

Etude par la méthode audio-magnétotellurique de la basse vallée du Rhône

Autor(en): **Gex, Pierre**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin der Vereinigung Schweiz. Petroleum-Geologen und -Ingenieure**

Band (Jahr): **55 (1989-1990)**

Heft 129

PDF erstellt am: **22.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-212664>

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.

Etude par la méthode audio-magnétotellurique de la basse vallée du Rhône

par PIERRE GEX*

Résumé

Après une introduction géologique et un bref aperçu sur la méthode audio-magnétotellurique, les résultats de l'étude sont présentés sous forme de cartes de résistivités et de conductances, et de trois profils transversaux. Ceux-ci comprennent chacun 5 à 7 sondages AMT et permettent la comparaison directe avec les profondeurs obtenues par une campagne de sismique-réflexion. Les résultats sont en bon accord et les profondeurs maximums déduites de la géophysique, voisines de 800 m, sont nettement plus importantes que les estimations anciennes. L'étude de la basse vallée du Rhône fournit un bon exemple de l'application de la méthode AMT à la solution d'un problème structural à grande profondeur, dans une zone fortement perturbée par des courants vagabonds.

Abstract

After a geological setting and a brief account of the audio-magnetotelluric method, the results are presented in form of resistivity and conductance maps. Three tranverse profiles, comprising 5 to 7 AMT soundings each, were carried out and allow direct comparison with reflection seismic data. The results agree well; the maximum depth measured in both cases approximates 800 m. These values are far greater than previously estimated. The study of the lower Rhone valley provides a good example of the AMT method applied to a structural problem involving considerable depths, in a region severely disturbed by stray currents.

Introduction

La méthode audio-magnétotellurique (AMT) est fondée sur la mesure des composantes électrique et magnétique des champs électromagnétiques naturels produits par les orages de la zone équatoriale. L'étude de ces champs, dont on verra plus loin quelques détails dans un bref aperçu théorique, permet dans certaines conditions d'obtenir les résistivités apparentes des terrains sous-jacents jusqu'à des profondeurs de l'ordre du kilomètre. Notre Institut ayant fait récemment l'acquisition de l'appareillage nécessaire, il nous a semblé intéressant d'appliquer la méthode dans notre région, à l'étude d'un problème difficilement abordable par d'autres méthodes classiques telle que le sondage électrique Schlumberger par exemple. Rappelons que celui-ci nécessite en particulier un dispositif de mesure d'une extension de plusieurs kilomètres pour des profondeurs d'investigation comparables à celles obtenues en AMT.

L'étude de l'épaisseur des alluvions de la vallée du Rhône, entre Aigle et Villeneuve (Fig. 1), pose un problème intéressant, tant pratique que méthodologique. Les matériaux de remplissage d'une telle vallée alluviale présentent vraisemblablement un bon

* Institut de géophysique de l'Université de Lausanne, BFSH 2, 1015 Lausanne

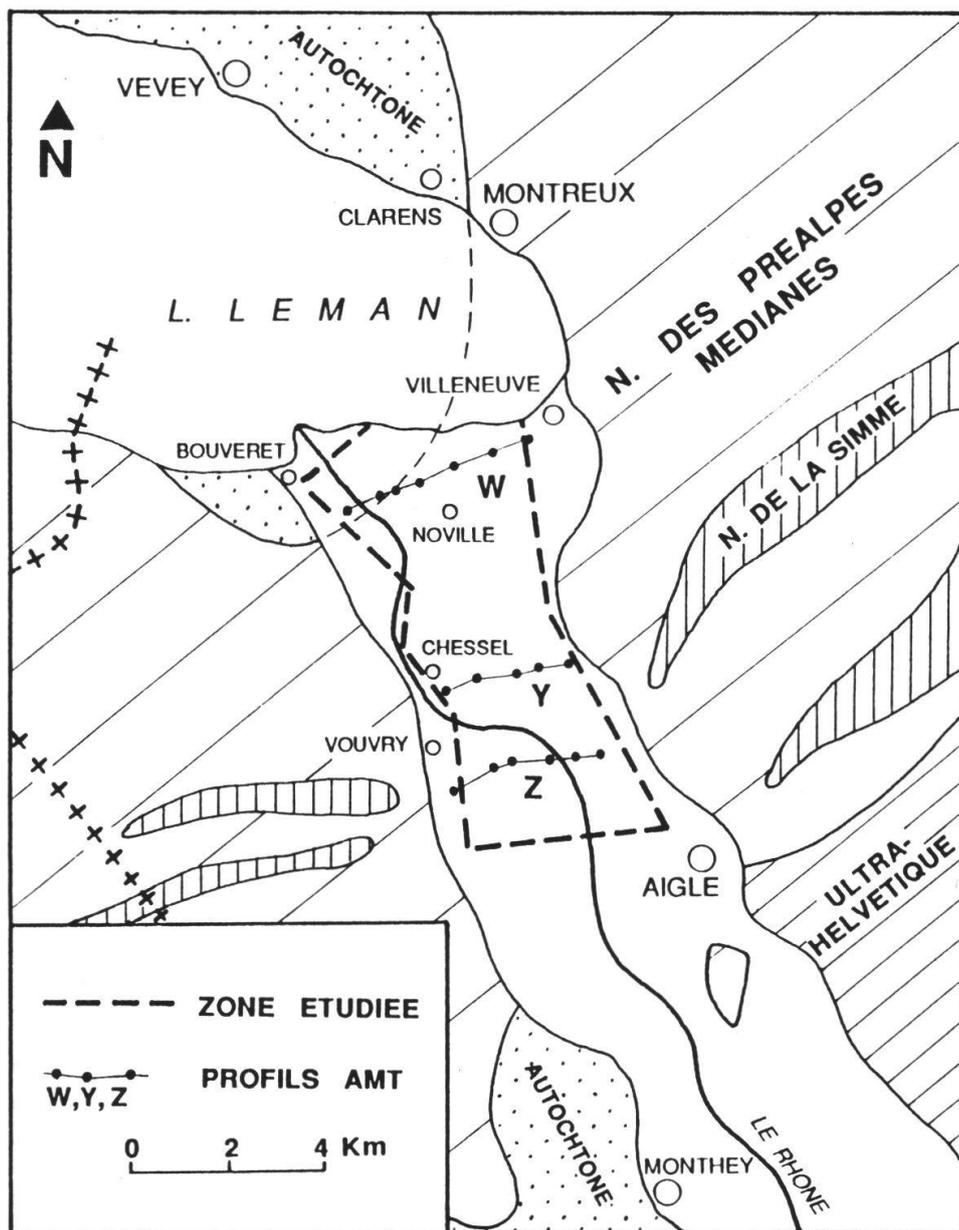


Fig. 1 Carte tectonique et situation de la zone étudiée

contraste de résistivité avec son fond rocheux, dans l'hypothèse d'un substratum formé par les calcaires préalpins. La largeur de la plaine (3 à 5 km) minimise les effets de bord et facilite l'implantation des stations de mesure, et la densité d'habitations reste acceptable pour un levé régional. Par contre, l'industrialisation et la présence de nombreuses lignes à haute tension ainsi que les forts courants vagabonds émis par deux lignes de chemin de fer rendent les mesures souvent laborieuses et délicates. Le très faible niveau des signaux utiles par rapport au bruit nécessite en effet un filtrage énergétique qui n'est d'ailleurs pas toujours efficace à cause du caractère souvent aléatoire des vagabonds. Notons enfin la présence sournoise d'innombrables conduites d'eau, de gaz, d'électricité, de téléphone et de télé-réseau. Les valeurs aberrantes présentées par certains sondages ininterprétables sont probablement dues à ces conducteurs fortement perturbateurs.

