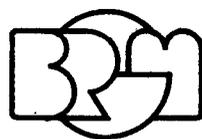


VILLE DE MONTPELLIER
DIRECTION GÉNÉRALE DES SERVICES TECHNIQUES MUNICIPAUX

alimentation en eau de la ville de montpellier

**LOCALISATION D'UN EMPLACEMENT DE CAPTAGE
DANS LE RESEAU SOUTERRAIN DE LA SOURCE DU LEZ
et détermination de ses principales caractéristiques
en préalable à l'exécution des travaux.**

Résultats présentés par H. PALOC
Directeur du Service Géologique Régional



**BUREAU DE RECHERCHES GÉOLOGIQUES ET MINIÈRES
SERVICE GÉOLOGIQUE NATIONAL**

Service géologique régional LANGUEDOC-ROUSSILLON

1039, rue de Pinville - 34000 Montpellier
Tél. (67) 92.93.31 Téléx : 490.604 F

RESUME

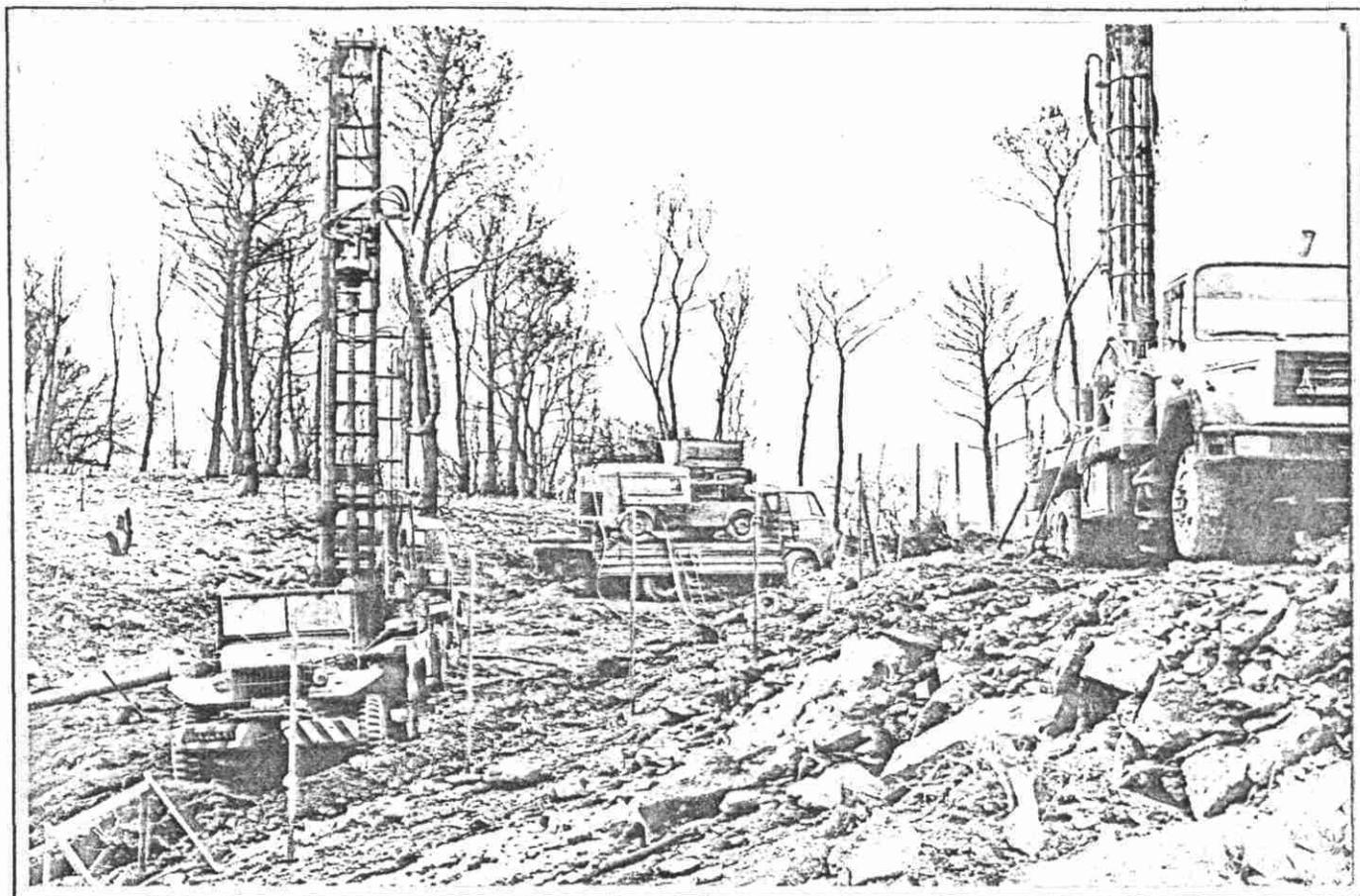
Durant le mois d'octobre 1979, le Service géologique régional Languedoc-Roussillon du Bureau de recherches géologiques et minières (BRGM) a réalisé, pour le compte de la ville de Montpellier, une opération de reconnaissance sur le site de la source du Lez, importance source karstique de la région nord-montpelliéraine déjà depuis longtemps utilisée par la ville pour son alimentation en eau potable (1854).

Il s'agissait de localiser avec précision un point du réseau souterrain dont la source constitue l'exutoire qui avait été atteint très récemment par plongées (*) et qui paraissait présenter de meilleures conditions que l'emplacement qui avait été jusqu'alors proposé pour la création d'un nouveau captage par pompage très en-dessous (43 mètres) du niveau normal de l'écoulement.

Outre le contrôle de situation du point atteint par les plongeurs - point situé à 530 mètres de l'entrée et à près de 80 mètres sous le seuil de déversement de la vasque de la source - la ville de Montpellier souhaitait que lui soient fournies diverses précisions sur le nouveau site envisagé pour le captage (dimensions du vide, caractéristiques mécaniques du terrain encaissant, piézométrie en fonction du régime de l'écoulement).

Le présent rapport rend compte des diverses actions effectuées durant la campagne de reconnaissance et en résume les résultats. La réussite dans un délai très court (moins d'un mois) de cette campagne est pour une bonne part la conséquence de l'étroite collaboration des diverses entreprises qui se sont trouvées réunies autour du BRGM et qu'il convient de remercier ici : Entreprise BONIFACE (forages), COMEX (travaux immergés), FERMAUD (terrassment de surface), FORAGES DU LITTORAL (forages), HYDROKARST (plongées et écho-sondages), NORIA-INGENIERIE (écho-sondages) et RICHER (topographie et nivellement).

(*) Plongées effectuées en mai 1979 par une équipe de la COMEX agissant pour le compte de la Compagnie générale des eaux dans le cadre de l'appel d'offres lancé par la ville en vue de la réalisation prochaine du futur captage.



L'opération de recherche conduite en octobre 1979 sur le site de la source du Lez a rassemblé :

- pour les travaux immergés, la Société COMEX sous la direction de Monsieur M. RANCHIN, responsable de l'équipe, et Messieurs R. BETTSCHEN, J.C. DOBRILIA, B. LEGER et P. ROUSSET DE PINA, ces quatre plongeurs appartenant en outre à la Société HYDROKARST de Grenoble (société spécialisée dans la plongée souterraine et sous-traitante de COMEX).
- pour le repérage par géophysique, une équipe du BRGM sous la direction de Monsieur J. MAILLARD, assisté de Messieurs B. FRIGNET et L. BELPAUME.
- pour les travaux de forages, les entreprises BONIFACE, sous la conduite de Messieurs A. et J.B. BONIFACE, et "Forages du Littoral", sous la conduite de Monsieur D. GALZY.
- pour la topographie du puits par écho-sondages, Messieurs P. DIF et F. MONTAGNAT de la société "NORIA-INGENIERIE", et Monsieur P. ROUSSET DE PINA de la société HYDROKARST.
- pour les terrassements et accès en surface, l'entreprise FERMAUD.
- pour les opérations de topographie et nivellement, une équipe du Cabinet RICHER sous la direction de Monsieur BOUCHE.

La conduite générale de l'opération a été assurée par le Service géologique régional du BRGM, sous la direction de Monsieur H. PALOC, assisté de Messieurs C. SAUVEL (forages), J. MAILLARD (géophysique), B. ALABOUVETTE (géologie) et A. CAMUS (mesures et relevés divers).

Elle s'est déroulée en parfaite coordination avec la Direction générale des services techniques municipaux, Monsieur R. CALMET, Directeur adjoint de ces services, qui suivait avec Monsieur J.P. CLET du Cabinet MERLIN (Conseil dé. la ville de Montpellier) le déroulement du chantier, apportant au BRGM un appui permanent en même temps que ses directives selon les boins d'adaptation du programme au fur et à mesure de l'exécution des travaux.

SOMMAIRE

Pages

I - TEXTE

RESUME

ENTREPRISES ET PERSONNELS AYANT PARTICIPE A L'OPERATION (et photographie du chantier de forages)

SOMMAIRE

1 - INTRODUCTION	1
PHOTOGRAPHIES DE LA VASQUE DE LA SOURCE DU LEZ SOULIGNANT LES ETATS EXTREMES DE SON REGIME DURANT LA PERIODE DES TRAVAUX	2
2 - DEROULEMENT DES TRAVAUX	3
3 - RESULTATS	6
3.1 - Localisation du vide	6
3.2 - Morphologie du vide	8
3.3 - Observations hydrogéotechniques	12
3.4 - Observations diverses	14
4 - CONCLUSION	16

FIGURES

<u>Figure 1</u> : Vue en plan du tracé approché du réseau souterrain de la source du Lez	7
<u>Figure 2</u> : Vue en plan du site envisagé pour la réalisation du nouveau captage dans le réseau souterrain de la source du Lez	9
<u>Figure 3</u> : Evolution comparée des niveaux de l'eau sur la vasque de la source et dans son réseau souterrain à l'emplacement envisagé comme nouveau site de captage (forage F9 de la zone de puits) et du débit de l'écoulement souterrain en fonction du régime de pompage sur la vasque et de la pluviométrie dans le bassin d'alimentation (poste de St Mathieu-de-Tréviérs).	11
<u>Figure 4</u> : Relations entre l'élévation du plan d'eau dans la zone de puits envisagée comme nouveau site de captage et le débit de déversement de la vasque au-dessus du seuil	13

II - HORS TEXTE

PLANCHES

- Planche 1 : Tracé approché du réseau souterrain de la source du Lez.
Tracé des limites du périmètre immédiat de protection du captage.
Situation des divers forages exécutés.
Situation des profils de mesures géophysiques.
- Planche 2 : Coupe développée du réseau souterrain de la source du Lez.
Cheminement relevé par la COMEX.
Situation des forages ayant recoupé le réseau.
Situation de la boucle magnétique utilisée pour le repérage en surface.

ANNEXES

- Annexe 1 : Repérage du passage de la galerie karstique de la source du Lez par méthode électromagnétique.
- Annexe 2 : Résultats des 16 forages exécutés sur le site du réseau souterrain de la source du Lez durant le mois d'octobre 1979.
- Annexe 3 : Principales données complémentaires recueillies en octobre 1979 sur les conditions géologiques du site.
- Annexe 4 : Résultats des essais en laboratoire sur 10 échantillons de carottes du forage F11.
- Annexe 5 : Rapport de topographie de la cavité sous forage F9 ("Investigation par écho-sondage"), et lettre de commentaires en date du 29 octobre 1979.
- Annexe 6 : Plan et état parcellaire établi en vue de l'extension du périmètre de protection immédiate de la source du Lez.

1 - INTRODUCTION

Par lettre de commande du 28 septembre 1979, la ville de Montpellier (Direction générale des services techniques municipaux) confiait au Service géologique régional Languedoc-Roussillon du BRGM l'organisation et l'exécution d'une opération destinée à contrôler et à préciser des données récemment recueillies sur le réseau souterrain de la source du Lez par l'une des entreprises (la Compagnie générale des eaux) qui avaient été consultées par la ville en vue de la réalisation prochaine d'un nouveau dispositif de captage, par pompage, des eaux de la source en amont de son exutoire.

Ces données, révélées par les plongeurs de la COMEX opérant pour le compte de l'entreprise précitée, étaient en effet susceptibles d'entraîner des modifications importantes au projet initial et notamment un déplacement, plus en amont dans le réseau souterrain, du site qui avait été jusqu'alors proposé pour le captage.

En raison de l'imminence du démarrage des travaux (prévu en début d'année 1980) et des délais requis pour l'enquête d'utilité publique, il convenait que soit rapidement confirmé l'intérêt du nouveau site envisagé.

Entamée sur le terrain le 29 septembre, et malgré de fortes pluies qui contrarièrent, à compter du 7 octobre, le déroulement des travaux - en particulier l'accès au réseau ne fut plus permis aux plongeurs de la COMEX au-delà de cette date en raison du débit élevé de la source qui interdisait sa pénétration - une première phase de l'opération (contrôle de situation du vide envisagé comme nouveau site de captage) était achevée le 11 octobre grâce à la réussite du neuvième forage exécuté.

La suite du mois d'octobre fut consacrée à une deuxième phase d'intervention (détermination de la morphologie du vide, premiers tests géotechniques et hydrogéologiques) ; aux difficultés découlant de très mauvaises conditions climatiques, devaient s'ajouter durant cette période, celles résultant de la pose, à l'aplomb même du site (cf. planche 1), des câbles de la nouvelle ligne EDF de 400 000 volts.

N.B. : Les diverses observations nouvelles recueillies dans le cadre de la présente opération constituent un utile complément à la note de synthèse des problèmes posés par le projet de captage par pompage dans le réseau souterrain de la source du Lez, note élaborée à l'issue d'une étude documentaire effectuée en avril-mai 1979 pour le compte de la ville de Montpellier : Alimentation en eau de la ville de Montpellier - Captage de la source du Lez - Commune de St Clément (Hérault) - Etude documentaire préalable à l'établissement des périmètres de protection - Note de synthèse - par H. PALOC - Rapport BRGM n° 79 SGN 319 LRO du 15 mai 1979.

