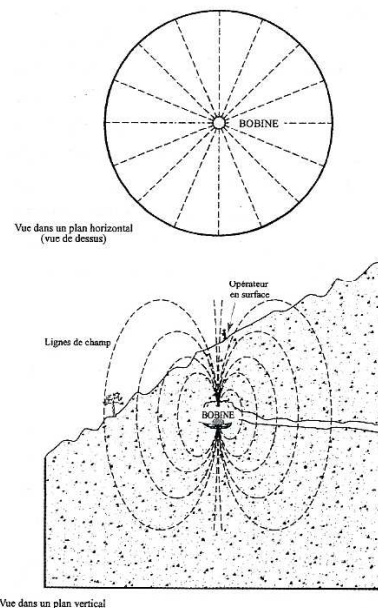
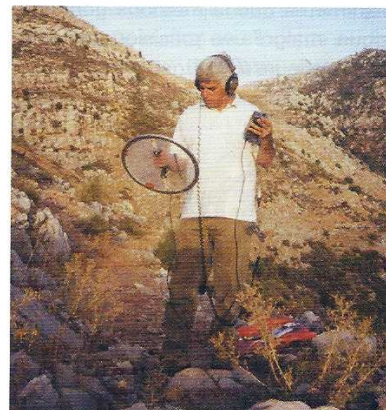


Figure 06



d'écoute et d'une bobine de réception portable.

A Qattine Azar, nous avons utilisé une bobine de 40 cm de diamètre. Elle était

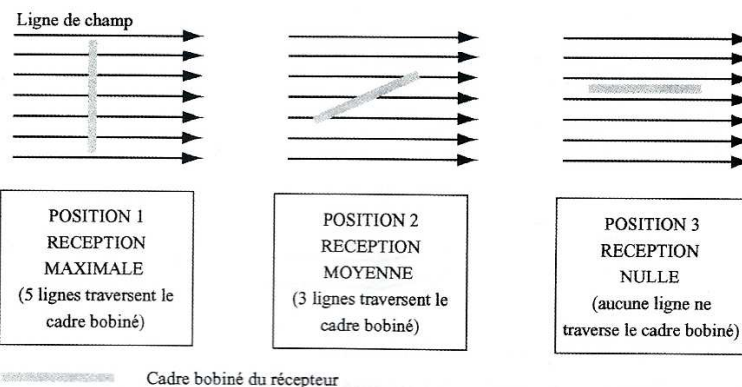


Figure 07

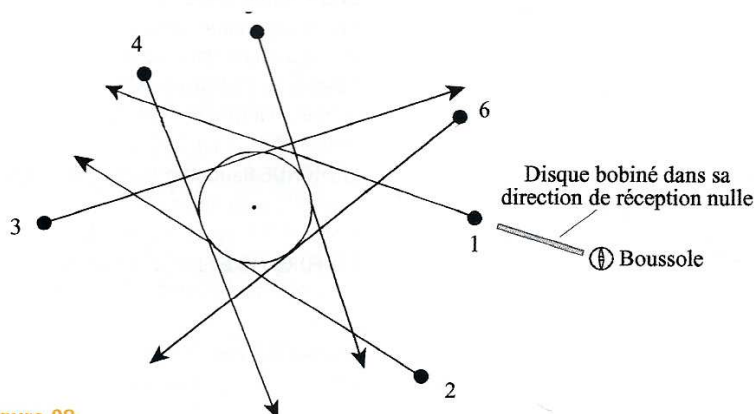


Figure 08

constituée par un disque de Plexiglas. Autour de ce disque, une rainure contenait un enroulement d'un grand nombre de spires de fil de cuivre fin. Ce disque était équipé d'un niveau pour le maintenir dans un plan vertical quand on recherche la direction du champ magnétique.

■ Méthode

En un endroit donné, quand le disque est perpendiculaire aux lignes de champ, la réception est maximale. Dans l'écouteur, les "bips-bips" sont très nets et très perceptibles. Quand le disque est dans la direction des lignes de champ, aucune ligne ne traverse l'enroulement, il n'y a donc aucun son.

En maintenant le disque dans un plan vertical, il faut le tourner jusqu'à n'obtenir aucun son. Il est alors dans la direction de l'axe du champ magnétique. Si on répète l'opération de plusieurs points différents, l'intersection des directions mesurées donne la position de l'axe du champ magnétique.

■ Opération de Qattine Azar

Notre détermination s'est déroulée le 31 octobre 1999. A ma connaissance, c'était la première détermination faite à une telle profondeur. Bien avant (voir bibliographie), d'autres positionnements de ce type avaient été faits, mais à des profondeurs bien plus modestes et avec un matériel plus lourd.

Le report en surface du levé souterrain nous donnait une bonne indication sur la verticale du siphon. Notre détermination électromagnétique avait pour but de confirmer et améliorer éventuellement le point terminal de notre topographie.

