Zeitschrift: Eclogae Geologicae Helvetiae

Herausgeber: Schweizerische Geologische Gesellschaft

Band: 63 (1970)

Heft: 2

Artikel: Une méthode particulière de prospection électrique du sous-sol appliquée à la délimination d'un aquifère calcaire, avec essais par modèle réduit

Autor: Tripet, Jean-Pierre / Wagner, Jean-Jacques

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-163851

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 03.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Eclogae geol. Helv.	Vol. 63/2	Pages 435–446	Avec 7 figures dans le texte	Bâle, Juillet 1970

Une méthode particulière de prospection électrique du sous-sol appliquée à la délimitation d'un aquifère calcaire, avec essais par modèle réduit

Par JEAN-PIERRE TRIPET[1]) et JEAN-JACQUES WAGNER[2])

ABSTRACT

An investigation and delimitation of limestone aquifers in a syncline valley of the folded Jura (Valley of La Sagne, Jura near Neuchâtel), using resistivity profiles is presented. The method is the «traîné à répétition», achieved by the LEE configuration, with three potential electrodes. It is applied to the localization of the boundaries of three superposed limestone aquifers, separated by marly formations, which cannot be seen from the surface; the aim is to sink hydrogeologic observation wells. Formerly, the method was tested in the laboratory, on a reduced model, according to the technique described by L. CAGNIARD.

RÉSUMÉ

Une recherche et délimitation d'aquifères calcaires dans une vallée synclinale du Jura plissé (Vallée de La Sagne, Jura neuchâtelois), par profils de résistivité, est presentée. La méthode utilisée est celle du *traîné à répétition*, réalisée au moyen du *dispositif de LEE*, à trois électrodes de potentiel. Elle est appliquée à la détermination des limites de trois aquifères calcaires superposés, séparés par des niveaux marneux, et qui ne peuvent pas être observés en surface; le but est l'implantation de forages d'observation hydrogéologique. Auparavant, la méthode est testée en laboratoire, sur modèle réduit, selon la technique décrite par L. CAGNIARD.

1. Introduction

La prospection électrique du sous-sol par profils et cartes de résistivités est réalisée au moyen de divers dispositifs de mesure, décrits dans les ouvrages de géophysique (LASFARGUES, 1957; VAN NOSTRAND et COOK, 1966).

Le but de ce travail est de montrer l'application de l'une de ces méthodes à la recherche et à la délimitation d'un aquifère calcaire. Le système utilisé est nommé *dispositif de LEE*. Le Professeur E. Poldini a attiré notre attention sur les avantages de cette méthode et nous l'a recommandée.

La présente étude comprend trois parties:

1. Description de la méthode.
2. Mesures expérimentales en laboratoire, destinées à tester la réaction d'une couche électriquement résistante par le dispositif en question.
3. Application à une étude hydrogéologique dans le Jura plissé (Vallée de La Sagne, canton de Neuchâtel).

[1]) Université de Neuchâtel, Centre d'hydrogéologie.
[2]) Université de Genève Laboratoire de géophysique.

2. Description de la méthode

Les méthodes géoélectriques permettent de distinguer les unes des autres diverses formations géologiques; celles-ci possèdent, en général, des résistivités spécifiques qui varient sensiblement de l'une à l'autre.

Le procédé du traîné électrique «à répétition» (LASFARGUES, 1957, p. 118) convient particulièrement à la mise en évidence des couches verticales ou obliques. On procède par profils perpendiculaires aux structures, en utilisant un dispositif symétrique à trois électrodes de potentiel, nommé dispositif de LEE. Celui-ci présente l'avantage sur les systèmes classiques à deux électrodes de potentiel, SCHLUMBERGER ou WENNER, de permettre une étude plus détaillée. Il faut remarquer que les résultats conduisent dans la plupart des cas à une interprétation *qualitative*, quel que soit le dispositif de mesure employé. Néanmoins le dispositif de LEE permet d'obtenir de meilleurs contrastes et une définition plus précise des limites géologiques.

Le principe des mesures est le suivant:

Pour une position donnée du dispositif, un courant électrique continu I est injecté dans le sous-sol par l'intermédiaire de deux électrodes A et B (Fig. 1); le potentiel

