

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.

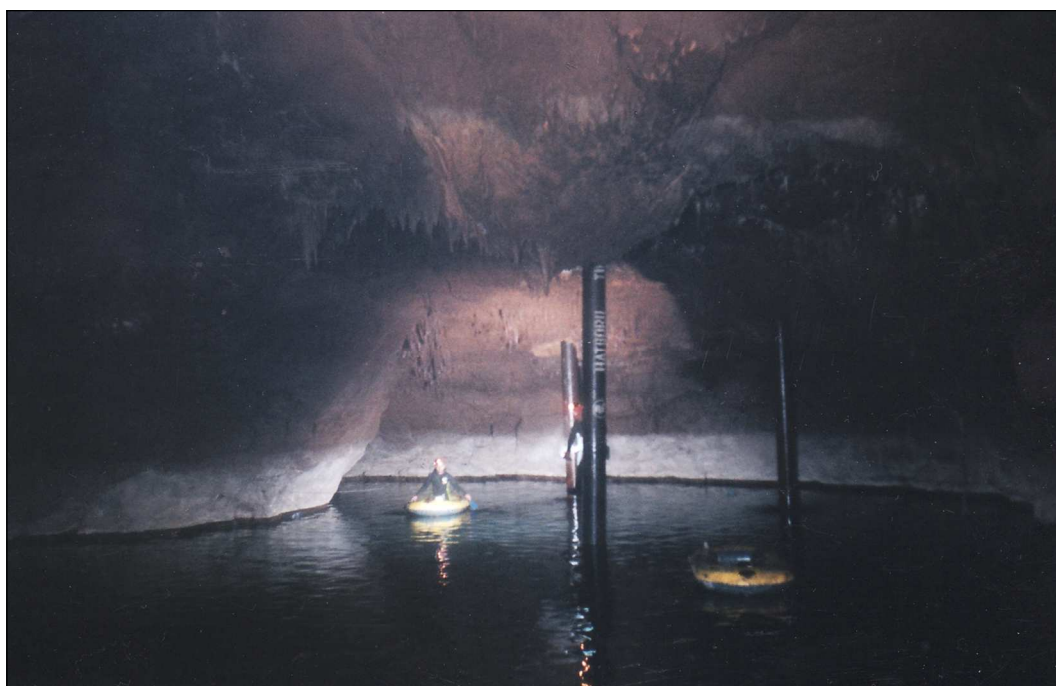
En juin 1996, trois membres de l'Association Libanaise d'Explorations Souterraines (ALES), apprennent que deux habitants du village, Tony et Nora Azar, avaient découvert une suite dans une grotte très connue, servant de bergerie. En recherchant un hypothétique trésor, Nora et Tony avaient fait une escalade 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.



Modes de positionnement topographique et électromagnétique d'un siphon

Exemple du Qattine Azar (Liban)

Paul COURBON

Spéléo Club de Sanary, 20, rue Peyre Ferry, 83000 Toulon

RÉSUMÉ : La conjonction de paramètres aussi divers que l'explosion démographique, l'urbanisation galopante et la moindre alimentation des nappes est à l'origine d'une réelle pénurie d'eau dans de nombreux pays méditerranéens et du Proche Orient. La découverte d'une importante rivière souterraine dans les montagnes du Liban a fait naître un projet de captage nécessitant un forage de 280 mètres à travers la masse calcaire. L'auteur 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 de ces deux approches est évaluée.

MOTS-CLÉS : Liban, besoins en eau, rivière souterraine, topographie souterraine, positionnement électromagnétique (radio localisation), forage, Qattine Azar.

ABSTRACT : TOPOGRAPHICAL AND ELECTROMAGNETIC POSITIONING OF A DEEP SUMP : QATTINE AZAR (LEBANON).

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 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.

KEY WORDS : Lebanon, water supply, underground river, underground surveying, setting up, electromagnetic positioning (radio location), accuracy, Qattine Azar.

INTRODUCTION

Le problème de l'eau est l'un des défis majeurs qu'aura à relever l'homme dans les décennies à venir, notamment dans les pays méditerranéens et du Proche Orient. Bien que moins importante au Proche Orient qu'au Maghreb (notamment en Algérie où la population est passée en une quarantaine d'années de 10 à 35 millions d'habitants), l'expansion démographique est un fait réel qui s'accompagne d'un besoin croissant en eau accentué par l'urbanisation et l'évolution économique. Dans ces pays, le problème de l'eau prend, du fait de son indigence, une importance centrale et revêt souvent une dimension géopolitique qui peut devenir explosive quels que soient les pays concernés. Israël pompe, chaque année, 320 millions de mètres cubes dans le lac de Tibériade. Les ponctions, faites

en Israël et en Jordanie sur le Jourdain, amenuisent gravement le débit de ce cours d'eau au point que le niveau de la Mer Morte s'abaisse d'année en année, ce qui n'est pas sans rappeler le sort qu'a connu la Mer d'Aral. La construction en Turquie de quatre importants barrages sur le Tigre et l'Euphrate n'est pas sans poser de problèmes d'alimentation en eau en Syrie et Irak. Quant à la Syrie, elle a su faire pression sur le Liban pour s'accaparer l'eau de l'Oronte qui prend sa source au nord de la plaine de la Beqaa (figure 1).

La moindre alimentation des nappes est liée au déficit des précipitations enregistré depuis 7 ans, mais aussi à l'extension urbaine (imperméabilisation des impluviums) et aux aménagements hydrauliques (barrages, endiguements : moindre alimentation des nappes alluviales). Cet appauvrissement des ressources hydrologiques et l'explosion de la

demande ainsi que les problèmes de pollution, posent le problème de la définition des ressources en eau et de leur gestion. Dans cet article, nous aborderons uniquement la question de la localisation de la ressource en eau dans le karst du Liban, par l'intermédiaire de deux approches méthodologiques associées à la pratique spéléologique.

Une analyse hâtive, associant le Liban à la "Suisse du Proche-Orient", pourrait faire croire que ce pays échappe aux problèmes de l'eau. Les apparences sont d'ailleurs trompeuses : de nombreuses sources, alimentées par les karsts d'altitude du Mont Liban (point culminant : 3083 m), jaillissent un peu partout, notamment sur le flanc ouest de la montagne libanaise. Le Mont Liban qui borde la Méditerranée est effectivement bien arrosé (1800 mm/an) ; c'est déjà moins le cas pour la plaine de la Beqaa située à l'arrière des montagnes,

et que dire des plateaux et plaines syriennes situés à l'arrière de l'Anti-Liban ? Si Beyrouth, en situation littorale, reçoit 800 mm d'eau par an, la plaine de la Beqaa n'en reçoit déjà plus que 600 mm et la Syrie moins de 400 mm par an (voire moins de 300 mm). Cette répartition pluviométrique liée à l'orographie est de

plus en plus préoccupante pour les populations locales qui, depuis cinq ans, doivent affronter une pulsion aride qui a diminué ces quantités de 20 à 25 %.