ETATS EXTREMES DU REGIME
D'ECOULEMENT DE LA SOURCE DU LEZ OBSERVES
DURANT LA PERIODE DES TRAVAUX

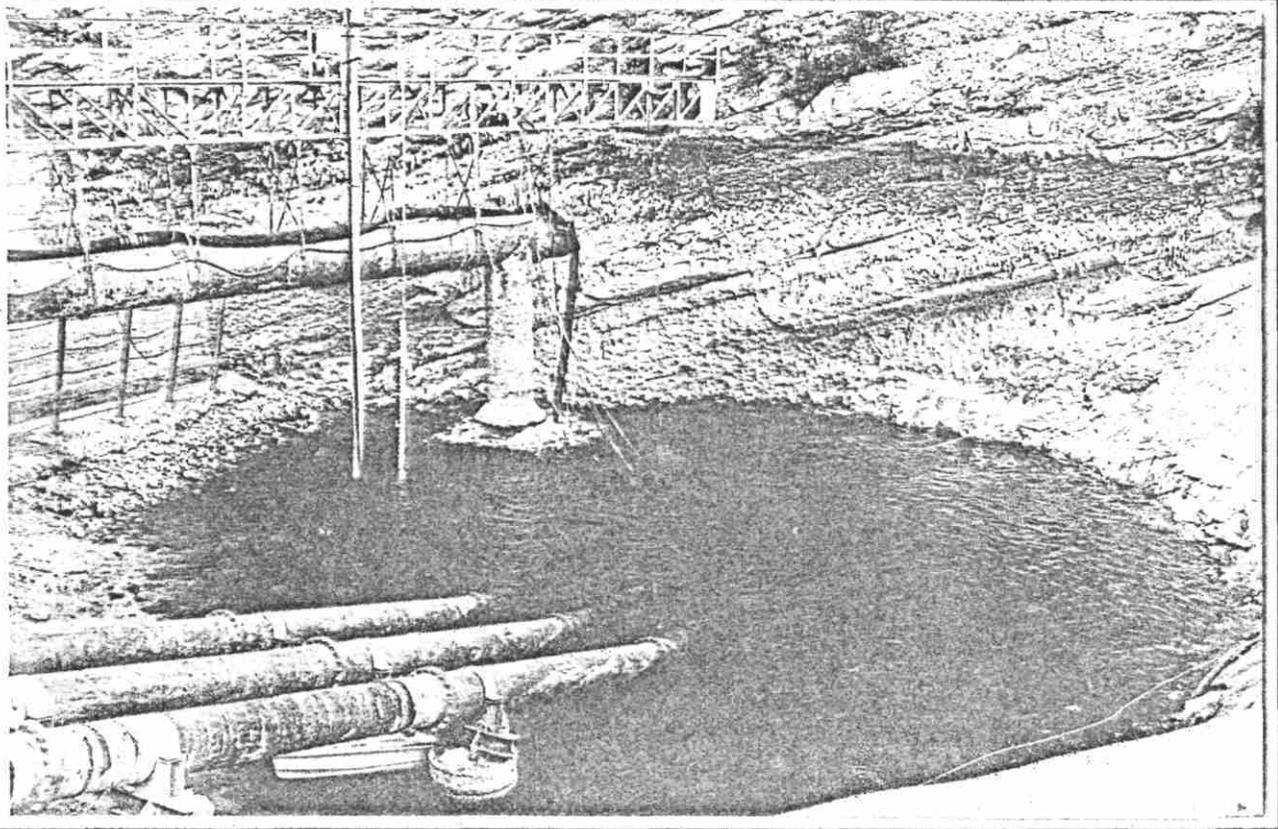
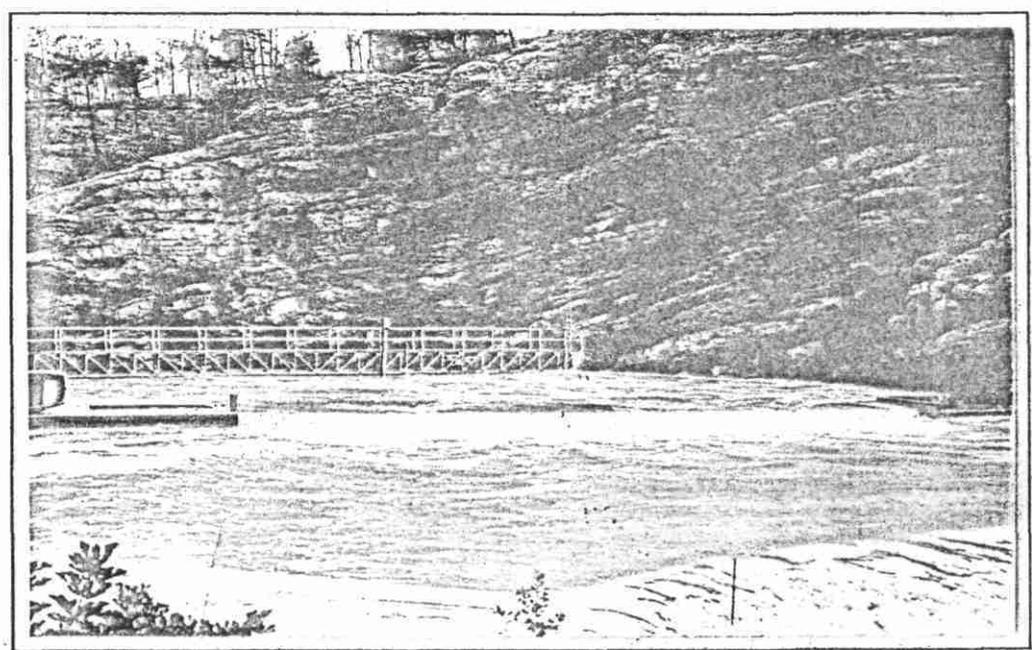


Photo 1

— PERIODE ANTERIEURE AU 7 OCTOBRE 1979 ~ Le niveau de l'eau sous la vasque est abaissé sous l'influence des pompages aux environs de la cote NGF +59 mètres, soit à environ 6 mètres au dessous du seuil de déversement de la source (+65,04) et très en dessous de la base de la passerelle (Photo du Service photographique de la ville de Montpellier)

Photo 2

— PERIODE POSTERIEURE
AU 7 OCTOBRE 1979
Le niveau de l'eau dans la vasque dépasse de plusieurs centimètres à plusieurs dizaines de centimètres le seuil de déversement de la source (+65,04) et vient lécher la base de la passerelle (débit atteint le 6 octobre: 12 m³/s)
(Photo B.R.G.M. du 27 octobre 1979)



B.R.G.M.

2 - DEROULEMENT DES TRAVAUX

- 24/09/1979 : Demande d'intervention par la Direction Générale des Services Techniques Municipaux au Service géologique régional du BRGM.
- du 24 au 28/09/1979 : Montage de l'opération. Choix des entreprises sous-traitantes. Préparation des travaux (personnel et matériel)
- 28/09/1979 : Lettre de confirmation de commande de la Ville de Montpellier à l'issue d'une réunion-programme tenue en Mairie de Montpellier.
- 29/09/1979 : Installation de la COMEX sur le site de la Source.
- 30/09/1979 : Début de l'équipement du réseau souterrain par la COMEX, contrôle de la topographie du site, report du tracé approximatif du cheminement relevé par les plongeurs de la COMEX en mai 1979. Implantation du forage F1. Achèvement de la préparation de la boucle magnétique.
- 01/10/1979 : Arrivée de l'entreprise BONIFACE. Début de mise en place par la COMEX de la boucle magnétique dans le réseau souterrain. Exécution du forage F1 (Entreprise BONIFACE). Premiers travaux de contrôle de topographie (Cabinet RICHER).
- 02/10/1979 : Premiers travaux d'aménagement de plateformes de forage par l'Entreprise FERMAUD. Début d'exécution du forage F2 (Entreprise BONIFACE) Achèvement de la mise en place de la boucle par la COMEX. Installation sur le site du matériel géophysique et piquetage des points de repère.
- 03/10/1979 : Achèvement du forage F2 (Entreprise BONIFACE). Mise en place, par le forage F1, et raccordement d'un câble d'alimentation de la boucle par la COMEX. Exécution des premiers tests de repérage géophysiques (première localisation du signal). Arrivée de l'Entreprise "Forages du Littoral" et début d'exécution du forage F3 par cette entreprise.
- 04/10/1979 : Fin d'exécution du forage F3 (Forages du Littoral). Contrôle de repérage du signal géophysique (situation précisée par contrôles gonio-métriques).
- 05/10/1979 : Début d'exécution du forage F4 (Forages du Littoral). Nouveau piquetage des repères géophysiques et des repères de cheminement de la topographie du réseau. Départ de l'équipe géophysique.
- 06/10/1979 : Achèvement du forage F4 (Forages du Littoral). Topographie précise du réseau souterrain par la COMEX (entre le forage F1 et l'accès au puits).
- 07/10/1979 : Un très fort orage dans la nuit du 6 au 7 octobre interdit la mise en place des ateliers de forage. Première crue de la source.
- 08/10/1979 : Report précis par le topographe des nouveaux relevés du réseau par la COMEX (Cabinet RICHER). Début d'exécution des forages F5 (Forages du Littoral) et F6 (Entreprise BONIFACE).

- 09/10/1979 : Départ de la COMEX, le débit de la source interdisant l'accès au réseau souterrain par les plongeurs (matériel laissé en place en cas de baisse de débit pour nouvelles plongées éventuelles de contrôle).
Fin des forages F5 (Forages du Littoral) et F6 (Entreprise BONIFACE).
Début des forages F7 (Forages du Littoral) et F8 (Entreprise BONIFACE).
- 10/10/1979 : Achèvement des forages F7 (Forages du Littoral) et F8 (Entreprise BONIFACE) et nouveaux contrôles de topographie (Cabinet RICHER).
Début d'exécution des forages F9 (Forages du Littoral) et F10 (BONIFACE).
- 11/10/1979 : Fin d'exécution des forages F9 (Forages du Littoral) et F10 (Entreprise BONIFACE). Succès du forage F9 (vide de 11 mètres).
Exécution d'une expérience de coloration sur ce forage.
- 12/10/1979 : Départ de l'entreprise Forages du Littoral.
Arrêt du chantier.
Présentation des résultats à la Mairie de Montpellier.
Premier examen avec HYDROKARST, des possibilités de détermination de la forme du vide rencontré par le forage F9 par écho-sondage en s'assurant du concours du bureau "NORIA-INGENIERIE".
- 13/10/1979 : Début d'exécution du forage carotté F11 (Entreprise BONIFACE).
- 14/10/1979 : Suite de l'exécution du forage carotté.
- 15/10/1979 : Fin d'exécution du forage carotté et envoi de 10 échantillons au Laboratoire de mécanique des roches du BRGM à Orléans, pour essais.
Ordre de rapatriement du matériel COMEX, compte tenu des conditions climatiques (une partie du matériel, laissé en place dans le réseau, doit être abandonné).
- 16/10/1979 : A l'issue d'une réunion en Mairie de Montpellier, début d'exécution du forage F12, dit "de la doline" (Entreprise BONIFACE), et commande de l'opération d'écho-sondage.
- 17/10/1979 : Arrêt de foration, à 105 m, du forage F12 (Entreprise BONIFACE).
Mise en place d'un deuxième atelier de sondage (Entreprise BONIFACE) sur le forage F9 pour exécution de l'opération écho-sondage : premier test par NORIA-INGENIERIE.
(N.B. : repérage d'un forage non signalé à proximité du chemin d'accès au chantier, près du carrefour de la doline : cf. planche 1).
- 18/10/1979 : Exécution et réussite, sur le forage F9, de l'opération d'écho-sondage.
Début d'exécution du forage F13, dit "forage n° 2 de la doline" (Entreprise BONIFACE).
Déménagement par la COMEX du matériel laissé en place le 9 octobre sur le site de la vasque.
- 19/10/1979 : Achèvement du forage F13 (Entreprise BONIFACE).
- 20/10/1979 : Exécution d'une expérience de coloration sur le forage F13.
- 21/10/1979 : Suspension des travaux de chantier.

- 22/10/1979 : Après écartement des câbles, posés au sol, de la ligne à haute tension en cours d'installation, confection de 3 nouvelles plateformes de forage par l'Entreprise FERMAUD. Exécution du forage F14 (Entreprise BONIFACE).
- 23/10/1979 : Visite du chantier par Monsieur FRECHE, Maire de Montpellier, accompagné de Messieurs DUGRAND et GRANIER, adjoints au Maire, de Messieurs CALMET et CHAMBAUD de la Direction des Services Techniques Municipaux, et de Monsieur CLET du Cabinet Merlin. Début d'exécution du forage F15 (Entreprise BONIFACE)
- 24/10/1979 : Achèvement du forage F15 (Entreprise BONIFACE) et début d'exécution du forage F16 (Entreprise BONIFACE).
- 25/10/1979 : Suite du forage F16 (Entreprise BONIFACE).
- 26/10/1979 : Les pluies très violentes interdisent la poursuite de foration du forage F16 : maximum de crue en fin de journée sur la Source du Lez.
- 27/10/1979 : Achèvement du forage F16 (Entreprise BONIFACE).
Départ de l'Entreprise BONIFACE.

Fin de chantier.

- Entre le 27 octobre et le 5 novembre, détermination exacte des limites de l'extension proposée pour le périmètre de protection immédiate du nouveau site de captage et divers contrôles de topographie (Cabinet RICHER). Etablissement d'une note de synthèse par le BRGM.

N.B. : Au cours des travaux, 4 limnigraphes ont été successivement mis en place par le BRGM :

- sur le forage F1, à compter du 8 octobre 1979
- sur le forage F3, à compter du 9 octobre 1979
- sur le forage F9, à compter du 11 octobre 1979
- sur le forage FAC, à compter du 11 octobre 1979

Ils font depuis l'objet de relevés.

3 - RESULTATS

Les diverses pièces fournies en annexe permettent de rendre compte en détail des travaux effectués pour la localisation du vide recherché par méthode géophysique (cf. annexe 1) et pour la détermination de sa morphologie par écho-sondages (cf. annexe 5). En outre, sont également fournis en annexe un tableau résumant les principaux résultats des 16 forages qui ont été exécutés sur le site (cf. annexe 2) et, pour celui de ces forages qui a été carotté sur toute la hauteur (F11), les résultats des tests (résistance à la compression simple et densité humide) effectués au laboratoire de mécanique des roches du BRGM à Orléans (cf. annexe 4). Les deux dernières annexes sont réservées respectivement à la présentation de quelques données complémentaires qui ont été recueillies sur les conditions géologiques du site (cf. annexe 3) et au tracé, par rapport aux parcelles du plan cadastral, des nouvelles limites du périmètre immédiat, celui-ci ayant du être étendu par rapport à l'ancien en fonction de la situation du nouveau site envisagé pour le captage (cf. annexe 6).

Il convient toutefois de préciser et de commenter le contenu de ces annexes en fonction des objectifs qui avaient été assignés à l'opération. Les principaux enseignements recueillis peuvent ainsi être répartis en quatre paragraphes : localisation du vide, morphologie du vide, observations hydrogéotechniques et observations diverses.

3.1 - LOCALISATION DU VIDE

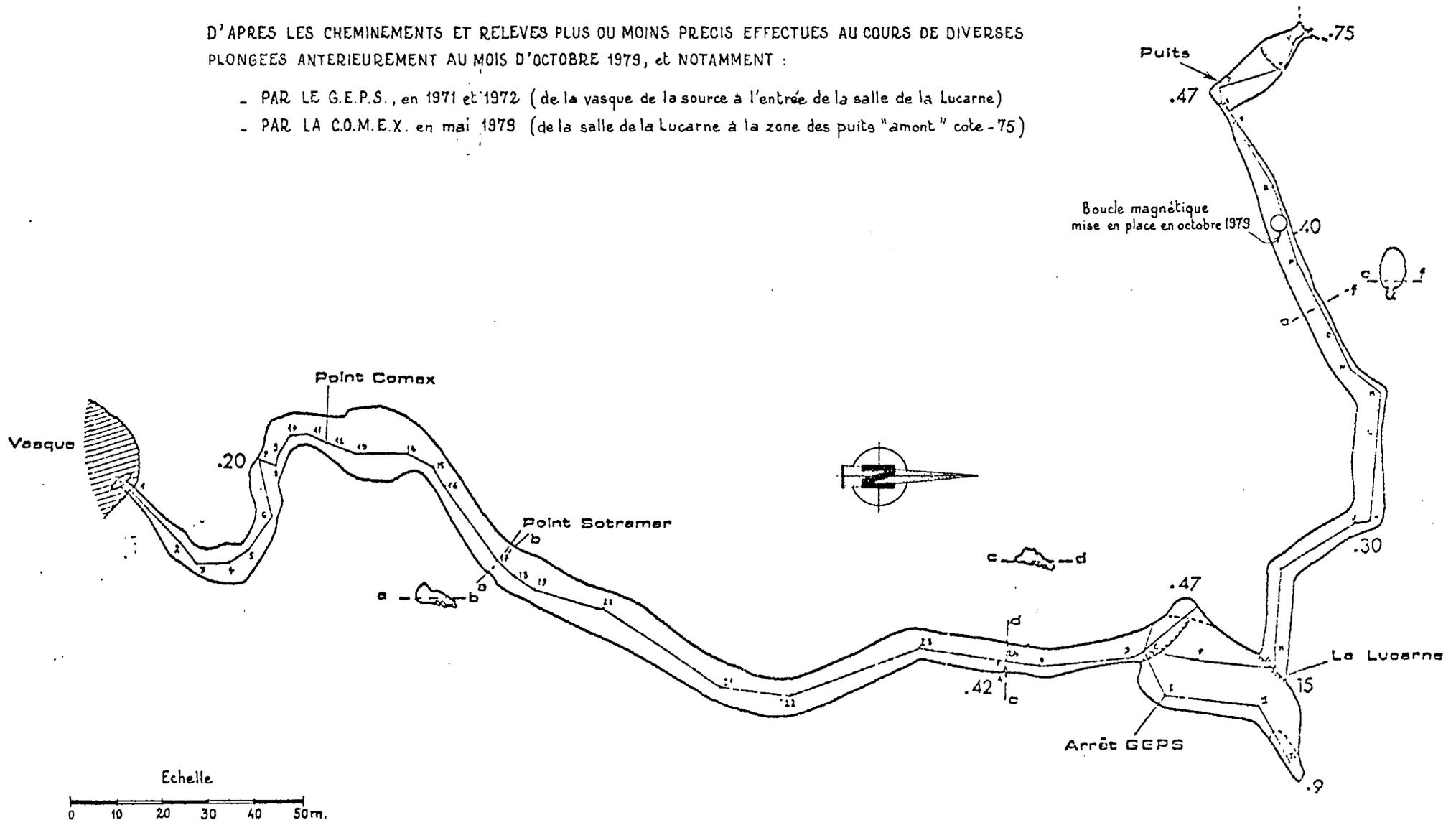
Les conditions topographiques du réseau souterrain (distance et profondeur) qui avaient été révélées par les diverses plongées antérieures, et spécialement par les plongées de la COMEX en mai 1979 (cf. figure 1), nous ont conduit à choisir, pour la mise en place de la boucle magnétique dans le réseau, un point situé 25 à 30 mètres en aval de la cible à atteindre par forages (zone du puits) et présentant notamment l'avantage d'être situé à la fois à une moindre profondeur sous le niveau de la source (ce qui permettait aux plongeurs de procéder à la mise en place du "porte boucle" dans de meilleures conditions) et sous une épaisseur moins grande de terrain (ce qui favorisait la détection en surface) (cf. planche 2 et annexe 1).

