

Compagnie Française des Pétroles dans les plaines de la Crau et de la Camargue (Figure 37). Cependant cette région a déjà subi maintes investigations géophysiques et il s'agissait en fait d'éprouver la méthode M.T. avant d'envisager son utilisation en terrain inconnu.

Dans la zone prospectée la densité des sondages est seulement de 1 pour 50 km², c'est une valeur bien adaptée pour une étude rapide d'une région peu étendue. On ne s'attendra donc pas à voir s'éclaircir tous les problèmes structuraux qui se posent dans cette région. Au surplus des raisons évidentes de secret justifient une certaine censure de l'ensemble des résultats.

On pourra cependant juger de l'intérêt de la méthode M.T. à travers l'étude détaillée des courbes obtenues en deux stations (1 et 10) qui figurent seules sur le plan de position. Les logs électriques effectués dans les deux forages très proches de ces stations fourniront des éléments de comparaison fort intéressants. Pour le reste on se contentera d'évoquer les problèmes posés, tant du point de vue expérimental que théorique, par la prospection M.T. dans une telle région.

2. Situation géologique.

Si dans ce pays de plaine les effets topographiques ne sont pas à redouter, il n'en est pas de même des conditions structurales. Un rapide aperçu de la géologie régionale en convaincra facilement. Cette zone a en effet subi de nombreuses phases de plissement: à l'Aptien (direction E-N-E) et durant l'orogénèse pyrénéo-provençale (E-W ou E-N-E) entre autres. D'autre part la composition des différentes couches de terrain est loin d'être homogène sur toute leur étendue dans une région qui se trouvait, surtout au crétacé, en bordure de l'isthme Durancien. D'ailleurs changements de faciès et lacunes de sédimentation sont révélées par les données recueillies dans les forages voisins d'Istres (station 10) et des Saintes-Maries-de-la-Mer (station 1); données que l'on trouvera résumées par les Figures 38 et 39. On retiendra comme exemples:

— l'absence totale de terrains du crétacé aux Saintes-Maries-de-la-Mer.

— les variations de faciès, entre les deux forages au Jurassique supérieur, variations qui indiquent une sédimentation plus profonde à Istres et auxquelles correspondent des résistivités moyennes différentes: 2000 Ω m à Istres et 62 Ω m aux Saintes-Maries-de-la-Mer.

— une différence de faciès et de résistivité pour les terrains du Lias qui apparaissent comme conducteurs à Istres et par consé-

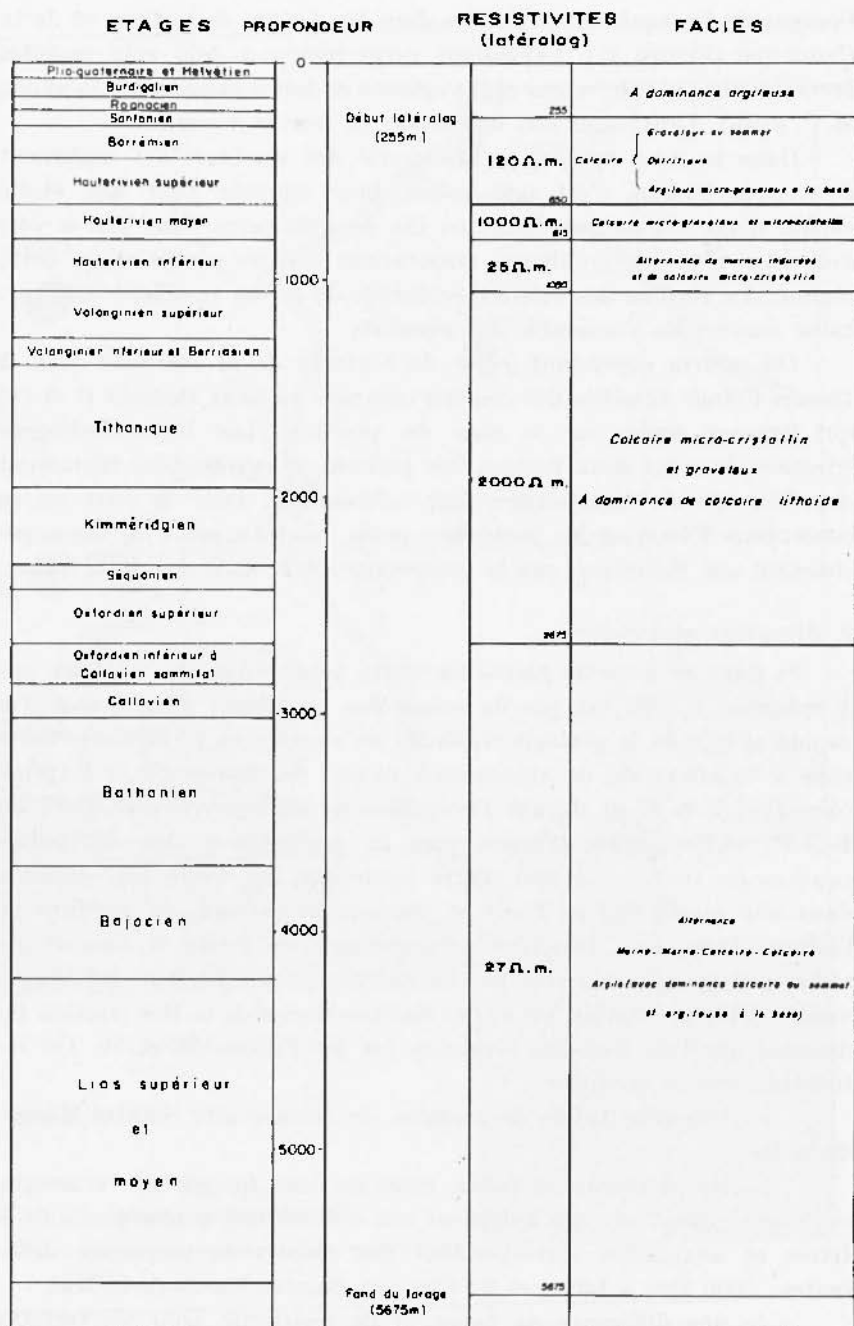


Fig. 38 — Coupe géoélectrique relevée dans le forage Istres 101.

quent se confondent avec les terrains du Jurassique moyen et qui apparaissent comme résistants aux Saintes-Maries-de-la-Mer, ce qui les différencie de la formation des Terres Noires.

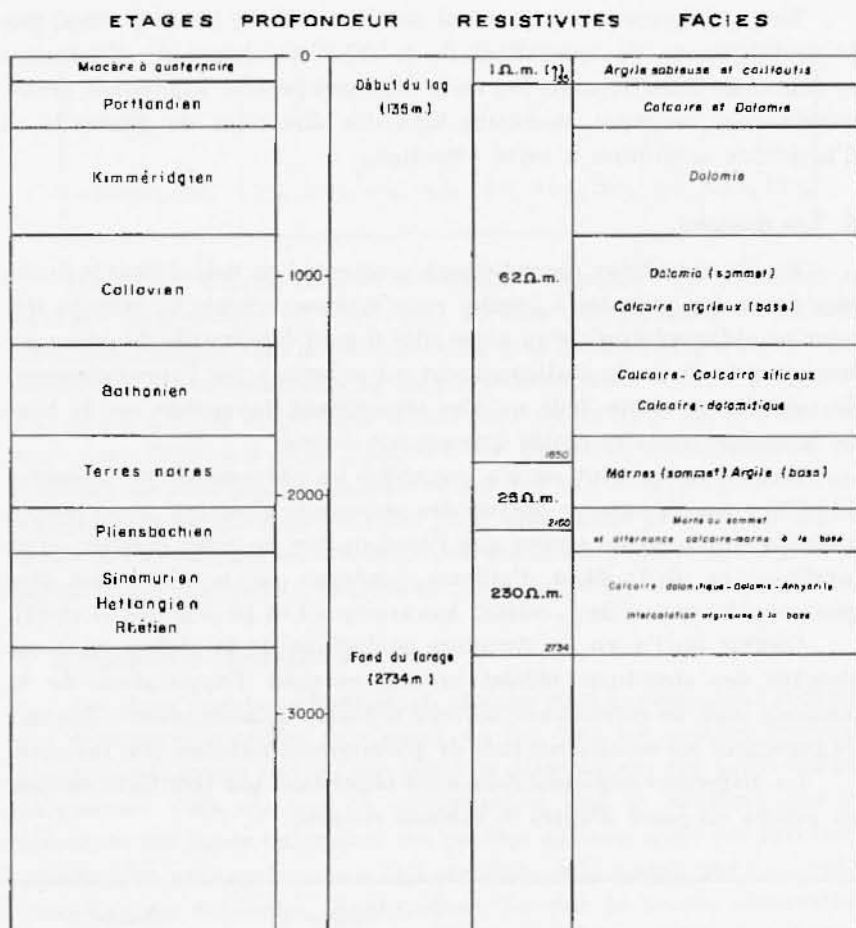


Fig. 39 - Coupe géoélectrique relevée dans le forage Saintes-Maries de la Mer 102.

