

# Sismique et traîne lacustres

Autor(en): **Chapellier, Dominique / Gex, Pierre**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin de la Société Vaudoise des Sciences Naturelles**

Band (Jahr): **74 (1978-1979)**

Heft 355

PDF erstellt am: **22.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-277414>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

BULLETIN N° 239 des Laboratoires de Géologie, Minéralogie, Géophysique  
et du Musée géologique de l'Université de Lausanne

## Sismique et traîné lacustres

PAR

DOMINIQUE CHAPPELLIER et PIERRE GEX \*

*Résumé.* – Les auteurs exposent quelques résultats de sismique réflexion et de résistivité électrique lacustres obtenus lors d'une application à l'étude du lac de Neuchâtel. Le traîné électrique, spécialement conçu et mis en œuvre par l'Institut de Géophysique, fait l'objet d'une description instrumentale plus détaillée.

### I. – *Une application à l'étude du lac de Neuchâtel*

#### INTRODUCTION

Au cours de ces dernières années, nous avons effectué sur le lac de Neuchâtel une série de reconnaissances géophysiques. Ce furent d'abord une dizaine de profils de sismique réflexion, puis, plus récemment, des profils de résistivités électriques.

Le but de nos études était double: il s'agissait, d'une part, d'essayer de comprendre un peu mieux l'histoire d'un lac du pied du Jura; il s'agissait, surtout, de montrer à quel point les mesures sismiques et électriques sont complémentaires lorsque l'on se propose d'étudier le sous-sol d'un lac, d'une rivière ou d'une lagune.

On sait en effet que la sismique est très efficace pour localiser en profondeur le toit ou le mur de telle ou telle couche, mais qu'elle nous apprend d'ordinaire peu de chose quant à la nature lithologique des formations repérées. L'inverse est vrai des mesures électriques; elles fournissent d'excellentes indications sur la lithologie des terrains en présence, mais leur interprétation rigoureuse en termes de profondeur reste souvent difficile.

---

\* Institut de géophysique de l'Université, rue de l'Université 5, 1005 Lausanne.

## LES MESURES EFFECTUÉES

L'exécution des mesures n'a pas été sans difficultés; pour la sismique comme pour l'électricité, nous avons utilisé des prototypes, avec tout ce que cela peut comporter de problèmes.

L'appareillage électrique utilisé, mis au point à l'Institut de Géophysique de l'Université de Lausanne, est décrit à la fin de cet article. Quant à l'appareillage sismique, c'était un «MINI-FLEXICHOC», qui a été perfectionné depuis lors par l'Institut français du Pétrole et la Compagnie générale de Géophysique. C'est d'ailleurs grâce à l'appui des spécialistes de ces deux sociétés que nous avons pu obtenir les résultats sismiques brièvement décrits ci-dessous.

## LES PRINCIPAUX RÉSULTATS OBTENUS

L'examen des *coupe-temps* (abscisses en mètres, ordonnées en millisecondes) et des *profils de résistivités* obtenus met en lumière la structure particulière du lac de Neuchâtel.

Sous la partie sud-ouest du lac, les dépôts quaternaires ont comblé un unique chenal qui constitue un prolongement de la plaine de l'Orbe, mais atteint quelque 300 mètres de profondeur (voir fig. I, II, III).

Plus au nord-ouest, le fond du lac est divisé en deux dépressions par la butte allongée de la Motte. De part et d'autre de cette butte, les dépôts quaternaires emplissent deux chenaux d'importance inégale. En bordure de la rive nord, le chenal principal atteint dans sa partie centrale plus de 300 mètres de profondeur sous le niveau du lac (fig. IV). Devant Colombier, la profondeur de cette dépression diminue alors que son axe s'incurve vers l'est pour se diriger vers Witzwil (fig. V).

Le second chenal, moins important, longe la rive sud du lac dans sa partie centrale.