Par ailleurs, était entamée l'exécution de forages, d'aval en amont, dans la partie du réseau récemment découverte par la COMEX, ces forages étant destinés à con-

VUE EN PLAN DU TRACE APPROCHE DU RESEAU SOUTERRAIN DE LA SOURCE DU LEZ

D'APRES LES CHEMINEMENTS ET RELEVES PLUS OU MOINS PRECIS EFFECTUES AU COURS DE DIVERSES
 PLONGEES ANTERIEUREMENT AU MOIS D'OCTOBRE 1979, et NOTAMMENT :

- PAR LE G.E.P.S. , en 1971 et 1972 (de la vasque de la source à l'entrée de la salle de la Lucarne)
- PAR LA C.O.M.E.X. en mai 1979 (de la salle de la Lucarne à la zone des puits "amont" cote -75)



B.R.G.M. S.G.R. Languedoc - Roussillon

79 SGN 654 LRO

trôler directement le cheminement qui avait été relevé par les plongeurs (avec une précision qu'ils ne garantissaient qu'à environ 15 % près) pour le cas où le repérage géophysique n'aurait pas donné les résultats escomptés ; le premier de ces forages (F1) permit en outre de raccourcir la longueur du câble d'alimentation de la boucle magnétique, le trou étant utilisé pour le passage de ce câble entre la surface et la galerie.

Le résultat positif de l'opération géophysique fit la preuve - compte tenu de la précision de la détection donnée à 5 mètres près d'après calcul - que le cheminement des plongeurs était vérifié à peu de choses près. Plutôt que de chercher à contrôler par forages la situation du point où avait été installée la boucle magnétique on a jugé préférable d'entreprendre l'exécution des forages directement dans la zone de puits qui, compte tenu de ses dimensions, constituait une meilleure cible, cette zone étant par ailleurs l'objectif de la campagne de recherche.

Les premiers forages exécutés dans ce secteur (F3 et F4) n'ayant pas atteint la cible, il fut demandé à la COMEX d'effectuer une topographie précise entre le forage F1 et le puits. Cette topographie était destinée notamment à compléter un premier relevé de précision exécuté entre le point où était située la boucle et le puits pour le cas où l'écart de repérage géophysique aurait été supérieur à ce qui avait été évalué.

Ce fut seulement au septième forage (forage F9 de la campagne), exécuté dans le secteur immédiat de la zone du puits, que le vide recherché fut rencontré (cf. annexe 2 et planches 1 et 2).

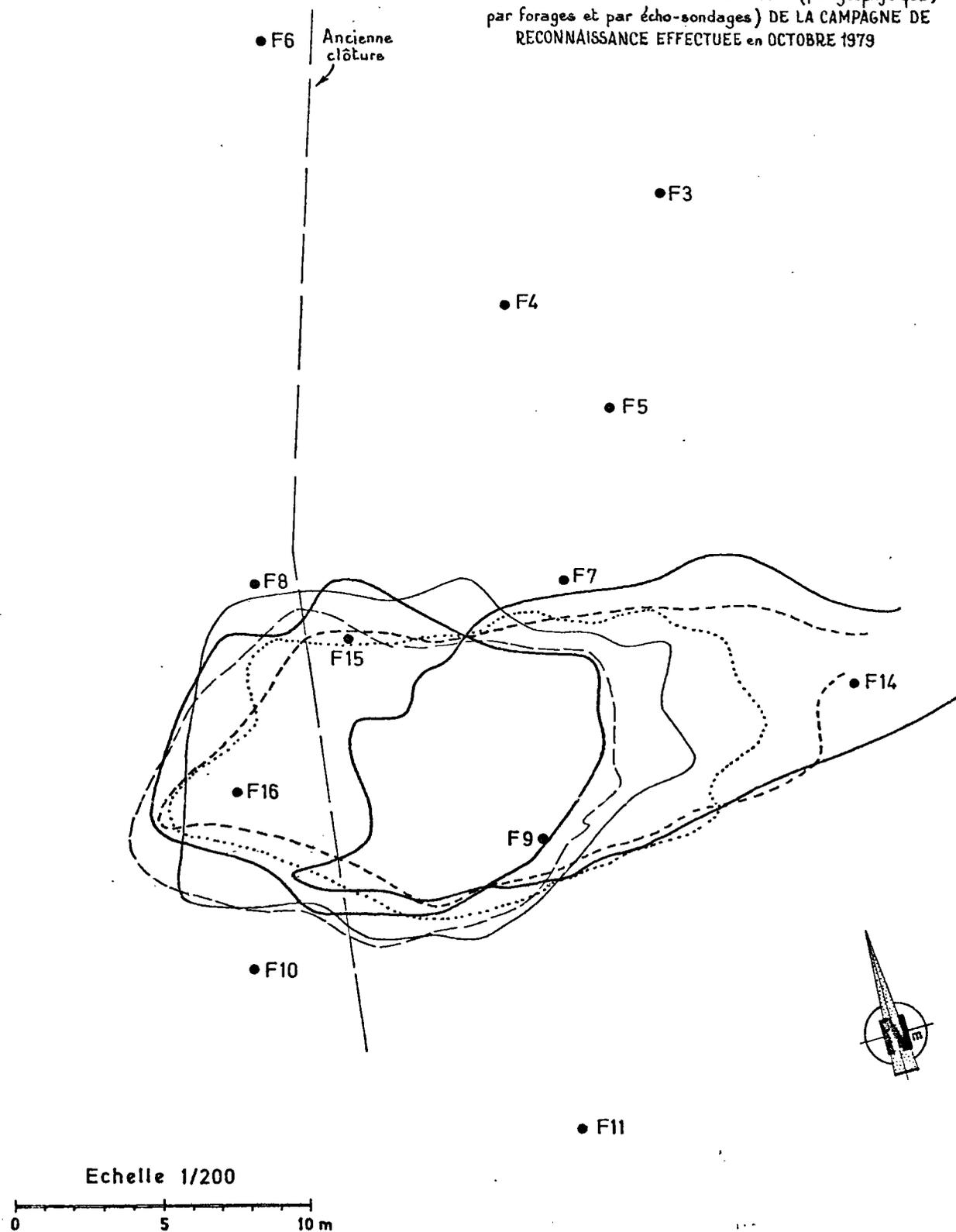
Une expérience de coloration, réalisée par injection directe de 300 grammes de fluorescéine dans le forage, confirma que l'écoulement passant dans ce vide parvenait à la source en 1 heure et 30 minutes, pour un trajet d'environ 500 mètres (vitesse moyenne : 333 m/h) et pour un débit d'environ 1,5 m³/s sur le déversoir de la source.

3.2 - MORPHOLOGIE DU VIDE

Les pluies des 4, 6 et 7 octobre ayant entraîné, à compter du 7 octobre, une forte remontée du niveau de la source et la reprise de l'écoulement au-dessus de son déversoir, il ne fut plus possible aux plongeurs de la COMEX de pénétrer dans le réseau en amont de l'exutoire, les vitesses de l'eau dans la partie rétrécie du conduit à la

VUE EN PLAN DU SITE ENVISAGE POUR LA REALISATION DU NOUVEAU CAPTAGE DANS LE RESEAU SOUTERRAIN DE LA SOURCE DU LEZ

SITUATION DES POINTS DE CONTROLE (par géophysique,
par forages et par écho-sondages) DE LA CAMPAGNE DE
RECONNAISSANCE EFFECTUEE en OCTOBRE 1979



base de la vasque étant trop élevées.

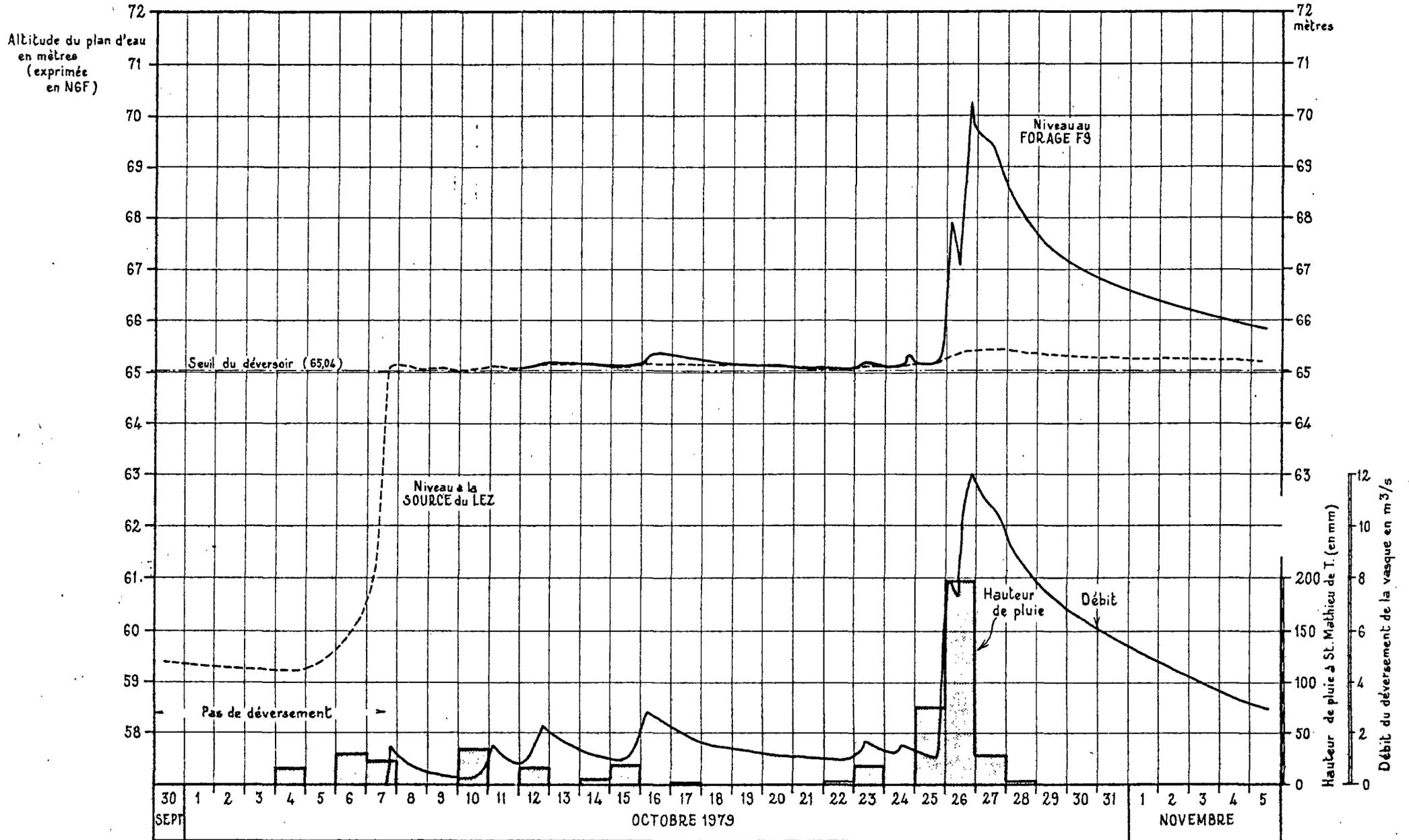
On rechercha donc par quels moyens pourrait être précisé le point atteint par le forage dans le vide karstique en même temps que déterminée sa morphologie. Après avoir envisagé diverses possibilités, il apparut que l'une d'elles serait susceptible d'apporter une solution satisfaisante : l'application du procédé d'écho-sondages ou sonar (cette technique étant du reste utilisée pour contrôler les dimensions des vides provoqués dans des terrains salifères en vue de stockages).

Grâce au concours des électroniciens de la Société NORIA-INGENIERIE, de Grenoble, la méthode et les appareillages nécessaires purent être mis au point dans des délais extrêmement brefs, et l'opération put être réalisée avec succès les 17 et 18 octobre sur le forage F9 (la figure 2 rend compte des résultats obtenus selon les plans successifs de mesure, le détail de l'opération étant donné en annexe 5).

A la demande du Cabinet MERLIN, 3 forages de contrôle (F14, F15 et F16) furent implantés au-dessus du vide ainsi défini ; mais tandis que le premier de ces forages (F14) devait le recouper à la cote attendue, il n'en fut pas de même pour les deux autres forages (F15 et F16), les vides rencontrés sur chacun d'eux étant à des cotes plus basses que les cotes prévues (en particulier pour le F16 où le vide recoupé, sur 37 mètres de hauteur, se trouve au-delà du point qui avait été reconnu par les plongeurs de la COMEX).

Après examen avec la Société NORIA-INGENIERIE des causes possibles de cette anomalie, il apparaît comme très probable que cette dernière ait été la conséquence de la déviation possible des forages, les résultats des calculs à l'écho-sondeur ne paraissant pas pouvoir rendre compte des écarts constatés (voir à ce sujet la lettre de la Société NORIA-INGENIERIE en date du 29 octobre, reproduite en pages 17 et 18 de l'annexe 5) ; en outre, il n'est pas impossible que se combine à la cause précédente une légère approximation sur la direction de référence des angles de mesures. A cet égard, l'incertitude qui demeure devrait pouvoir être levée en utilisant à nouveau la méthode sur les forages F14, F15 et F16 et en l'accompagnant, si possible, de mesures de déviation sur les 4 forages ayant atteint le vide : la forme de ce dernier devrait alors pouvoir être précisée sur toute la hauteur reconnue par ces sondages, soit entre 50 et 113 mètres sous le niveau du déversoir de la source.

EVOLUTION COMPAREE DES NIVEAUX DE L'EAU SUR LA VASQUE DE LA SOURCE ET DANS SON RESEAU SOUTERRRAIN A L'EMPLACEMENT ENVISAGE COMME NOUVEAU SITE DE CAPTAGE (Forage F9 de la zone de puits) ET DU DEBIT DE L'ECOULEMENT SOUTERRRAIN EN FONCTION DU REGIME DE POMPAGE SUR LA VASQUE ET DE LA PLUVIOMETRIE DANS LE BASSIN D'ALIMENTATION (Poste de St. Mathieu de Tréviers)



3.3 - OBSERVATIONS HYDROGÉOTECHNIQUES

Dès la réussite du forage F9, un limnigraphe fut mis en place sur ce forage. Par ailleurs, trois autres limnigraphes ont également été mis en place sur les forages F.FAC, F1 et F3. Enfin, la lecture de l'échelle du déversoir de la source était faite trois fois par jour par les responsables de la station (Messieurs SINA et VIALA) et leurs mesures furent corrélées avec les relevés du limnigraphe exploité par l'Agriculture sur la passerelle située au-dessus de la vasque.