A la fin de notre campagne de mesure, nous avons eu connaissance, peu avant leur publication, des résultats d'une campagne de sismique-réflexion élaborés par FINGER et WEIDMANN (1987). Grâce à l'obligeance de l'un des auteurs (M.W.), nous avons pu étudier la carte des isohypses du fond rocheux et comparer nos résultats avec les structures et les profondeurs révélées par la sismique.

Cadre géologique

L'origine et l'âge de la basse vallée du Rhône ont depuis longtemps stimulé l'imagination des géologues suisses. Remodelé par les puissants glaciers quaternaires, ce tronçon de vallée séparant les lobes chablaisien et romand des Préalpes soulève plusieurs problèmes, parfois abordés de manière contradictoire suivant les auteurs. FLOREL (1882), dans sa monographie consacrée au Léman, décrit cette partie de la vallée du Rhône comme une cluse coupant les Préalpes où «... il est facile d'y reconnaître la continuation des mêmes plis» (p. 162). Pourtant, plus loin (p. 164), on peut lire: «... ce qui est plus difficile, c'est de retrouver des deux côtés de la Cluse du Bas-Valais la continuation des mêmes replis». LUGEON (1910), par l'étude des pendages axiaux, montre que la basse vallée du Rhône occupe une inflexion synclinale transverse des plis. LOMBARD (1939) reprend et complète cette idée. Pour LEUGEON et GAGNEBIN (1941) la vallée serait sur l'emplacement d'une sorte de crête séparant deux dépressions dans le soubassement où se seraient avancées les nappes préalpines. Un Rhône chattien aurait pu s'écouler par le sillon séparant les deux lobes. TRÜMPY et BERSIER (1954) envisagent un Rhône oligocène coulant après la mise en place des nappes et entaillant les plis par une série de cluses. Le changement de style tectonique des arcs préalpins s'expliquerait par une phase de déformation plus tardive (miocène) s'exerçant sur des masses déjà séparées. Enfin, LOMBARD (1985) pense qu'un Rhône primitif s'est créé à l'Oligocène selon l'axe Martigny - Léman, parallèlement à un autre cours qui passait par le Rawil. Ce dernier aurait rejoint plus tard le graben rhodanien pour des raisons tectoniques. Ce graben serait dû principalement à une grande faille («transfaille») qui affecterait le socle et se prolongerait peut-être jusqu'à l'accident de Vallorbe, sensiblement aligné sur l'axe Martigny - Léman.

La question de l'origine et de l'âge de la structure liée à la vallée du Rhône est donc loin d'être résolue. Cependant tout le monde s'accorde à penser que le dernier stade de son histoire résulte du comblement d'un lac par les matériaux du fleuve qui edifie peu à peu son delta. Nous ne discuterons pas ici les problèmes concernant la phase de comblement et sa durée. FOREL (1982), par l'étude d'anciens documents historiques et géographiques, montre les difficultés d'une explication convaincante.

Les données concernant l'épaisseur des alluvions sont rares et dispersées. FOREL (1892) estimait pour sa part cette épaisseur à plusieurs centaines de mètres. LUGEON et OULIANOFF (1939), lors d'une étude dans la région de Vernayaz par sondage électrique Wenner ($AB = 1400$ m), concluent d'après une interprétation empirique que le fond rocheux doit se trouver entre 200 et 300 m de profondeur. La Carte des résistivités de la Plaine du Rhône (MEYER DE STADELHOFEN, 1966), exécutée notamment avec un dispositif $AB = 200$ m, révèle de nombreux changements de faciès et les anciens cours du fleuve, mais l'investigation n'intéresse en gros que les 50 premiers mètres du terrain. Le travail de FREYMOND (1971) ne s'adresse également qu'à la partie superficielle du remplissage puisque les plus longs sondages décrits n'atteignent que 70 m. GONET (1965) a levé la carte gravimétrique de l'ensemble de notre secteur. Son interprétation, fondée d'ailleurs sur des données peu claires et parfois contradictoires, montre une profon-

leur moyenne de 400 m et d'importantes irrégularités du fond rocheux. WAGNER (1970), mettant en évidence également par gravimétrie l'ancien cours du Rhône par Lavey et Bex, interprète sa profondeur à 300 m sous la surface de la plaine. MARCHANT et BESSON (1986) complètent cette étude par gravimétrie et résistivité et confirment l'existence d'un fort surcreusement de 600 m de profondeur à l'amont du verrou de St-Maurice, alors qu'ils interprètent l'épaisseur des alluvions à l'aval de Bex à 250 m environ. Rappelons enfin la carte des isohypses obtenues par sismique-réflexion publiée par FINGER et WEIDMANN (1987) précédemment citée. Les profondeurs interprétées sont considérables, avec des zones atteignant 800 m.

Deux forages mécaniques d'une certaine importance sont également à signaler, même si leurs résultats ne sont pas décisifs. L'un, exécuté un peu à l'amont de St-Maurice, a été arrêté à 328 m sous la surface, toujours dans les alluvions. L'autre, à côté du village de Chessel, près du bord gauche de la vallée, a traversé 130 m d'alluvions avant de toucher la roche en place (BÜCHI, 1988).

La méthode AMT

La méthode audio-magnétotellurique est une variante de la méthode magnétotellurique proposée par L. CAGNIARD en 1953. Elle est fondée sur l'étude des courants électriques naturels qui circulent en nappe dans le sous-sol, induits par les éclairs des orages de la zone équatoriale. Par effet pelliculaire (skin effect), ces courants s'enfoncent dans le terrain d'autant plus profondément que leur fréquence est plus basse. La profondeur de pénétration est définie conventionnellement par celle à laquelle la valeur du champ électrique de surface est réduite de 1/e, soit à 37% de sa valeur initiale. Son expression vaut

$$p = 503 \cdot (\rho/f)^{1/2}$$

avec p en m, ρ en ohm-m et f en Hz. On voit donc que la profondeur de pénétration pour une résistivité donnée est fonction de la fréquence choisie.

Par la mesure en surface du champ électromagnétique et du champ électrique perpendiculaire qui lui est associé, on peut calculer pour un sol homogène et isotrope une résistivité à une période donnée ($T = 1/f$) selon la formule:

$$\rho = 0.2 \cdot T \cdot (E/H)^2$$

avec ρ en ohm-m, T en sec, E en mV/km et H en nT. Les fréquences habituellement utilisées en AMT s'échelonnent entre 1 et 10'000 Hz environ. Généralement, la résistivité obtenue est une résistivité apparente par suite de l'hétérogénéité et de l'anisotropie des terrains réels.