Les mesures de résistivités permettent de compléter cette image préliminaire. Elles montrent en effet que les deux chenaux décrits ci-dessus sont entaillés presque partout dans la molasse chattienne caractérisée par des résistivités de 25 ohms-m (fig. V). Cependant, le flanc nord du chenal principal est formé de calcaires électriquement résistants (environ 200 ohms-m) entre Derrière-le-Moulin et la Lance (fig. VI). D'autre part, le cœur de la butte de la Motte s'avère constitué par la molasse. On peut s'en assurer sur la figure V, où nous avons représenté à la fois des résistivités mesurées au-dessus de la Motte et les résistivités que l'on aurait obtenues si le fond du lac avait été entièrement constitué par de la molasse. Cette même figure met en évidence, toujours grâce aux méthodes électriques, une nette différence de nature entre le remplissage du chenal sud et celui du chenal principal. Au sud, les terrains quaternaires stratifiés présentent des résistivités moyennes de 37 ohms-m, analogues à celles qui caractérisent les limons sableux de la plaine du Rhône ou de celle de l'Orbe. Dans

le chenal nord, les dépôts non stratifiés présentent des résistivités de l'ordre de 75 ohms-m, qui font penser aux moraines de fond typiques.

Ce même type de dépôt empâte le sommet et le flanc nord de la butte molassique de la Motte.

Le profil de résistivités présenté sur la figure VI permet de localiser sous le lac, entre Cortaillod et Saint-Aubin, la remontée des calcaires du Secondaire, ainsi que l'amincissement progressif de la molasse dont on peut aisément suivre les variations d'épaisseur. Sur cette figure, nous avons représenté, en plus des résistivités mesurées, celles calculées pour le modèle proposé.

### CONCLUSION

Cette première tentative de coordonner les mesures lacustres sismiques et électriques apporte quelques résultats encourageants. Elle mérite certainement d'être poussée plus avant. Lors de nos essais, nous avons dû procéder d'abord aux mesures sismiques, puis ultérieurement aux mesures de résistivités. Ce décalage dans le temps ne va pas sans poser de nombreux problèmes, de repérage en particulier. Lors de prochaines expériences, il sera essentiel que les deux types de mesures se fassent simultanément, à partir du même bateau.

## II. – *Technique du traîné lacustre en grande ligne*

### INTRODUCTION

Le propos de cet article est d'exposer la mise en œuvre du traîné lacustre en grande ligne ( $AB = 1000$  m) et d'en montrer certaines possibilités par une application à un problème de géologie locale.

Nous supposerons connus les principes de la prospection électrique, tout en rappelant brièvement la différence fondamentale entre la technique du sondage et celle du traîné électrique (resistivity profiling). La première, laissant fixe le centre du dispositif de mesure, permet une investigation des terrains vers la profondeur par l'écartement progressif des électrodes d'émission de courant A et B. La seconde, par le choix judicieux d'une longueur de ligne fixée à l'avance, vise à explorer une tranche horizontale de terrain en déplaçant à volonté tout le dispositif AMNB. Développée par E. POLDINI, la technique du traîné n'a jamais connu la faveur des prospecteurs, qui lui préfèrent systématiquement le sondage électrique. Ce parti pris est peu compatible avec la variété des problèmes posés aux méthodes électriques de prospection par résistivité. Depuis près de vingt ans, l'Institut de géophysique de l'Université de Lausanne consacre une partie de ses activités à ces méthodes et l'expérience a montré au cours de

nombreuses études en hydrologie, géologie ou génie civil que sondage et traîné ne sont nullement exclusifs, mais le plus souvent parfaitement complémentaires.

#### GÉNÉRALITÉS

Pour l'utilisateur de ces différentes techniques, la profondeur d'investigation est une notion fondamentale, mais sa définition physique est très vague et l'on se contentera de reprendre une définition empirique et traditionnelle, en disant que la profondeur d'investigation d'un quadripôle SCHLUMBERGER AMNB vaut environ le quart de la distance AB. Cette approximation offre un ordre de grandeur et reste essentielle pour le géophysicien-géologue. Ainsi, si l'on s'intéresse à des structures d'une certaine ampleur, par exemple à l'allure d'un substratum calcaire recouvert de plusieurs centaines de mètres de molasse, il est nécessaire de déployer un dispositif d'une longueur de l'ordre du kilomètre, ce qui est relativement facile pour les sondages électriques dont le centre demeure immobile, mais devient pratiquement impossible pour le traîné dont la mobilité doit rester une caractéristique essentielle.

Les plus grandes longueurs utilisées en traîné lors des études exécutées sur terre par l'Institut excèdent rarement 200 m. Au-delà, les communications entre opérateurs sont rapidement gênées par l'éloignement ou les obstacles de la topographie, et, surtout, la traction nécessaire au déplacement du câble devient prohibitive. Ces difficultés sont réduites à peu de chose lorsque le terrain est remplacé par un plan d'eau, lac ou rivière.