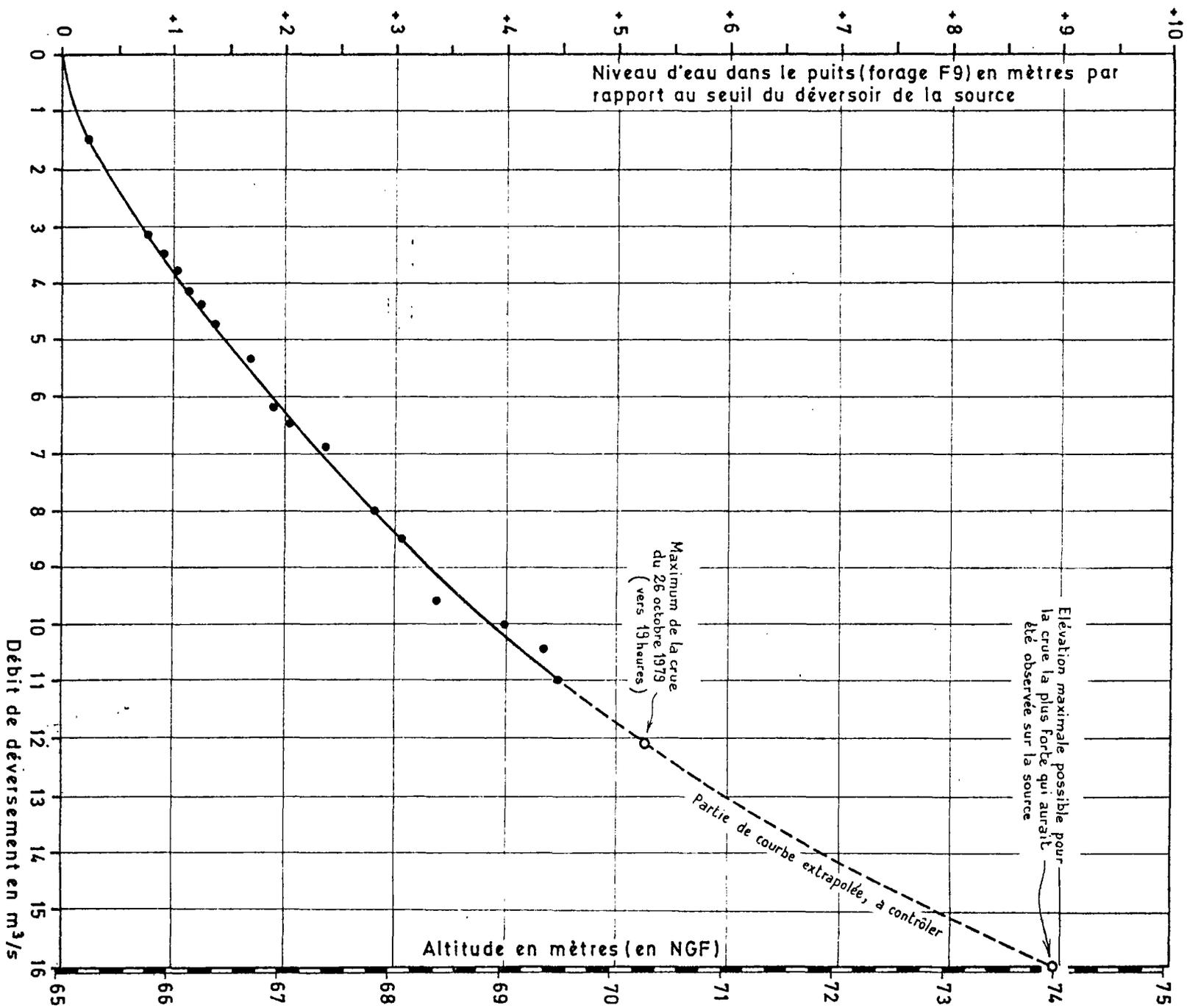
Les diverses observations ainsi effectuées ont permis de dresser le graphique de la figure 3 et de déterminer la relation existant entre le niveau de l'eau dans le vide envisagé comme nouveau site de captage et le débit de la source (cf. figure 4). Cette relation reste à vérifier pour la partie de la courbe qui a été extrapolée, et notamment pour les débits supérieurs à 12 m³/s.

Les divers forages effectués au voisinage du vide et qui ne l'ont pas atteint directement révèlent (cf. tableau de l'annexe 2) la présence générale d'eau dans le terrain dès que l'on fore en-dessous du niveau d'écoulement de la source avec, au fur et à mesure de l'approfondissement, des accroissements notables de débits, ceux-ci se révélant le plus souvent soudainement et entraînant la vidange de remplissages provoquant des troubles de l'eau de durée variable.

On notera qu'en fin de foration, les débits à l'air lift de ces forages se situent toujours au-dessus de 50 m³/h.

L'un de ces forages (F11) a été carotté sur toute la hauteur (de 0 à 62 mètres de profondeur) : les résultats des essais effectués sur dix échantillons de roche prélevés sur ce forage sont donnés en annexe 4. La confrontation des données de forage et les observations géologiques faites en surface et sur les carottes du forage F11, indique que la zone du puits correspond à une zone fracturée (cette zone paraît être à l'origine de l'ensellement que l'on observe dans la topographie dans le secteur des forages F3 à F16).

RELATIONS ENTRE L'ELEVATION DU PLAN D'EAU DANS LA ZONE DE
PUITS ENVISAGEE COMME NOUVEAU SITE DE CAPTAGE ET LE DEBIT DE DEVERSEMENT
DE LA VASQUE AU DESSUS DU SEUIL



3.4 - OBSERVATIONS DIVERSES

Elles sont essentiellement d'ordre géologique (cf. annexe 3) et en rapport, pour leur plus grande part, avec l'existence, mise en évidence à l'occasion de l'opération, d'une doline et avec les constatations qui ont été faites en ce point et à son voisinage immédiat.

Un examen du terrain dans le secteur proche de la zone de puits avait en effet permis de repérer une doline (dépression fermée) au Nord - Nord-Ouest de cette zone : sa présence jusque là, semble-t-il, passée inaperçue avait un caractère insolite compte tenu du faciès de la roche qu'elle affectait ce qui pouvait être l'indice d'un rapprochement du conduit karstique de la surface topographique par rapport au point extrême atteint par les plongeurs.

Aussi lui a-t-on accordé une attention particulière et on y a procédé à l'exécution de deux forages : l'un (F12) directement au point bas de la doline, l'autre (F13) à 25 mètres au Nord - Nord-Ouest. Ces forages ont révélé d'une part que l'amont du réseau souterrain qui est le siège de l'écoulement se situe au minimum à plus de 100 mètres sous la surface topographique, et d'autre part que le forage F13 doit se trouver très proche (ordre de la dizaine de mètres ?) du passage de ce réseau : en effet, la rencontre sur ce forage d'un vide avec remplissages à 130 mètres de profondeur s'étant accompagnée d'une venue d'eau très chargée en argile et d'un très fort débit à l'air lift (150 à 200 m³/h), une expérience de coloration a été tentée en ce point. Cette expérience fut réalisée par injection, le 20 octobre, d'un kilogramme de fluorescéine poussé pendant une heure par un débit d'eau de 3 à 4 l/s : le colorant fut retrouvé cinq heures plus tard à la source, ce qui correspond, si l'on admet comme très probable une distance voisine de 600 mètres, à une vitesse moyenne de 120 m/h pour un débit de déversement de la source sur le seuil voisin de 1 m³/s. Ce résultat démontre qu'il ne saurait y avoir un long cheminement entre le point d'injection et le réseau souterrain emprunté par l'écoulement compte tenu du faible volume d'eau (12 à 14 m³) ayant servi à pousser le colorant.

La grande épaisseur du remplissage de la doline (105 mètres au minimum), son volume, sa nature lithologiques (argile sableuse avec blocs) et la présence d'eau en son sein, avec un débit voisin de 50 m³/h en fin de foration, pourraient favoriser l'apparition ou l'accélération de phénomènes de débouillage en ce point qui n'est situé qu'à 80 mètres du nouveau site envisagé pour le captage, sous l'effet des rabattements importants qui pourront y être provoqués et spécialement en cas de variations brusques

de la piézométrie (ce sont du reste de telles variations qui sont pour une grande part à l'origine de l'apparition des troubles habituellement constatés sur beaucoup de sources karstiques à la suite de fortes pluies). Il serait prudent à cet égard que soit prévu, dans le futur dispositif de captage, un contrôle permanent de la turbidité permettant d'isoler temporairement, si nécessaire, la conduite d'aménée de l'eau vers la ville de Montpellier en s'affranchissant ainsi des inconvénients et dommages qui pourraient résulter d'entraînements exceptionnels de grandes masses de remplissages (on avait d'ailleurs déjà attiré l'attention sur ce point dans le rapport BRGM précité (rapport BRGM 79 SGN 319 LRO du 15 mai 1979, page 9) mais les constatations qui viennent d'être faites doivent inciter encore davantage à prendre des précautions).

4 - CONCLUSION

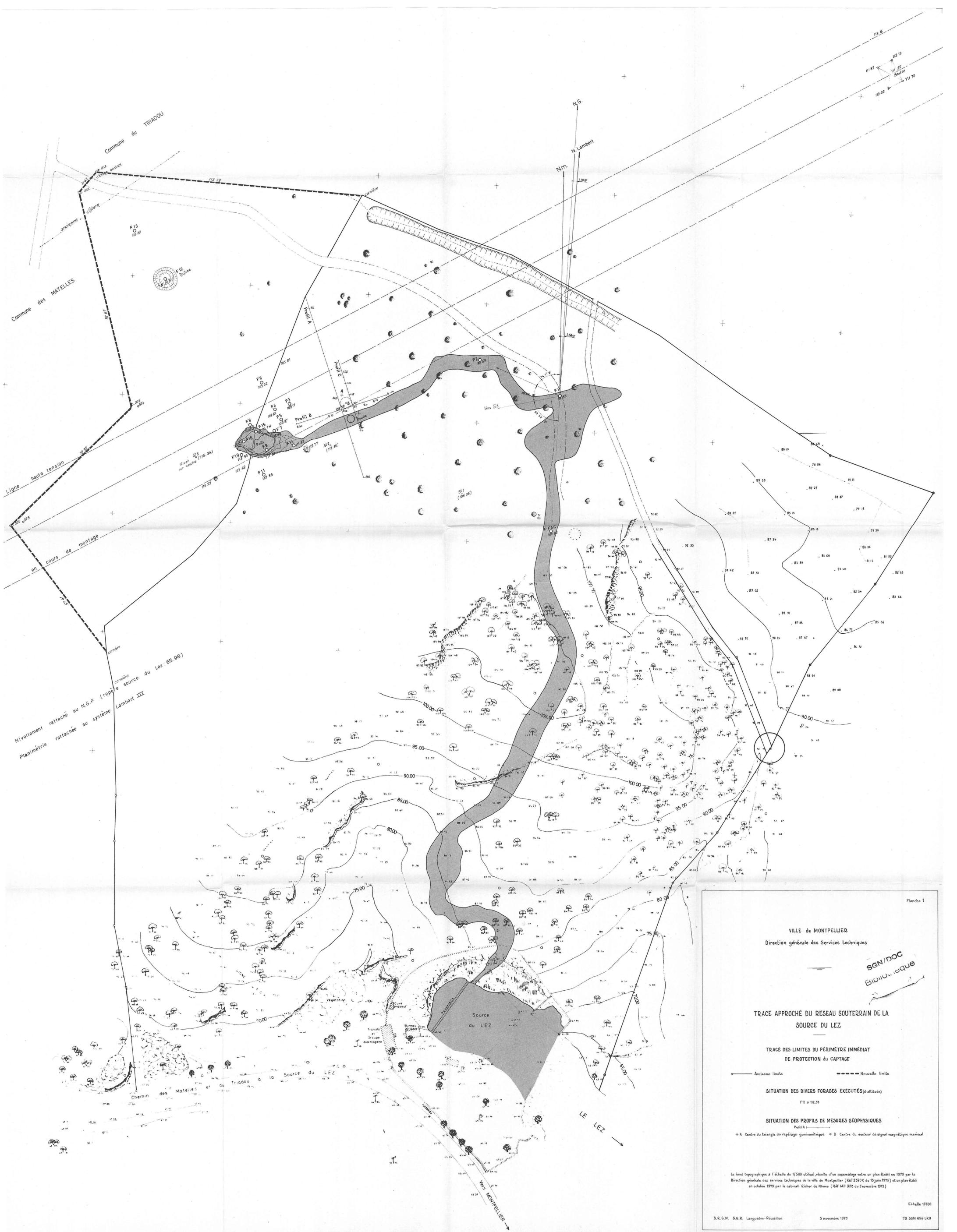
L'opération de localisation du vide recherché et de détermination de ses formes, qui avait été demandée par la ville de Montpellier au BRGM, a été couronnée de succès malgré la durée relativement brève de son exécution.

A l'occasion de cette reconnaissance, des progrès importants ont été obtenus tant sur la connaissance du réseau souterrain que sur l'emploi des techniques de repérage (techniques géophysiques et techniques d'écho-sondages), qui sont venues heureusement compléter les découvertes et la performance remarquable accomplie sur ce site par les plongeurs de la COMEX.

Il reste maintenant à préciser, de façon plus satisfaisante, la morphologie de l'ensemble de la zone de puits en fonction de la plus ou moins bonne verticalité des sondages, ce qui permettrait de définir plus exactement les caractéristiques définitives du captage et les modalités de son exécution.

L'existence de la doline et les données recueillies à son sujet constituent toutefois un problème délicat qui, en raison du risque que pourrait présenter le débouillage de grandes masses d'argile sous l'influence des modifications du plan d'eau, justifie que des précautions soient prises à cet égard dans le schéma de fonctionnement de l'adduction projetée.