En toute rigueur, l'interprétation des données d'un sondage AMT scalaire (un canal tellurique et un canal magnétique) exige une structure tabulaire homogène et isotrope d'extension infinie. L'étude par profil de résistivité d'une structure à deux dimensions est encore possible pourvu que la ligne tellurique et l'axe du capteur magnétique soient orientés perpendiculairement à celle-ci. Une structure à trois dimensions nécessiterait un appareillage complexe pour la mesure tensorielle des diverses composantes (deux canaux électriques et trois canaux magnétiques).

Pour l'interprétation, les résistivités apparentes sont reportées sur un diagramme bilogarithmique en fonction des valeurs croissantes de \sqrt{T} ou de T. Des abaques permettent l'établissement d'un modèle sommaire, affiné ensuite sur ordinateur. Nous avons utilisé à cet effet le programme DCRESI de la firme Interpex.

Dans le cas d'un substratum infiniment résistant, la méthode AMT permet une utilisation intéressante de la valeur de la conductance S (mho). On tire S directement des coordonnées \sqrt{T} et $\sqrt{\rho}$ d'un seul point du diagramme de sondage, pourvu que ce point appartienne à la droite finale de pente + 2 (dans le cas d'un report avec \sqrt{T}) caractéristique d'un substratum infiniment résistant. Après quelques essais préliminaires, on peut limiter le «sondage» à une seule valeur bien choisie. Comme la conductance vaut le quotient de l'épaisseur totale h_t des terrains conducteurs par leur résistivité équivalente ρ_e , il est possible de déterminer h_t moyennant la connaissance de ρ_e . On verra plus loin une utilisation du paramètre S.

Pour un exposé complet de la méthode, on se référera à PORSTENDORFER (1975) ou à STRANGWAY (1983). On trouvera également une excellente introduction théorique et pratique dans DUPIS (1971).

Appareillage et mise en oeuvre sur le terrain

Les mesures ont été exécutées à l'aide d'un résistivimètre SAMT scalaire de la marque SAGAX. Les fréquences commutables au gré de l'utilisateur s'étendent de 1 à 5000 Hz. L'appareil fournit directement la valeur de la résistivité et de la cohérence, celle-ci permettant d'apprécier la qualité de la mesure. L'appareillage se compose du résistivimètre proprement dit, d'une bobine d'induction pour la mesure du champ électromagnétique et d'une ligne tellurique de quelques dizaines de mètres. La bobine est posée horizontalement sur le sol et perpendiculairement à l'allongement de la ligne tellurique. Celle-ci comprend simplement deux électrodes métalliques reliées par un câble isolé. L'ensemble pèse environ 12 kg et l'implantation d'une station s'effectue rapidement par la mise en place de la ligne tellurique et de la bobine d'induction.

Lors des essais préliminaires, les mesures ont été fortement perturbées par des courants vagabonds d'un niveau élevé. La présence, dans l'espace relativement restreint de la vallée, de six lignes à haute tension, de deux lignes de chemin de fer et d'une importante usine de ciment nous a incités tout d'abord à renoncer à cette étude. Les perturbations causées par le réseau à 50 Hz ne sont pas toujours les plus gênantes, l'appareil étant équipé de filtres de réjection 50 et 150 Hz. Par contre, le courant des CFF (16 2/3 Hz) saturaient fréquemment les préamplificateurs d'entrée, notamment celui du canal magnétique. Les mesures, possibles seulement dans les instants d'accalmie, étaient longues et laborieuses. Nous avons dû construire provisoirement des filtres passifs de réjection pour cette fréquence pour les deux canaux, au détriment de la bande de fréquence utilisable. Par la suite, des filtres actifs ont été incorporés à l'appareil par le constructeur.

Campagne de mesures et résultats d'ensemble

Les résultats d'une série de sondages exécutés lors d'une phase préliminaire avaient montré pour le fond rocheux des profondeurs irrégulières et souvent importantes de l'ordre de 600 à 700 m. Par suite, il a semblé nécessaire de procéder à l'étude de la zone par traîné AMT pour donner une image spatiale des variations de niveau du substratum et permettre une implantation plus judicieuse des sondages de la phase ultérieure.

La carte de traîné AMT a été établie grâce à environ 60 stations réparties le plus régulièrement possible en tenant compte des contraintes sévères déjà décrites (lignes HT, lignes CFF, etc.). Pour toutes les mesures la ligne tellurique a été orientée parallèlement à l'axe de la vallée. Chaque station a fourni 3 valeurs de résistivité correspondant à des fréquences de 1, 2 et 4 Hz. Ce choix, établi sur la base des sondages préliminaires, permet une investigation à la profondeur nécessaire. Les fréquences retenues permettent de dresser 3 cartes de résistivité correspondant à des profondeurs d'investigation distinctes (rappelons que pour une fréquence passant de 1 à 4 Hz, la profondeur de pénétration diminue de moitié). De plus, ces fréquences correspondent dans notre cas à la droite de pente + 2 caractéristique du substratum résistant et permettent l'élaboration d'une carte de conductance d'un grand intérêt. Nous avons vu plus haut qu'il suffit théoriquement de mesurer la résistivité selon une seule fréquence pour obtenir une valeur de la conductance S . Nous avons jugé plus prudent de déterminer S grâce à 3 points et confirmer ainsi la valeur de la pente.

Au cours de la deuxième campagne de mesures, une série de 3 profils perpendiculaires à l'axe de la vallée a été exécutée, comprenant chacun 5 à 6 sondages. Leur interprétation confirme les grandes profondeurs révélées lors de la phase préliminaire et permet une comparaison directe avec les données de sismique-réflexion.

Interprétation et discussion

Trainé AMT

Les 3 cartes de résistivité dressées pour 1, 2 et 4 Hz ont des caractéristiques semblables et seule celle correspondant à 4 Hz est présentée à la fig. 2 pour des raisons de simplification. Une zone à haute résistivité (> 700 ohm-m) se dessine nettement, d'orientation oblique par rapport à l'axe transversal de la vallée ete sensiblement parallèle aux plis préalpins. Le contraste des résistivités, selon la direction N-S, est nettement moins marqué au centre que sur les bords. On peut noter également la présence de deux zones conductrices (300 ohm-m) dont la plus importante se situe au sud de la carte.