À cette répartition spatiale, il faut adjoindre la répartition temporelle des précipitations. Comme pour la plupart des pays de la bordure méditerranéenne, les

précipitations sont essentiellement hivernales, stockées provisoirement sous forme nivale dans les montagnes du Liban. Ce stockage nivale atténue momentanément les effets de la sécheresse estivale. Cette atténuation reste cependant limitée au printemps et au tout début de l'été. La saison sèche qui perdure jusqu'à la fin de l'automne, accentue grandement les besoins en eau. La longueur de la période de sécheresse nécessiterait la construction de barrages de stockage qui, contrairement aux pays voisins, n'ont pas vu le jour au Liban du fait de l'environnement montagnard et surtout karstique. Le karst qui couvre 65 % du territoire libanais, limite de fait les écoulements de surface, et sa forte perméabilité complique la construction de barrages. Le pays possède un seul barrage important : celui de Qaaraoun au sud de la Beqaa (figure 2).

L'indigence des eaux superficielles pose un problème d'autant plus important que le Liban connaît une croissance urbaine sans précédent depuis une dizaine d'années : une densité de près de 400 habitants par km² est commune sur les montagnes bordant la Méditerranée. Compte tenu de l'incision en profondes gorges des cours d'eau descendant du Mont Liban, l'extension urbaine ne se fait pas dans les vallées mais sur les interfluvies et les hauts versants, c'est-à-dire là où l'eau est la moins présente. Les besoins sont donc de plus en plus importants et, chaque été, de nombreuses villes, dont Beyrouth, souffrent du rationnement de l'eau ; la distribution est coupée plusieurs heures par jour (figure 2).

En 1996, sur les indications d'un villageois, Nohra Azar, l'Association Libanaise d'Études Spéléologiques (ALES) découvre de belles continuations dans une grotte connue, maintenant appelée Qattine Azar. Cette cavité se situe sur le bassin versant du Nahr Beyrouth, près du village d'Aintoura ; elle s'ouvre vers 1415 m d'altitude (figures 3 et 4 ; photo 1). Les explorations menées par l'ALES avec le Spéléo Club du Liban (SCL) permettent d'atteindre une belle rivière souterraine (photo 3) qui se termine vers -465 m sur un vaste siphon. Dans un pays qui souffre chaque été du manque d'eau, c'est une belle aubaine. Le Ministère de l'Énergie et de l'Eau ainsi que le Conseil de Développement et de la Reconstruction demande, dès 1997, au Bureau Technique pour le Développement (BTD) dirigé par Michel Majdalani et Tony Comaty d'évaluer la faisabilité d'un captage.

Figure 1 : Carte de situation des pays du Proche Orient et du Liban. Sur cette carte du Proche Orient apparaissent le rôle géopolitique de l'Euphrate, du Tigre, de l'Oronte et du Jourdain ainsi que la place particulière du Liban pour les deux derniers fleuves.

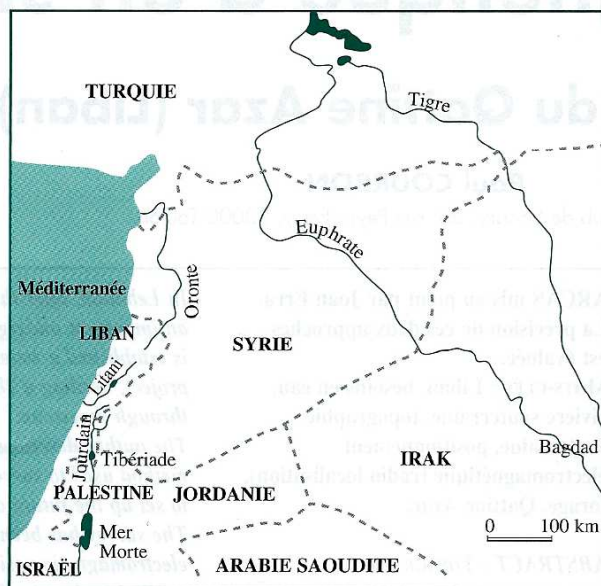
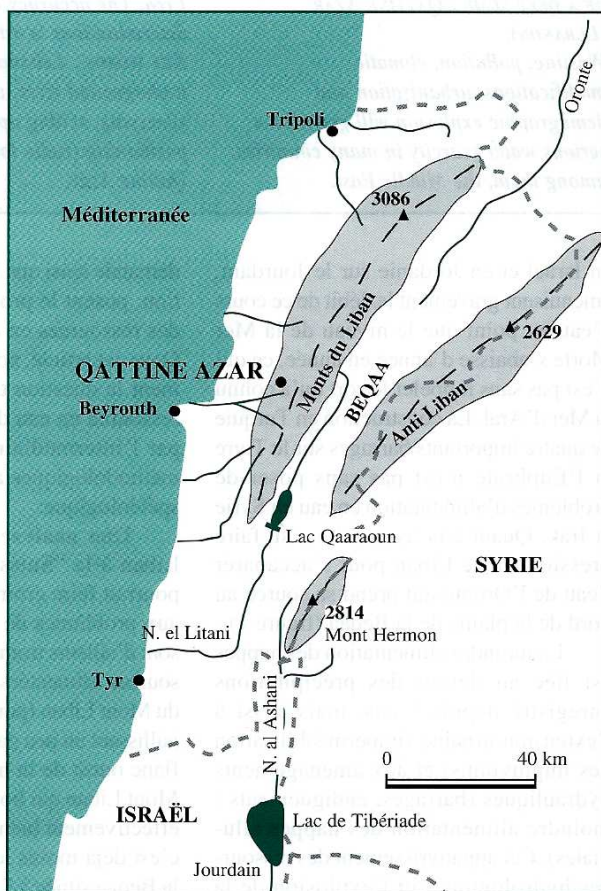


Figure 2 : Situation orographique du Liban et du Qattine Azar. En dehors du Nahr El Litani qui se développe dans la plaine de la Beqaa avant de rejoindre la Méditerranée en contournant par le sud les Monts Liban, les autres cours d'eau sont encaissés en de profondes gorges qui ne permettent pas la construction de barrage.