Les structures, les failles et les changements latéraux de faciès entraînent une certaine anisotropie dans le plan horizontal puisque des matériaux aux constantes électriques fort différentes se trouvent juxtaposés au même niveau. Il est alors préférable d'effectuer un sondage croisé pour obtenir les valeurs de la résistivité suivant l'al-

longement de la structure et dans la direction perpendiculaire. La direction des lignes telluriques a été choisie en fonction des données précédentes et des indications fournies par la gravimétrie et la sismique.

Le prolongement du synclinal de Berre (E-W) bordé au Sud par le prolongement de l'anticlinal de la Nerthe (chaîne de l'Estaque) se manifeste dans la partie Est de la zone prospectée. Les cartes, gravimétrique et sismique, montrent bien des directions de gradients et d'accidents conformes à cette structure.

3. Les mesures.

En chaque région nouvellement prospectée on doit définir la limite supérieure des périodes à étudier pour intéresser toute la tranche des terrains sédimentaires. D'un autre côté il peut être inutile de prolonger beaucoup la durée du stationnement sur le terrain par l'enregistrement de périodes de durée telle qu'elles renseignent davantage sur la base de la croûte terrestre plutôt que sur son écorce.

Dans le cas présent, on n'a pas utilisé les phénomènes de la gamme 60 s-900 s car l'épaisseur prévue des sédiments ainsi que leurs résistivités permettaient de penser que l'exploitation de cette gamme serait inutile — ce choix était d'ailleurs confirmé par le calcul des diagrammes théoriques de Q_a relatifs aux stations 1 et 10 (Figures 41 et 42).

Comme on l'a vu, la structure géologique de la région est assez éloignée des structures idéales envisagées pour l'application de la méthode mais de surcroît une activité industrielle assez intense risquait de perturber les enregistrements de phénomènes naturels peu intenses.

La dispersion expérimentale n'est cependant pas très forte comme on pourra en juger d'après le tableau ci-après.

	Chaîne 1	Chaîne 2
Classe modale	8-12%	8-12%
Fréquence relative de la classe modale	37%	45%
Médiane	10,5%	9,0%
Moyenne arithmétique	10,5%	9,9%

La valeur moyenne de cette dispersion de ϵ/h pour chaque sondage et pour les deux chaînes de mesures (cf. Tableau ci-après) ne subit pas de fortes variations ce qui tend à prouver qu'un dépoillement minutieux a permis l'obtention de résultats valables aux stations les plus parasitées.

Station	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Dispersion	9%	12%	9%	9%	9%	10%	10%	8%	12%	12%

Pour l'une d'entre elles on a comparé l'amplitude des phénomènes naturels (magnétique et tellurique) à celles des parasites de la voie tellurique puisque c'est là qu'ils sont les plus intenses (Figure 40). Leur amplitude dépasse même celle du phénomène entre 0,125 s (8 Hz) et 4 s, ce qui n'a pas empêché le calcul des valeurs de ρ_a mais, bien sûr, avec une dispersion plus grande. C'est que, bien heureusement, les parasites ne sont pas permanents et laissent subsister des parties d'enregistrement exploitables (environ 20% dans le cas présent). L'exploitation des amplitudes naturelles ne devient délicate que pour les grandes périodes qui trouvent difficilement place entre les zones perturbées.

4. Résultats de l'interprétation.

Les deux courbes obtenues en chaque station présentent souvent des différences sensibles provenant du fait que les couches intermédiaires conductrices ne sont pas toujours détectées sur les deux chaînes de mesures. Cela n'a rien de surprenant si l'on se souvient que les directions des lignes telluriques ont pu être choisies selon les directions structurales principales grâce aux résultats déjà acquis par l'exploitation d'autres méthodes géophysiques, ou par la simple observation géologique. Ce sont donc les directions selon lesquelles la distribution des terrains en profondeur peut paraître la plus différente en une même station.

La coupe géoélectrique retenue est évidemment celle qui correspond à la courbe qui s'est montrée la plus riche en informations, ce choix correspond en fait toujours avec la direction des structures connues.

On a tracé plusieurs cartes d'isorésistivités pour des périodes différentes, seules sont présentées ici (Figures 43 et 44) celles qui ont été établies pour $\sqrt{T} = 5$ ($T = 25$ s) car, dégagées des influences

superficielles, elles représentent mieux les caractéristiques de la géologie profonde. Les deux cartes sont peu différentes si l'on néglige les valeurs absolues des θ_a et indiquent bien les directions principales

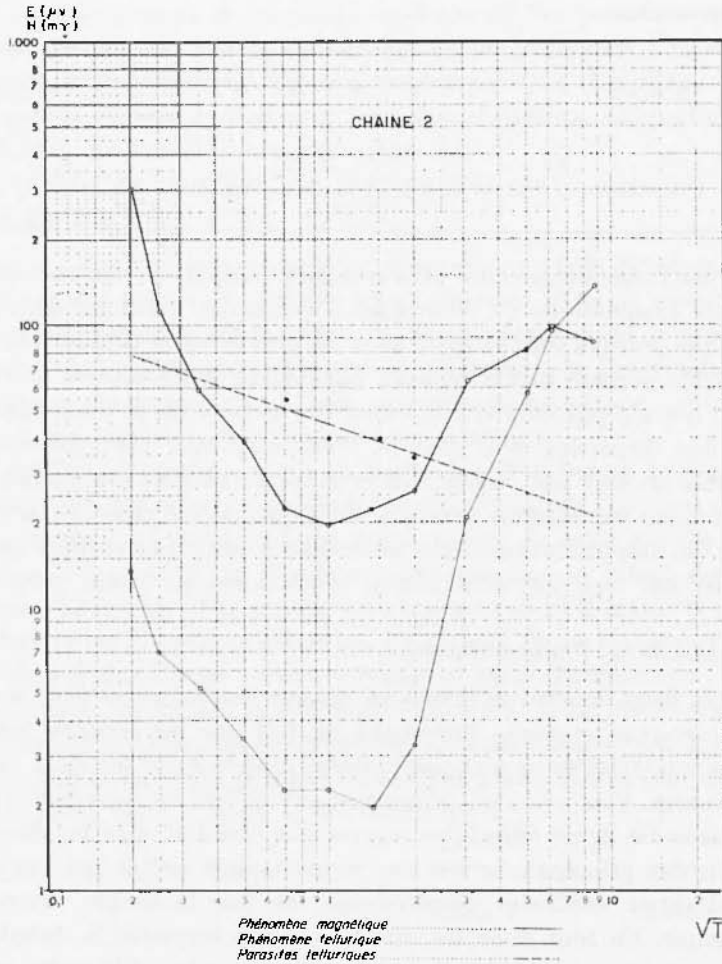


Fig. 40 - Sondage M. T. Istres 9; amplitude moyenne du champ tellurique et du champ magnétique et niveau moyen des parasites telluriques.

(E-N-E et N-N-W) déjà évoquées. Si ces directions avaient été ignorées, une rotation théorique des axes de mesures, lors du dépouillement aurait permis de trouver les directions d'écart maximal des valeurs de ρ_a en chaque station; il est vrai, avec un important surcroît de travail.

A la station 1 (Saintes-Maries-de-la-Mer) le sondage N-S révèle trois terrains sédimentaires (Figure 41) alors que le sondage E-W ne fait pas (ou très peu) la différence entre les deux derniers et le socle.

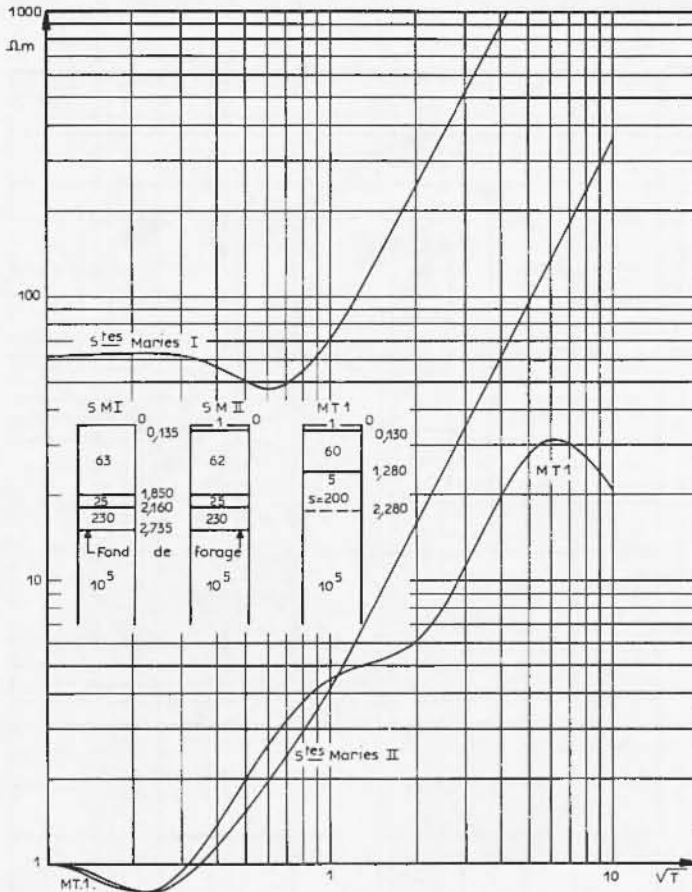


Fig. 41 - Sondage M. T. Istres 1: courbes théoriques I et II d'après le log électrique du forage et courbe expérimentale M.T. 1.