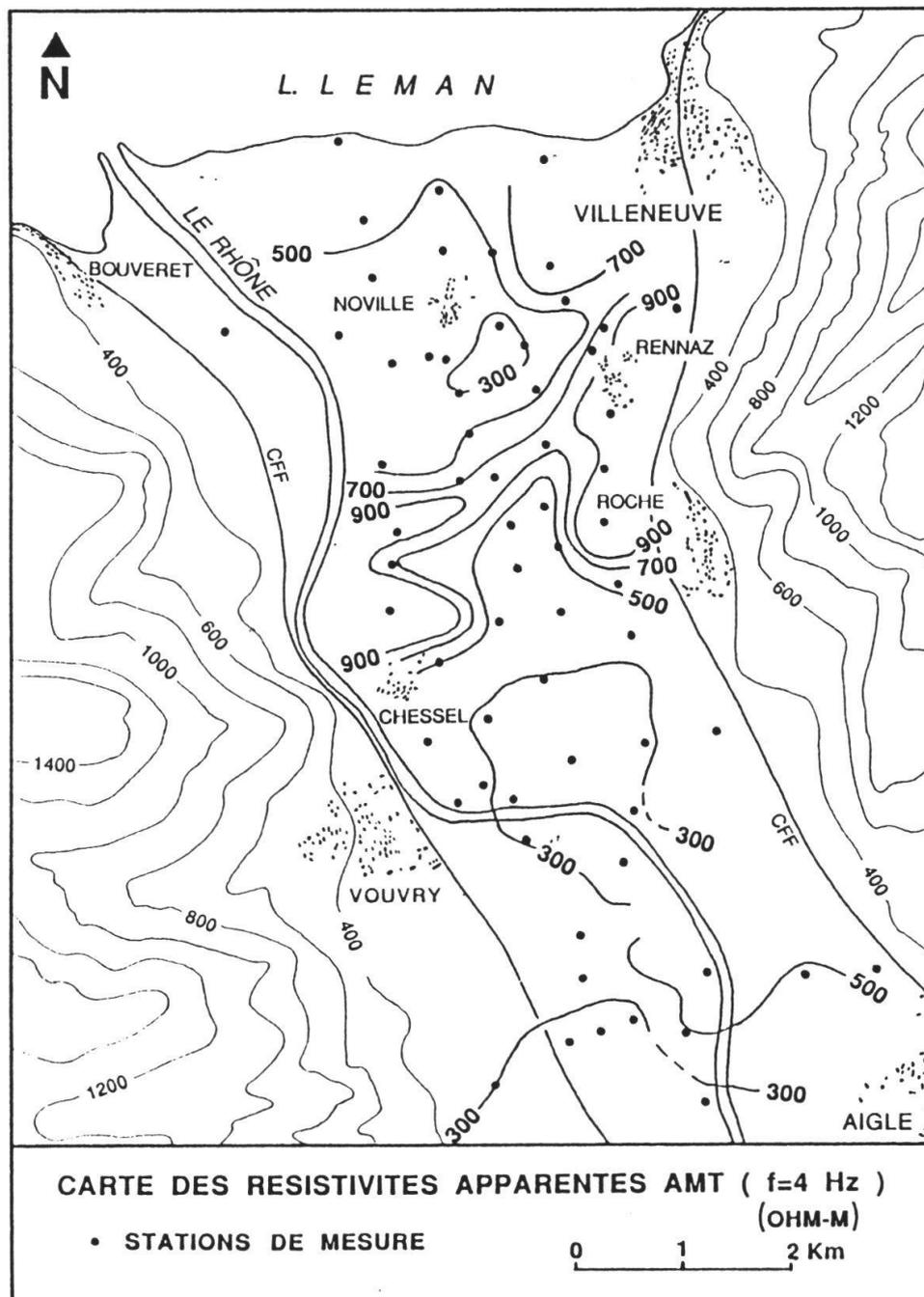


Fig. 2 Carte des équirésistivités AMT à 4 Hz

Il paraît difficile d'attribuer la zone résistante à un effet de bord. Il est vrai que la proximité des calcaires jurassiques pourrait jouer un certain rôle. Il est plus vraisemblable que ceux-ci se marquent en profondeur sous forme d'un relief moins sensible à l'érosion. On peut imaginer cette structure sous forme d'un verrou asymétrique comme le suggère la zone des basses résistivités déportées vers le flanc de la vallée. GONET (1965) en donne une interprétation identique («verrou de Roche-Chessel»).

Sur la partie ouest de cette zone résistante, on peut rappeler l'existence de la formation de Chessel-Noville dont l'origine est controversée. Mais ce placage relativement superficiel n'influence vraisemblablement pas les mesures AMT à des fréquences aussi basses que quelques Hz. Enfin, les zone de basse résistivité (inférieures à 300 ohm-m)

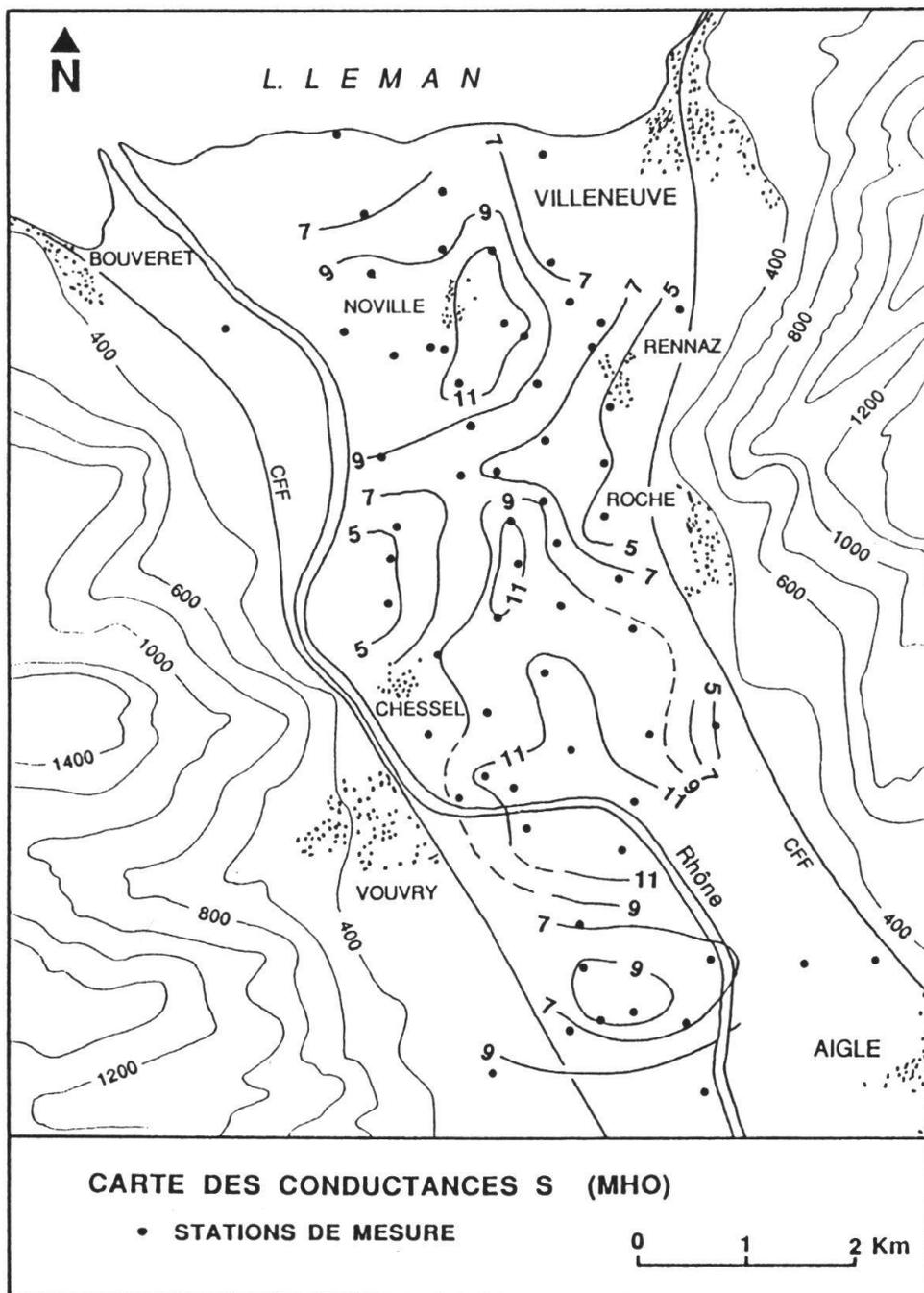


Fig. 3 Cartes des isovaleurs de conductances AMT

correspondent aux parties les plus profondes de la vallée où le remplissage d'alluvions conductrices joue le rôle prépondérant dans la valeur de la résistivité apparente.