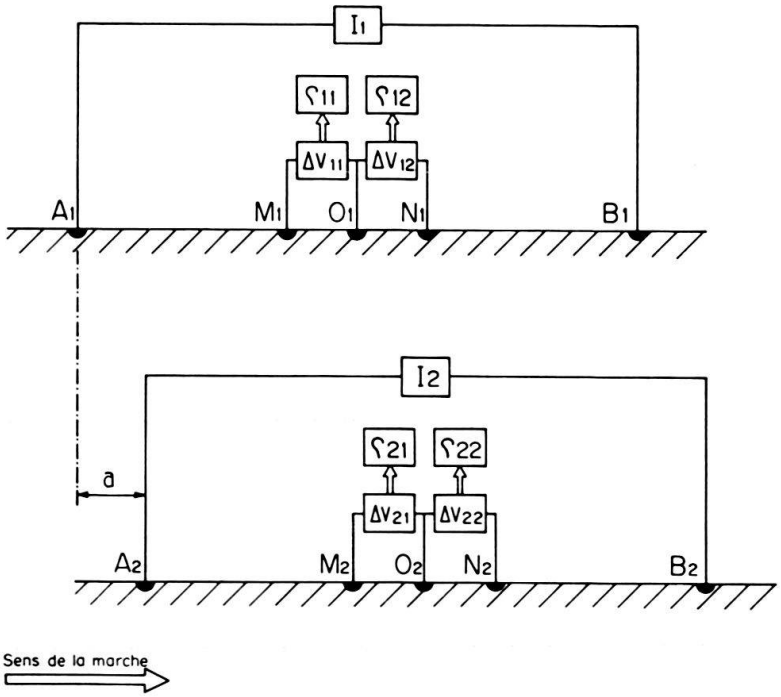

Fig. 1. Schéma du dispositif de LEE, montrant sa position pour deux stations successives.

résultant de ce courant est mesuré entre deux électrodes M et O (ΔV_{11}) («mesure arrière»), puis O et N (ΔV_{12}) («mesure avant»). Ces mesures permettent de calculer deux résistivités apparentes du sous-sol, ϱ_{11} et ϱ_{12} définies par les relations suivantes:

$$\varrho_{11} = K_1 \frac{\Delta V_{11}}{I} \qquad \varrho_{12} = K_2 \frac{\Delta V_{12}}{I}$$

où K_1 et K_2 sont les constantes qui dépendent de la géométrie du dispositif de mesure; ce dernier étant symétrique, $K_1 = K_2$.

Le dispositif est ensuite déplacé dans le sens du cheminement, d'une longueur égale à l'intervalle MO. On obtient ainsi:

1. Deux valeurs de la résistivité, ϱ_{11} et ϱ_{12}, pour une position donnée des électrodes d'envoi de courant, A_1 et B_1. Elles correspondent à deux positions des électrodes de potentiel M_1O_1 et O_1N_1; ceci constitue en d'autres termes un élément du profil de résistivité.

2. Deux valeurs de la résistivité, ϱ_{12} et ϱ_{21}, pour une position donnée des électrodes de potentiel, O_1N_1 et M_2O_2; elles correspondent à deux positions successives des électrodes d'envoi de courant: A_1B_1 et A_2B_2. La différence entre ces deux informations est due à la position des électrodes de courant, elle est appelée *à-coup de prise*.

Le sens et l'intensité de la variation de la résistivité le long du profil, ainsi que les à-coups de prises dûs à la position des électrodes de courant, sont les paramètres qui permettent de donner une interprétation géologique des mesures.

3. Etude expérimentale en laboratoire

Avant d'en étudier une application à l'hydrogéologie, nous avons testé cette méthode en laboratoire. Dans ce but, nous avons adopté une structure représentant d'une façon simplifiée certaines conditions réelles. Le travail s'est fait en deux temps:

1. Relevé du profil de résistivité perpendiculairement à un banc résistant, affecté de divers pendages, et simulant par exemple une couche calcaire comprise entre deux formations marneuses.

2. Examen des diverses représentations graphiques des résultats.

3.1. Dispositif expérimental

L'étude expérimentale en laboratoire a été faite par modèle réduit selon la méthode décrite par L. Cagniard (Cagniard et Neale, 1957). Le modèle est constitué par une cuve isolante remplie d'un électrolyte dans lequel on plonge une maquette représentant la structure à étudier.

L'électrolyte constitue le milieu conducteur. Nous avons utilisé une solution concentrée de sulfate de cuivre dont la résistivité mesurée était de 1,6 $\Omega \cdot m^2/m$.

La maquette est composée d'une plaque de plexiglas de 2 cm d'épaisseur placée sur un support permettant de lui donner différentes inclinaisons. Le plexiglas étant un isolant, la résistivité de la couche aurait été pratiquement infinie. Cette valeur ne représentait pas les conditions que le modèle devait simuler. La plaque a donc été perforée de trous cylindriques régulièrement distribués, qui en abaissent la résistivité globale. Celle-ci est proportionnelle au quotient de la surface totale de la plaque par la surface des trous. Le contraste de résistivité ainsi obtenu entre le banc résistant et le milieu conducteur est de 20. Il faut remarquer toutefois que le résistant n'atteint pas la surface, mais qu'il est immergé environ 1 cm sous le niveau de l'électrolyte; le contraste de résistivité mesuré sera donc inférieur à 20.

Les mesures de résistivité ont été faites à l'aide d'un dispositif potentiométrique du même type que celui utilisé sur le terrain.