Cela indique une structure approximativement N-S (cf. Figures 43 et 44). L'interprétation quantitative donne une première couche superficielle de 130 mètres d'épaisseur correspondant aux terrains compris entre le Quaternaire et le Miocène dont la résistivité est faible, probablement à cause de leur imprégnation en eau salée. Ensuite, vient une couche résistante que l'on peut assimiler aux terrains du Jurassique

supérieur, puis une formation conductrice qui doit se terminer avec le toit du Pliensbachien. La remontée de résistivité qui suit sur la courbe du sondage laisse penser qu'il n'y a plus de terrains sédimentaires conducteurs vers la base ou que leur épaisseur est trop faible pour être décelable.

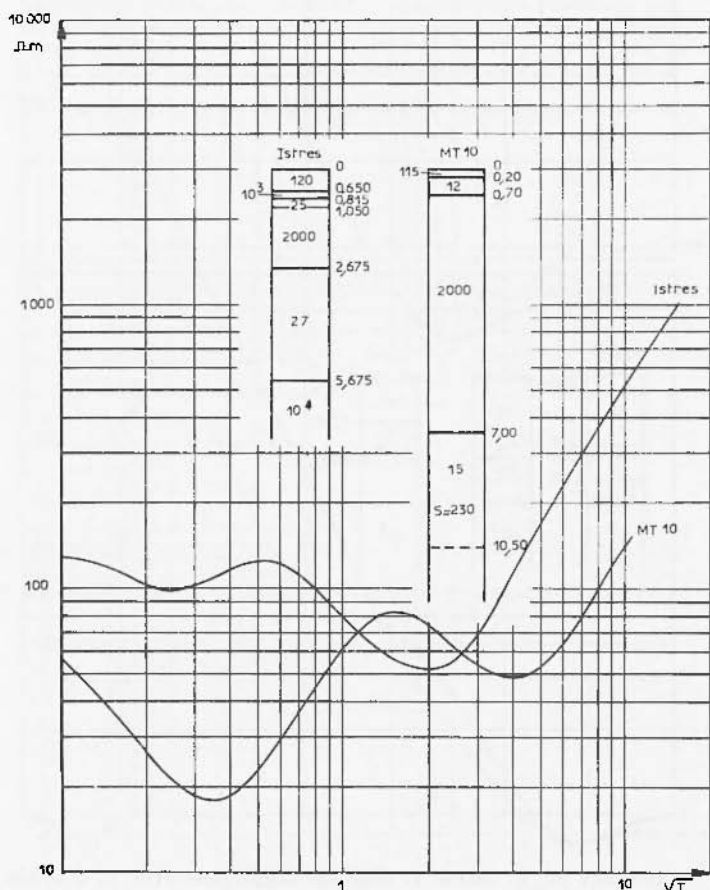


Fig. 42 - Sondage M.T. Istres 10: courbe théorique (Istres) et courbe expérimentale (M.T. 10).

Si on compare ces résultats avec le log électrique de la Figure 39 on constate que la base du terrain résistant (1280 m) ne correspond pas, dans la coupe d'interprétation, au toit des Terres Noires, c'est que la méthode M.T. détermine avec plus de précision la base d'un terrain conducteur que celle d'un terrain résistant. De fait le toit du

Pliensbachien se retrouve à peu près à la même cote dans les deux cas (2160 et 2280 m). Il convient toutefois de remarquer que le troisième terrain est plutôt caractérisé, en M.T., par sa conductance S ($\text{mho}) = h$ (mètres)/ ρ (ohm-mètres) que par ses paramètres h et ρ . C'est donc un terrain de conductance 200 mhos, dont la résistivité

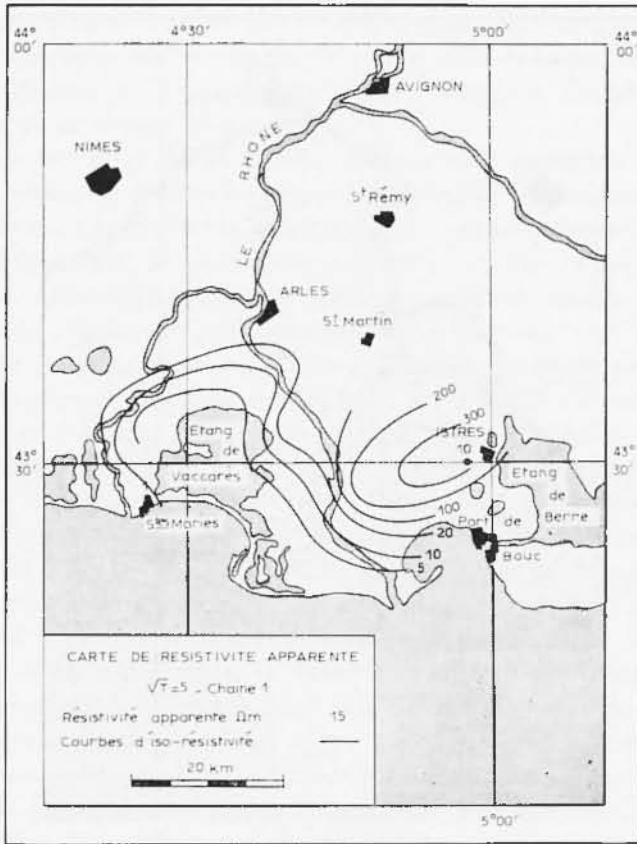


Fig. 43 - Légende sur la figure.

peut atteindre 10 Ohm et, dans ce cas son épaisseur serait de 2000 m. Le toit du socle électrique serait alors reporté à 3300 m environ. Le log électrique n'ayant débuté qu'à 135 m, un premier calcul avait été effectué en assimilant cette première tranche de terrain, pour sa résistivité, aux couches résistantes situées juste en-dessous (courbe I), c'est le résultat du sondage M.T. qui faisant apparaître une couche conductrice (1 Ohm) d'épaisseur précisément 130 m, a fait reprendre

le calcul de la courbe théorique; Cette courbe II correspond beaucoup mieux aux résultats expérimentaux et l'hypothèse d'une imprégnation d'eau salée de ces sédiments meubles est très vraisemblable. Sur la courbe expérimentale le troisième terrain ($S = 200$ mhos) est beaucoup mieux marqué que sur la courbe théorique, on peut penser

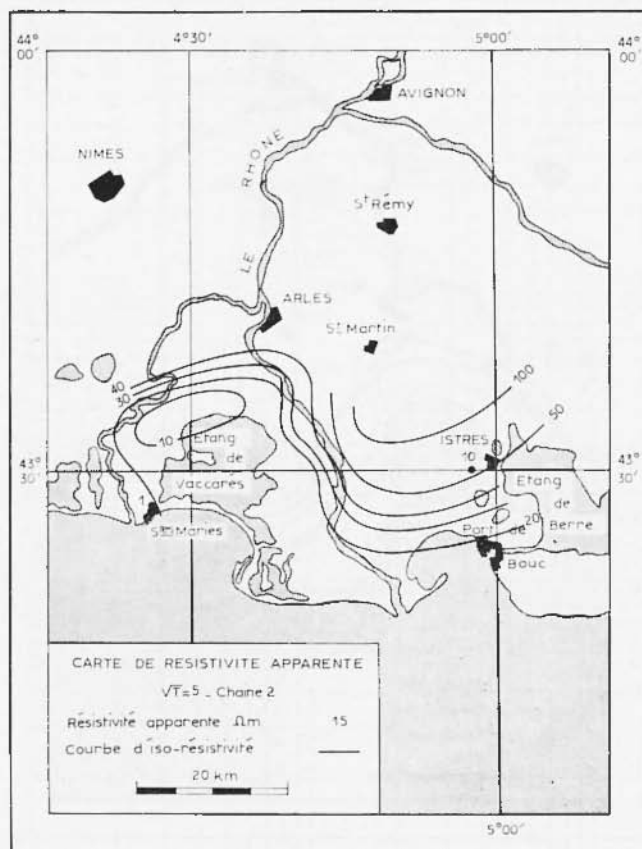


Fig. 44 - Légende sur la figure.

que, pour la M.T., une part importante des terrains calcaires du Bathonien et du Calovien est assimilée aux Terres Noires. Le contraste de résistivité (63 à 25 Ωm) est d'ailleurs assez faible sur le log électrique entre ces deux formations. On remarquera qu'il est beaucoup plus difficile de discerner sur la courbe théorique II les terrains à 63 et 25 Ωm que sur la courbe I. Cela illustre la difficulté de distinguer

des terrains dont la résistivité croît avec la profondeur, ils sont en quelque sorte « transparents » à la M.T. s'il y a un socle très résistant et surtout un premier terrain très conducteur. On comprendra ainsi pourquoi il ne serait pas judicieux d'effectuer un sondage M.T. à la surface de la mer.