Rappelons que la résistivité des terrains dépendant essentiellement de la quantité et de la qualité de leur eau d'imbibition, il est naturel qu'un lac constitue un excellent «terrain» de prospection électrique. De plus, dans un tel milieu, le relevé continu des mesures est possible grâce à l'immersion des électrodes. Ainsi, la prospection du sous-sol lacustre, dont l'étude géologique est difficile pour des raisons évidentes, devient possible et apporte des observations intéressantes sur la constitution et la morphologie des fonds. L'Institut de géophysique de l'Université de Lausanne a réalisé depuis de nombreuses années plusieurs études sur le lac Léman et sur le lac de Neuchâtel. Sur ce dernier, on a pu mettre en évidence plusieurs anciens deltas ainsi que leurs déplacements au cours du temps (MEYER DE STADELHOFEN et FAVINI, 1968). W. SIGRIST (1974) a consacré une thèse à l'étude géophysique des fonds du Léman, principalement à l'aide d'un traîné sous-lacustre. De nombreux travaux de diplômés ont contribué à l'étude de la côte sud du Léman, révélant ou localisant des structures telles que chenaux graveleux ou contacts de la molasse avec les calcaires préalpins.

A l'étranger, les études électriques lacustres ou marines sont rares. On peut citer par exemple SCHLUMBERGER et RENAUD (1933), ACERBONI et MOSETTI (1966). Ces derniers travaux ne concernent d'ailleurs que des mesures

électriques sous-marines. Cette rareté semble s'expliquer par le fait que l'eau de mer, par sa très faible résistivité (de l'ordre de 0,2 ohm-m) face à celle des terrains sous-jacents, concentre trop fortement les filets de courant dans une tranche d'eau sans intérêt pour le prospecteur. Par suite, les terrains plus profonds ne deviendraient décelables que par un allongement de la ligne d'émission au-delà des limites acceptables. Par contre, l'eau douce des lacs, dont la résistivité atteint quelques dizaines d'ohms-mètre, constitue un excellent «terrain» pour la prospection électrique.

#### BUTS DE L'ÉTUDE

Disposant des résultats de quelques profils sismiques, nous avons voulu montrer à quel point la méthode sismique et la méthode du traîné électrique peuvent être complémentaires pour l'étude du sous-sol d'un lac.

Cette démonstration posait cependant un certain nombre de problèmes techniques. Habités à faire des mesures ponctuelles discontinues avec des traînés ne dépassant pas 500 m de longueur, il nous fallait réaliser un dispositif de 1000 m permettant des mesures continues.

Dans un premier stade, il s'agissait de mettre au point un dispositif électrique complet comprenant une alimentation, les appareils de mesure et d'enregistrement ainsi que le câble de mesure lui-même (AB = 1000 m). L'étape suivante consista en une série d'essais de navigation et de mesures du «bruit» électrique ambiant pour tester le comportement d'ensemble et remédier aux défauts les plus apparents. Enfin, une petite campagne de mesures fut exécutée sur le lac de Neuchâtel, de façon à permettre la comparaison entre les résultats du traîné électrique et ceux obtenus par la sismique sur quelques structures sous-lacustres, telles que le haut-fond de la Motte et le contact entre la molasse et les calcaires.

#### APPAREILLAGE ET MISE EN ŒUVRE

##### *Câble et électrodes*

Le câble de mesure, fabriqué spécialement, pèse avec sa bobine de support près de 200 kg. Sa longueur est de 1000 m et son diamètre de 15 mm. Ce diamètre relativement fort est dû aux trois conducteurs d'acier isolés et à la gaine de polyéthylène qui assure la flottabilité nécessaire. Sa résistance à la traction est d'environ 400 kg. Un essai antérieur à cette campagne avait montré qu'un câble moins solide (en cuivre) est facilement rompu, surtout sur un lac agité. La bobine est montée sur un chevalet et se manœuvre par une manivelle qui permet le rebobinage en une demi-heure. La mise à l'eau du câble se fait sans problème par avancement du bateau.