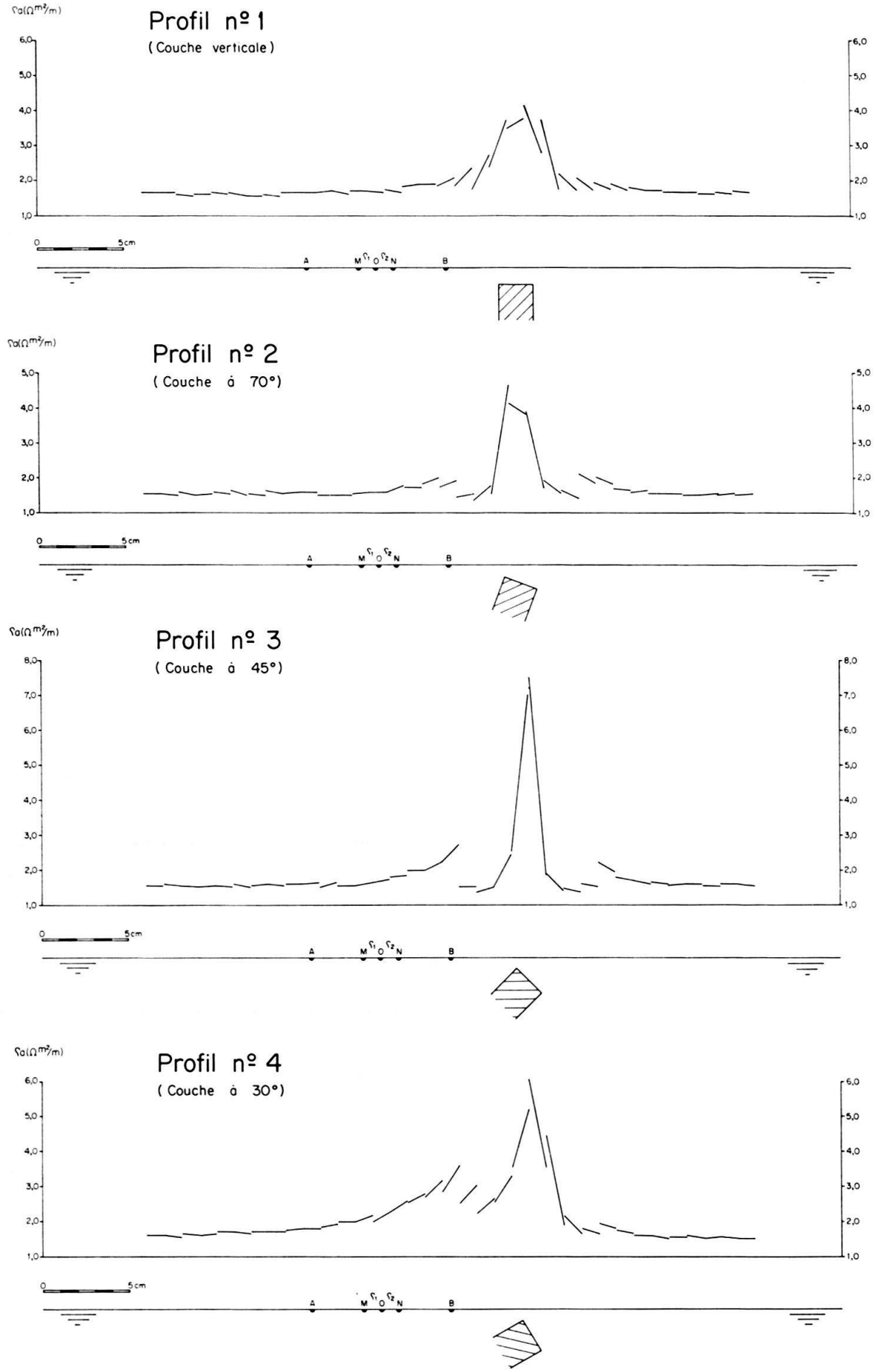

Fig. 2. Profils de résistivité sur modèle réduit. Couche résistante à divers pendages; représentation «vectorielle»; valeur de la résistivité reportée à mi-distance entre deux électrodes de potentiel.

3.2. Représentation des résultats expérimentaux

Des profils ont été établis pour différentes inclinaisons de la couche; la figure 2 en montre les plus caractéristiques. Il est possible de représenter ces mesures de diverses manières (VAN NOSTRAND et COOK, 1966):

1. On trace deux courbes reliant respectivement les valeurs de ϱ_{n1} et de ϱ_{n2} (Fig. 3a). On analyse leur pente, leurs intersections, ainsi que la position et la symétrie des extrema. Les quatre maxima secondaires, de part et d'autre des deux pics principaux, sont situés à la distance d'environ $(AO + MO/2)$ de la limite de la couche; ils sont dûs aux à-coups de prises.

2. On calcule des rapports ou des différences de résistivités, que l'on relie par une courbe; parmi les différentes possibilités, on peut en citer quatre:

2a. $\varrho_{12}/\varrho_{11}$ Exprime la variation de la résistivité apparente pour deux portions adjacentes du terrain; les électrodes A et B restent fixes. Les deux extrema sont situés à peu près sur la limite de la couche (Fig. 3b).

2b. $\varrho_{12} - \varrho_{11}$ Autre expression de la variation représentée par la courbe précédente.

2c. $\varrho_{12}/\varrho_{21}$ Exprime la variation de la résistivité apparente pour une même portion de terrain, A et B ayant été déplacés. Représente l'à-coup de prise. Les deux extrema sont situés à peu près à la distance de $(AB - MO)$ l'un de l'autre (Fig. 3c).

2d. $\varrho_{12} - \varrho_{21}$ Autre expression de la variation représentée par la courbe précédente.

On remarque que la courbe représentée à la Figure 3b définit mieux que les autres, par l'amplitude et la forme de ses extrema, les limites du banc résistant.