Sur le lac terminal, nous avons fixé une bobine de 2 mètres de diamètre sur une petite piscine gonflable positionnée par rapport à deux points de la topographie de 1998. L'équipe de surface et celle du fond étaient reliées par téléphone.

En surface, nous avons déterminé au théodolite six points autour de la verticale présumée de la bobine, dans un rayon d'une trentaine de mètres. Du fait du terrain escarpé, ces points n'étaient répartis que dans un secteur de 210° environ. En chaque point, nous avons pris à la boussole la direction du disque bobiné quand la réception était nulle. Nous aurions pu le faire avec plus de précision avec un disque monté sur un bâti de théodolite, mais cela aurait été illusoire, la direction de réception zéro étant difficile à définir exactement.

Au bureau, nous avons reporté sur un plan ces six points d'après leurs coordonnées. Puis, à partir de ces six points, nous avons reporté les six directions prises à la boussole. Si les mesures avaient été parfaites, les six visées se seraient coupées en un seul point. Du fait de l'imprécision, il y a une dispersion matérialisée par le cercle inscrit au mieux dans les visées.

Le rayon du cercle est lié à l'imprécision de la mesure (Fig. 8).

■ Contrôle de la verticalité

Pour nous assurer de la verticalité du champ, nous avons effectué quatre séries de mesures. Quand une série de six visées était terminée, nous téléphonions à l'équipe de fond qui tournait la bobine de 90°. Nous avons ainsi annulé le défaut de verticalité en moyennant

les mesures diamétralement opposées (Fig. 9).

Analyse des précisions

■ Levé souterrain

Notre calcul de précision n'est pas le plus rigoureux, mais, c'est le plus simple et le plus facile à comprendre. Il donne une estimation suffisamment approchée et logique de la précision.

Tronçon "entrée-rivière", hors puits

Nous avons 92 visées totalisant 811 m, soit des visées moyennes de 9 m.

Précision transversale moyenne d'une visée : $\pm 9 \tan 0,35 \text{ gr} = \pm 0,05 \text{ m}$

En ajoutant par précaution 2 cm pour les autres erreurs, nous adoptons $\pm 0,07 \text{ m}$ par visée.

Soit une précision totale de $\pm 0,07 \sqrt{92} = \pm 0,67 \text{ m}$.

Tronçon "rivière"

Les visées sont plus longues, 63 pour 1 291 m, soit des visées moyennes de 20,5 m

Précision transversale moyenne d'une visée : $\pm 20,5 \tan 0,35 \text{ gr} = \pm 0,11 \text{ m}$

En ajoutant par prudence 3 cm pour les autres erreurs, nous adoptons $\pm 0,14 \text{ m}$ par visée.

Soit une précision totale de $\pm 0,14 \sqrt{63} = \pm 1,11 \text{ m}$

Descente des puits

Etant données les conditions inconfortables de mesure, suspendu à une corde, nous estimons la précision sur les directions à 5 gr, soit pour 2 mètres de déport, une indécision transversale de $\pm 0,16 \text{ m}$ que nous avons arrondie à $\pm 0,20 \text{ m}$.

Il y a eu 12 déports en puits ce qui donne une précision totale de $\pm 0,20 \sqrt{12} = \pm 0,69 \text{ m}$.

Précision résultante du levé souterrain

Elle s'établit à $\pm \sqrt{(0,67^2 + 1,11^2 + 0,69^2)} = \pm 1,47 \text{ m}$.

Nous avons fait pour chaque côté de la polygonale, une visée aller et une visée retour. Nous avons calculé une polygonale avec les visées aller et une seconde avec les visées retour. Cela nous a donné deux points pour le siphon. L'écart par rapport au point moyen a été de 1,80 m. Nous obtenons une précision théorique et un écart réel cohérents entre eux. ■ ■ ■

Précision du levé aérien

Le levé aérien, de l'entrée du gouffre à la verticale du siphon, comporte 27 visées totalisant 877 m, soit des visées moyennes de 32,5 m.

Précision transversale moyenne d'une visée : $\pm 32,5 \tan 0,35 \text{ gr} = \pm 0,18 \text{ m}$, arrondi à $\pm 0,20 \text{ m}$.

Soit une précision totale de : $\pm 0,20 \sqrt{27} = \pm 1,04 \text{ m}$.

Précision de l'implantation du siphon en surface

C'est la résultante de la précision du levé souterrain et du levé de surface, soit : $\pm \sqrt{(1,47^2 + 1,04^2)} = \pm 1,80 \text{ m}$.

Détermination électromagnétique

Nous avons exposé notre méthode pour annuler le défaut de verticalité. Nous avons fait la moyenne entre la première détermination, puis la détermination avec la bobine tournée de 180°. Nous avons fait une seconde moyenne des mesures avec la bobine à 90° puis à 270°.