A Montpellier, le 5 novembre 1979



Commune du TRIADOU

Commune des MATELLES

Ligne haute tension

en cours de montage

Nivellement rattaché au N.G.F. (repère source du Lez 65 98)

Planimétrie rattachée au système Lambert III

Planche 1

VILLE de MONTPELLIER
Direction générale des Services techniques

SGN/DOC
Bibliographique

TRACE APPROCHÉ DU RESEAU SOUTERRAIN DE LA SOURCE DU LEZ

TRACE DES LIMITES DU PERIMETRE IMMEDIAT DE PROTECTION DU CAPTAGE

— Ancienne limite - - - - - Nouvelle limite

SITUATION DES DIVERS FORAGES EXECUTES (et altitude)

F11 à 112,33

SITUATION DES PROFILS DE MESURES GEOPHYSIQUES

Profil A |

+ A Centre du triangle de repérage géométrique o B Centre du secteur de signal magnétique maximal

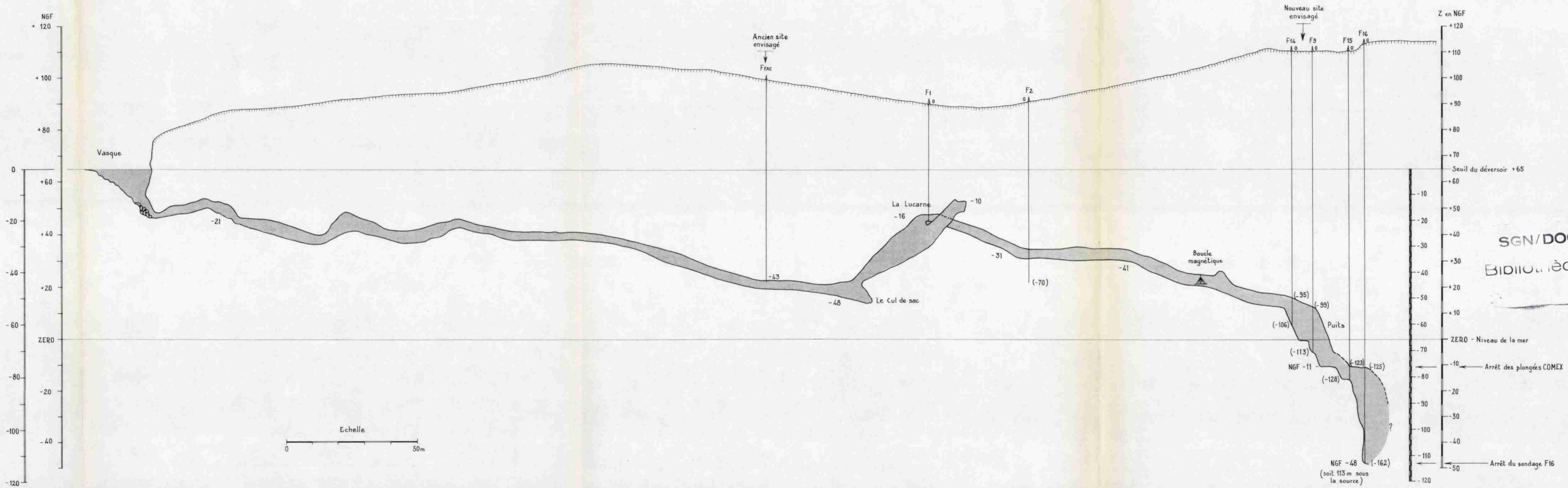
Le fond topographique à l'échelle de 1/500 utilisé, résulte d'un assemblage sur un plan établi en 1975 par la Direction générale des services techniques de la ville de Montpellier (DGF 2350 C du 15 juin 1975) et un plan établi en octobre 1978 par le cabinet Richer de Nîmes (DGF 621 322 du 5 novembre 1978)

Echelle 1/500

B.R.G.M. S.G.R. Languedoc-Roussillon 5 novembre 1978 79 SGN 654 LEO

COUPE DEVELOPEE DU RESEAU SOUTERRAIN DE LA SOURCE DU LEZ

CHEMINEMENT RELEVE PAR LA COMEX - SITUATION DES FORAGES AYANT RECOUPE LE RESEAU
SITUATION DE LA BOUCLE MAGNETIQUE UTILISEE POUR LE REPERAGE EN SURFACE



REPERAGE DU PASSAGE DE LA GALERIE KARSTIQUE DE LA SOURCE DU LEZ
PAR METHODE ELECTROMAGNETIQUE

La détermination de l'aplomb en surface d'un point d'une galerie ou d'une cavité accessible, mais difficilement repérable, peut s'effectuer par l'utilisation d'une méthode électromagnétique mise au point par le BRGM.

Une boucle horizontale de faible diamètre devant l'épaisseur du recouvrement est mise en place dans la galerie ou cavité que l'on désire repérer ; on fait passer un courant alternatif dans cette boucle et lorsque la fréquence du courant est choisie suffisamment basse pour que le produit :

$$\gamma h = \sqrt{\mu \omega \sigma} h$$

(γ : constante μ : perméabilité du milieu ω : pulsation du courant
 σ : conductivité du recouvrement h : épaisseur du recouvrement)

soit très petit devant l'unité, la boucle se comporte comme un dipôle magnétique oscillant. Les mesures des composantes horizontales et verticales du champ magnétique induit permettent de connaître la position du centre de la boucle.

La détection du signal émis se fait à l'aide d'un ensemble réception MELIOS (magnéto-électrique par ondes de surface).

Cette méthode avait déjà été utilisée avec succès par le BRGM pour le repérage de parties exondées de réseaux karstiques noyés et que l'on désirait rendre accessibles par des travaux appropriés en amont de leurs exutoires : ce fut notamment le cas pour le réseau de PORT-MIOU dans les Bouches-du-Rhône (travaux effectués dans le cadre du syndicat de PORT-MIOU par le BRGM et la Société des eaux de Marseille) et pour le réseau du RUPT-DU-PUITS dans la Meuse (travaux effectués par le BRGM pour le compte de la Direction départementale de l'Agriculture).

Dans le cas du réseau de la source du Lez, compte tenu du point que l'on désirait reconnaître (zone du puits), la mise en oeuvre de la méthode apparaissait plus délicate car la boucle émettrice devrait être installée en galerie noyée, à grande distance de l'entrée (500 mètres), à une profondeur notable sous le niveau de la source (environ 50 mètres) et sous une épaisseur importante de terrain (environ 100 mètres).

Après examen préalable, il fut décidé que l'on utiliserait une boucle de 3 mètres de diamètre constituée de 30 spires. Elle serait supportée par un porte-boucle démontable (cf. photo) pour faciliter le transport et la mise en place par les plongeurs. Son alimentation serait assurée par un câble à 2 conducteurs empruntant un forage recoupant la galerie et permettant ainsi d'obtenir une alimentation suffisante avec une section - et donc un poids - acceptable.

La boucle et son support furent ainsi placés les 1er et 2 octobre 1979 par les plongeurs de la COMEX en un point situé à environ 25 à 30 mètres à l'aval du som-

met du puits constituant l'objectif de la recherche (cf. planche 1) : le porte-boucle fut fixé à la voûte de la galerie (cf. planche 2), la largeur de celle-ci n'excédant pas 4 mètres. Cet emplacement se trouvait à 40 mètres sous le niveau du déversoir de la source (soit, en fait, à environ 35 mètres lors de la réalisation de l'opération en raison des pompages opérés dans la vasque et des rabattements qui en résultaient) et à près de 80 mètres sous la surface topographique.

Le câble fut mis en place et relié à la boucle le 3 octobre en utilisant le forage F1 (exécuté le 1er octobre) ce qui permit de réduire sa longueur à 150 mètres environ (impédance de l'ensemble : 28 ohm) : il était alimenté par un générateur de courant alternatif de fréquence variable.

La partie réception (ensemble MELOS) comprenait un capteur de champ magnétique horizontal et vertical délivrant une tension proportionnelle au flux du champ traversant la bobine, et qui est lue sur un voltmètre, après amplification et filtrage.

Le relevé de l'ensemble de la galerie, effectué antérieurement par l'équipe des plongeurs, a permis d'implanter en surface un premier profil de mesures, approximativement perpendiculaire à l'axe de la galerie (profil A) (cf. planche 1).

Le long d'un profil de mesure, la valeur de la composante verticale Hz doit passer par un maximum, à l'aplomb de la boucle. La symétrie du champ magnétique par rapport à l'axe vertical de la boucle permet, avec les mesures des composantes horizontale Hx et verticale Hz, de connaître la direction du plan contenant la station de mesure et l'axe de la boucle en cherchant la direction pour laquelle Hx s'annule (goniométrie).

Les directions obtenues en différents points de mesure déterminent un triangle ou chapeau.

Les mesures ont été faites à deux fréquences, 35 et 70 Hz, et avec un pas de 5 m ; trois profils A, B et C ont été suffisants pour localiser en surface la situation de la boucle ; l'ensemble des mesures s'est étalé sur 3 jours (3 au 5 octobre 1979).

Les valeurs maximales de la composante Hz sur les profils se sont réparties dans un cercle de 8 mètres de diamètre environ dont le centre constitue le point B des plans établis.

Les directions d'extinction de la composante horizontale Hx (flux coupé par la bobine réceptrice verticale) ont déterminé un triangle dont les côtés sont inférieurs à 1 mètre, et situé à 4 mètres au nord-ouest du centre B. Le centre A du triangle est indiqué sur le plan de positionnement des profils (cf. planche 1). On peut estimer que la détermination en surface de l'aplomb du centre de la boucle est faite avec une précision de l'ordre de 5 mètres, qui s'est révélée suffisante pour orienter, dès le 3 octobre, l'implantation des premiers forages de reconnaissance.

J. MAILLARD

Ingénieur géophysicien
du Service géologique régional

CHANTIER DE LA SOURCE DU LEZ

PREPARATION DE L'OPERATION DE REPERAGE PAR GEOPHYSIQUE

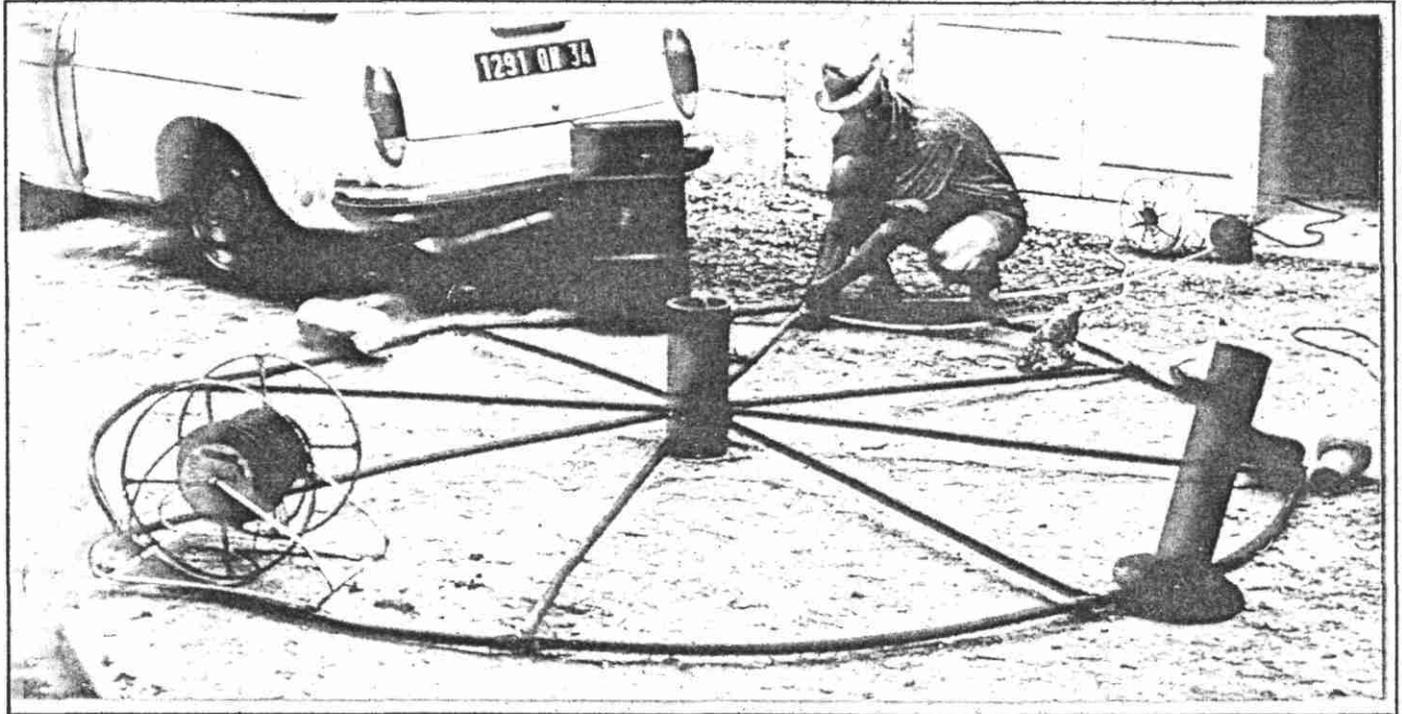


Photo 1:
Confection du support de la boucle
magnétique

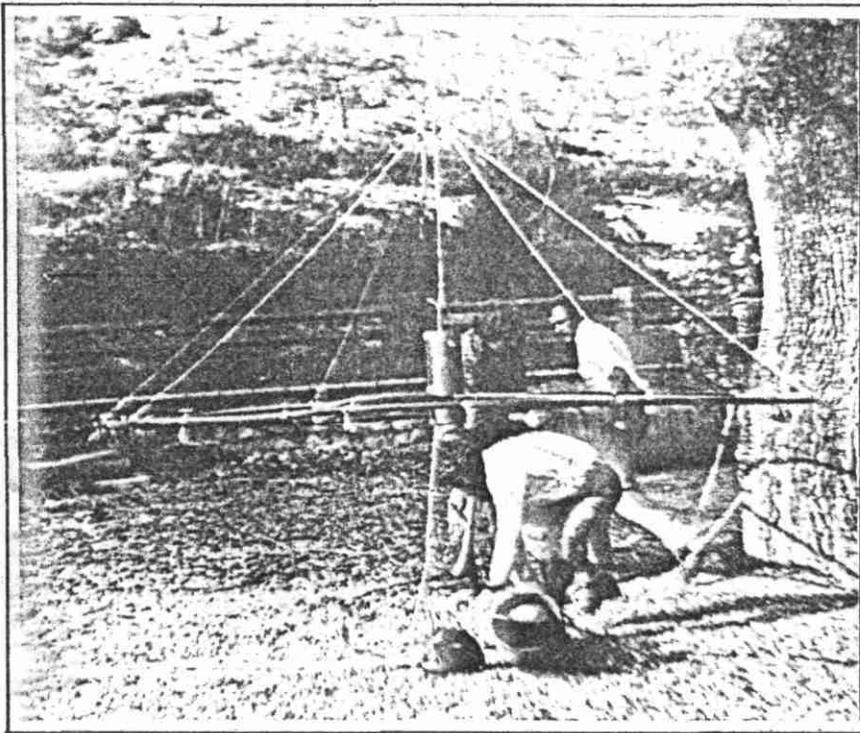


Photo 2:
Montage et réglage du dispositif
"porte boucle"

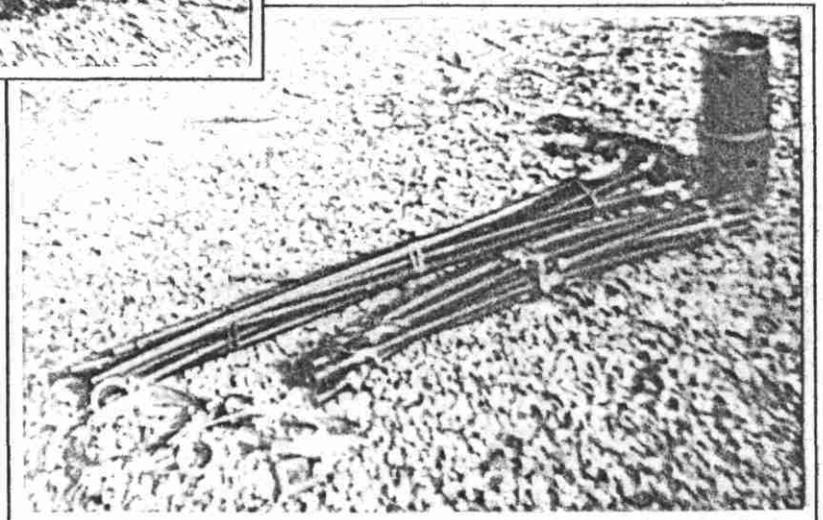


Photo 3 :
Dispositif "porte boucle" replié
pour le transport dans le réseau
souterrain