3. Représentation «vectorielle» (KUNETZ, 1966). On relie par un segment de droite la mesure arrière ϱ_{11} et la mesure avant ϱ_{12} correspondant à une même position des électrodes A et B. Le profil ainsi obtenu est une suite de «vecteurs» de pente variable (Fig. 2). La discontinuité entre deux «vecteurs» successifs représente l'à-coup de prise des électrodes d'envoi de courant. Par contre, la pente («gradient») des segments donne une image de la variation de la résistivité du sous-sol; la pente maximum se trouve à peu près au-dessus des limites de la couche, comme on a pu le voir à la Figure 3b. C'est ce type de représentation que nous avons adopté pour l'étude de terrain (paragraphe 4.2.).

Les courbes expérimentales obtenues en laboratoire pour des couches verticales ou à pendage élevé (70°) ne présentent pas de différences significatives (Fig. 2). Par contre, pour un pendage de 45° et surtout de 30°, une nette dissymétrie apparaît; l'effet de la couche se fait sentir plus tôt lorsqu'on se déplace dans le sens de l'amont-pendage; la valeur absolue des résistivités apparentes croît plus tôt que pour les autres cas, et d'une façon soutenue, jusqu'au pic secondaire, bien développé, dû au passage de la limite de la couche par la prise B.

Il faut remarquer que, pour tous les modes de représentation décrits plus haut, la précision de l'interprétation est avant tout limitée par le fait que les mesures constituent un échantillonnage ponctuel et non pas un relevé continu.

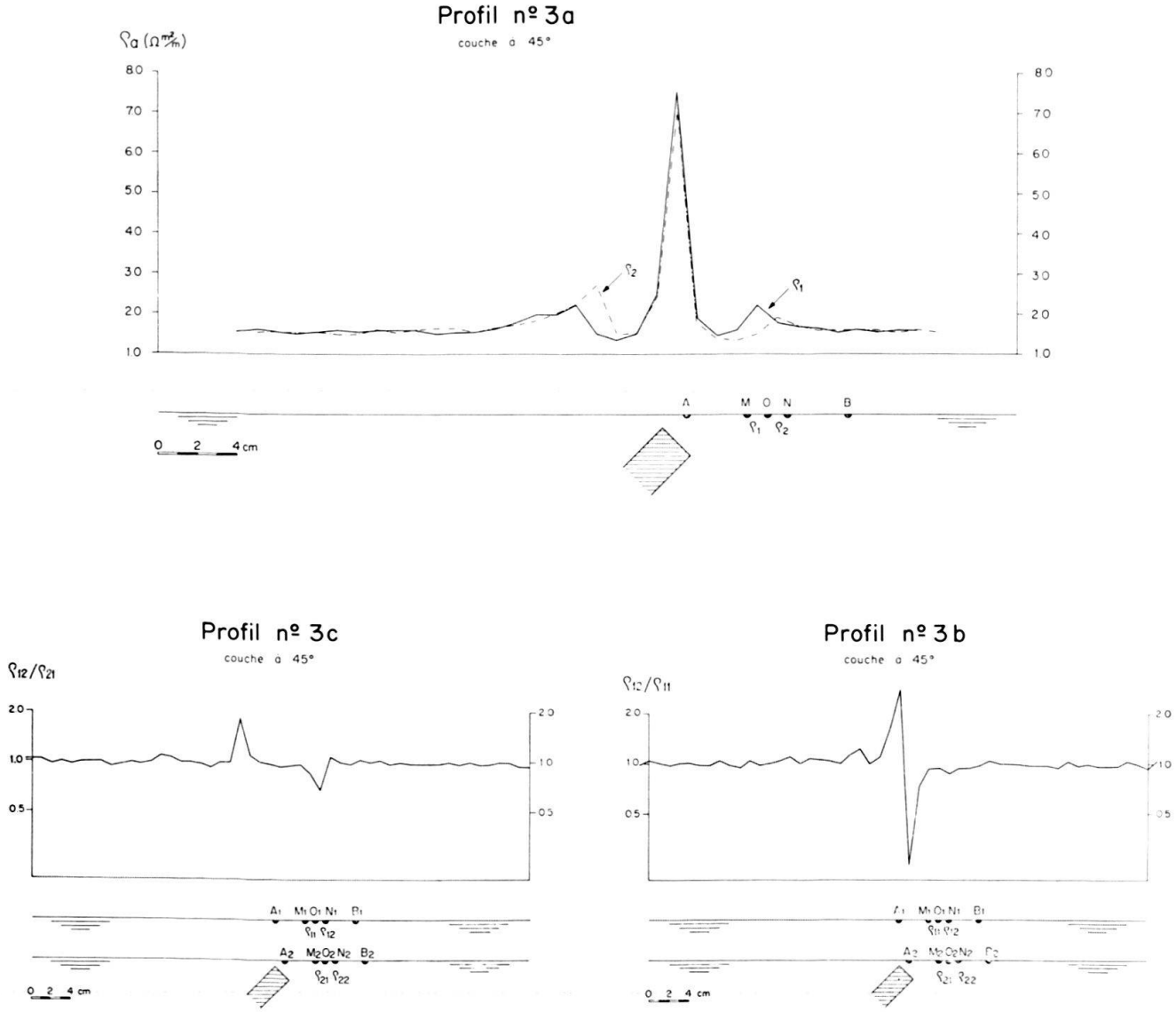

Fig. 3. Profils de résistivité sur modèle réduit. Couche résistante à 45°; divers modes de représentation: a) ϱ_1 et ϱ_2 reportés à mi-distance entre deux électrodes de potentiel. b) $\varrho_{12}/\varrho_{11}$ reporté en 0. c) $\varrho_{12}/\varrho_{21}$ reporté à mi-distance entre deux électrodes de potentiel.