La station 10, située à 3 km au Sud du forage d'Istres en est séparée par un accident E-W mis en évidence par la sismique réflexion. Le log électrique (Figure 38) et la courbe M.T. théorique qui en est déduite (Figure 42) peuvent donc subir quelques modifications à l'aplomb de la station M.T.

L'interprétation de la courbe obtenue avec une ligne tellurique NW-SE (chaîne 2) montre en effet une succession de terrains en accord avec celle du log électrique (Figure 38). Le premier terrain est assez résistant (115 Ωm), le second est conducteur (12 Ωm), mais les épaisseurs ont notablement changé. Pour le troisième terrain, résistant (2000 Ωm), l'épaisseur proposée par l'interprétation est nettement supérieure à celle qui est constatée dans le forage, c'est peut être le même phénomène que pour la station 1. Pour le dernier terrain sédimentaire on retrouve également la même indétermination que dans le cas précédent; sa conductance serait de 230 mhos et sa résistivité inférieure à 30 Ωm . Une valeur de 15 Ωm permet de retrouver une épaisseur semblable à celle qui est attribuée au Jurassique inférieur et au Lias pour le forage. L'épaisseur globale de la formation sédimentaire est ainsi de 10,5 km au lieu de 5,675 km pour le fond du forage. La courbe expérimentale suggère une subdivision du terrain résistant (2000 Ωm) dont la base n'aurait qu'une résistivité de 1000 Ωm environ et comprendrait une partie au moins des terrains du Jurassique inférieur. Dans cette hypothèse l'approfondissement constaté ne serait pas dû à un épaissement du Jurassique supérieur mais à la présence de terrains conducteurs au Lias inférieur et au Perno-Trias, la conductance de ces terrains serait alors ramenée à 190 mhos.

Ces deux exemples illustrent bien les difficultés qui peuvent surgir entre géologues et géophysiciens quant à la notion de socle. A la station 1 le socle « électrique » comprend tous les terrains antérieurs aux Terres Noires alors qu'à la station 10, les terrains du Jurassique inférieur et sans doute du Perno-Trias n'en font pas partie. Ce serait donc une erreur que de relier entre eux les toits de ces deux formations.

Les résultats obtenus pour les huit autres sondages effectués dans cette région ne seront pas discutés en détail. On peut cependant dire

que, quantitativement, toutes les conclusions fournies par la sismique ou la gravimétrie sont confirmées par l'étude magnéto-tellurique tant en ce qui concerne la présence et la direction des structures que l'existence de grands accidents (failles). Quatre courbes obtenues en deux stations voisines présentent beaucoup de similitude et leur interprétation donne des coupes géoélectriques très ressemblantes. Il y a donc une certaine tabularité des couches à cet endroit contrairement à ce qu'on a mis en évidence partout ailleurs.

Pour trois stations l'interprétation n'a pas permis de situer exactement le socle du fait que les courbes ne se prolongeaient pas suffisamment vers les longues périodes. On pensait à priori que c'était à Istres que les couches étaient à la fois les plus épaisses et les plus conductrices, or le calcul montrait (Figure 42), qu'il n'était pas nécessaire d'étudier les périodes supérieures à 60 s. Mais à ces stations le dernier terrain mis en évidence est conducteur et les courbes n'indiquent pas une remontée des résistivités apparentes qui caractériserait le socle. Il est alors impossible de déterminer si cette ultime couche conductrice est un terrain sédimentaire ou bien la couche à faible résistivité habituellement détectée à des profondeurs plus importantes. C'est un problème qu'il serait très important de résoudre car sa solution est évidemment capitale pour la connaissance de la structure régionale. On ne peut retenir l'hypothèse du socle profond sous le seul prétexte qu'elle bouleverserait moins les idées reçues.

C. Prospection dans les Landes et dans les Basses Pyrénées.

1. Permis de la S. N. REPAL.

Dès 1962 on a entrepris une campagne de 14 sondages M.T. dans le département des Landes sur un permis de la S.N. Repal. Les mesures étaient réparties entre un grand profil et l'étude d'une structure anticlinale déterminée par sismique-réfraction (Figure 45).

Le rendement n'étant pas le souci principal on a réalisé les 14 sondages en un mois en atteignant la cadence d'une mesure quotidienne au cours de la dernière semaine. On attendait de la méthode M.T. qu'elle confirme et qu'elle complète les renseignements fournis par d'autres méthodes géophysiques, notamment la sismique réfraction, pour lesquelles le crétacé représentait une sorte d'écran.

Il convient de rappeler que les sondages de cette campagne ont été effectués avec l'appareillage assemblé autour de l'électro-encépha-

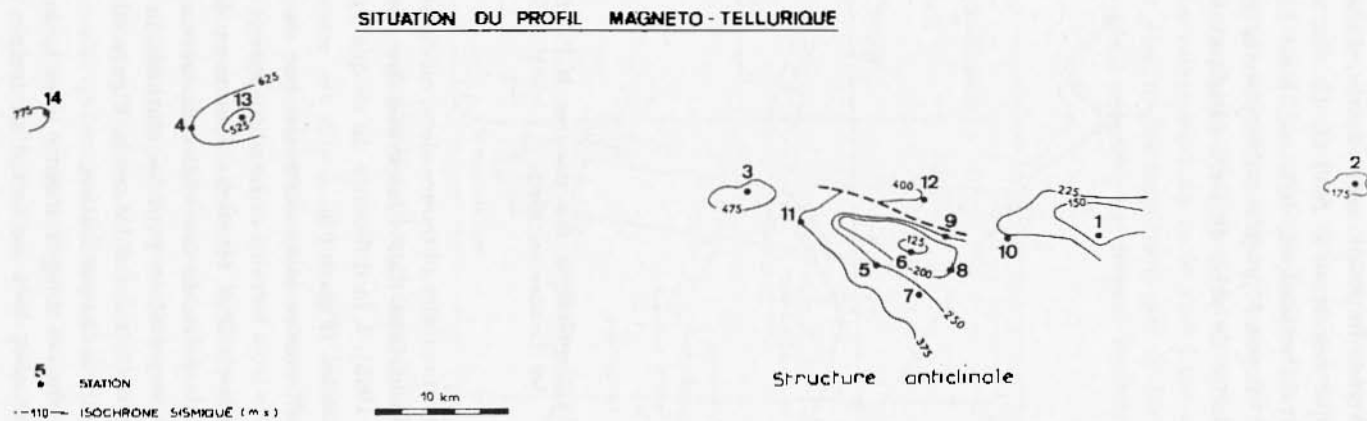


Fig. 45 - Situation géographique de la prospection M. T. dans les Landes en 1902.

lographe Alvar. Ce qui nous imposait, entre autres, d'obtenir une résistance de ligne tellurique inférieure à 2000 Ω . Ce fut une difficulté permanente car le terrain superficiel, très sec, était électriquement très résistant, il fallut disposer jusqu'à 20 électrodes sur le terrain pour obtenir une résistance de prise de terre satisfaisante.

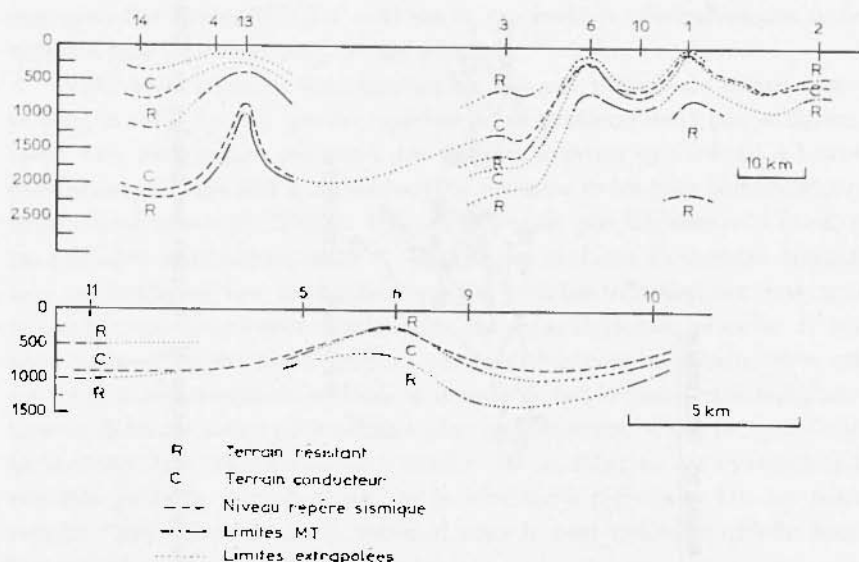


Fig. 46 - Résultats de l'interprétation des mesures M.T. effectuées dans les Landes en 1962.