Par l'intermédiaire de Paul Dubois, nous avons été contactés pour réaliser une topographie précise du gouffre, en vue de l'implantation d'un forage depuis la surface. Cette topographie, compliquée par la présence de nombreux puits, dont un de 180 mètres, sera réalisée lors de différentes campagnes en 1997 et 1998.

En 1999, en vue de contrôler ce levé, une détermination électromagnétique est réalisée par Paul Courbon et Joan Erra inventeur du procédé ARCAS (Appareil de Recherche de Cavités Aveugles Souterraines). Nous exposons, dans cet article, les méthodes employées et leur précision respective.

I. POSITIONNEMENT DU FORAGE PAR TOPOGRAPHIE SOUTERRAINE

A. Présentation de la méthode topographique employée au Qattine Azar

Dans une cavité, on peut appliquer les méthodes de levé classique avec orientation goniométrique, c'est-à-dire à l'aide d'un théodolite qu'on oriente à chaque station sur le point de mesure précédent. Cette méthode demeure la plus précise, à la condition que les distances entre les stations soient suffisamment longues et homogènes. Or, il en est rarement ainsi en cavité, notamment dans un gouffre qui est entrecoupé de puits, de ressauts et de tronçons méandriques déclinés. Ceux-ci constituent des cassures dans le cheminement, empêchant notamment d'orienter la station du bas sur celle du haut. De plus, si certaines visées peuvent être longues, d'autres sont extrêmement courtes. Or, une orientation sur une visée très courte engendre de grosses erreurs planimétriques en fin de travail (figure 5).

Le mode d'orientation magnétique devient dès lors nécessaire, voire incontournable. Chaque visée est ici orientée indépendamment des autres, par rapport au nord magnétique. L'erreur sur une visée reste attachée à cette seule visée et ne se répercute pas sur les suivantes. Cette indépendance des visées rend cette méthode plus précise en planimétrie que la méthode goniométrique, malgré une précision angulaire bien inférieure (figure 5). Cette méthode est celle couramment utilisée par les spéléologues. Ceux-ci se servent de boussoles, en général de type Suunto, qui permettent une lecture au grade voire au demi-grade. Avec une précision de l'ordre du grade, on estime que l'indécision est de l'ordre de 20 cm pour une visée de 13 mètres. Au bout de 100 visées de 13 mètres, on peut atteindre une précision de $0,20 \sqrt{100}$, soit 2 mètres et une tolérance de 5,4 mètres.

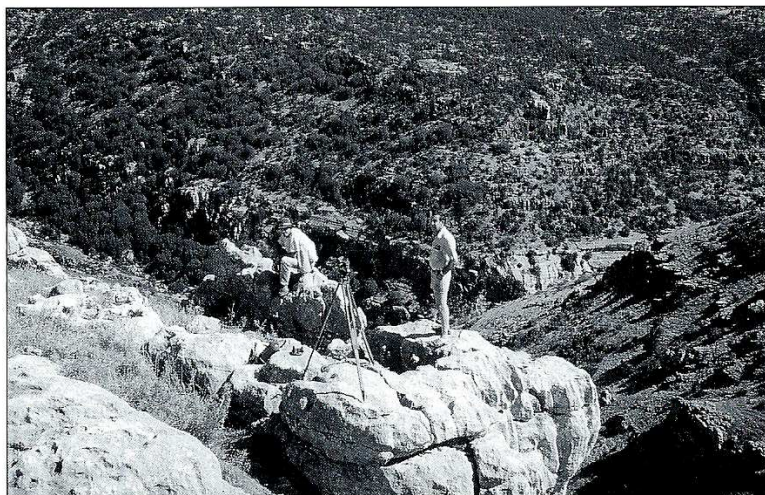


Photo 1 : Mesures topographiques sur le site du Qattine Azar (bassin du Nahr Beyrouth). Sur cette photographie on a un aperçu du karst des Monts du Liban agencé dans les calcaires du Jurassique. Sous les deux personnages, se situe une des deux gorges du Nahr Beyrouth. Ce fleuve comme la plupart des cours d'eau du littoral libanais, rejoint en d'étroites gorges la Méditerranée. C'est sur les hauts versants de ces gorges que se situent les principaux phénomènes karstiques de cette région.

Surface traverse to set up the drilling of Qattine Azar (Nahr Beyrouth area).

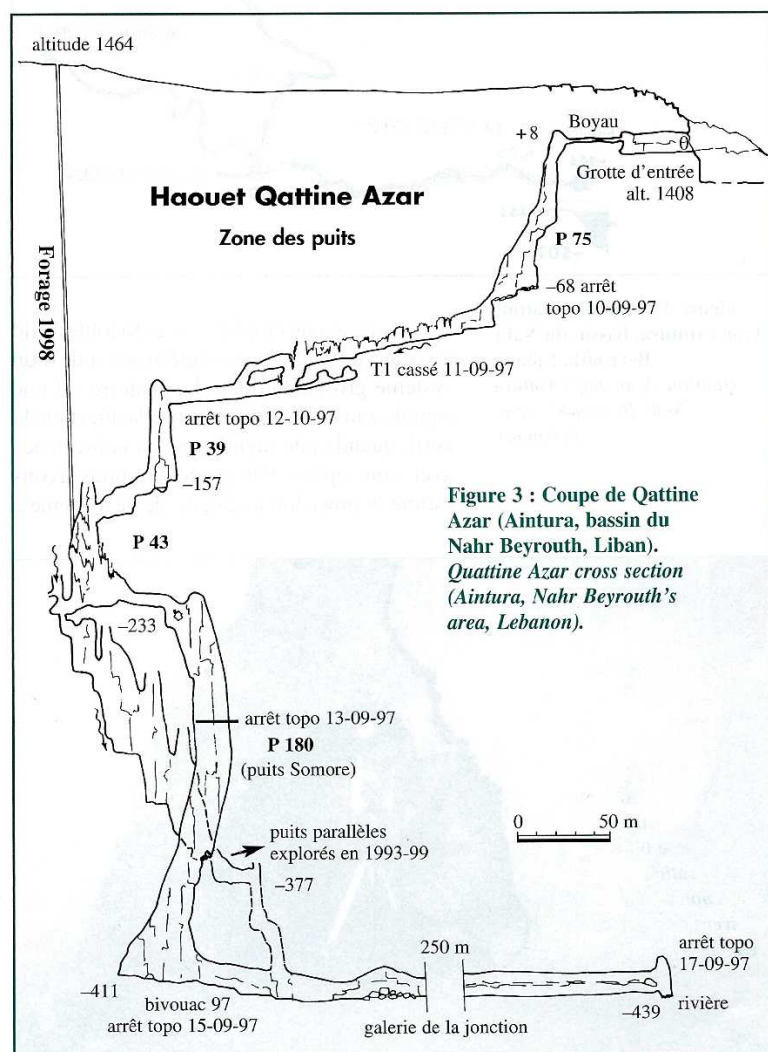


Figure 3 : Coupe de Qattine Azar (Aintura, bassin du Nahr Beyrouth, Liban).
Qattine Azar cross section (Aintura, Nahr Beyrouth's area, Lebanon).