Les électrodes d'émission de courant AB sont constituées chacune d'un tube de cuivre de 8 cm de diamètre sur 80 cm de longueur. Les électrodes

de potentiel MN sont des tubes de plomb (4 cm de diamètre sur 50 cm de longueur) suspendus horizontalement sous la surface de l'eau grâce à un gros flotteur caréné en polystyrène expansé. Ces électrodes de potentiel sont situées respectivement à 400 et 600 m du bateau.

### *Instrumentation*

L'appareillage comprend une génératrice à essence (220 V, 1600 VA), un redresseur, un enregistreur graphique à deux canaux, un interrupteur programmé et un écho-sondeur enregistreur. La génératrice et le redresseur fournissent le courant nécessaire aux mesures. Les essais préliminaires avaient montré qu'une régulation en courant constant était superflue puisque les variations étaient pratiquement nulles, le courant s'établissant dans notre cas à 1700 mA sous une tension de 300 V environ. Cependant, pour contrôle, la valeur du courant d'émission est relevée en continu sur l'un des canaux de l'enregistreur.

Les électrodes MN sont directement reliées au deuxième canal de l'enregistreur, son impédance d'entrée de  $1\text{ M } \Omega$  étant suffisante. L'ordre de grandeur du signal recueilli entre les électrodes M et N était de quelques dizaines de mV en général.

L'interrupteur programmable permet la séquence d'opérations suivante: enclenchement du courant pendant 20 secondes, puis déclenchement pendant 20 secondes pour permettre la lecture du «zéro», puis réenclenchement pendant 20 secondes, etc. Cette mesure périodique du zéro permet de s'affranchir de la dérive électro-chimique des électrodes M et N et surtout du niveau de bruit élevé dû aux courants vagabonds produits par les chemins de fer notamment. Un profil exécuté pendant la nuit a montré une baisse spectaculaire du bruit électrique, soulignant bien l'origine industrielle de ces parasites.

L'instrumentation de bord comprend enfin un écho-sondeur enregistreur qui permet un relevé continu et précis du fond et de sa morphologie. La connaissance de l'épaisseur de la tranche d'eau est en effet nécessaire pour l'interprétation ultérieure des résultats.

### *Navigation*

L'ensemble câble et appareillage, relativement lourd, ne peut prendre place que sur un bateau d'une certaine importance. Nous avons pu disposer d'un ponton flottant, de 8 m  $\times$  4 m, équipé d'une cabine fermée pour le pilote et l'opérateur, et pouvant loger également la bobine et son chevalet. Le ponton est propulsé par un moteur hors-bord de 30 CV et permet une vitesse de travail d'environ 6 km/h. La manœuvre d'un tel dispositif exige du pilote une maîtrise parfaite, tant lors de la mise à l'eau du câble que pendant les mesures où il faut assurer une vitesse constante pour un

repérage précis et un cap souvent oblique par rapport au vent ou à la direction des courants. Il va de soi que la présence du câble rend les manœuvres difficiles. C'est ainsi que pour virer de 180° et réaligner le câble en bout de profil, il faut compter près de 20 minutes.

Pour des raisons de sécurité, le câble est balisé tous les 100 m par des ballons gonflés à l'hydrogène. La surveillance de la zone des mesures reste la principale difficulté du traîné en grande ligne.

Généralement barrés attentivement, les voiliers et les bateaux de pêcheurs n'ont jamais causé d'ennuis, alors qu'une expérience brutale a montré que les ennemis les plus dangereux du câble flottant sont les canots automobiles: la campagne fut interrompue par rupture de câble, sectionné instantanément par une vedette de ski nautique lancée à 50 km/h.

Pour éviter de tels accidents, il peut sembler plus intéressant d'entreprendre une campagne lacustre en hiver, mais la présence fréquente de brume, l'instabilité du temps, les inconvénients du froid et de l'humidité sont des obstacles importants à une navigation précise, qui nuisent finalement à la qualité des mesures. Pour assurer une meilleure sécurité, il faudrait multiplier les balises du câble et disposer d'un petit bateau rapide pour une surveillance mobile de la zone de mesures.