Sur les courbes expérimentales obtenues alors, on constate la rareté ou même l'absence d'informations dans l'intervalle des périodes allant de 0,5 à 4s, (A. Dupis 1963), à la différence de ce que l'on peut voir sur les courbes plus récentes (Figure 61).

L'interprétation était encore assez sommaire car on ne disposait que de quelques abaques « trois terrains ». Le plus souvent on a simplement raboté deux courbes « deux terrains » comme on fait, mais de façon plus précise, dans la méthode des « lieux de crois ».

Les résultats de l'interprétation pour les stations du profil et de la structure anticlinale ont été rassemblés sur la Figure 46. Un niveau repère sismique a été figuré à chaque station.

Un examen rapide de ces coupes montre que le niveau repère cité ci-dessus correspond assez bien au toit d'un terrain résistant ce

qui paraît logique. Le niveau repère est souvent légèrement à l'intérieur du terrain conducteur mais la précision des résultats M.T., de l'ordre de 10 à 15%, explique facilement ce décalage.

Pour le profil on voit notamment que les structures anticlinales mises en évidence par la sismique sont retrouvées par la M.T. (stations 1, 6 et 13). Le relèvement du socle vers l'Est est également sensible, il paraît peut être moins important par le fait qu'à l'Ouest la M.T. n'a pas, non plus, identifié de terrain en-dessous du niveau repère sismique.

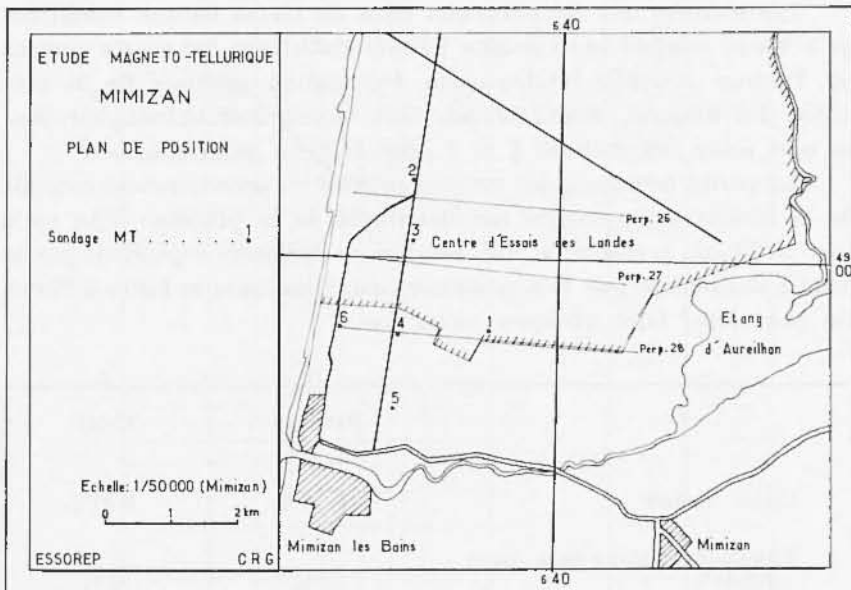


Fig. 47 - Situation géographique des sondages M.T. dans la région de Mimizan.

Cette lacune est due à la fois à la limitation de l'analyse M.T. vers les longues périodes, et certainement, à l'absence de terrains très « conducteurs » sous ce niveau.

De même pour les stations de la structure anticlinale la M.T. ne permet-elle pas de connaître exactement la côte du socle géologique. En effet les courbes de ρ_a ne présentent pas de pente terminale très forte ce qui indique l'existence, entre le dernier terrain « conducteur » identifié et le socle, de terrains sédimentaires moyennement « résistants ».

Cet exposé rapide a surtout pour but de montrer qu'en 1962 le sondage M.T. était une opération bien primitive et bien pénible. Ac-

tuellement la technique est à la fois plus simple et plus efficace, mais c'est surtout l'interprétation qui a progressé sans toutefois permettre encore l'obtention de résultats quantitatifs sur toute structure.

Une nouvelle campagne de sondages M.T. a été entreprise en 1969 dans le cadre d'une étude des couches profondes du Bassin Aquitain. Les dix sondages ont été répartis sur deux zones: la première immédiatement au Nord de Mimizan (Figure 47), la seconde près de Thèze à 25 km au Nord de Pau (Figure 51).

2. Région de Mimizan.

Les mesures ont été effectuées dans de moins bonnes conditions qu'à Thèze comme en témoigne l'étude statistique des écarts moyens (cf. Tableau ci-après). Outre cette dégradation générale de la précision des mesures, deux courbes sont incomplètes et inexploitable, ce sont celles des stations 1 et 2 pour la ligne tellurique E-W.

La partie terminale des courbes montre un accroissement sensible de la résistivité apparente caractéristique de la présence d'un socle très résistant. L'ensemble des courbes ne présente cependant pas la belle homogénéité que l'on constatera pour les mesures faites à Thèze. On peut ainsi faire quelques remarques.

	Mimizan	Thèze
Classe modale	10-15%	6-11%
Fréquence relative de la classe modale	52%	53%
Médiane	12,5%	8,5%
Moyenne arithmétique	12,8%	9,0%

A la station 1 située à l'Est, les deux courbes montrent l'existence d'un premier terrain de résistivité voisine de 100 Ω m (Figure 48), En 2 la courbe E-W débute de la même façon qu'en 1 mais la courbe N-S demeure en dessous de 10 Ω m jusqu'à ce que l'influence du socle se fasse sentir. De façon générale pour les stations suivantes on note une anisotropie pour le premier terrain dont la résistivité serait de l'ordre de 10 à 15 Ω m en N-S (Figure 49) et de 30 à 50 Ω m en E-W.

De plus, à la différence de ce qui se passe à Thèze, la majorité des courbes montre ici l'existence d'une importante formation résistante dans le sédimentaire.

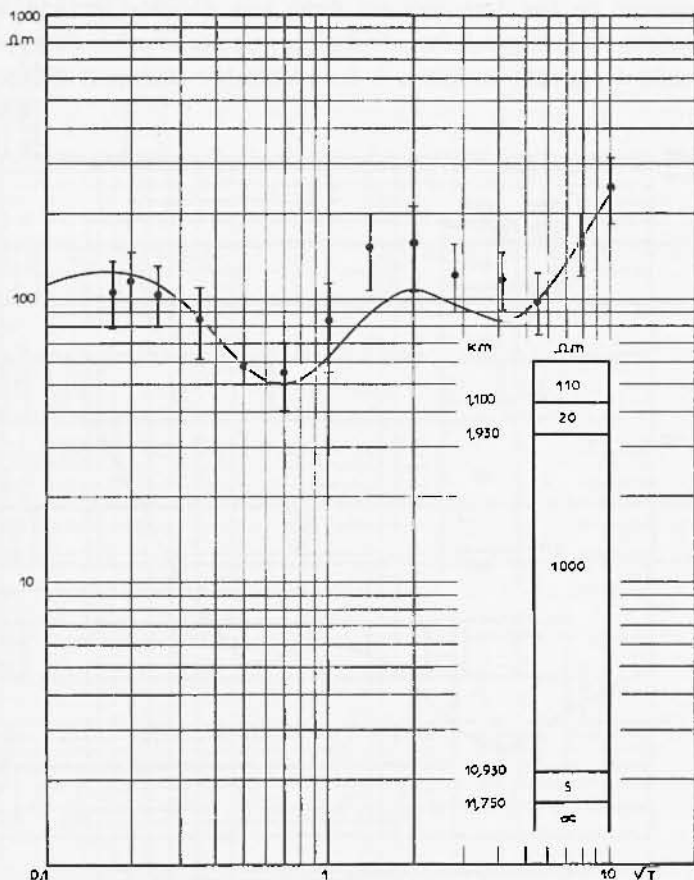


Fig. 48 - Données expérimentales et interprétation du sondage M.T. M1.

La côte du socle paraît ainsi se situer entre 6 et 10 km suivant les stations. On trouvera sur la Figure 50 les coupes géoélectriques correspondant aux courbes calculées d'après les données expérimentales.

Malgré une certaine similitude de l'allure des courbes on constate d'importantes différences dans les résultats de l'interprétation.

Il convient de remarquer qu'avec des courbes comprenant jusqu'à 7 terrains les possibilités d'équivalence sont très larges, d'autant plus

larges que les terrains conducteurs sont en général peu épais en comparaison des terrains résistants. Or on sait que le pouvoir de résolution de la méthode M.T. est bien meilleur pour les couches à faible résistivité que pour celles dont la résistivité est élevée. La détermination de l'épaisseur de ces dernières est donc très délicate lorsque les mesures perdent de leur précision, c'est ainsi que des courbes en apparence assez voisines peuvent conduire à des résultats nettement différents.