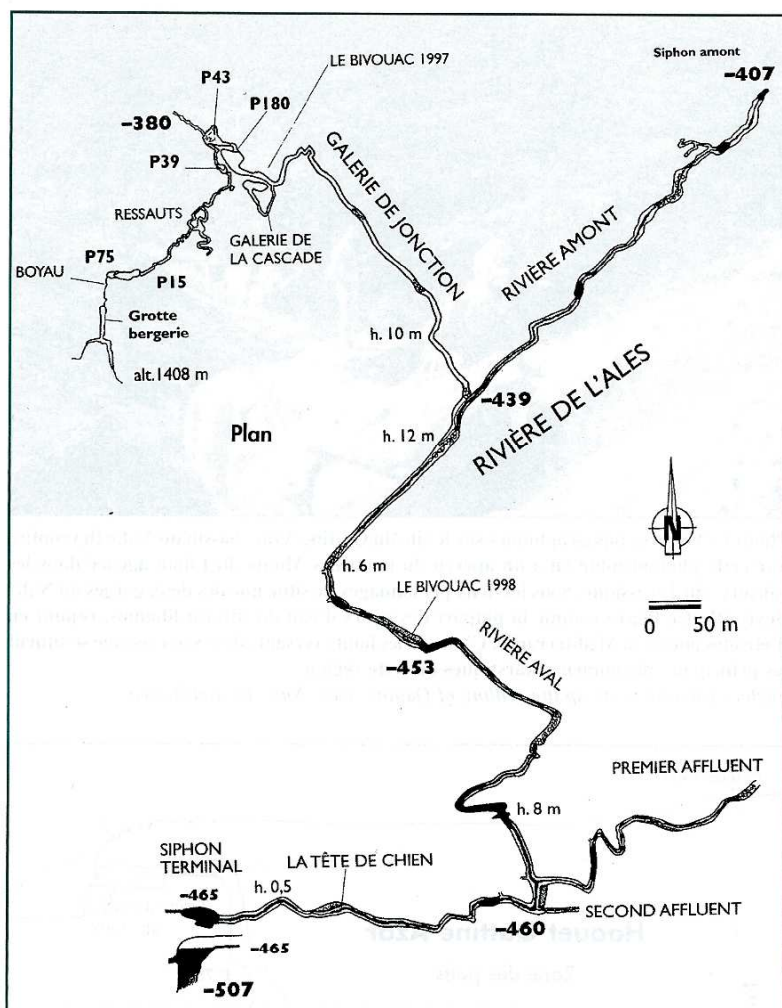


Figure 4 : Plan de Quattine Azar (Aintura, bassin du Nahr Beyrouth, Liban).
Quattine Azar map (Aintura Nahr Beyrouth's area, Lebanon).

Nous avons employé un théodolite Wild associé à un déclinatoire réglé avec l'aide d'un système grossissant. Un déclinatoire est une aiguille 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 meilleures qu'une boussole normale. Cet ordre de précision (0,35 grade) résulte d'une dizaine de contrôles étalés sur le temps, sur des repères fixes de surface. Il faut, néanmoins, préciser qu'en été, la variation journalière de la déclinaison peut atteindre 0,23 grade. Cette variation est liée à l'activité solaire.

Lors de la topographie de Qattine Azar, nous avons rencontré deux difficultés (figures 3 et 4) :

- La première était constituée par le boyau d'entrée d'une trentaine de mètres 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 avons pu utiliser le théodolite avec un trépied spécial de 30 cm de haut (photo 2) ;
- La seconde difficulté était le caractère plus subvertical que vertical des puits. Seuls deux d'entre eux étaient strictement verticaux. Pour tous les autres, nous avons dû scinder les puits en plusieurs tronçons, chaque fois que le 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 (figure 6).

B. Présentation des résultats topographiques obtenus au Qattine Azar

Entre l'entrée et l'apparition de la rivière souterraine, nous avons réalisé 92 visées totalisant 811 m (visées moyennes de 9 m). La précision transversale d'une visée est de l'ordre de $9 \tan 0,35 \text{ gr} = 0,05 \text{ m}$. En ajoutant 2 cm pour les autres erreurs, nous estimons l'erreur de l'ordre de 0,07 m par visée. La précision totale obtenue pour ce tronçon est de $\pm 0,67 \text{ m}$ ($\pm 0,07 \sqrt{92}$).

Dans la rivière souterraine, les visées ont pu être plus longues : 63 visées pour 1291 m, soit des visées moyennes de 20,5 m. La précision transversale d'une visée est ici de $20,5 \tan 0,35 \text{ gr}$ c'est-à-dire 0,11 m. En ajoutant 3 cm pour les autres erreurs, nous avons adopté une erreur 0,14 m par visée. La précision totale des

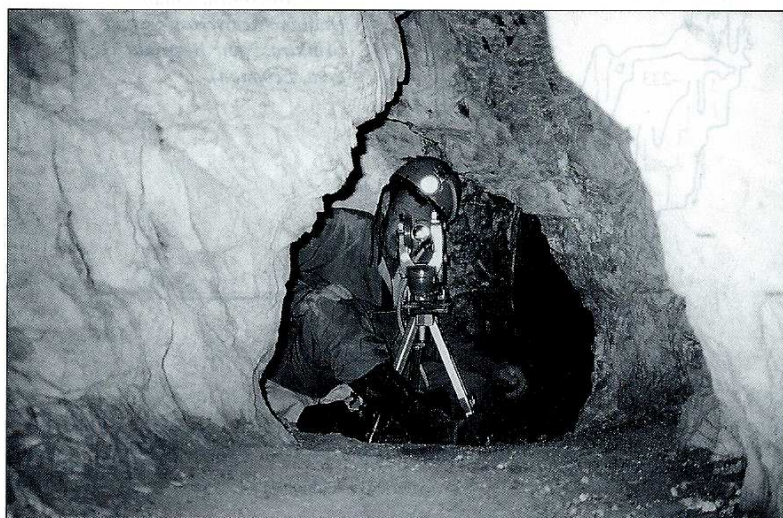


Photo 2 : Mesures au théodolite dans le boyau de 30 m situé près de l'entrée. C'est ce boyau aujourd'hui élargi qui a donné accès à la suite du réseau exploré par l'Association Libanaise d'Etudes Spéléologiques.