La carte de conductances (Fig. 3) présente l'aspect qualitatif d'une carte des isobathes du substratum. Les cotes des isovaleurs sont proportionnelles à la profondeur du soubassement suivant la relation

$$h_t = S \cdot \rho_e$$

où h_t représente l'épaisseur totale des alluvions et ρ_e leur résistivité équivalente. Ce document est ainsi l'analogue d'une carte isochrone de sismique-réflexion où la profondeur est fonction de la vitesse des séries surincombantes. L'examen de la carte fait apparaître immédiatement une grande analogie avec la carte des résistivités à 4 Hz: la structure qu'on peut interpréter comme un verrou se marque très nettement par des conductances de 5 à 7 mho, alors que les zones plus profondes se signalent par des valeurs de 10 à 11 mho.

La bonne cohérence de la carte montre que le paramètre S peut déjà fournir de précieux résultats qualitatifs. Dans le cas d'un substratum résistant, l'interprétation en terme de profondeurs absolues nécessite la connaissance de la résistivité équivalente dont la constance spatiale est sujette à caution. La carte des résistivités Schlumberger pour AB = 100 et 200 m (MEYER DESTADELHOFEN, 1966) révèle en effet les hétérogénéités latérales de faciès dues aux dépôts de gravier, sables et limons mettant en évidence les anciens cours du fleuve et ses divagations. Il est vraisemblable que ces variations de faciès se retrouvent sur la verticale, même si les sondages AMT montrent presque partout un ensemble de trois terrains reposant sur un substratum résistant. La cohérence de la carte des conductances permet cependant de penser qu'une valeur raisonnablement stable pour la résistivité équivalente est plausible. Une détermination tentée à partir des données d'environ 20 sondages de la phase préliminaire fournit pour ρ_e une valeur de 75 ohm-m avec une incertitude de ± 15 ohm-m. Cette valeur, reportée par exemple sur les zones profondes de la carte (S = 11 mho) entraîne des profondeurs comprises entre 700 et 1000 m en accord avec les données de la sismique-réflexion. Une telle carte de conductance présente donc un intérêt semi-quantitatif certain sans nécessiter un travail de terrain important.

Sondages AMT

Les résultats fournis par les carte de résistivité et de conductance ont permis l'implantation de 3 profils de sondages transversaux dans les zones où le soubassement rocheux semble relativement régulier. Les profils W, Y et Z comprennent chacun 5 à 7 sondages AMT, avec la ligne tellurique orientée selon l'axe de la vallée.

D'une manière générale, les courbes révèlent presque partout une structure caractéristique à 3 terrains reposant sur un substratum résistant. (Quelques exemple sont présentés à la fig. 4). Ces 3 terrains semblent correspondre aux dépôts caractéristiques d'un delta selon le schéma classique de Gilbert (FRIEDMAN et SANDERS 1978). Rappelons qu'on y trouve, de haut en bas, des sédiments sableux et limoneux hétérogènes, puis des dépôts plus grossiers à sable et galets à sables et galets à stratification inclinée vers l'aval. Enfin, la couche de fond est constituée essentiellement par l'épandage vers le large de limons fins et de boues.

Le premier terrain montre une résistivité relativement basse comprise entre 40 et 150 ohm-m sur une épaisseur de 35 à 80 m. Cette formation comprend essentiellement les sables et les limons de crues, alors que les zones graveleuses plus résistantes qui les

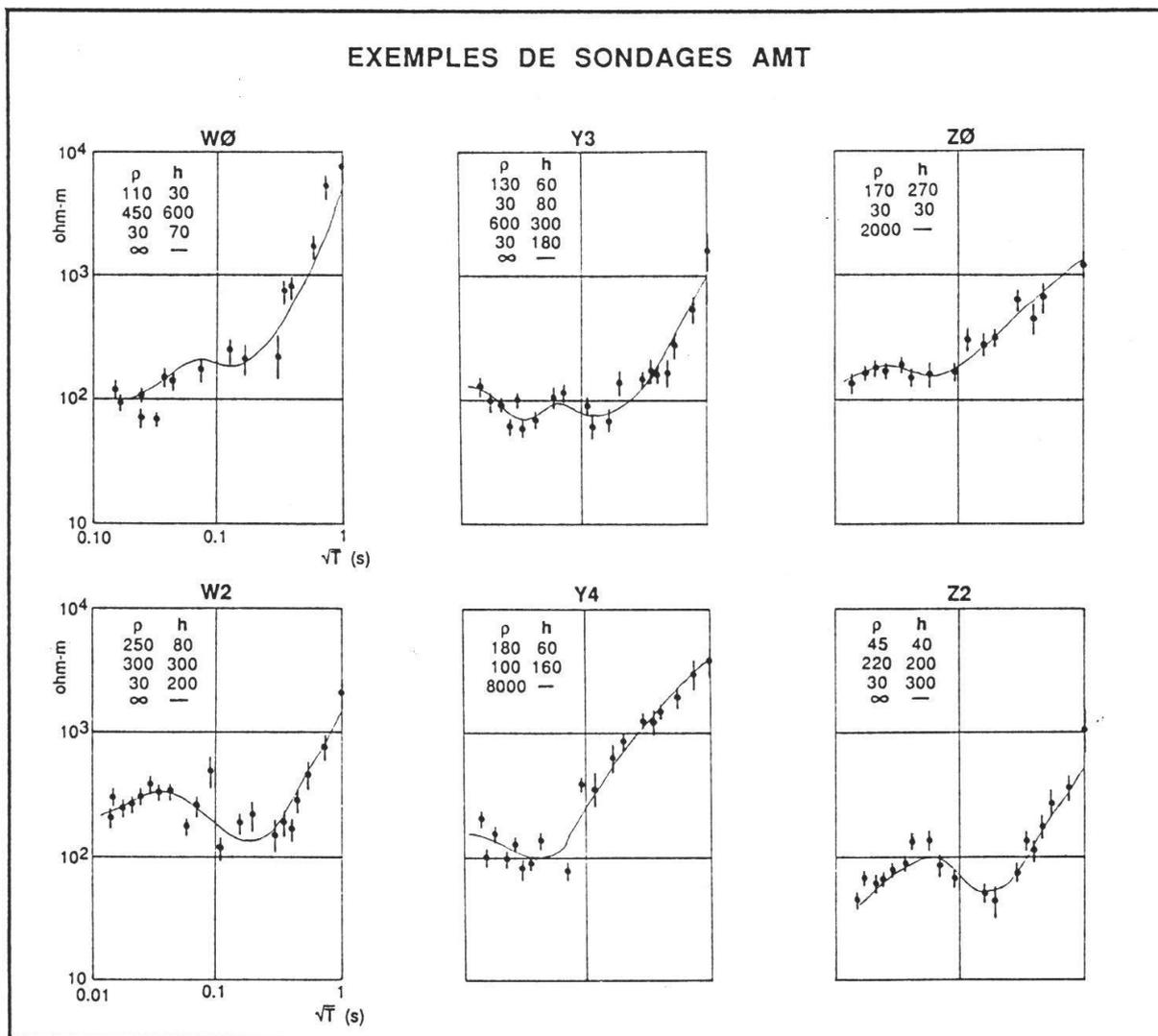


Fig. 4 Exemples de sondages AMT sur profils W, Y et Z

accompagnent également n'affectent pas la résistivité apparente en raison de leur faible épaisseur. La méthode AMT est en effet inapte à discriminer un ensemble de couches minces superficielles: à 5000 Hz, fréquence limite supérieure de l'appareillage, la profondeur de pénétration vaut déjà près de 40 m pour un terrain homogène d'une résistivité de 30 ohm-m. Les diverses formations superficielles ne se résolvent ainsi qu'en un seul terrain équivalent où les niveaux conducteurs sont prépondérants.