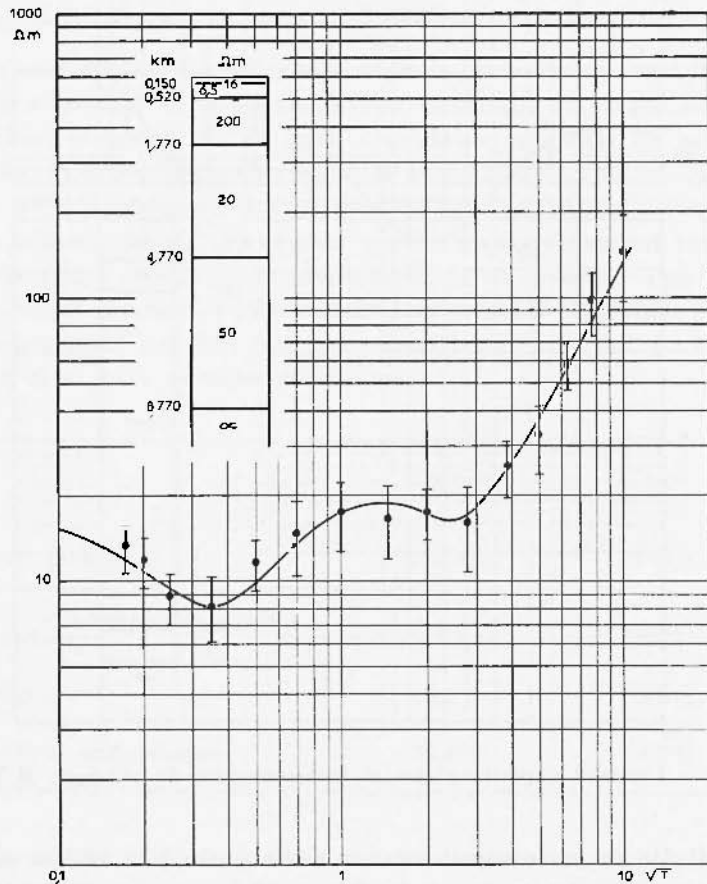


Fig. 49 -- Données expérimentales et interprétation du sondage M.T. Ma.

Plusieurs niveaux résistants ont pu être repérés (Figure 50). Le premier se trouve à une profondeur de 300 m en 2, de 920 m en 3, de 465 m en 4, de 520 m en 5 et de 475 m en 6 d'après les courbes

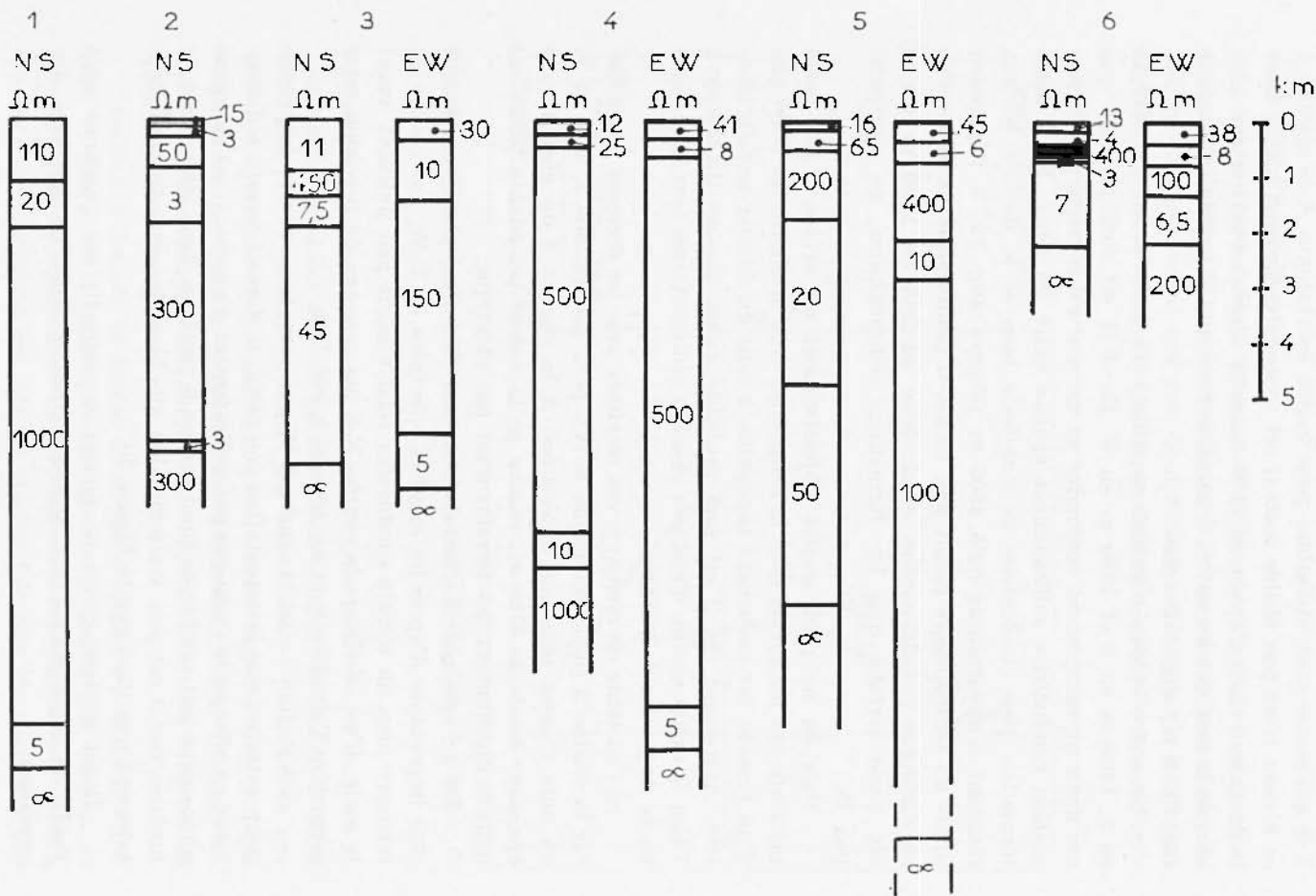


Fig. 50 - Tableau synoptique des résultats de l'interprétation pour la région de Mimizan.

N-S qui seules sont utilisables pour toutes les stations. A la station 1 ce niveau n'est pas visible mais il est vraisemblablement inclus dans le premier terrain d'épaisseur 1100 m, cette station étant située plus loin de la mer que les autres il paraît normal que le terrain conducteur superficiel n'y apparaisse pas.

Un autre terrain résistant se situe vers 1900 m en 1, 1830 m en 2, 1900 m en 3 et 2300 m en 6. En 4 il est fort possible que ces deux niveaux soient confondus en un seul s'il n'existe pas de formation conductrice suffisamment épaisse entre les deux. En 5 cette formation plus conductrice se manifeste bien et le dernier horizon résistant n'apparaîtrait qu'à 4800 m (Figure 49). En 6 l'épaisseur totale du sédimentaire paraît très faible, il faudrait plutôt dire qu'on ne distingue pas de couche conductrice au-delà de 2300 m car il est quasi certain que les formations sédimentaires, ne s'arrêtent pas là.

Mais on ne peut mettre objectivement en évidence par cette méthode une formation dont la résistivité, sans atteindre les 5000 Ωm d'un granite, est nettement supérieure à celle du dernier terrain identifié. Autrement dit il est fort probable qu'en dessous du terrain à 7 Ωm il existe encore d'épaisses couches sédimentaires avec une résistivité de l'ordre de 100 Ωm .

Si l'on tente de retrouver ces résultats avec les données recueillies sur la chaîne 2 (ligne tellurique E-W), pour les stations 3, 4, 5 et 6, on note d'assez sérieuses différences. A la station 3 on obtient une épaisseur totale de 6700 m, voisine de la valeur précédente (6200 m) mais la distribution des terrains n'est pas identique.

En 4 l'épaisseur du terrain résistant (500 Ωm) paraît nettement plus importante d'après les mesures effectuées en E-W, par contre on retrouve bien un terrain conducteur relativement peu puissant avant le socle. C'est d'ailleurs la courbe N-S qui manque de précision pour permettre l'identification du terrain à 500 Ωm .

A la station 5 c'est la courbe E-W qui, cette fois, est trop imprécise pour autoriser une interprétation complète; le dernier terrain sédimentaire, en effet ne se distingue pas suffisamment du socle. C'est ce même phénomène qui semble se produire en 6 pour les deux directions de mesures car il est peu vraisemblable que le socle remonte aussi brutalement que l'indique la Figure 50.

Il est évident qu'on ne pourra approfondir ces questions qu'à l'aide de renseignements supplémentaires et après de sérieuses discussions.