4. Application à une étude hydrogéologique

4.1. Situation générale

Une prospection électrique a été entreprise dans la vallée de La Sagne par le Laboratoire de Géophysique de l'Université de Genève, sur la proposition de Monsieur A. BURGER, ingénieur des eaux à l'Etat de Neuchâtel. Elle était destinée à délimiter une succession d'aquifères calcaires dans une région dépourvue d'affleurements, dans le but d'implanter des forages d'observation hydrogéologique.

Les unités lithologiques représentées sont, de bas en haut: le Malm (Séquanien, Kimmeridgien et Portlandien), complexe calcaire épais de 350 à 400 m; le Purbeckien, marneux, environ 15 m; les calcaires du Valanginien, environ 30 m; l'Hauterivien

inférieur, marneux (*Marnes d'Hauterive*), environ 25 m; l'Hauterivien supérieur, calcaire (*Pierre jaune de Neuchâtel*), environ 65 m; la Molasse. Le Quaternaire est constitué en grande partie par des moraines remaniées et des dépôts éluviaux.

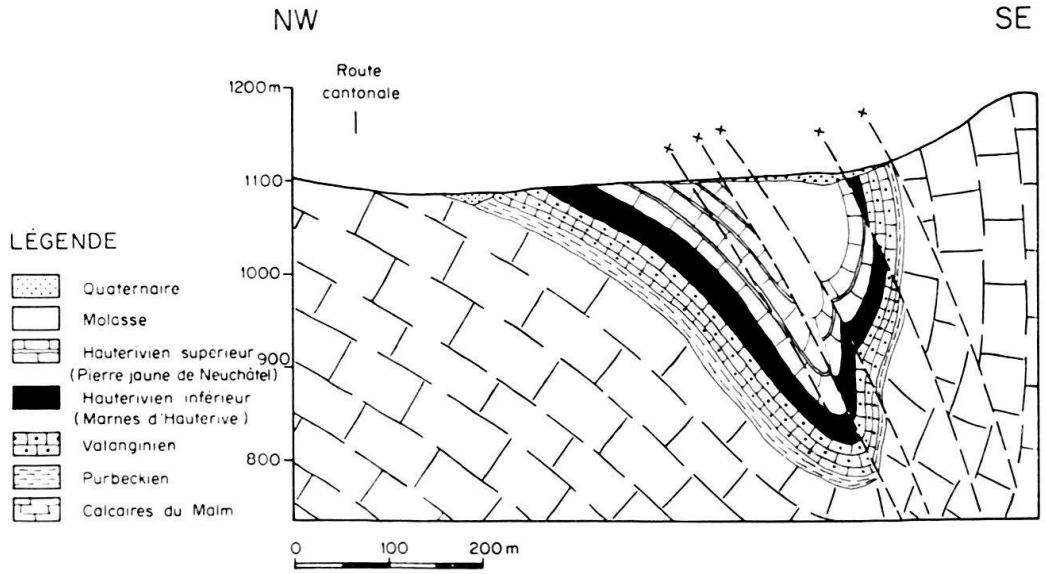

Fig. 4. Profil géologique à travers la vallée de La Sagne. Situation: la même que pour le profil de résistivité No 1.

La vallée de La Sagne est une vallée synclinale d'axe NE–SW, délimitée par l'anticlinal de Som Martel au NW et celui de Tête-de-Ran–Mont-Racine au SE. Le synclinal est fortement asymétrique, son flanc SE est vertical ou plus ou moins renversé (Fig. 4).

Grâce à des conditions lithologiques et structurales, les formations calcaires du Malm, du Valanginien et de l'Hauterivien jouent le rôle de trois réservoirs aquifères plus ou moins indépendants, dont l'étude géophysique devait définir les limites. La méthode employée a été celle du traîné à répétition (dispositif de LEE), et les mesures ont été faites sous forme de profils transversaux par rapport à l'axe du synclinal.

4.2. Relevé et représentation des mesures

La longueur de la ligne d'émission a été fixée à $AB = 40$ m; la distance entre les électrodes de potentiel était de $MO = ON =$ env. 5,8 m et la distance entre les stations, de $MO = ON$. Six profils ainsi relevés sont donnés comme exemples dans le présent travail; leur situation est définie à la Figure 5.

Le mode de représentations qui a été choisi est celui de la Figure 2 («vecteurs»); il nous a semblé faciliter l'interprétation en rendant la lecture du profil la plus claire et la plus complète possible. Il présente l'avantage de rendre directement visibles la variation de la résistivité entre MO et ON («gradient»), de même que la valeur absolue de celle-ci. Les deux paramètres sont en effet importants, l'un pour définir les limites de la formation et l'autre pour en caractériser la nature.