Les résistivités du deuxième terrain sont plus variables: de 200 à 600 ohm-m, alors que son épaisseur varie entre 200 et 600 m. Cette formation peut correspondre aux dépôts plus grossiers hétérogènes de graviers caractéristiques du faciès intermédiaire d'un delta («foresets»). Les résistivités les plus élevées de ce terrain sont peut-être liées à la baisse de la porosité dans des zones plus compactées ou colmatées par une granulométrie très hétérogène. Il est possible qu'un début de cimentation puisse également abaisser la porosité. GILLIAND (1970) mentionne une telle cimentation dans certaines formations graveleuses alluviales du Klettgau qui peuvent présenter des résistivités jusqu'à 1500 ohm-m.

Le troisième terrain se marque sur les diagrammes par un minimum avant la droite finale de pente + 2, elle-même caractéristique du substratum résistant. Ce niveau conducteur relativement mince et situé entre deux terrains résistant épais pose le problème de son équivalence, seule sa conductance longitudinale $S = h/\rho$ peut être connue. La détermination de son épaisseur nécessite donc une estimation raisonnable de sa résistivité. La nature de cette formation est vraisemblablement argileuse et limoneuse; dans le contexte d'une sédimentation deltaïque, il s'agit probablement de la fraction fine de la charge du fleuve qui se dépose sur le fond loin en avant de l'embouchure. La stratigraphie du delta du Rhône en Méditerranée présente en effet cet horizon vaseux et limoneux (BAUDOIN et al. 1967). Sur la plupart des courbes de sondages, les minimums de résistivité apparente dus à ce terrain sont compris entre 60 et 100 ohm-m. Sa résistivité vraie devrait donc en moyenne être nettement inférieure. Par analogie avec les limons superficiels, nous avons choisi une valeur de 30 ohm-m lors de l'interprétation des sondages. Une valeur plus basse pourrait peut-être s'envisager en invoquant la faible mobilité de l'eau dans ces sédiments entraînant une charge en ions plus importante. Inversement, on peut imaginer une diminution de la porosité par compaction des sédiments et par suite une résistivité plus élevée. En adoptant une valeur de 30 ± 15 ohm-m pour ρ_3 , la profondeur interprétée du substratum ne varie que d'environ $\pm 15\%$ pour la majorité des sondages en raison de la faible contribution de ce troisième terrain à l'épaisseur totale des alluvions. L'indétermination sur ρ_3 n'est donc pas de nature à compromettre sensiblement l'interprétation générale.

Une synthèse des résultats est présentée à la Fig. 5 sous forme de 3 coupes transversales correspondant aux profils W, Y, Z. La topographie du substratum est figurée selon les résultats de sismique-réflexion (FINGER et WEIDMANN, 1987).