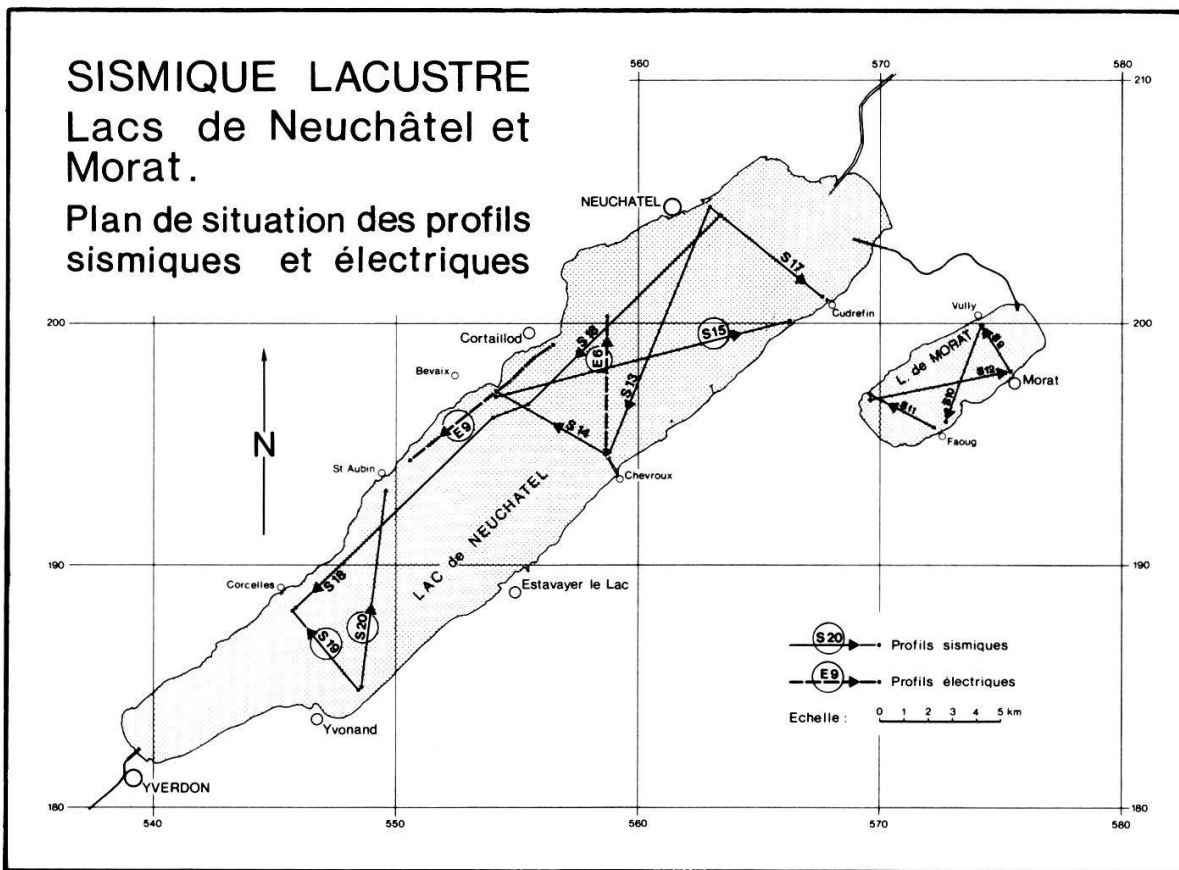
#### CONCLUSIONS

L'étude des lacs par la méthode du traîné électrique de surface pose des problèmes techniques non négligeables lorsqu'on utilise un long dispositif de mesure. Ces difficultés peuvent néanmoins être résolues sans trop de complications et les résultats obtenus justifient amplement un développement de la méthode. Ce genre d'étude peut apporter, par sa faculté de mettre en évidence les caractères généraux des sédiments ou des roches, des contributions intéressantes à la connaissance des structures morphologiques et tectoniques de nos lacs, et de leur histoire quaternaire en particulier. Enfin, rappelons qu'à l'aide de lignes de mesure plus courtes, la méthode s'applique également avec succès à la prospection directe des graviers sous-lacustres.