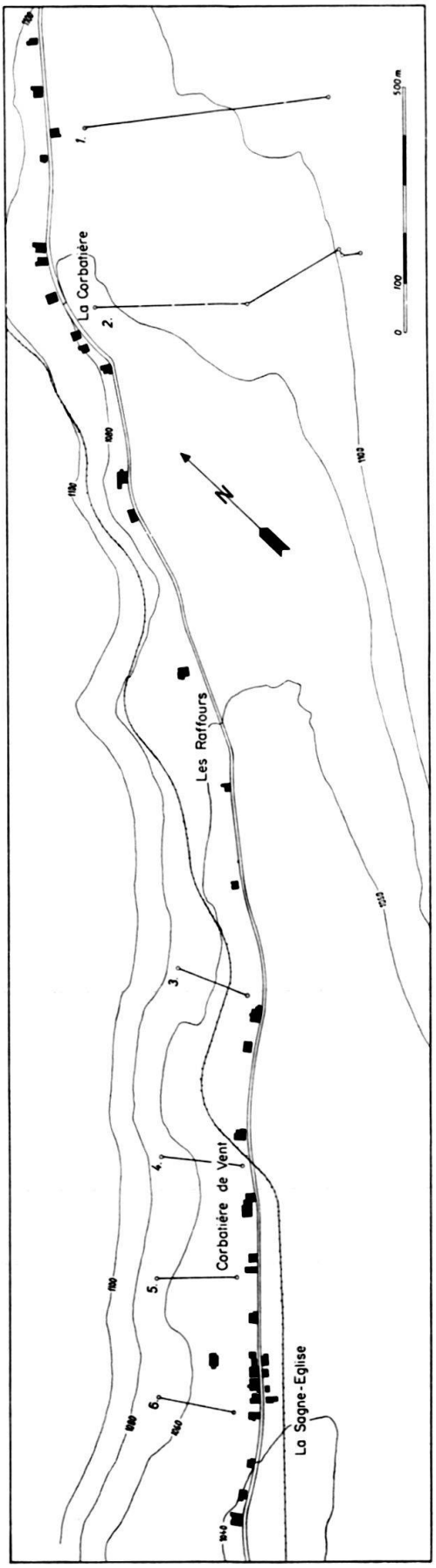

Fig. 5. Vallée de La Sagne. Situation des profils de résistivité.

4.3. Interprétation des profils de résistivité

Les profils accompagnés de leur interprétation géologique sont représentés aux Figures 6 et 7. Notons que les figurés lithologiques n'indiquent que la nature et les limites présumées des formations sous-jacentes, et non leur pendage.