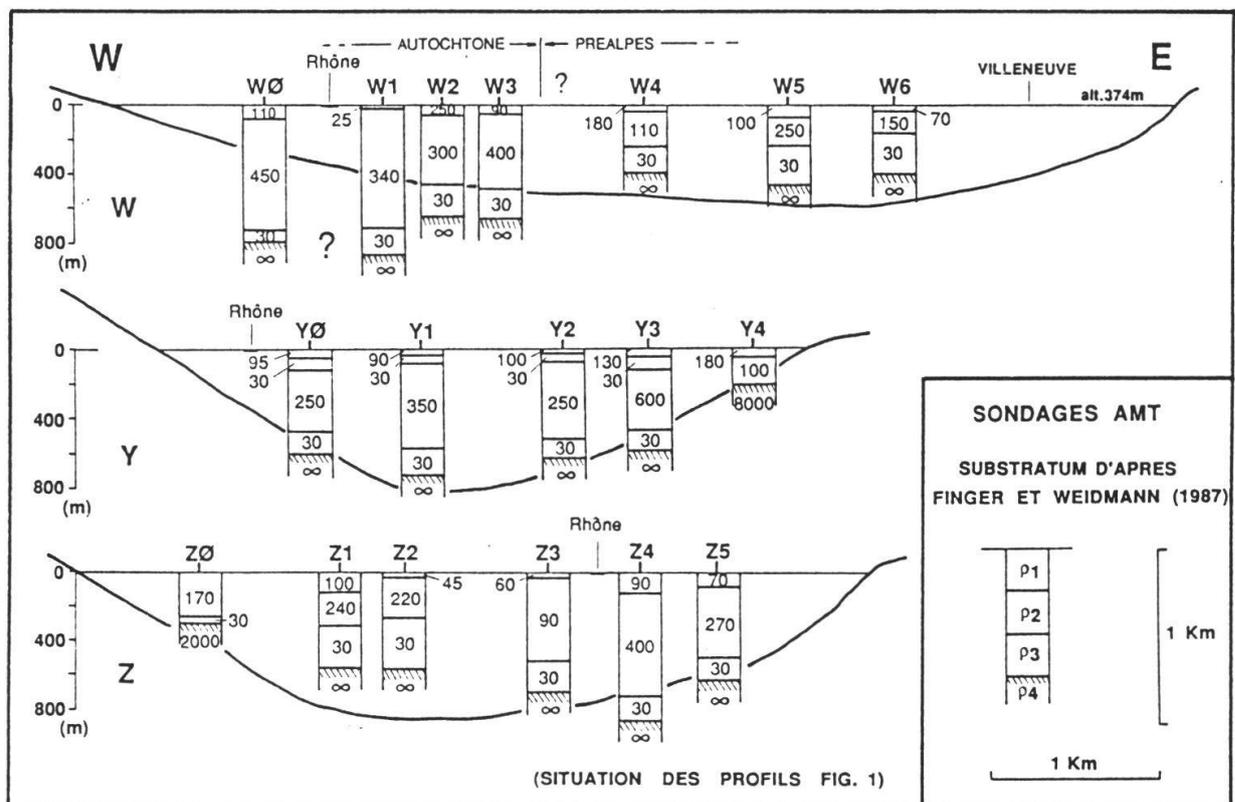


Fig. 5 Comparaison entre les sondages AMT et les données de sismique-réflexion

Dans l'ensemble, nos résultats sont en accord avec les données sismiques et les profondeurs maximales sont comprises entre 600 et 800 m sous la surface de la plaine. Un écart important se marque cependant sur la partie ouest du profil W où les sondages W0 et W1 révèlent le substratum résistant à près de 800 m, profondeur peu vraisemblable pour un bord de vallée. Un sondage de contrôle, exécuté 200 m plus à l'est que W0, donne un résultat semblable. L'incertitude liée à l'équivalence du terrain ρ_3 n'est ici pas en cause: en réduisant sa résistivité à 1 ohm-m, valeur irréaliste, la diminution sur la profondeur totale serait inférieure à 100 m. Il faut peut-être chercher l'origine de cette «anomalie» dans un changement de la nature du fond rocheux de cette portion du profil. Sa partie ouest pénètre en effet dans le domaine de l'Autochtone dont la bordure, encore visible dans une carrière du Bouveret, disparaît sous le quaternaire de la plaine et le lac pour réapparaître entre Clarens et Montreux. Les sondages W0 et W1 (et peut-être même W2 et W3) sont vraisemblablement implantés dans une zone perturbée et probablement très anisotrope, l'Autochtone présentant un pendage moyen d'environ 40° vers le SE. Leur interprétation fournit entre 600 et 700 m d'un terrain relativement résistant de l'ordre de 500 ohm-m. Cette valeur paraît pourtant difficilement s'accorder avec celle du substratum molassique auquel on devrait s'attendre. Nous n'avons pour l'instant aucune réponse à ce problème.

Deux sondages du profil Z présentent également une anomalie notable. L'interprétation de Z1 et Z2 fournit en effet des profondeurs insuffisantes d'environ 300 m par rapport aux données sismiques. Les mesures sont pourtant de bonne qualité avec une faible dispersion. Il est possible que, dans ce cas, l'équivalence du terrain ρ_3 puisse jouer un rôle. Pour les deux sondages, l'épaisseur du terrain, pour une résistivité fixée à 30 ohm-m, atteint en effet déjà près de 300 m. Un étalonnage de ces sondages sur la profondeur donnée par la sismique conduirait à attribuer à ρ_3 la valeur de 60 ohm-m. Pour justifier celle-ci, on pourrait peut-être invoquer la position de ces sondages, situés en effet dans le prolongement dans l'axe de la vallée du Fossau qui débouche à Vouvry. Les produits d'érosion de cette vallée, d'une importance notable (longue de 6 km et large de 1 à 2 km), ont pu constituer sur le fond rocheux de la plaine un ensemble plus grossier, électriquement plus résistant que la formation limoneuse présente ailleurs.

Profils de conductances

A titre de comparaison, nous avons également tenté sur les profils W, Y et Z une interprétation des profondeurs du substratum par la méthode des conductances. En adoptant pour les alluvions une résistivité équivalente de 75 ± 15 ohm-m (valeur déjà évoquée pour la carte des conductances), les résultats s'accordent de manière satisfaisante avec les profondeurs fournies par la sismique (Fig. 6).

D'une manière générale, cette approche sommaire peut fournir rapidement des ordres de grandeur utiles lors d'une exploration préliminaire, pourvu qu'une résistivité équivalente puisse être déterminée sans variation latérale excessive.

Remarques

Lors de la discussion de nos résultats, nous avons d'une part admis implicitement que le modèle structural fourni par la sismique-réflexion était correct. Il est clair qu'un choix autre des vitesses conduirait à une interprétation différente des profondeurs. En plus, la carte des isohypses de FINGER et WEIDMANN (1987) ne mentionne pas l'emplacement des profils de mesure ni la part de l'interpolation. Néanmoins, si les profon-

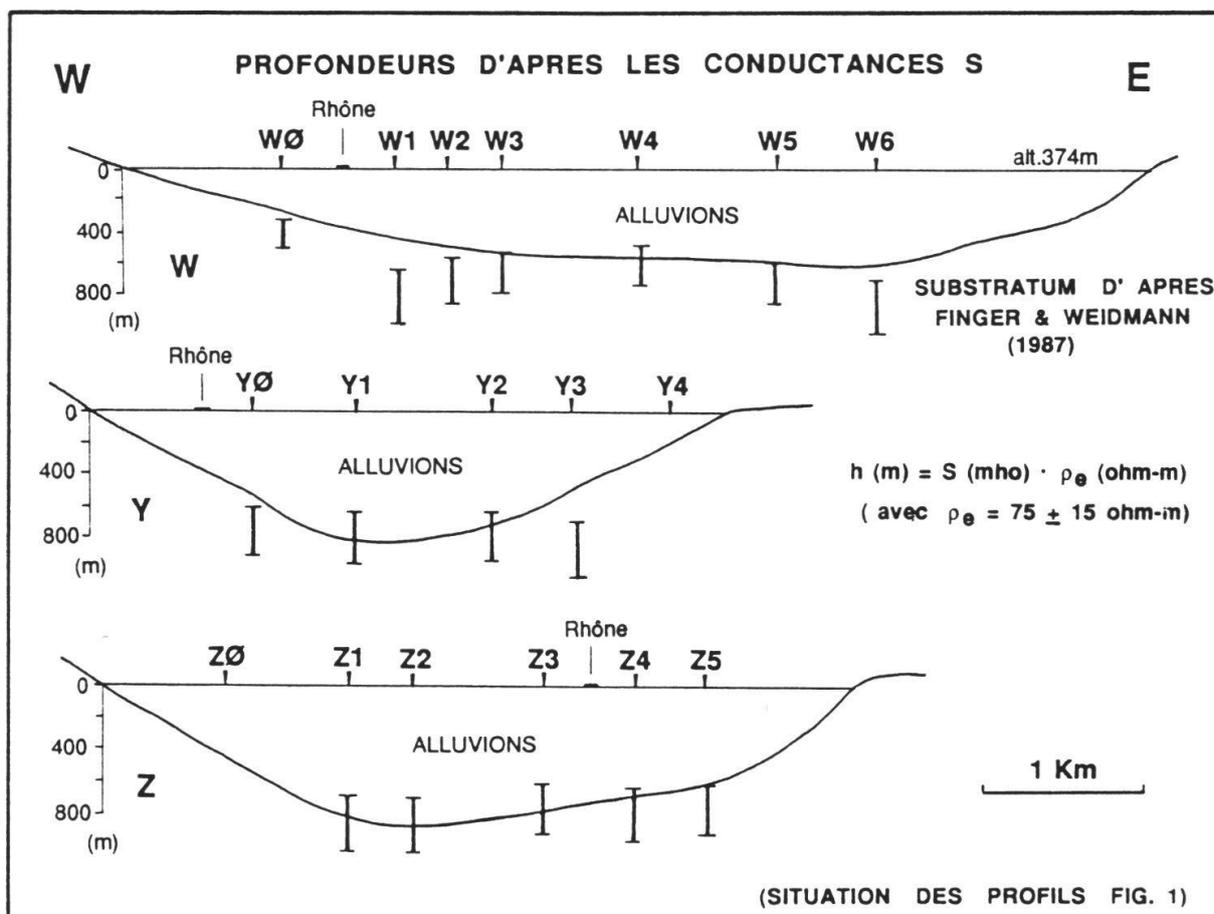


Fig. 6 Profondeurs déduites des valeurs de conductances AMT

deurs maximales de 800 m révélées par la sismique et confirmées dans l'ensemble par nos sondages AMT paraissent considérables, elles sont parfaitement plausibles dans le contexte d'une vallée de plusieurs kilomètres de large.