3. Région de Thèze.

Les quatre sondages croisés ont permis le tracé de huit courbes assez semblables. Les deux diagrammes obtenus en chaque point de mesures ne présentent que peu de différences. Le socle est dans tous les cas bien caractérisé par un accroissement sensible de la résistivité

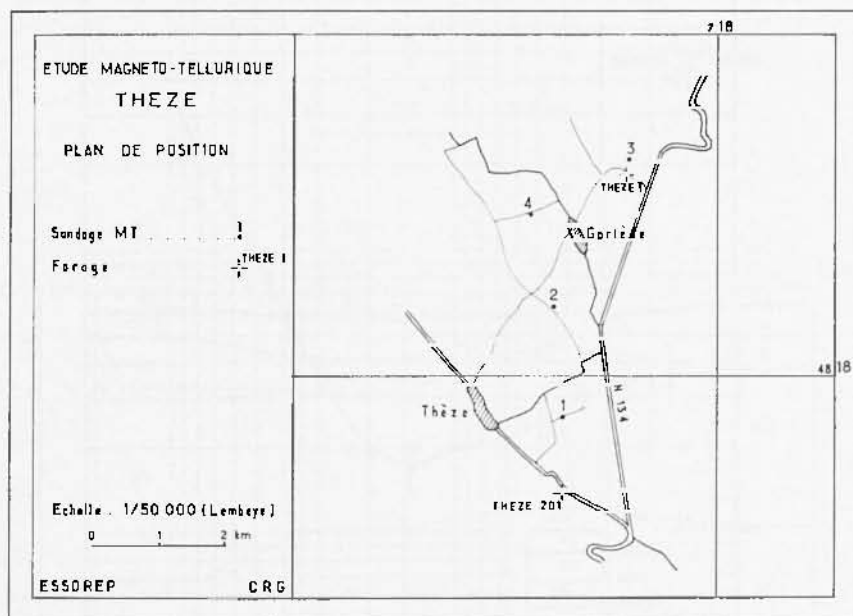


Fig. 51 — Situation géographique des sondages M.T. dans la région de Thèze.

apparente à partir de périodes comprises entre 2 et 4 s ($\sqrt{T} = 1,5$ à 2). Les courbes établies d'après les enregistrements de la chaîne 2 (ligne tellurique E-W) présentent toutes des valeurs de q_n plus élevées que sur le diagramme de la chaîne 1, aux périodes rapides. Ceci indique une anisotropie dans la résistivité des premières couches rencontrées. Cette constatation générale indique une certaine uniformité de structure dans la région prospectée.

Comme le but de ce travail n'est pas d'étudier en détail le « premier terrain », on a préféré établir une seule courbe par station en prenant, pour chaque valeur de \sqrt{T} , une résistivité apparente égale à $\sqrt{q_x \cdot q_n}$. Cette solution est retenue chaque fois que les courbes d'une

même station présentent assez peu de différences pour qu'on puisse admettre que les structures s'écartent peu de la tabularité ou qu'elles sont assimilables à un modèle cylindrique dont les axes principaux se confondent avec les axes de mesures.

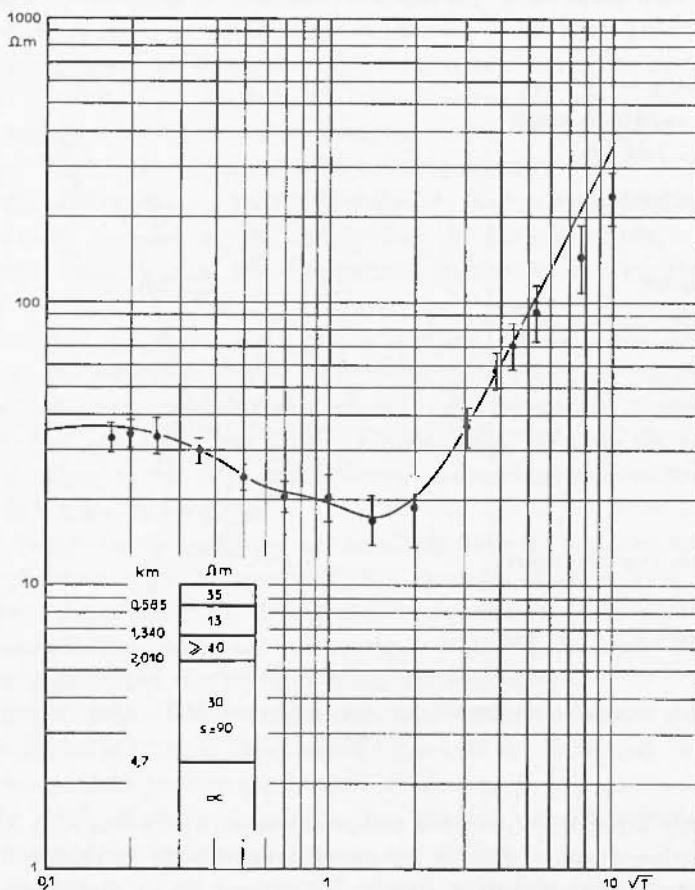


Fig. 52 - Données expérimentales et interprétation du sondage M.T. T_2 .

Ces quatre courbes ont encore une même allure générale qui confirme l'uniformité des structures au moins sur le petit domaine prospecté. L'interprétation de ces données ne pose aucune difficulté. Le calcul théorique de modèles à 5 ou 6 terrains conduit rapidement à des courbes en bon accord avec les q_a mesurées (Figure 52).

Les modèles retenus sont indiqués sur la Figure 53, il convient de préciser que la résistivité attribuée au troisième terrain ($40 \Omega\text{m}$) est une résistivité minimale. La faible influence de cette couche sur les courbes provoque une assez large indétermination sur sa résistivité qui peut être très supérieure à $40 \Omega\text{m}$, son épaisseur, par contre, est connue avec une bonne précision.

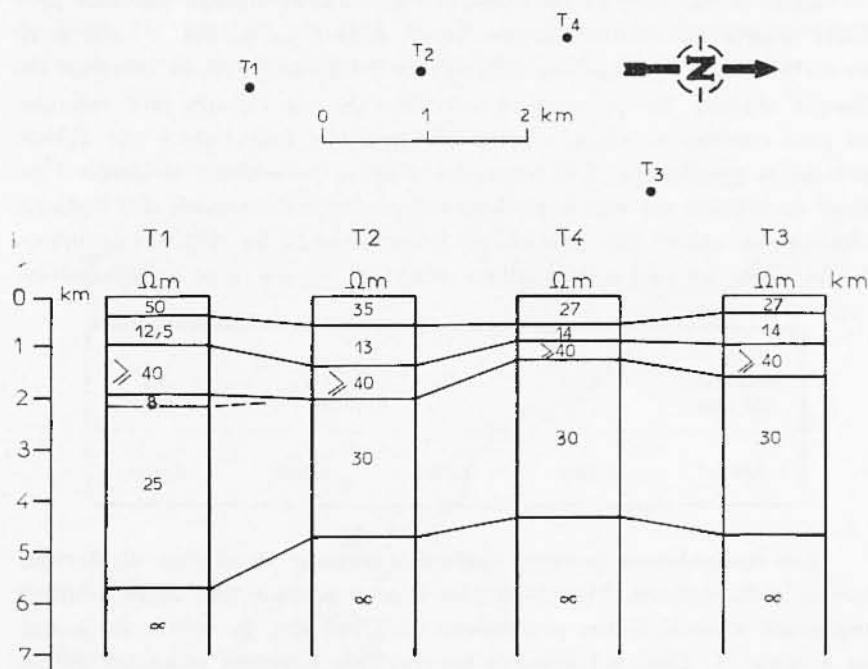


Fig. 53 - Coupe interprétative des résultats M.T. dans la région de Thèze.

Seule la solution proposée pour la station 1 diffère sensiblement des autres, le premier terrain y est plus résistant et derrière le terrain à $40 \Omega\text{m}$ on a introduit une couche supplémentaire à $8 \Omega\text{m}$. Ces variations ne semblent pas entraîner d'importantes conséquences quant à la structure géologique.

Ces modèles confirment bien l'uniformité structurale déjà évoquée au regard des résultats expérimentaux. La pente ± 2 qui caractérise la partie terminale des courbes (vers la droite) permet de calculer la conductance totale, S , des terrains sédimentaires. Les valeurs de S en chaque station sont indiquées dans le tableau ci-dessous:

	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄
S (mhos)	250	181	175	155

Dans le cas présent on connaît h en chaque station par une première interprétation des mesures, on en déduit ρ_{s1} , ρ_{s2} etc ... qui sont les résistivités moyennes des formations sédimentaires à la verticale de chaque station. En prenant la moyenne de ces valeurs très voisines on peut calculer en chaque point une nouvelle valeur de h qui diffère peu de la précédente. Ces nouvelles valeurs présentent toutefois l'intérêt de reposer sur une hypothèse unique pour l'ensemble des stations alors qu'en raison des possibilités d'équivalence les différences introduites entre les premiers modèles peuvent ne pas être significatives.

ρ_s moyenne 26 Ωm	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄
$h(\text{km})$	6,500	4,700	4,550	4,000

Les équivalences peuvent surtout intervenir au niveau du dernier terrain sédimentaire. Pour la station 3 on a proposé une autre solution reportant le socle à une profondeur de 7,700 km, la valeur de ρ_s qui en découle (44 Ωm) entraînerait les résultats suivants pour les autres stations:

ρ_s moyenne 44 Ωm	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄
$h(\text{km})$	11,000	8,000	7,700	6,800

Les résultats que l'on vient d'énoncer ne sauraient être considérés comme un bilan des mesures M.T. effectuées dans les régions de Thèze et de Mimizan. Il s'agit plutôt de premières conclusions devant servir de base à une étude plus complète faite en confrontation avec d'autres renseignements.