FORAGES EXECUTES SUR LE SITE DU RESEAU SOUTERRAIN DE LA SOURCE DU LEZ DURANT LE MOIS D'OCTOBRE 1979

Bibliographie

N° forage	Entreprise	Hauteur du repère au-dessus du sol	Altitude*		Prof. totale	Date d'exécution	Caractéristiques d'exécution	Observations
			Repère	Sol				
F1	BONIFACE	0,28	92,35		46	01/10/79	Marteau de fond Ø 165 mm	Vide de -42 à -46 (galerie de la Lucarne) (Passage humide à -25).
F2	BONIFACE	0,13	94,53	94,40	70	02-03/10/79	Marteau de fond Ø 165 mm	Vide de -23 à -26 et perte d'air entre -56 et -57. Communication avec galerie par débouillage vers -65.
F3	FORAGES DU LITTORAL	1,27	109,17	107,90	117	03-04/10/79	Marteau de fond Ø 165 mm	1ère venue d'eau à -60. 2ème venue d'eau à -90 (débit supérieur à 50 m ³ /h).
F4	FORAGES DU LITTORAL	0,48	109,65	109,17	124	05-06/10/79	Marteau de fond Ø 165 mm	Passage humide à -40. Zone faillée à -60 (débit 2 à 3 m ³ /h). Roche plus massive à partir de -80 (fissure à -80). Entre -117 et -122, eau rougeâtre (débit 20 à 25 m ³ /h). De -122 à -124, fissure remplie d'argile et le débit passe à environ 80 m ³ /h.
F5	FORAGES DU LITTORAL	0,44	109,97	109,53	120	08-09/10/79	Marteau de fond Ø 165 mm	Eau à partir de -61,5 (à -72, eau rouge). Zone très faillée à partir de -80 ; sortie d'air à F4. Débit à -120 de 100 m ³ /h environ.
F6	BONIFACE	1,44	109,02	107,58	120	08-09/10/79	Marteau de fond Ø 165 mm	Fissure entre -100 et -110 avec ressortie de l'air sur F4 et F5. Débit important.
F7	FORAGES DU LITTORAL	0,27	110,69	110,42	125	09-10/10/79	Marteau de fond Ø 165 mm	Passage humide à -84. Venue d'eau à -86 (20 m ³ /h). Forte arrivée d'eau à -117 (débit de 100 m ³ /h environ : eau rouge).
F8	BONIFACE	0,20	111,59	111,39	126	09-10/10/79	Marteau de fond Ø 165 mm puis marteau de 110 mm	Eau à partir de -60 (faible débit). Venue d'eau à -85 (20 m ³ /h) et forte arrivée à -112 (100 m ³ /h environ) (eau successivement claire et trouble par débouillage).
F9	FORAGES DU LITTORAL	0,23	111,96	111,73	113	10-11/10/79	Marteau de fond Ø 165 mm Tricône à partir de -96	Sec de 0 à -95. Vides de -95 à -95,5 (arrivée d'eau blanche, perte d'air). Débit à -98 : 50 m ³ /h. Très fissuré entre -98 et -99. A -99, chute d'outil et perte d'eau (vide karstique très important). De -99 à -110, descente libre. De -110 à -114,5, descente sur paroi (fond non atteint). Expérience de traçage.
F10	BONIFACE	0,06	113,93	113,87	126	10-11/10/79	Marteau de fond Ø 165 mm	Perte d'air à partir de -40 (aucune remontée jusqu'au fond du trou). Trou utilisé pour l'alimentation en eau du forage carotté F11 et traçage sur F13
F11	BONIFACE	0,32	112,53	112,21	62	13-15/10/79	Carottier Ø 135 mm pour carottes de 76 mm	Carotté sur toute la hauteur (de -2 à -62) : environ 90% de récupération. (cf. résultats des essais géomécaniques en annexe 4).
F12	BONIFACE	0,08	103,09	103,01	105	16-17/10/79	Marteau de fond Ø 170 mm	Foration totale dans remplissage argileux jaune avec blocs plus nombreux vers le fond. Eau à partir de -80. Débit en fin de trou ≠ 50 m ³ /h.
F13	BONIFACE	0,08	104,09	104,01	150	18-19/10/79	Marteau de fond Ø 170 mm Tricône à partir de -100 (Ø 115 m)	Eau à partir de -82. Venue importante à partir de -100. Très fort débit à partir de -130 après rencontre d'un vide de 1 m avec remplissage (Q = 150 à 200 m ³ /h). Expérience de traçage.
F14	BONIFACE	0,21	111,33	111,12	106	22/10/79	Marteau de fond Ø 170 mm	A -95, chute d'outil et perte d'eau (vide de -95 à -106). Perte d'air à -61. Première venue d'eau à -68.
F15	BONIFACE	0,16	111,86	111,70	128	23-24/10/79	Marteau de fond Ø 170 mm	Vide de -123 à -128. Perte d'air à -86 (fissures de -86 à -87 avec remplissage ; eau très trouble à -99. Entre 110 et 112 m, fortes venues d'eau.
F16	BONIFACE	0,21	113,62	113,41	162	24-27/10/79	Marteau de fond Ø 170 mm. Tricône à partir de -90 (Ø 115 mm)	Vide de -125 à -162. 4 m de tubage de protection en tête (PVC). Venue d'eau importante et trouble à partir de -90. Un échantillon de vase, extrait du fond et ramené par l'outil, a été examiné du point de vue micropaléontologie (cf. annexe 3).

Longueur totale de foration : 1 802 m

* D'après nivellement du Cabinet RICHER.

CHANTIER DE LA SOURCE DU LEZ

PRINCIPALES DONNEES COMPLEMENTAIRES RECUEILLIES EN OCTOBRE 1979
SUR LES CONDITIONS GEOLOGIQUES DU SITE

Les nombreuses études consacrées à l'hydrogéologie du bassin et de la source du Lez en ont longuement décrit le cadre géologique dont les grandes lignes peuvent être ainsi résumées (cf. figure jointe).

- l'exurgence, sur le plan local, se situe dans une zone anticlinale faillée, de calcaires du Jurassique terminal-Crétacé inférieur, légèrement surélevée par rapport à deux bassins adjacents, à remplissage tertiaire imperméable, celui des Matelles au Nord-Ouest, et d'Assas au Sud-Est.

- le secteur de la résurgence est constitué par une série de couches, régulièrement inclinées de 25° environ vers le Nord-Ouest, comprenant à la base des calcaires plutôt massifs propices au développement du karst, et vers le haut, des alternances de plus en plus riches en marno-calcaires donc de plus en plus imperméables.

La localisation précise de la source paraît liée en outre à un accident, la Faille de la source, qui abaissant de quelques dizaines de mètres son compartiment oriental met en contact les calcaires massifs de la source avec des calcaires plus argileux.

Le compartiment occidental dessiné, au voisinage de la faille, une amorce de pli ou "crochon de faille" à pendages faibles et souvent perturbés, dont l'axe passe à l'aplomb de la résurgence.

A l'ouest de cet axe, les pendages sont à nouveau réguliers de 25° en moyenne.

L'ensemble du secteur est affecté par une fracturation de diaclases relativement dense et homogène, parallèle à la direction des couches, soit N 20-30°.

A l'occasion des travaux actuels, un certain nombre d'observations nouvelles ont pu être faites :

1/ - A moins de 100 mètres du dernier point reconnu du réseau souterrain, en direction du Nord - Nord-Ouest, s'ouvre à flanc de colline une petite dépression de 10 mètres environ de diamètre, à topographie dissymétrique de "doline". Ce type de dépression, banal dans le contexte des plateaux calcaires mais tout à fait insolite dans ce cadre lithologique et morphologique pouvait être supposé en relation étroite avec le réseau karstique de la source et peut être avec une remontée importante de celui-ci.

Le sondage F12 a montré qu'il s'agissait en fait d'un véritable puits vertical puisque sur les 105 mètres forés, il n'a rencontré qu'un remplissage argilo-sableux jaune avec blocs calcaires d'assez petite taille, de plus en plus nombreux vers le fond, sans avoir touché la roche en place.

La comparaison des cotes du fond du conduit souterrain avec les horizontales d'un plan de stratification montre que le conduit se conforme en moyenne à la stratification et qu'à moins d'une remontée improbable il devrait se situer à l'aplomb de la doline, vers 140 mètres au-dessous du niveau de la source, soit à plus de 180 m sous la surface topographique.

L'examen microscopique d'un échantillon prélevé au fond du sondage F16 dans la zone du futur captage, a révélé l'existence de fossiles peu remaniés, d'âge Tertiaire. Ce matériel pourrait être en relation avec le colmatage du puits de la "doline" qui pourrait ainsi être d'âge Tertiaire (ce point méritera d'être précisé).

2/ - Le long du bord Ouest de la "doline", une zone fracturée à calcite abondante et perturbation de pendage peut être suivie sur quelques centaines de mètres en direction Nord-Sud. Elle ne semble pas toutefois se manifester par un rejet important des couches mais a pu jouer un rôle dans le développement du réseau ou dans la localisation du puits de la "doline".

3/ - Immédiatement à l'Ouest, d'autres indices de fracture jalonnent l'ancien chemin du "Moulin de Laffoux", tels que miroirs de faille, filonnets de calcite et, plus étonnant, un petit filon de roche basaltique qui peut être mis en relation régionalement avec les manifestations volcaniques de Montferrier et souligne l'importance de cette zone de fractures.

B. ALABOUVETTE
Ingénieur géologue-cartographe
du Service géologique régional

EXAMEN MICROPALÉONTOLOGIQUE D'UN ÉCHANTILLON EXTRAIT DU FOND DU FORAGE F16

LITHOPHASE :

- Esquilles de calcaires fins, plus ou moins argileux, gris à beige : TA
- Calcite spathique hyaline : C
- Quartz détritique roulé : AR
- Pyrite : AR
- Micas : C

BIOPHASE :

- 1/ Débris de Gastéropodes et Ostracodes à test mince et d'aspect très frais : R
- 2/ Très petite microfaune faite de Spirillina sp, Trocholina sp, Dentalina sp.
+ Spicules de Silicisponges : AR
+ Echinodermes en fragments abimés : AR

- Les Trocholines, Spirillines, Dentalines, paraissent issus des calcaires argileux gris. Idem pour les Spicules, les Echinodermes et probablement les quartz et micas. Les Trocholines, non déterminables, donnent une fourchette d'âge comprise entre Jurassique supérieur et Crétacé inférieur.

- Gastéropodes et Ostracodes, en fonction de leur aspect, sont d'âge "récent", c'est-à-dire guère antérieurs à l'Oligocène et appartiennent à un biotope laguno-lacustre ou faiblement marin.

2 hypothèses :

1) - Gastéropodes et Ostracodes sont des retombées de cuttings. L'âge du niveau est Jurassique supérieur ou Crétacé inférieur.

2) - Un Tertiaire élevé, peu ou pas marin, remanie des calcaires plus ou moins argileux, marins, d'âge Jurassique supérieur à Crétacé inférieur.

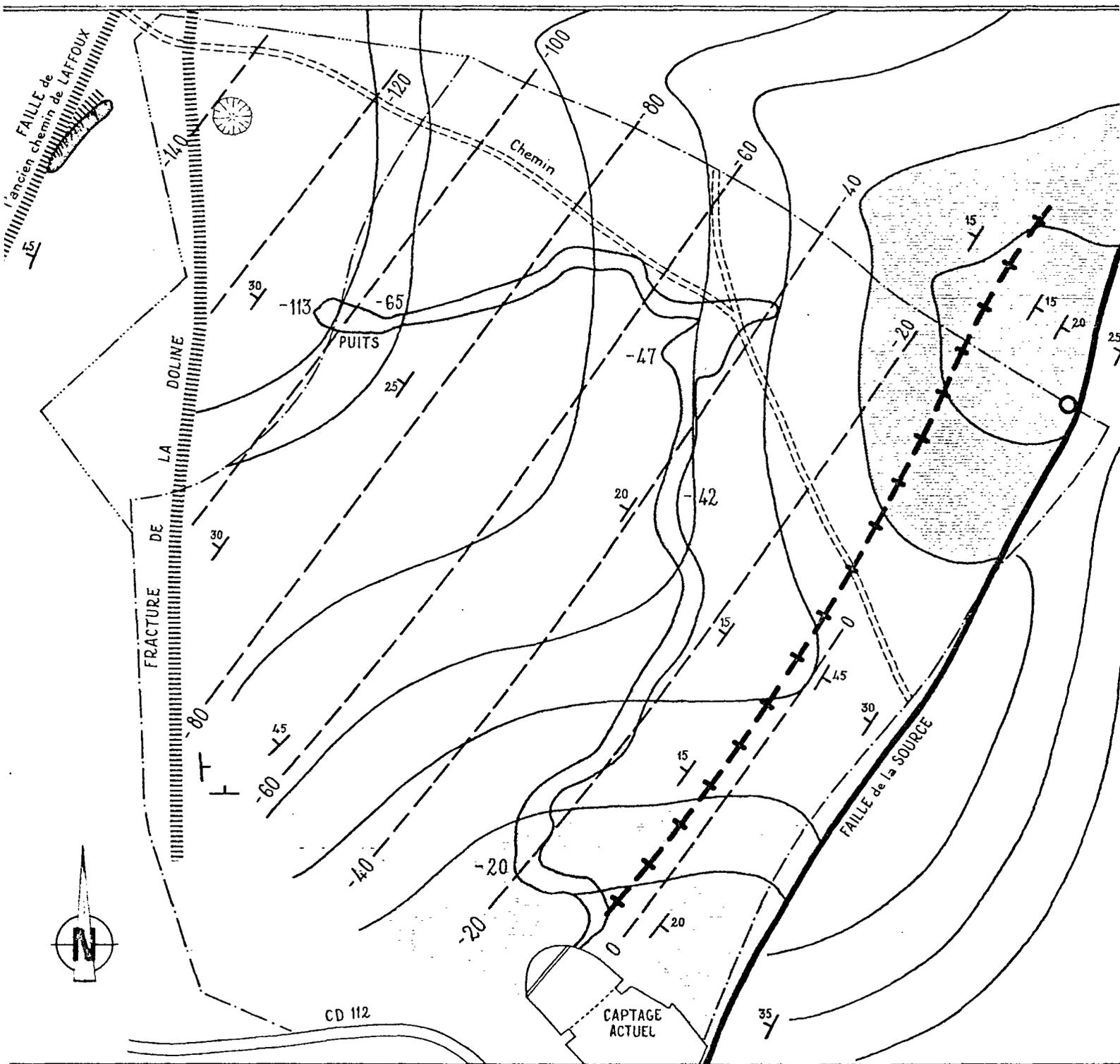
La haute fréquence des calcaires observables sur résidu par rapport aux organismes "frais", irait dans le sens de la première hypothèse, mais sans certitude.

Orléans, le 30 septembre 1979

C. MONCIARDINI

PRINCIPALES DONNEES COMPLEMENTAIRES
RECUEILLIES EN OCTOBRE 1979 SUR LES CONDITIONS
GEOLOGIQUES DU SITE

Echelle approximative 1/2000



- | | | | |
|--|---|--|--|
| | Zone d'affleurement des calcaires massifs | | Filon de basalte |
| | Trace des couches géologiques | | Pendage en degrés |
| | Plan de stratification théorique passant par la source et matérialisé par ses horizontales (cote de référence: niveau du déversoir) | | Tracé du conduit souterrain et cote du fond (référence: niveau du déversoir) |
| | Faïlle avec rejet important | | Doline |
| | Fracture ou zone fracturée | | Perte temporaire |
| | Axe de plissement (crochon de faille) | | Périmètre immédiat de protection: { 1. Ancien tracé
2. Extension projetée |

BRGM
SGR/LANUEDOC-ROUSSILLON

CHANTIER DE LA SOURCE DU LEZ

ESSAIS EFFECTUES A LA DEMANDE DU CABINET MERLIN
SUR LE FORAGE N° 11 EXECUTE LES 13 et 14 OCTOBRE 1979
(carottage de - 2 à - 62)

10 échantillons

Nature lithologique : calcaire plus ou moins marneux (Age : Crétacé inférieur)

Essais effectués : mesure de résistance à la compression (carotte de 76 mm de diamètre et 150 mm de hauteur) et densité humide.

RESULTATS :

N° carottes	Profondeur tête	Profondeur pied	RC en MP*	γ_H^{**}
1	9,75	10,00	84,4	2,65
2	19,15	19,36	143,3	2,66
3	30,00	30,18	94,3	2,65
4	34,60	34,80	56,4	2,64
5	40,50	40,73	120,6	2,67
6	44,00	44,24	132,7 114	2,67 2,68
7	48,10	48,33	délitage - (pas de mesure)	
8	51,73	52,00	66,2	2,64
9	55,77	56,00	41,2	2,64
10	60,05	60,25	99,5	2,66

* RC : résistance à la compression simple exprimée en Méga Pascal

** γ_H : densité humide

Les échantillons carottés (60 mètres environ) dans ce forage (F11), sont conservés au Service géologique régional Languedoc-Roussillon du BRGM.