#### RÉFÉRENCES

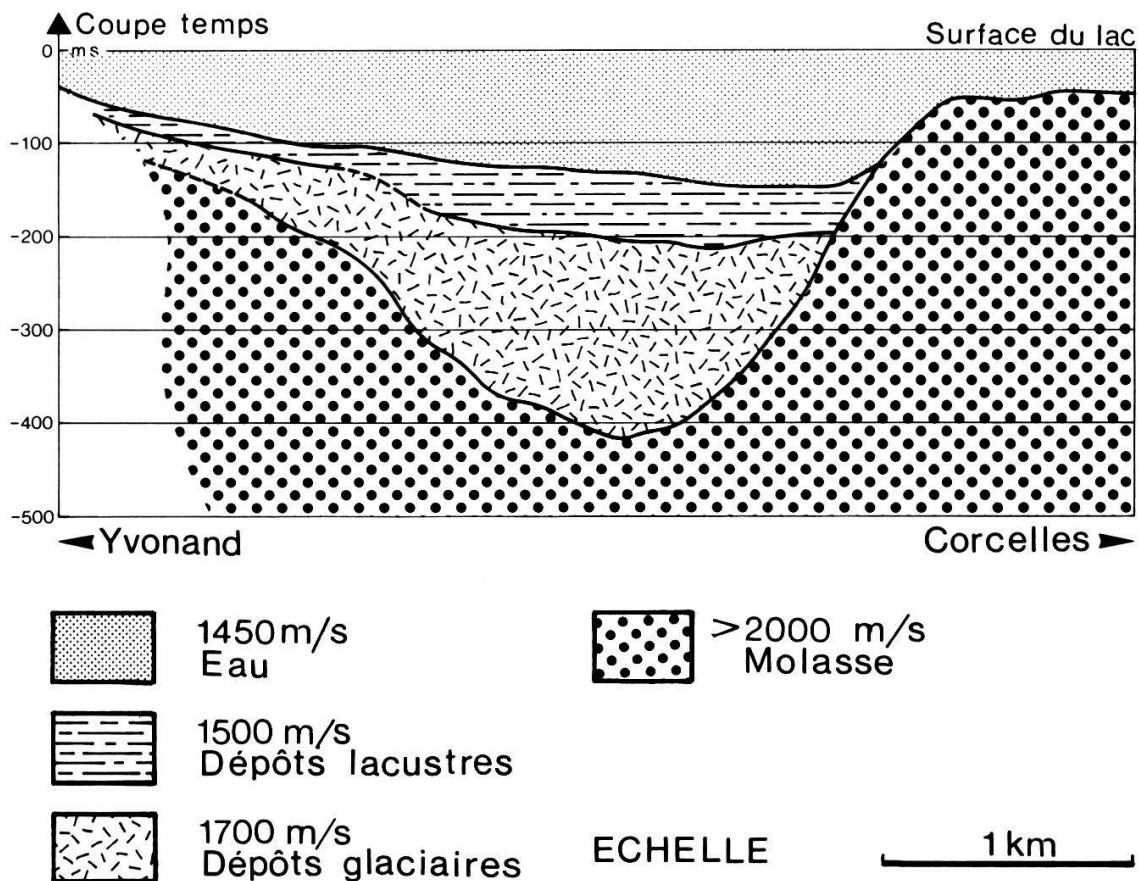
- ACERBONI E., MOSETTI F. 1966. – Mesures électriques in situ au fond de la mer. *Boll. geof. teor. appl.*, 8/32, 243-246.
- MEYER DE STADELHOFFEN C., FAVINI G. C. 1968. – Exemple d'étude électrique du sous-sol lacustre. *Bull. Soc. vaud. Sc. nat.*, 70/327.
- SCHLUMBERGER C., RENAUD P. 1933. – Etude géophysique sous-marine exécutée dans le port d'Alger. *Extr. Ann. Ponts. et Chaussées*. Paris.
- SIGRIST W. 1974. – Contribution à l'étude géophysique des fonds du lac Léman. *Mat. carte géol. Suisse sér. géoph.* N° 16.