Survey in the 30 meters narrow gallery near the entry of Qattine Azar.

visées de la rivière serait ainsi de l'ordre de $\pm 1,11 \text{ m}$ ($\pm 0,14 \sqrt{63}$).

Etant donné les conditions inconfortables de mesure dans les puits, nous estimons que la précision sur les directions est à 5 gr près, soit, pour 2 mètres de déport, une erreur de 0,16 m arrondie à 0,20 m. Il y a eu 12 déports en puits ce qui donne une précision totale de $\pm 0,69 \text{ m}$ ($\pm 0,20 \sqrt{12}$).

La précision de l'ensemble du levé souterrain du Qattine Azar est de l'ordre de $\pm 1,47 \text{ m}$ ($\pm \sqrt{0,67^2 + 1,11^2 + 0,69^2}$). Afin d'affiner la topographie, nous avons effectué pour chaque côté de la polygonale, une visée aller et une visée retour. Cette double approche (visées aller et retour) a donné un écart sur la topographie de 1,80 m pour le siphon terminal (par rapport au point moyen) (figure 4). La précision théorique et l'écart réel sont cohérents.

Parallèlement au levé souterrain, un levé de surface a été réalisé. Ce levé aérien, de l'entrée du gouffre à la verticale du siphon a totalisé 27 visées (877 m), soit des visées moyennes de 32,5 m. La précision transversale

de ces visées était de 0,18 m, arrondie à 0,20 m ($32,5 \tan 0,35 \text{ gr}$). La précision totale obtenue est de $\pm 1,04 \text{ m}$ ($\pm 0,20 \sqrt{27}$).

En fonction de ces difficultés et des erreurs inhérentes aux relevés topographiques sous terre, l'erreur estimée au niveau de l'arrivée dans la rivière (à -420 m) de l'ordre d'1,3 m et au niveau du siphon terminal de l'ordre de $\pm 1,8 \text{ m}$ ($\pm \sqrt{1,47^2 + 1,04^2}$). Afin d'assurer la situation du forage, le positionnement topographique du siphon a été croisé avec une autre méthode : celle du positionnement électromagnétique.

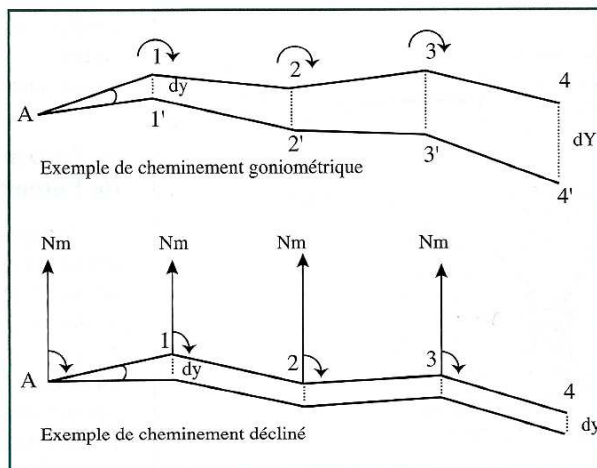


Figure 5 : Etude comparée entre les cheminement topographiques goniométrique et décliné.

Dans le cas du cheminement goniométrique, l'erreur angulaire d au point A désoriente tout le levé; l'erreur en position dy est amplifiée en dY . Dans le cas du cheminement décliné, une erreur angulaire d au point A de mesure ne désoriente que le premier côté, pas les autres; l'erreur en position dy n'est pas amplifiée. *Comparison between goniometrical and declined topographical surveys.*

Figure 6 : Les problèmes des mesures topographiques de précision dans les tronçons verticaux : exemple du sommet du P 180 du Qattine Azar.

La descente du P 180 a dû être décomposée en neuf tronçons. Les décalages tels que 68 - 69 ont été mesurés à l'aide de perches graduées et d'une boussole SUUNTOO.

Topographical accurate measurements in the 180 meters deep pot-hole of Qattine Azar.

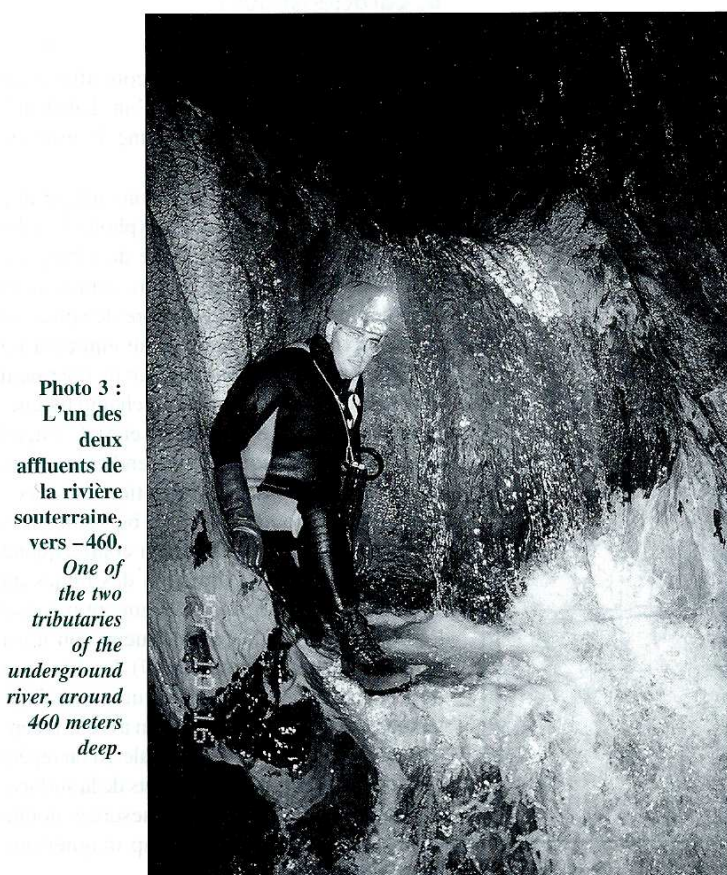
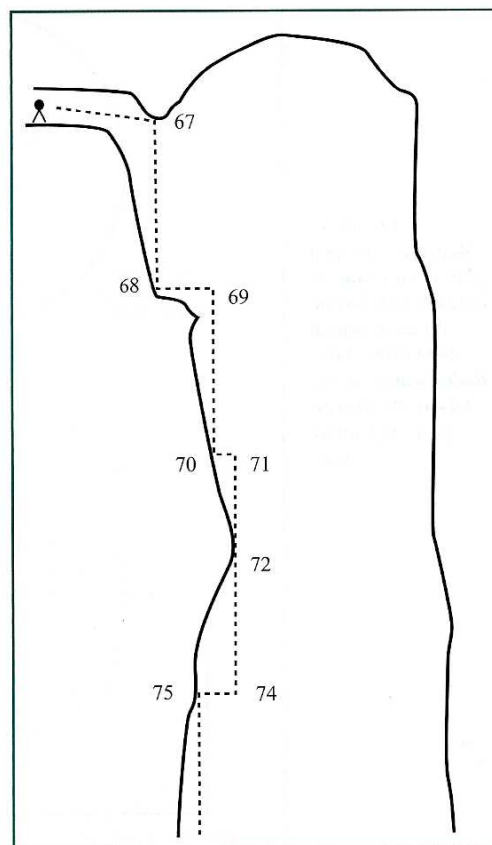