S.A.R.L. NORIA INGENIERIE
5, rue Jean Prévost
38000 GRENOBLE
(Tel. (76) 87.54.51)

Bibliothèque

SOURCE DU LEZ

RAPPORT DE TOPOGRAPHIE
DE LA CAVITE SOUS FORAGE F9

INVESTIGATION PAR ECHO-SONDAGE
(Campagne de mesures effectuée les 17 et 18 octobre 1979)

RESUME :

L'étude de la topographie de la cavité karstique située sous le forage F9 du site du LEZ à une profondeur de 99 m environ (soit environ à la cote - 13 NGF) s'est effectuée dans d'excellentes conditions en collaboration avec Monsieur PALOC, directeur du B.R.G.M. de MONTPELLIER.

L'excellente qualité du forage F9 due essentiellement à la compacité des calcaires traversés a permis une mise en place rapide et précise de notre tête de mesure.

Grenoble, le 29 octobre 1979

I PRINCIPE DE LA MANIPULATION

GENERALITES

Le problème est de déterminer la topographie d'une grotte immergée à partir d'un forage vertical unique y débouchant. La solution retenue repose sur la mesure des distances par écho-sondage. Une tête de mesure ou capteur placé au bout d'un train de tiges permet de mesurer avec grande précision la distance de l'axe du forage à un point quelconque de la paroi situé dans le même plan horizontal que le capteur. Ainsi en faisant tourner le capteur, peut-on déterminer des coupes horizontales de la grotte. Et en manoeuvrant verticalement le capteur à orientation constante on obtient des coupes verticales.

PRINCIPE DE L'ECHO-SONDAGE (CAPTEUR)

Le capteur à la double fonction d'émetteur de rayonnement ultrasonore et de récepteur des échos réfléchis de l'émission. Le temps séparant l'émission de la réception d'un écho est directement proportionnel à la distance séparant l'émetteur de la paroi réfléchissante (ceci parce que la vitesse de propagation d'une onde sonore dans l'eau est constante pour des conditions de température et de pression données exemple : à $T = 15^{\circ}\text{C}$ et $P = 1\text{atm}$ $a = 1507\text{m/s}$)

On a alors : $d = \frac{1}{2} a \cdot t$ avec : d distance à la paroi
 a célérité du son dans l'eau
 t décalage de temps mesuré

Dans la manipulation sur le site du LEZ le capteur était installé selon le schéma de la figure I .

MISE EN OEUVRE

Si le principe théorique de l'écho-sondage est simple sa mise en oeuvre en est assez délicate et ce pour diverses raisons que nous allons exposer.

En effet la puissance de l'émission et la sensibilité de la réception doivent être modulées en fonction essentiellement de la distance à la paroi et de l'orientation de celle ci.

Figure 1

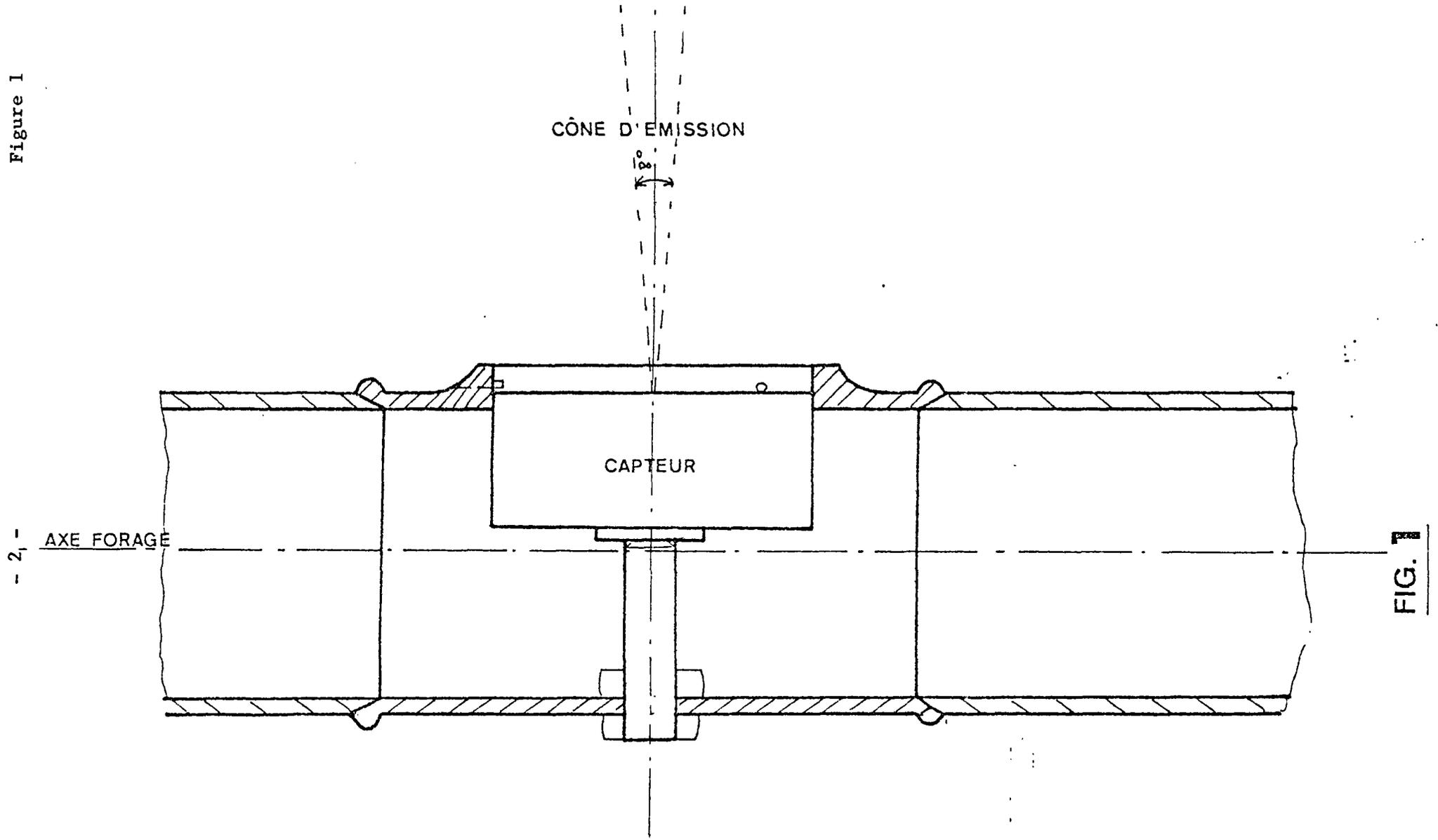


FIG. 1

Car à faible distance une forte émission engendrerait de nombreuses réflexions parasites, donc de nombreux échos sans valeur bien que très puissants, de même une émission à grande incidence sur une paroi aurait un écho trop faible.

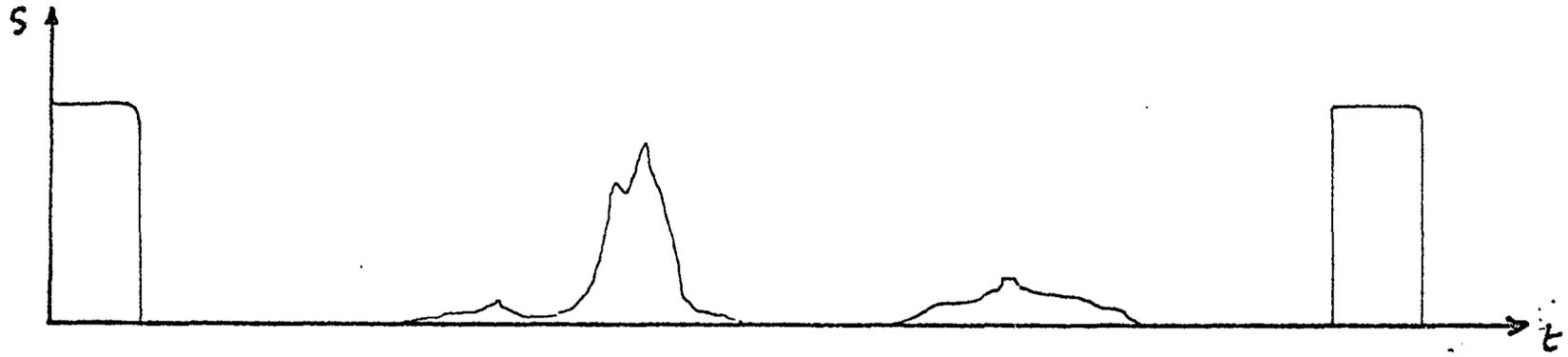
Il apparaît donc nécessaire pour la conduite des mesures de visualiser complètement le signal écho amplifié et intégré afin de régler au mieux l'émission et la réception. Ceci étant fait il est alors possible d'isoler et d'interpréter le ou les échos fondamentaux qui représenteront alors la mesure exacte. (On peut en effet avoir plusieurs échos vrais pour une même orientation du capteur, du fait même que l'émission se fait selon un cône de 8° d'angle dans notre cas).

La visualisation du signal échos sur un oscilloscope est particulièrement adaptée à un tel travail. La figure 2 donne des exemples d'oscillogrammes montrant la netteté des échos obtenus.

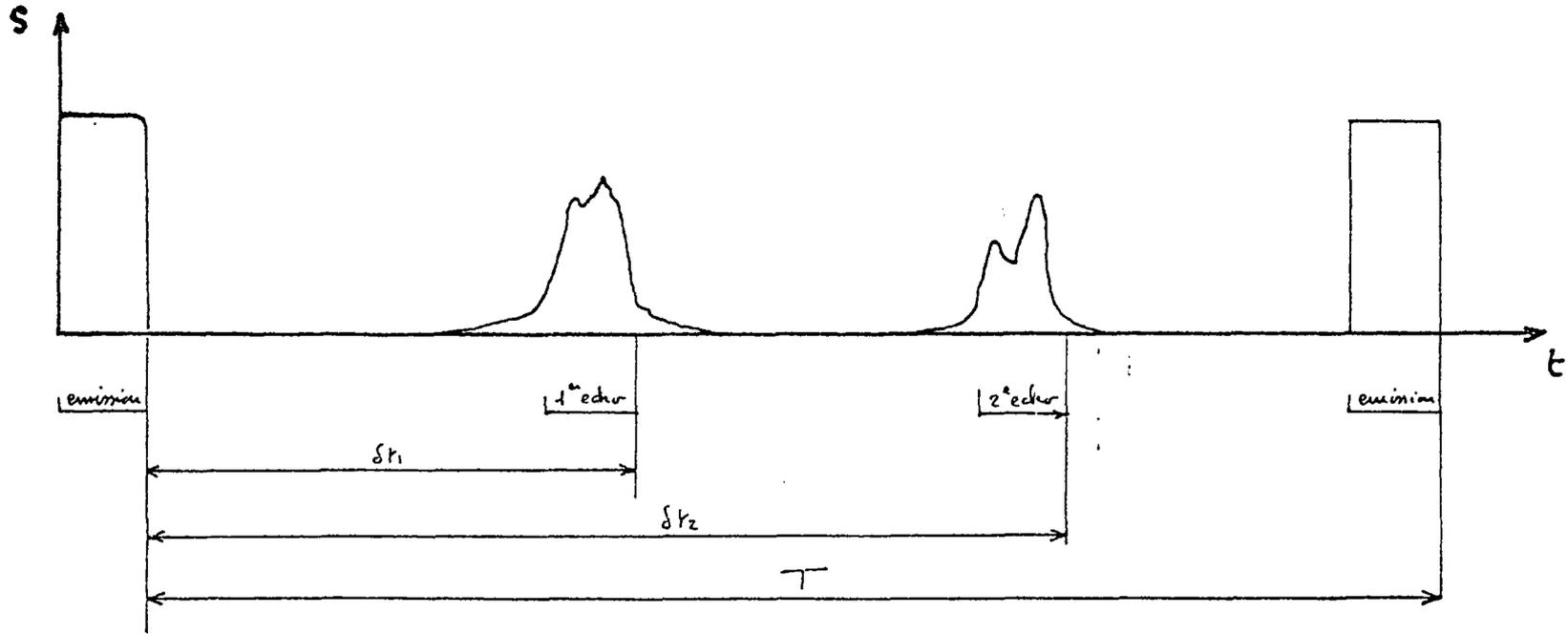
FIG.: 2

Figure 2

a



b



II RESULTATS

- a- Listing des points de mesures rapportés à une direction arbitraire.
 - ESSAIS 00 à 05 Hz (coupe horizontale) (pp. 7 à 12)
 - COUPE VT (coupe verticale suivant une orientation fixe) (p. 13)
- b- Topographie à l'échelle 1/100 ème des coupes horizontales. (p. 14).
- c- Topographie à l'échelle 1/100 ème de la coupe verticale (p. 15)

III REMARQUES SUR LA PRECISION DES MESURES

ERREUR SUR LA MESURE DE DISTANCE

- Erreur due à la méthode de mesure : L'erreur introduite par l'utilisation des ultrasons provient essentiellement des conditions particulières de température et de pression.

Les paramètres interviennent directement sur la valeur de la célérité du son, a :

$$a = a_0 + f1(T) + f2(P) \quad a_0 = 1449,14 \text{ m/s}$$

$$f1(T) = 4,57 \times T - 0,045 \times T^2 \quad (T \text{ en Kelvin})$$

$$f2(P) = 0,16 \times P \quad (P \text{ en kgf/cm}^2)$$

Les corrections correspondants n'ont pas été calculées. L'erreur induite sur la mesure s'élève à :

- 1,5 % si la temperature de l'eau était de 10° C au moment de la mesure.
- 3 % si la temperature de l'eau était de 5° C au moment de la mesure.

- Erreur de lecture : L'erreur de lecture sur l'enregistreur est estimée à 20 cm environ.

Certaines valeurs ont été vérifiées par lecture sur l'oscillogramme. La précision est améliorée jusqu'à 5 cm.

ERREUR SUR L'ORIENTAION DE LA MESURE

- Erreur relative :

Pour une section horizontale donnée l'erreur se réduit à l'erreur de lecture du rapporteur en surface. Soit : ± 2° par rapport à la direction 0° arbitraire choisie comme référence de cette section.

- Erreur absolue

La direction de référence choisie pour une tranche a été définie par la prise d'un repère angulaire sur chaque tige au moment de la descente.

En supposant une erreur absolue maximale de 1° par tige (épaisseur d'un trait) l'erreur angulaire de positionnement du capteur en haut du forage sera de 40° au maximum (40 tiges).

Nous estimons donc que si les coupes Hz 00 à Hz 05 ne présentent entre elles qu'un décalage en rotation de 1 à 3° maximum l'orientation générale de la topographie ne peut en aucun cas être fournie avec une précision meilleure qu'à 40° près.

Le recalage angulaire de l'ensemble ne pourra être effectué correctement qu'à l'aide d'une mesure d'orientation (sur une coupe verticale de grande dimension en liaison avec un compas magnétique par exemple).

NOTA : ON peut cependant admettre que, statistiquement les erreurs de positionnement des tiges se compensent en partie, diminuant ainsi l'erreur d'orientation.

IV CONCLUSION

A l'issue de cette campagne d'essai sur le site du LEZ, nous avons pu obtenir avec une bonne précision la topographie interne de la cavité karstique sous forage F9. Cependant l'orientation générale de celle-ci est déterminée avec peu de précision.

La Société NORIA INGENIERIE met actuellement au point un système d'orientation (précis au degré près) du capteur afin de compléter l'équipement utilisé au LEZ et ainsi parfaire la mesure.

ESSAI 02 HZ

COTE -106.50 (NGF + 5,50)

L'origine 0° est à 18° EST du Nord magnétique.