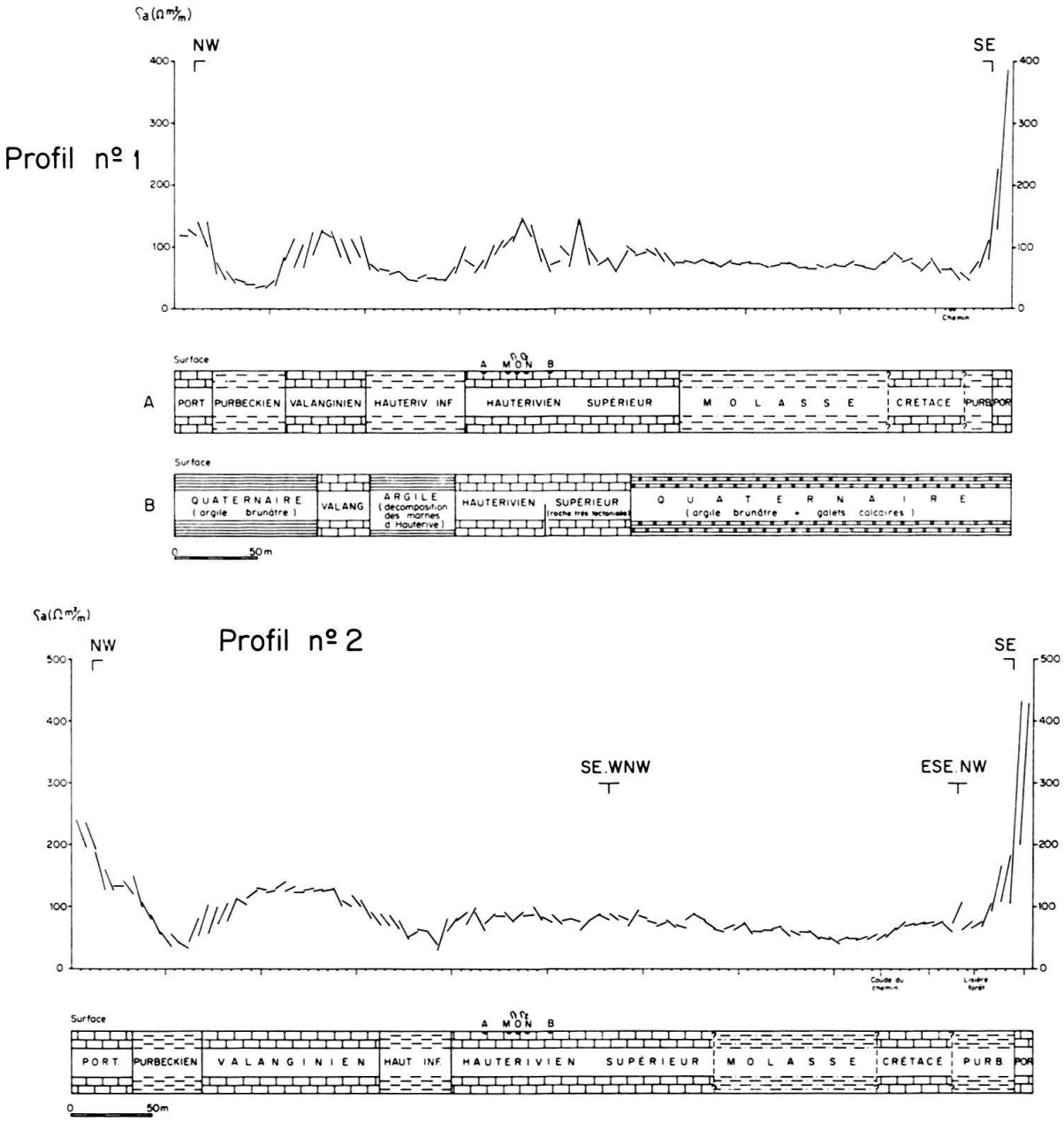

Fig. 6. Profils de résistivité à travers la vallée de La Sagne, avec leur interprétation géologique. Profil 1: A) interprétation géologique; B) coupe géologique observée dans la tranchée de l'oléoduc.

Le profil No 1 (Fig. 6) a été relevé à peu près parallèlement au tracé de l'oléoduc du Jura neuchâtelois, une cinquantaine de mètres au SW de celui-ci. Le levé géologique de la tranchée de l'oléoduc, dessiné en *B* à la Figure 6 d'après KIRALY (1966), a permis d'étalonner les mesures de résistivité. Malheureusement, la fouille, profonde de 1,6 m,

n'a pas mis à jour une coupe géologique continue, en raison de l'épaisseur des dépôts quaternaires. L'interprétation géologique des mesures est représentée en *A* à la Figure 6. On constate que le Purbeckien et les Marnes d'Hauterive du flanc NW du synclinal se marquent clairement; rappelons que le «gradient» maximum détermine la limite d'une formation de résistivité donnée. Lorsque les calcaires hauteriviens sont tectonisés, leur résistivité varie d'une façon très irrégulière. Au passage du toit de l'Hauterivien, le profil montre une réaction modérée; ceci peut être expliqué par l'épaisseur accrue de Quaternaire, et par le broyage des calcaires hauteriviens, dont les propriétés électriques se rapprochent alors de celles de la Molasse.

Le Crétacé du flanc renversé du synclinal ne se manifeste pas d'une façon très nette; le léger maximum indiqué par le profil, avant la pente très forte due à l'influence des calcaires portlandiens, peut être interprété de deux façons: 1. Il s'agit de la réaction des calcaires crétacés, sous forme d'un maximum unique et peu marqué, en raison de leur état fortement laminé et de l'amincissement des Marnes d'Hauterive; c'est la solution qui a été retenue pour le figuré lithologique. 2. Il s'agit d'une zone de moraine un peu graveleuse; des forages ont en effet montré que les bords des synclinaux jurassiens peuvent présenter des accumulations importantes de dépôts quaternaires, ayant jusqu'à plus de 20 m d'épaisseur.

Le long du profil No 2 (Fig. 6), on retrouve la même succession que ci-dessus. Au NW de l'axe du synclinal cependant, les limites du Purbeckien et des Marnes d'Hauterive sont définies avec moins d'exactitude, et le contraste de résistivité au contact des calcaires hauteriviens et de la Molasse est très atténué.

L'alternance de calcaires et de marnes se marque donc par un profil de résistivité bien contrasté sur le flanc normal du synclinal, et l'examen des «gradients» permet de définir d'une façon satisfaisante les limites des formations. Les résultats sont moins clairs sur le flanc renversé; le problème est compliqué par la nature hétérogène et l'épaisseur irrégulière du Quaternaire, et par la tectonique qui a modifié les propriétés spécifiques des roches, atténuant les contrastes de résistivité.

Les profils 3 à 6 (Fig. 7) ont été relevés sur le Crétacé du versant NW du synclinal; ils montrent la façon dont on peut suivre de proche en proche un banc calcaire (Valanginien). A cet endroit, la succession des calcaires et des marnes se marque dans la topographie par des talus et des replats; mais les affleurements font totalement défaut, et les limites des formations sont invisibles.

5. Conclusions

Pour certains problèmes de détail étudiés par profils de résistivité, l'intervalle courant entre deux stations de mesure, souvent égal à *AB*, est trop long. Dans ces conditions, l'emploi du traîné à répétition remplacera avec profit un dispositif à deux électrodes de potentiel, surtout s'il s'agit de mettre en évidence des couches verticales ou obliques. Ce procédé présente l'avantage de donner de plus fortes anomalies et de permettre une définition plus précise des limites géologiques.