Photo 3 : L'un des deux affluents de la rivière souterraine, vers -460. *One of the two tributaries of the underground river, around 460 meters deep.*



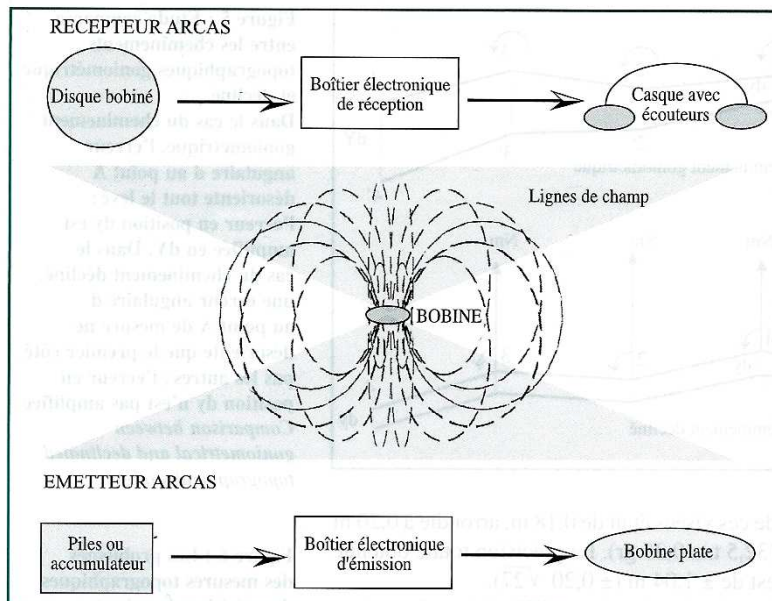


Figure 7 : Présentation schématique de l'émetteur et du récepteur ARCAS.
Diagram of ARCAS transmitter-receiver.

II. LE POSITIONNEMENT DU SIPHON PAR MÉTHODE ÉLECTRO-MAGNÉTIQUE

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. Il se compose d'un émetteur et d'un récepteur ayant les caractéristiques suivantes.

A. Caractéristiques de l'émetteur ARCAS

Rappelons brièvement 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 (figure 7). L'émetteur est ici constitué par une bobine raccordée à un boîtier électronique d'émission, alimenté par des piles en série ou un accumulateur. L'alimentation est comprise 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 la topographie indiquait 265 mètres d'épaisseur, nous avons employé une bobine de 2 mètres de diamètre.

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

B. Caractéristiques du récepteur ARCAS

Le récepteur utilisé est constitué d'un boîtier électronique de la taille d'un "baladeur", d'un casque d'écoute et d'une bobine de réception portable.

A Qattine Azar, nous avons utilisé une bobine de 40 cm de diamètre (photo 5). Elle était 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 afin de faciliter la recherche du champ magnétique émis (figure 8 et photos 4 et 5). C'est, en effet, lorsque le disque est perpendiculaire aux lignes de champ que la réception est maximale. Dans l'écouteur, les "bip-bip" sont alors très nets et très perceptibles. Par contre, quand le disque est dans la direction des lignes du champ magnétique, aucune ligne ne traverse l'enroulement et, de ce fait, aucun son n'est perceptible en surface (figure 9). La direction de l'axe du champ magnétique est définie lorsque l'on n'obtient plus de son avec le récepteur maintenu en position verticale. Si on répète cette opération en plusieurs points de la surface, l'intersection des directions mesurées donne la position de l'axe du champ magnétique (figure 10).

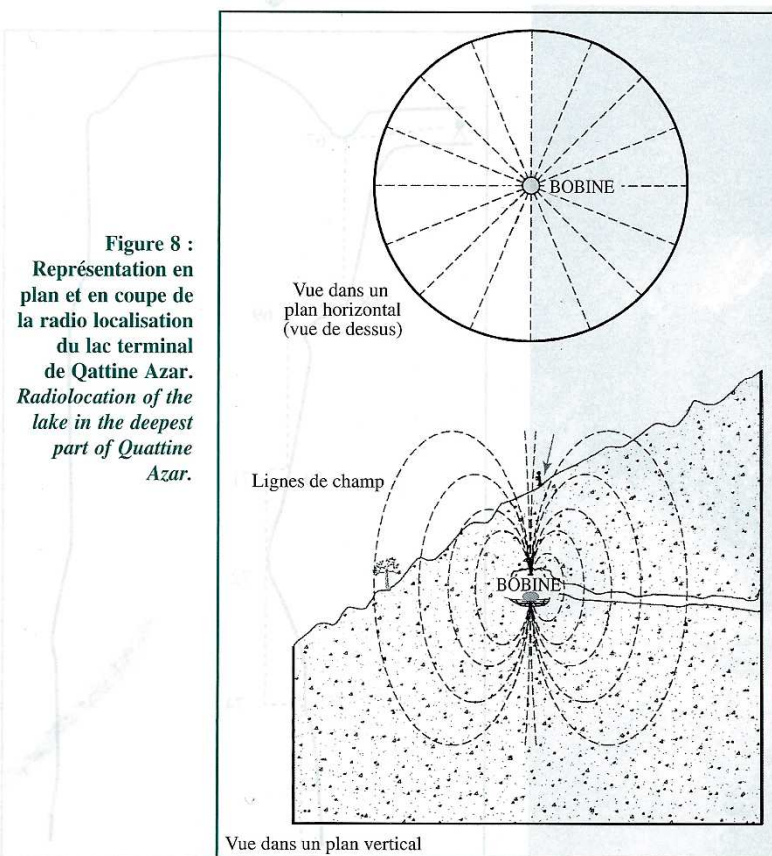


Figure 8 : Représentation en plan et en coupe de la radio localisation du lac terminal de Qattine Azar.
Radiolocation of the lake in the deepest part of Qattine Azar.