Nous avons admis d'autre part comme hypothèse de travail que le fond de cette partie de la vallée du Rhône était creusé dans les séries préalpines: les sondages AMT révèlent en effet, pour les fréquences les plus basses, des résistivités caractéristiques d'un substratum infiniment résistant. Celui-ci devrait correspondre par conséquent à des roches massives, à porosité négligeable telles que les puissantes séries calcaires du Jurassique. Une autre possibilité peut s'envisager également: le substratum résistant appartiendrait aux séries ultrahelvétiques dont le Malm et le Crétacé inférieur sont eux aussi essentiellement calcaires. Le forage Chessel 1001, après 130 m d'alluvions, a effectivement rencontré l'Ultrahelvétique sous une série écaillée de Trias préalpin, confirmant du moins localement cette hypothèse (BÜCHI, 1988).

Les affleurements de l'Autochtone dans les régions du Bouveret et de Monthey pourraient suggérer la présence d'un substratum molassique de plusieurs centaines de mètres d'épaisseur reposant sur les calcaires du Crétacé supérieur. GONET (1965) propose une telle interprétation. Si la bonne concordance des profondeurs obtenues par sismique-réflexion et sondages AMT permet de penser que le fond rocheux interprété par les deux méthodes est bien le même, l'hypothèse d'un plancher molassique paraît

incompatible avec les très fortes résistivités mesurées. Rappelons en effet que les séries molassiques sont en général relativement conductrice par suite d'une porosité appréciable.

Enfin, il est certain que la réalité est beaucoup plus complexe que les schémas proposés ici comme hypothèses et qu'aucune méthode géophysique ni géologique ne pourra prétendre donner une image sûre des complications tectoniques de cette structure majeure des Préalpes. On peut imaginer que, si elle était économiquement possible, une campagne de forages profonds apporterait nombre de résultats inattendus.

Conclusions

L'étude de l'épaisseur des alluvions par la méthode AMT confirme dans leur ensemble les résultats de sismique-réflexion. Les profondeurs maximales du substratum, voisines de 800 m, sont ainsi deux fois plus importantes que les estimations plus anciennes. Les résultats fournis par l'interprétation gravimétrique de GONET (1965) sont également largement sous-évalués. Il est difficile de comprendre les raisons d'un tel écart; même l'étude attentive des documents gravimétriques présentés ne permet pas de lever certaines obscurités et contradictions. Seule l'allure de sa carte structurale présente une bonne concordance avec les données de sismique-réflexion.

Notre étude montre également que, même si la qualité des mesures laisse souvent à désirer, la méthode peut s'appliquer dans un environnement perturbé par les courants vagabonds. Si les sondages AMT sont incapables de détailler les formations superficielle, en revanche ils prolongent efficacement vers la profondeur les possibilités des sondages électriques traditionnels, en n'exigeant qu'un matériel léger et un seul opérateur.

Enfin, on ne peut passer sous silence certaines difficultés d'interprétation: les problèmes d'équivalence ont été évoqués plus haut; il faut mentionner également les cas où des mesures apparemment correctes et stables donnent lieu à une interprétation aberrante. Il est probable que l'hétérogénéité et l'anisotropie importantes de certaines structures tectoniques mal connues des régions alpines font souvent obstacle à une interprétation correcte. Chaque résultat doit être considéré avec prudence et trouver à s'insérer dans un contexte géologique plausible.

Références

- BAUDOIN P., DUROZOY G., UTARD M. 1967 - Etude par prospection électromagnétique aérienne d'un contact eau douce - eau salée dans le delta du Rhône. In: Morley L.W. (ed.): Mining and Groundwater Geophysics / 1967, 626-637. Department of Energy, Mines and Resources. Ottawa, Canada.
- BÜCHI U.P. 1988 - Die schweizerische Erdöl- und Erdgasfrage 1987. Bull. Assoc. suisse Géol. Ing. Pétrole. 54, 127, 31-38.
- GAGNIARD L. 1953 - Principe de la méthode magnéto-tellurique, nouvelle méthode de prospection géophysique. Ann. Géophys. 9, 2, 95-125.
- DUPIS A. 1971 - Premières applications de la magnéto-tellurique à la prospection pétrolière, géologique ou minière de diverses régions métropolitaines. Ann. Geofis. 24, 2, 145-286.
- FINGER W., WEIDMANN M. 1987 - Quelques données géologiques nouvelles sur la vallée du Rhône entre Sierre et le Léman. Bull. Murithienne, Soc. valais. Sci. nat. 105, 27-40.
- FOREL F.-A. 1982 - Le Léman T. 1. Slatkine Reprints. Genève 1969.
- FREYMOND P. 1971 - Les dépôts quaternaires de la vallée du Rhône entre St-Maurice et le Léman. Bull. Lab. Géol. etc. Mus. géol. Univ. Lausanne n° 189.
- FRIEDMANN G.M., SANDERS J.E. 1978 - Principles of Sedimentology. John Wiley and Sons, New York.
- GILLIAND P.-A. 1970 - Etude géoélectrique du Klettgau (Suisse), Canton de Schaffhouse. Matér. Géol. Suisse, Géophys. n° 12.
- GONET O. 1965 - Etude gravimétrique de la plaine du Rhône. Matér. Géol. Suisse, Géophys. n° 6.
- LOMBARD A. 1939 - Influences tectoniques sur le modelé du bassin du Léman. Bull. Assoc. Géogr. franç. 123, 128-137.
- LOMBARD A. 1985 - Failles et diaclases suivant quelques vallées transversales alpines (Suisse et France voisine). Essai d'interprétation morphotectonique. Arch. Sc. (Genève) 38, 2, 143-176.
- LUGEON M. 1901 - Recherches sur l'origine des vallées des Alpes occidentales. Ann. Géogr. 10, 295-428.
- LUGEON M., GAGNEBIN E. 1941 - Observations et vues nouvelles sur la géologie des Préalpes. Bull. Lab. Géol. etc. Mus. géol. Univ. Lausanne n° 72.
- LUGEON M., OULIANOFF N. 1939 - L'alluvion du Rhône valaisan. Essai de détermination de l'épaisseur par méthode électrique. Bull. Lab. Géol. etc. Univ. Lausanne n° 64.
- MARCHANT R., BESSON O. 1986 - Etude gravimétrique des Collines de Chiètres. Dipl. géophys. Univ. Lausanne. Inédit.
- MEYER DE STADELHOFEN C. 1966 - Carte des résistivités de la plaine du Rhône. Matér. Géol. Suisse, Géophys. n° 7.
- PORSTENDORFER G. 1975 - Principles of Magneto-Telluric Prospecting. Gebr. Borntraeger, Berlin / Stuttgart.
- STRANGWAY D.W. 1983 - Audiofrequency Magnetotelluric (AMT) Sounding. In: Fitch A.A. (ed.): Developments in geophysical exploration methods - 5. Applied Science Publishers, London / New York.
- TRÜMPY R., BERSIER A. 1954 - Les éléments des conglomérats oligocènes du Mont-Pèlerin. Eclogae geol. Helv. 47, 1, 119-166.
- WAGNER J.J. 1970 - Elaboration d'une carte d'anomalie de Bouguer. Etude de la Vallée du Rhône de St-Maurice à Saxon, Suisse. Matér. Géol. Suisse, Géophys. n° 9.