Ainsi, le dispositif de LEE convient particulièrement bien à certains travaux de recherches hydrogéologiques en terrains calcaires.

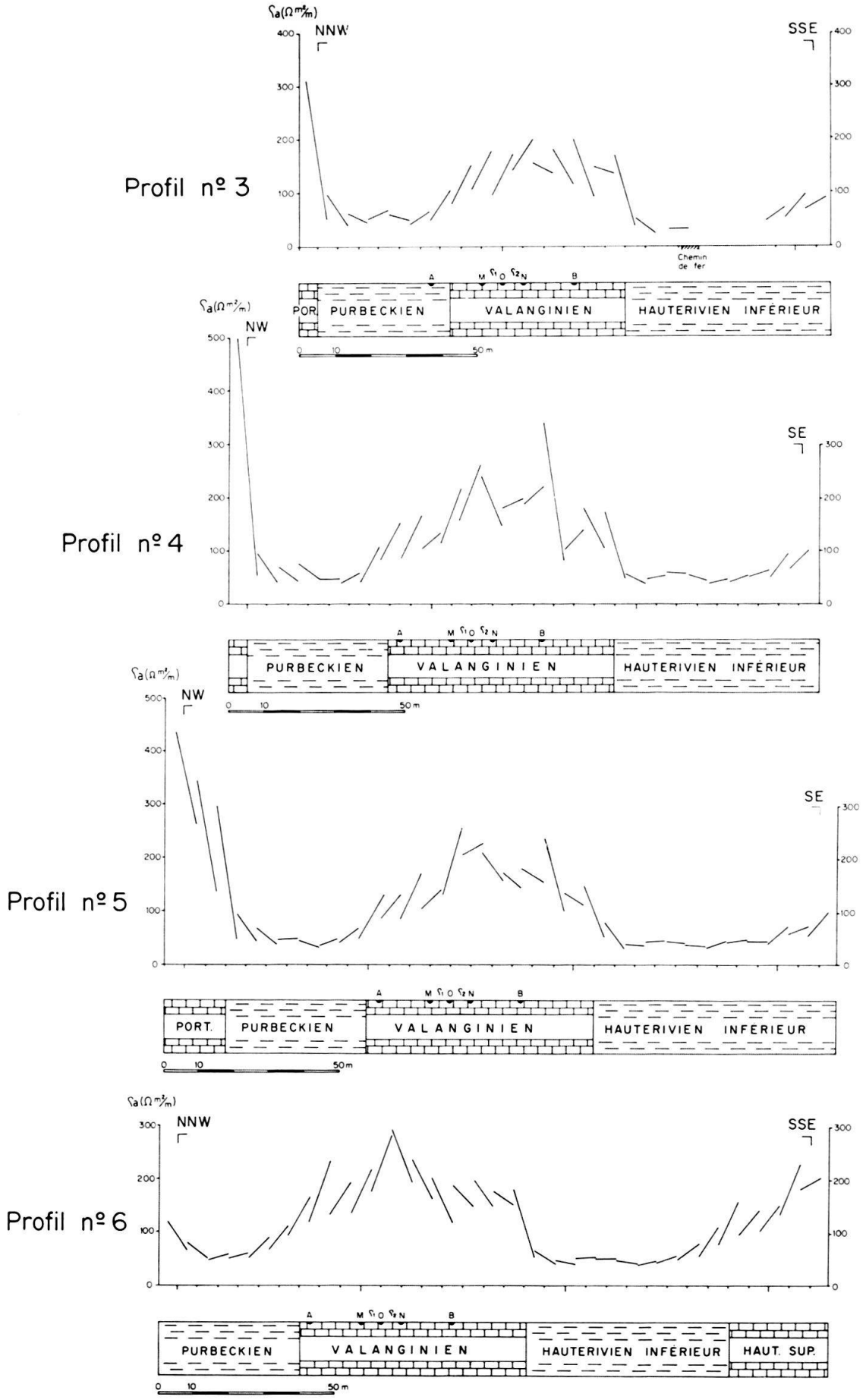

Fig. 7. Profils de résistivité sur le flanc NW de la vallée de La Sagne, avec leur interprétation géologique.

BIBLIOGRAPHIE

CAGNIARD, L., et NEALE, R. N. (1957): *Technique nouvelle de modèles réduits pour la prospection électrique*. Geophys. Prospecting, *5*, 258–271.

KIRALY, L. (1966): *Levé géologique de la fouille de l'oléoduc du Jura neuchâtelois sur territoire suisse*. Neuchâtel, non publié.

KUNETZ, G. (1966): *Principles of Direct Current Resistivity Prospecting*. Geoexploration monographs, series 1, No. *1* (Gebrüder Borntraeger, Berlin), 103 p.

LASFARGUES, P. (1957): *Prospection électrique par courants continus*. Masson, Paris, 290 p.

TRIPET, J.-P. (1965): *Etude géoélectrique de la vallée de La Sagne, canton de Neuchâtel*. Travail de diplôme, Laboratoire de Géophysique, Université de Genève, non publié.

VAN NOSTRAND, R. G., et COOK, K. L. (1966): *Interpretation of Resistivity Data*. Geol. survey prof. paper, *499*, US. Gov. (Printing Office, Washington D.C.), 310 p.