C. Application de la méthode au gouffre de Qattine Azar

Cette méthode de reconnaissance s'est déroulée sur le site du Qattine Azar le 31 octobre 1999, avec l'aide des spéléologues libanais. Le report en surface du levé topographique nous donnait une première indication fiable de la verticale de la bobine située au niveau du siphon terminal. La détermination électromagnétique avait pour but de confirmer et d'améliorer éventuellement notre topographie.

Sur le lac du siphon terminal, la bobine de 2 mètres de diamètre avait été fixée sur une petite piscine gonflable calée par rapport à deux points de la topographie de 1998 (photo 4). 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 de la surface accidentée, ces points n'ont pu être 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 cerner exactement du fait du caractère très escarpé du terrain de surface.

Sur un plan, ces six points ont été reportés avec leurs coordonnées. Puis, à partir de ces six points, nous avons tracé 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, on relève une dispersion qui est matérialisée sur la figure 10 par le cercle inscrit au mieux dans les visées.

Pour nous assurer de la verticalité du champ, quatre séries de mesures ont été

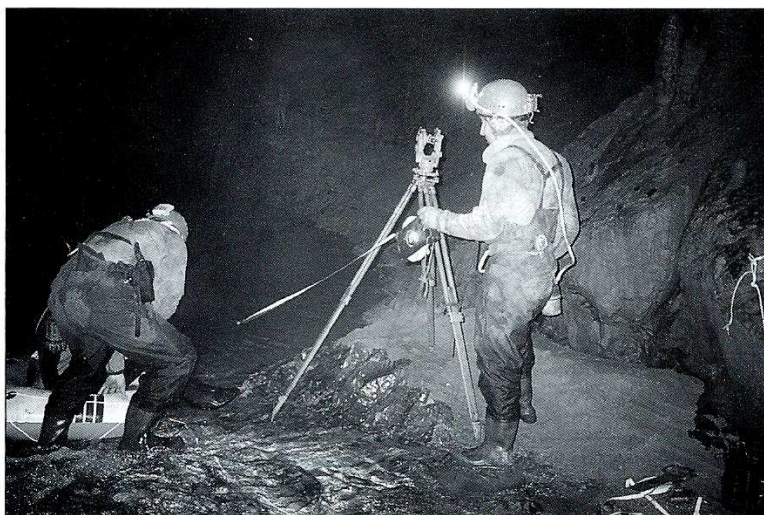


Photo 4 : Mesures topographiques au niveau du lac terminal du Qattine Azar ; lac sur lequel sera positionnée la bobine émettrice électromagnétique. Ce lac se situe à 465 m de profondeur (943 m d'altitude).

Survey on the side of the lake, 465 meters deep in Qattine Azar.

réalisées. Quand une série de six visées était terminée, nous téléphonions à l'équipe de fond afin qu'elle tourne la bobine de 90°. Nous avons ainsi annulé le défaut de verticalité en moyennant des mesures diamétralement opposées (figure 11). Afin d'annuler le défaut potentiel de verticalité, nous avons fait la moyenne entre une première détermination, puis une deuxième détermination avec la bobine tournée de 180°. Nous avons fait ensuite 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 des imprécisions liées au terrain, nous avons défini deux points distants de moins

Photo 5 : Détection du signal électromagnétique à l'aplomb du lac terminal du Qattine Azar. Afin d'obtenir le signal maximal, la bobine de réception est orientée perpendiculairement au champ électromagnétique. *Location of the electromagnetic signal straight above the lake of Qattine Azar.*

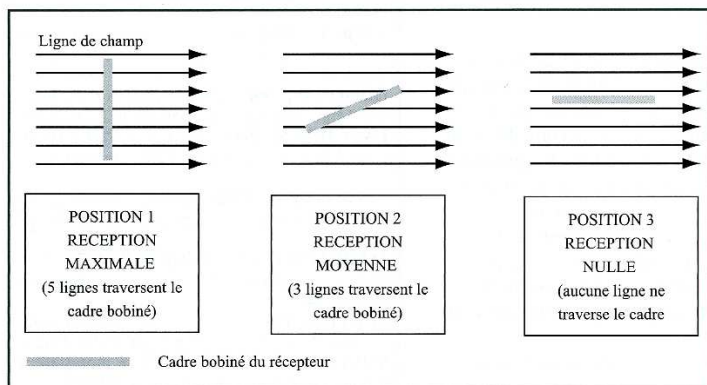
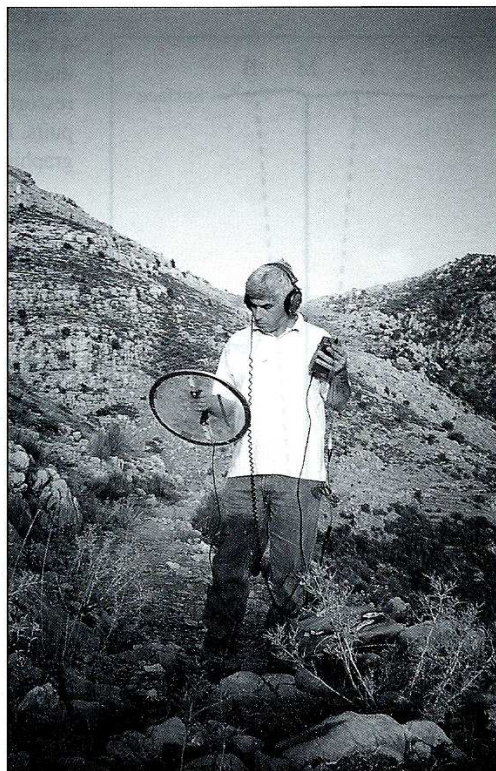


Figure 9 : Représentation de la détection plus ou moins importante des lignes de champ selon la position du récepteur.

The quality of location varies with the position of the receiver.

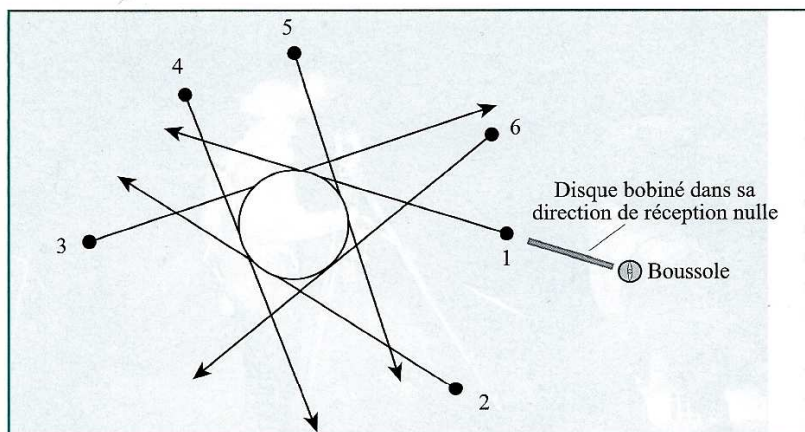


Figure 10 : Représentation graphique des six mesures réalisées en surface du positionnement électromagnétique. Diagram of the results of six outside measures for the electromagnetic location.

de trois mètres (précisément 2,70 m, soit de 1,35 m par rapport au point moyen).