Théoriquement, avec des mesures d'une précision parfaite, nous aurions dû obtenir deux points identiques. Du fait de l'imprécision, nous avons trouvé deux points distants de 2,70 m, soit de 1,35 m par rapport au point moyen. Si nous considérons les quatre cercles de détermination, ils ont un rayon de 1,2 m, 1,3 m, 1,6 m, et 2 m, soit une moyenne de 1,55 m. Les deux écarts de 1,35 m et 1,55 m, obtenus par des méthodes différentes, sont tout à fait cohérents.

Conclusion

A notre connaissance, ce type de détermination électromagnétique était le premier réalisé à une profondeur aussi grande. D'autres déterminations de ce type avaient été réalisées bien avant, mais à des profondeurs beaucoup plus modestes et en employant un matériel plus lourd à mettre en œuvre. Il a pleinement confirmé la topographie souterraine, la dispersion entre les deux méthodes étant de 3 mètres, soit 1,5 m par rapport au point moyen. Cette précision de l'ordre de 1,5 mètre est en cohérence avec les calculs d'estimation. Elle est pleinement satisfaisante, surtout quand on sait que le lac terminal mesure 34 mètres sur 18. Le grand problème

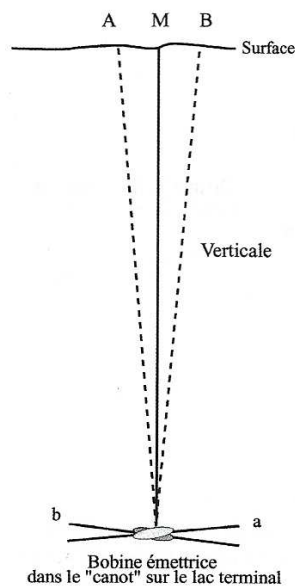


Figure 09

sera d'assurer la verticalité du forage.

En 1998, pour contrôler la première partie de ma topographie, un forage de 280 mètres avait été réalisé au-dessus du puits de 43 mètres. Il y avait eu une déviation maximale de 8 mètres et le forage était ressorti à l'extrême limite de la paroi du puits. Après mesure spécifique de la déviation du forage, les contrôles donnaient à la topographie une précision inférieure au mètre.

La méthode électromagnétique, beaucoup plus aisée et plus brève qu'une topographie de précision, a aujourd'hui remplacé cette dernière inexorablement. Les topographies souterraines de précision n'auront plus de raison que pour des jonctions de réseaux, mais jusqu'à quand ? ●

Bibliographie

- D'HOLLANDER Raymond** (1968), *Topographie*, IGN - ENSG
- COURBON Paul** (1972), *La topographie spéléologique*, Spelunca 1972 n°2
- COURBON Paul, MARBACH Georges** (1972), *Les levés topographiques et leur précision*, Spelunca 1972 n°2
- VANDEVINER R.** (1989), *Localisation électromagnétique au réseau de Fresne* (Bel), Bull. Soc. Spél. Namur, pp. 16-20, (topo, biblio).
- SHOPE Steven** (1991), *A theoretical model of radio location*, NSS Bull. vol. 53 n°2, pp.83-88 (6 fig.)

DELPY André (1992), *Emission-réception électromagnétique appliquée à la localisation depuis la surface des galeries accessibles du karst*, Actes du XIX^e Congrès Nat. de Spél. Montpellier 1991, Spelunca mémoires n°19 pp. 101-105 (3 fig.)

LISMONDE Baudouin (1992), *Repérage magnétique au Réseau Christian Galthier*, Scialet n°21, pp.81-83 (topo).

BEDFORD Mike (1993), *An introduction to radio location*, CREG Journal n°14, pp.16-18.

LAUGHER Steve (1995), *The use of VHF/UHF to help in locating dig points*, CREG Journal n°19, p.3 (fig.)

SOULIER Michel (1995), *Première mondiale à Lavayssière ? Spélé Oc n°72*, p.17 (photo).

GIBSON David (1996), *How accurate is radio location?* Cave and karst Science vol. n°2, oct. 96, pp.77-80 (fig.)

COMATY T., COURBON P., JABBOUR-GEDEON B., ZAATAR J. (2001), *Radio localisation dans le Gouffre de Qattine Azar*, The Proceedings of the Middle-East Speleology Symposium (Beyrouth)

DZIRI Farid (2002), *La balise de positionnement souterrain*, mémoire IUFM Midi-Pyrénées, Toulouse 2002.

ABSTRACT

Key words : Water supply, underground river, underground surveying, setting up, electromagnetic positioning (radio location), accuracy.

Wasting, pollution, climatic modifications, urbanization and demographic explosion will generate a serious water scarcity in many countries, among them, the Middle East. In Lebanon, after the discovery of an important underground river, is established a water impounding project, needing a 280 meters drilling through limestone. The author, who had already realized successfully several drilling locations, describes the topographic method used to survey the cave and to set up the future drilling. The survey has been confirmed by an electromagnetic positioning ARCAS (radio location) perfected by Joan ERRA. The accuracy of the two determinations is estimated.