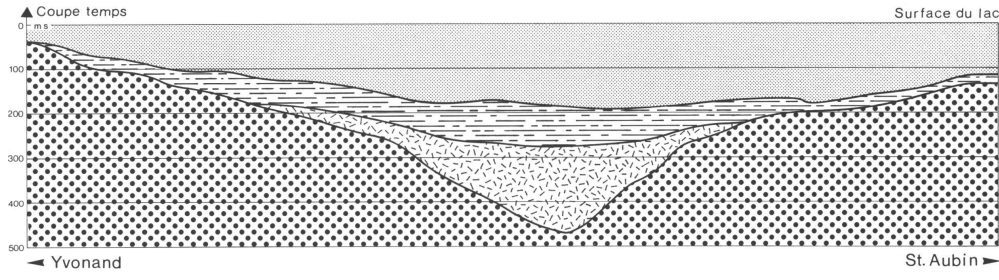
Profil sismique S19






fig.II



Profil sismique S 20

fig. III

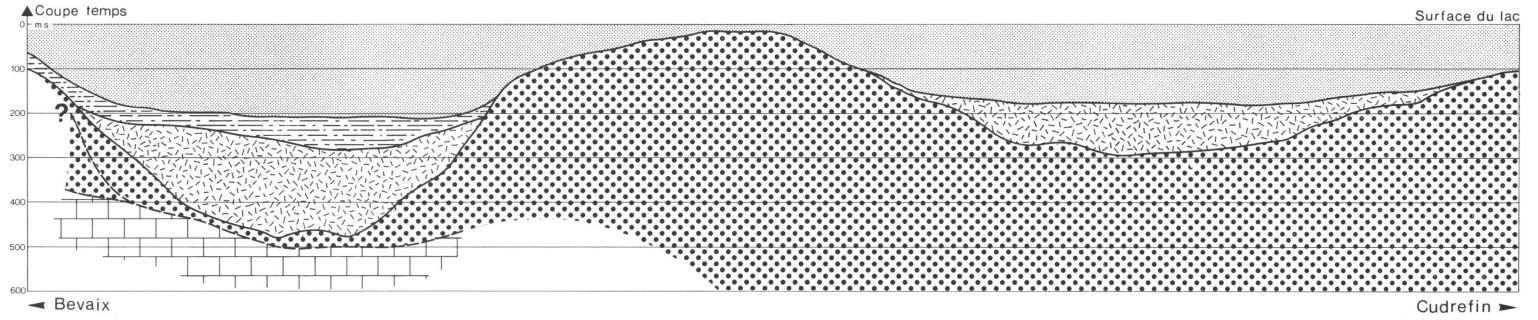


-  1450 m/s eau
-  1500 m/s dépôts lacustres
-  1700 m/s dépôts glaciaires
-  >2000 m/s molasse
-  Calcaires

Echelle : 1 km

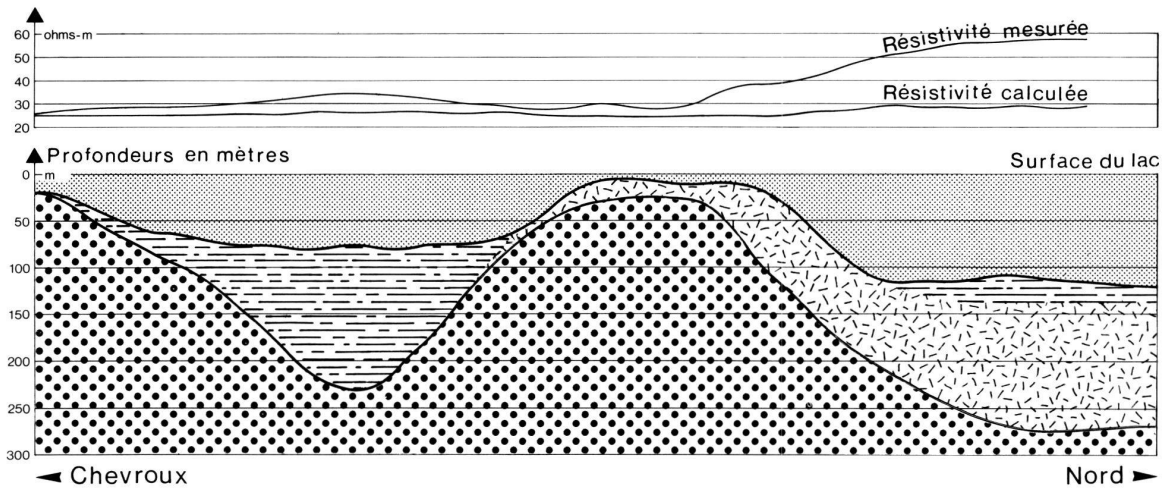
Profil sismique S 15

fig. IV



# Profil de résistivités électriques E6

fig.V



- |   |                            |   |                            |
|---|----------------------------|---|----------------------------|
|  | 50 ohms-m eau              |  | 75 ohms-m dépôts glaciares |
|  | 37 ohms-m dépôts lacustres |  | 25 ohms-m molasse          |

Echelle :  1 km