Si nous considérons, par ailleurs, les quatre cercles de détermination ayant respectivement un rayon de 1,2 m, 1,3 m, 1,6 m, et 2 m, la précision moyenne est l'ordre de 1,55 m.

Les deux précisions de 1,35 m et 1,55 m, obtenues par des méthodes différentes (contrôle de verticalité et positionnement électromagnétique), apparaissent cohérentes et tout à fait satisfaisantes compte tenu des imprécisions engendrées par le terrain accidenté tant en surface qu'en profondeur.

CONCLUSION

À notre connaissance, ce type de détermination électromagnétique était le premier réalisé à une profondeur aussi grande (-507 m). Il a pleinement confirmé la topographie souterraine ; l'écart entre les deux méthodes est de 3 mètres, soit 1,5 m par rapport au point moyen. Cette précision est ici pleinement satisfaisante étant donné que le lac terminal mesure 34 sur 18 mètres. Le nouveau défi sera désormais d'assurer la verticalité du forage. En 1998, pour contrôler la première partie de la 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 est ressorti à l'extrême limite de la paroi du puits. Les contrôles donnaient à la topographie une précision inférieure au mètre.

Cette méthode électromagnétique, beaucoup plus facile et rapide qu'une topographie de précision, va remplacer dans l'avenir cette dernière, notamment

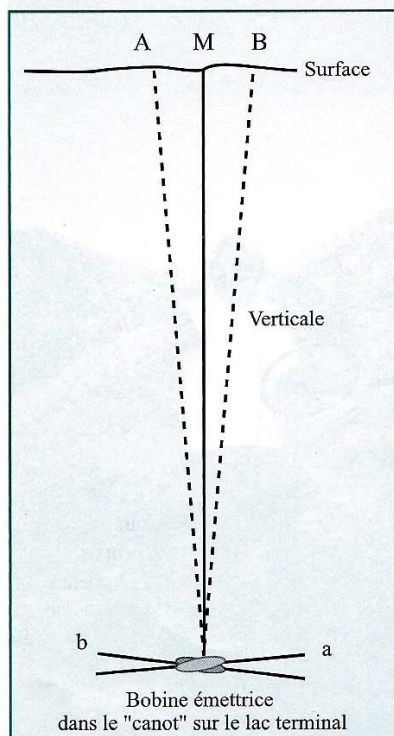


Figure 11 : Représentation graphique du mode de correction du défaut de verticalité. La bobine située sur une embarcation flottant à la surface du lac terminal n'était pas parfaitement horizontale. La première série de mesures donne en surface le point A qui n'est pas sur la verticale de l'émetteur. L'ensemble émetteur a été ensuite pivoté de 180° et se marque par le point B en surface, symétrique de A. La verticale théorique correspond au point médian M.

Correction of the verticality fault because the transmitter coil on the dingy isn't perfectly horizontal. So two successions of measurements are necessary, turning the coil of 180° to get a median point.

dans le cas de cavités complexes et/ou profondes et de régions où la pratique de la spéléologie reste confidentielle, ce qui n'est pas le cas du Liban. Les topographies de précision n'auront plus de raison que pour des jonctions souterraines, mais jusqu'à quand ? Ceci dit, il reste important dans un proche avenir de contrôler, par croisement de différentes méthodes, le positionnement des forages en milieu karstique, notamment dans les pays en voie de développement où le coût d'un forage est important et où toute erreur de positionnement de la ressource en eau marque souvent l'arrêt des travaux et à terme du développement local.

En écho aux problèmes d'eau soulevés en introduction rédigée en 2000, un grand projet vient d'être lancé en octobre 2002. Il associe le forage de Qattine Azar à deux futurs barrages situés à quelques kilomètres au nord : le barrage d'al Habach, situé à 1625 m d'altitude (d'une capacité de 550 000 m³) et celui de Boqaata situé à 1003 m d'altitude (d'une capacité de 6 000 000 m³). L'ensemble de ces ouvrages alimentera des réservoirs qui permettront de résorber le déficit de 11 000 m³/jour prévu dans la région du Haut Mten en 2025.

BIBLIOGRAPHIE

- BEDFORD Mike, 1993 - An introduction to radio location, CREG Journal n°14, pp. 16-18.
- COMATY T., COURBON P., JABBOURGEDEON B. et ZAATAR J., 2001 - Radio localisation dans le Gouffre de Qattine Azar, The Proceedings of the Middle-East Speleology Symposium (Beyrouth), p. 122-129.
- COURBON P., 1972 - La topographie spéléologique, *Spelunca* n°2, pp. 39-46.
- DELPY A., 1992 - Emission-réception électromagnétique appliquée à la localisation depuis la surface des galeries accessibles du karst, Actes du XIX^e Congrès Nat. de Spéléologie, Montpellier 1991, *Spelunca* mémoires n°19 pp. 101-105 (3 fig.).
- DZIRI F., 2002 - La balise de positionnement souterrain, mémoire IUFRM Midi-Pyrénées, Toulouse.
- GIBSON D., 1996 - How accurate is radio location? Cave and karst Science vol. n°2, pp. 77-80.
- LAUGHER S., 1995 - The use of VHF/UHF to help in locating dig points, CREG Journal n°19, p.3.
- LISMONDE B., 1992 - Repérage magnétique au Réseau Christian Galthier, *Scialet* n°21, pp. 81-83 (topo).
- MARBACH G. et COURBON P., 1972 - Les levés topographiques et leur précision, *Spelunca* n°2, pp. 34-37.
- SHOPE S., 1991 - A theoretical model of radio location, *NSS Bull.* vol. 53 n°2, pp. 83-88 (6 fig.).
- SOULIER M., 1995 - Première mondiale à Lavayssière?, *Spélé'Oc* n°72, p. 17 (photo).
- VANDEVINER R., 1989 - Localisation électromagnétique au réseau de Fresne (Bel), *Bull. Soc. Spél. Namur*, pp. 16-20, (topo, biblio).