Orient.	Dist.	(m)							
10°	7.2							320°	11.4
2	7.1							33	8.3 - 9.3 - 10.
3	7.0	8.0						34	9.3
4	5.8							35	7.3
50°	5.7							360°	7.1
6	5.5	4.2							
7	2.3								
8	1.7								
9	1.6								
100°	1.5								
11	1.5								
12	1.4								
13	1.4								
14	1.4								
150°	1.5								
16	1.6								
17	1.7								
18	2.0								
19	2.5								
200°	2.9								
21	4.1								
22	4.7								
23	5.5								
24	7.2								
250°	8.0								
26	12.8								
27	12.4								
28	12.7								
29	12.4	13.6							
300°	13.5								
31	9.0	12.3							

ESSAI 04 HZ

COTE -110,50 (NGF +1,50)

L'origine 0° est à 18° EST du Nord magnétique.

Orient.	DIST. (m)							
10°	6.4						320°	11.10
2	4.8						33	8.5
3	3.7						34	7.1
4	0.2						35	6.5
50°	0.2						360°	6.3
6	"							
7	"							
8	"							
9	"							
100°	"							
11	"							
12	"							
13	"							
14	"							
150°	"							
16	"							
17	"							
18	"							
19	"							
200°	0.2	0.8						
21	0.2	1.0						
22	1.7							
23	2.9	3.8						
24	5.5							
250°	8.2							
26	9.2							
27	13.5							
28	13.3							
29	13.2							
300°	13.0							
31	11.9							

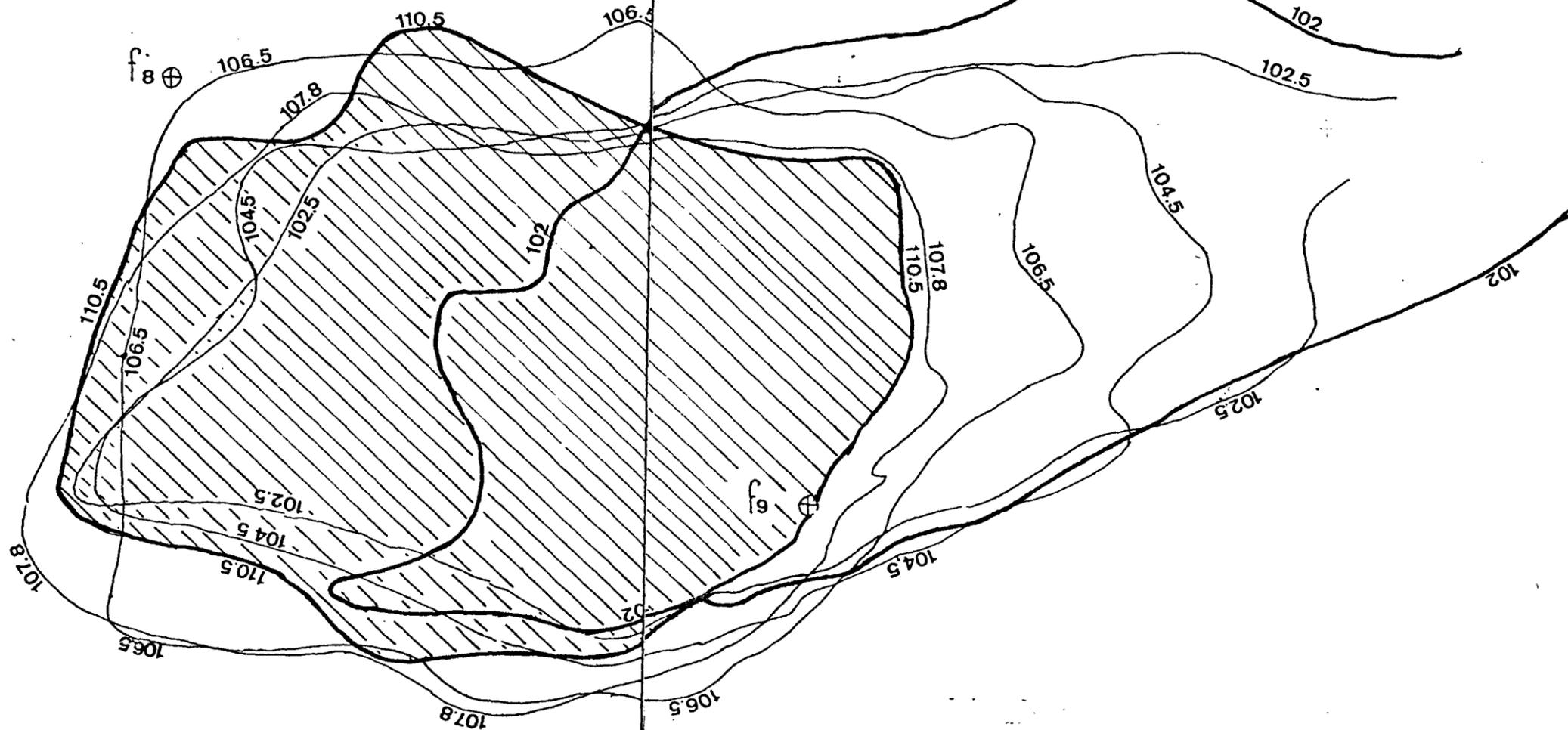
ESSAI COUPE VERTICALE 160° VT

COTES -108.80 à -100.00 (NGF + 12.00 à + 3.20)

L'origine 0° est à 18° EST du Nord magnétique.

La coupe est orientée au *160° (soit 178° EST / Nm)

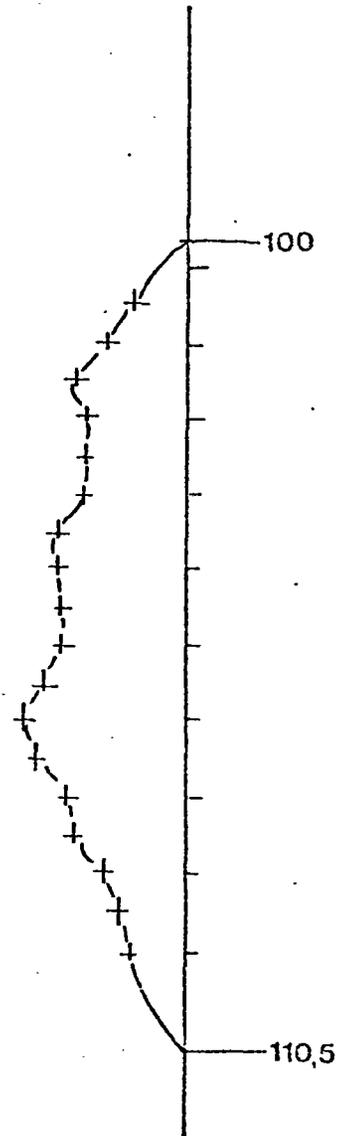
	d.h. (m)	Dist. (m)	Cote (NGF -113) (m)	
1	+0.00	0.7	-108.80	
2	+0.50	0.9	-108.30	
3	+1.00	1.1	-107.80	
4	+1.50	1.4	-107.30	
5	+2.00	1.5	-106.80	
6	+2.50	1.9	-106.30	
7	+3.00	2.1	-105.80	
8	+3.50	1.8	-105.30	
9	+4.00	1.6	-104.80	
10	+4.50	1.6	-104.30	
11	+5.00	1.7	-103.80	
12	+5.50	1.7	-103.30	
13	+6.00	1.3	-102.80	
14	+6.50	1.3	-102.30	
15	+7.00	1.3	-101.80	
16	+7.50	1.50	-101.30	
17	+8.00	1.1	-100.80	
18	+8.50	0.7	-100.30	
19	+8.80	0	-100.00	Plafond de la cavité
20				
21				
22				
23				
24				
25				
26				
27				
28				
29				
30				
31				



SOURCE DU LEZ

SECTIONS DU PUIITS

Désignation des Modifications		Indice	Date
Mat.:	Ech.: 1/100	Nbre:	
NORIA INGENIERIE		Date:	17 / 10 / 79
Echo Sondage f9		N°plan:	
Source du LEZ		Repère:	



Coupe verticale orientée 178° EST/Nord Magnétique.

Désignation des Modifications		Indice	Date
Mat.:	Ech.: 1/100	Nbre:	
NORIA INGENIERIE	Date: 17 / 10 / 79		
Echo sondage fg	N°plan: 1/1		
Source du LEZ	Repère:		

OPERATION DE RECONNAISSANCE DU VIDE KARSTIQUE
RENCONTRE PAR LE FORAGE F9

(TRAVAUX CONDUITS PAR NORIA-INGENIERIE ET HYDROKARST les 17 et 18 septembre 1979)

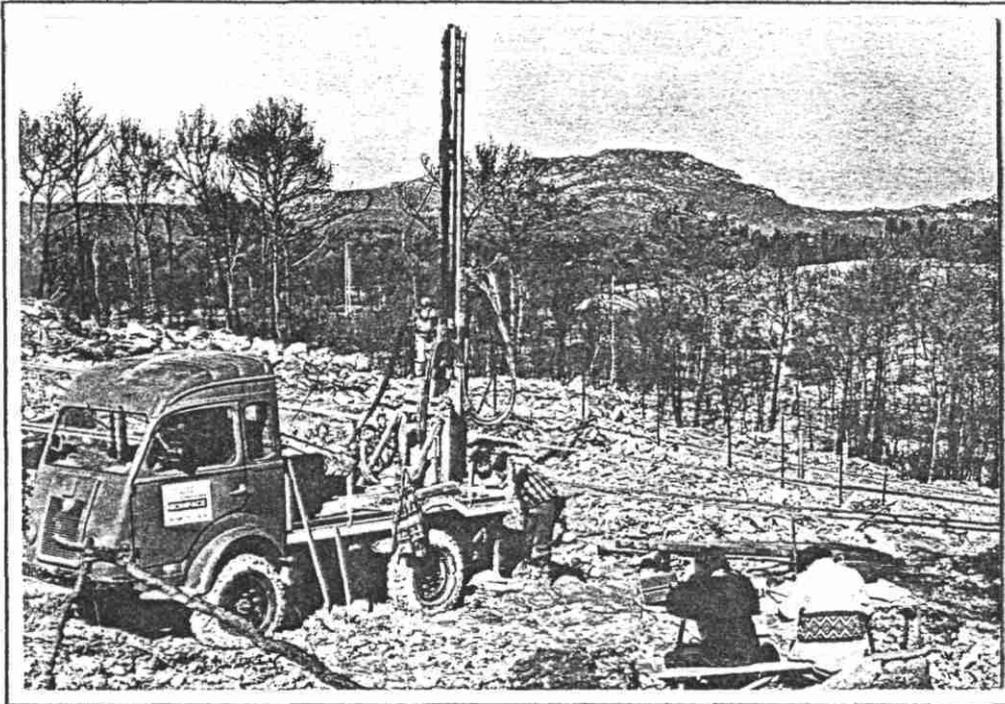


Photo 1 :

L'atelier de sondage utilisé pour la descente du capteur dans le forage F9 et le dispositif de mesures en surface



Photo 2 :

Le capteur (émetteur-récepteur) et son obus de protection

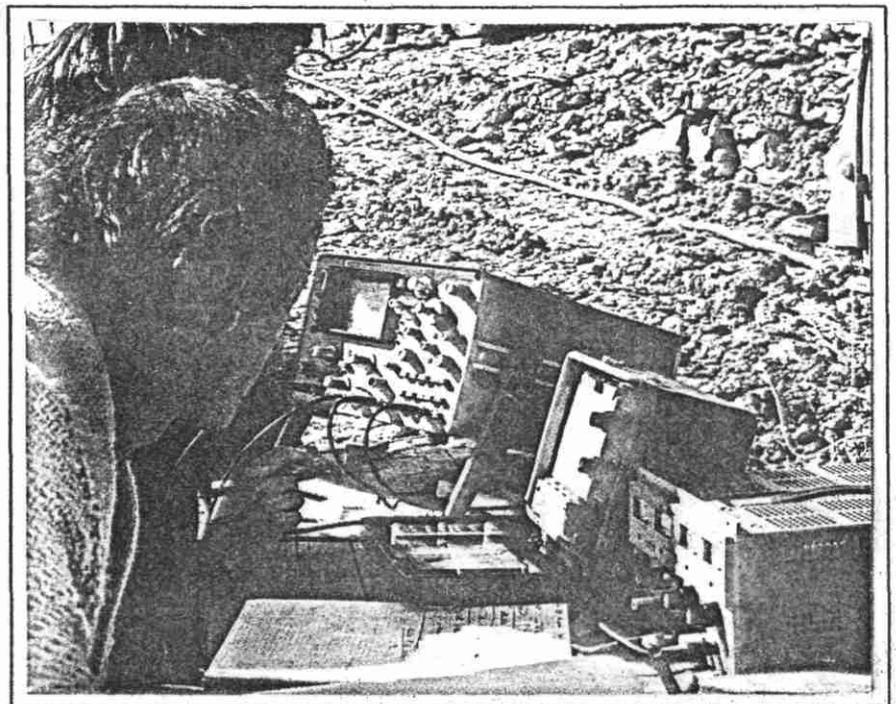
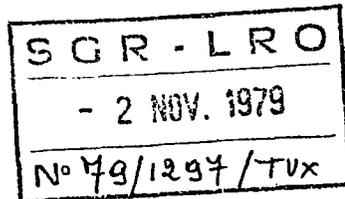


Photo 3 :

Les instruments de mesure en cours d'opération

NORIA INGENIERIE
S.A.R.L. AU CAPITAL DE 20.000 F

SIÈGE SOCIAL :
5, RUE JEAN PRÉVOST
38000 GRENOBLE
TÉL. 87.54.51
~~21.19.22~~



à l'attention de
Mr. PALOC
BRGM 1039 RUE DE PINVILLE
34 000 MONTPELLIER

Monsieur,

Vous trouverez ci-joint le rapport de topographie concernant les premiers essais par echo-sondage horizontal sur le forage F9.

Nous avons d'autre part appris par l'intermédiaire de Mr. Rousset les résultats des derniers forages, F14, F15, F16, que vous avez effectués sur le site du Lez et qui semblent différer de ce que nous laissions supposer par nos relevés.

Ces résultats ne nous semblent pas remettre en cause notre topographie (Cf:chap. III rapport du 29/10) bien qu'apparemment les forages F15 et F16 aient du déboucher plus tôt dans la galerie.

A ce sujet, notre réflexion a porté essentiellement sur le décalage qu'il pouvait exister entre la position en plan des têtes de forage et la position, toujours en plan, des extrémités de ceux-ci, 100 ou 120 mètres plus bas.

Il apparait que, compte tenu des moyens utilisés, la verticalité théorique des appareils de forage ne peut être garantie à moins de 0,5° près, soit, si le forage ne dévie pas, une incertitude de positionnement de l'extrémité de 1 mètre, à 100 mètres de profondeur, par rapport à la verticale de la tête (point inscrit dans un cercle de 2m de diamètre).

A cette même profondeur, et pour deux forages rectilignes, l'erreur de position des deux extrémités par rapport à celle des têtes en surface est comprise entre 0 et 4 mètres. De plus l'hypothèse d'un forage parfaitement rectiligne étant fautive, la fourchette d'erreur est donc supérieure à 4 mètres.

.../...

.../...
Nous pensons donc que les résultats obtenus sous les forages F14.F15.F16, ne sont pas contradictoires avec nos relevés, mais simplement qu'une déviation des forages, difficile à quantifier, aura occasionné cette apparente incohérence.

Nous ajouterons d'une part que les coupes fournies dans notre rapport sont soumises en position absolue à la même incertitude- le point noté F9, fond de forage, étant inscrit dans un cercle de 2m de diamètre centré sur l'aplomb de la tête de forage- et d'autre part qu'une topographie orientée effectuée sur les forages F14.F15.F16. devrait permettre par recoupements de reconstruire la géométrie complète du réseau.

Nous espérons que ces quelques remarques répondront à votre inquiétude et que les prochaines manipulations la dissiperont complètement.

Vous en souhaitant bonne réception, nous vous prions
Monsieur, d'agréer nos sentiments les meilleurs.

F. MONTAGNAT