CHAPITRE II. — PROSPECTIONS GÉOLOGIQUES.

A. *Prospection dans la région de Nice.*

C'est en partie pour apprécier la possibilité d'effectuer de bons enregistrements lors des essais de magnéto-tellurique marine (M.T.M.) à Villefranche que l'on a réalisé trois sondages, à terre, dans la région de Nice. On pouvait en effet s'attendre à ce que les phénomènes naturels soient gravement perturbés dans une zone si peuplée.

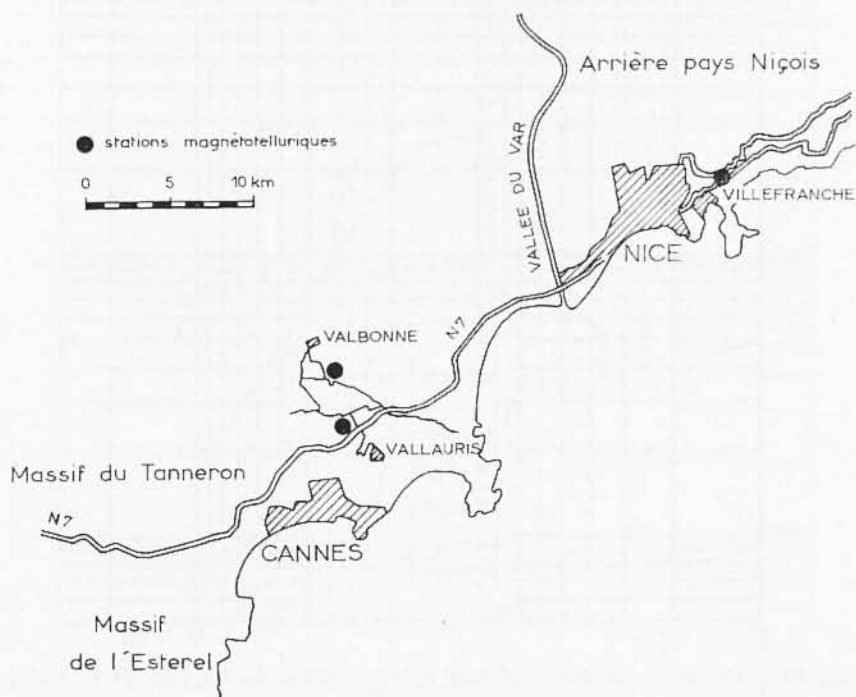


Fig. 54 — Situation géographique des sondages M.T. dans la région de Nice.

L'emplacement des trois sondages est donné sur la carte de la Figure 54. Celui de Villefranche a été difficile à trouver du fait de la grande densité des habitations, et du relief.

Il faut préciser que l'on fait deux mesures magnéto-telluriques à chaque station de façon à calculer la résistivité dans deux directions. On doit donc trouver un emplacement pour deux lignes telluriques,

généralement perpendiculaires, chacune ayant une longueur de 200 mètres environ.

A Villefranche seulement, les enregistrements ont été perturbés. S'agit-il de la proximité de Nice, de la voie ferrée électrifiée qui suit

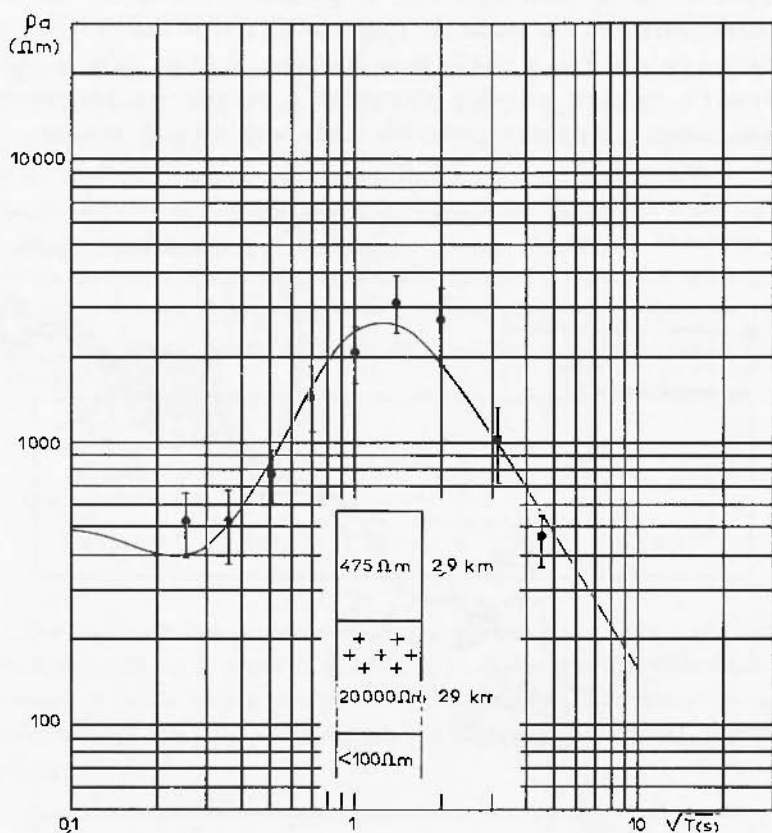


Fig. 55 - Données expérimentales et interprétation du sondage M.T. Villefranche E-W.

la côte ou même des habitations puisque les mesures ont été faites sur le plateau Saint-Michel qui domine Villefranche et Beaulieu? Les diagrammes de résistivités ont pu quand même être tracés (voir Figure 55). Leur obtention a été certes plus difficile et leur précision est évidemment moindre. Le diagramme de la Figure 55 correspond à la mesure des résistivités dans la direction EW (ligne tellurique orientée EW et capteur magnétique NS). Celui de la figure 56 est relatif à

la direction N-S. La dispersion des mesures permet de calculer un écart moyen qui donne une idée de la précision des valeurs de ρ_a . La courbe tracée résulte du calcul fait à partir des paramètres indiqués par la coupe. C'est celle qui a été retenue pour l'interprétation.

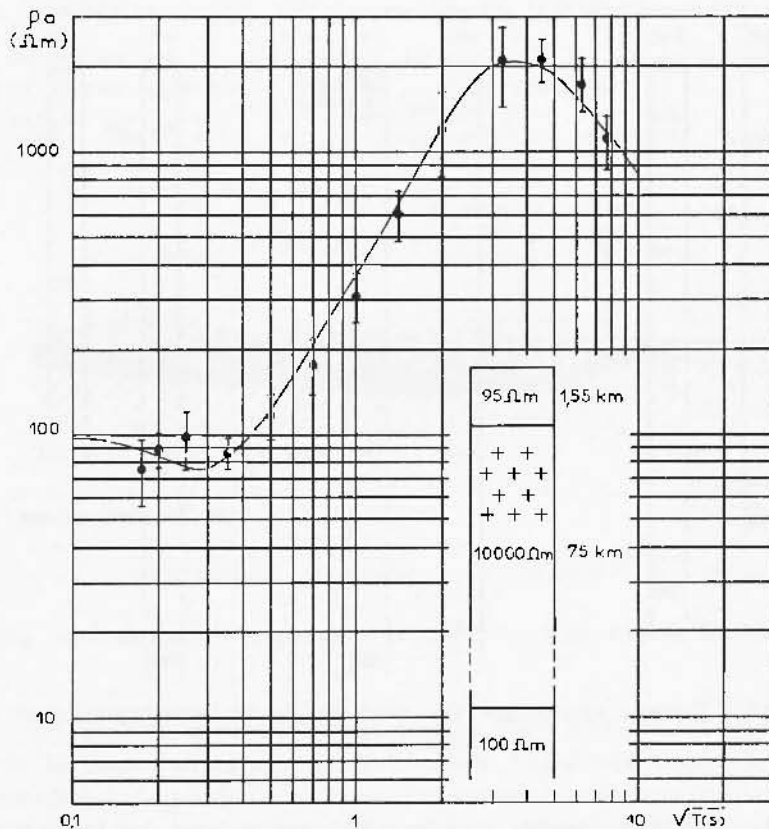


Fig. 56 - Données expérimentales et interprétation du sondage M.T. Valbonne N-S.

A Vallauris et à Valbonne, situés plus loin des causes probables de perturbation, les diagrammes ont été plus faciles à obtenir (voir Figure 56).

A Vallauris, les débuts des deux diagrammes se ressemblent et leurs interprétations presque identiques montrent que l'on a globalement un ensemble isotrope horizontalement, comprenant un terrain de résistivité 100 Ohms-mètres et d'épaisseur 1 kilomètre environ,

reposant sur un terrain de résistivité 10000 Ohms-mètres. Au premier terrain correspondent les formations sédimentaires et au second, très résistant et dont l'épaisseur atteint plusieurs dizaines de kilomètres, correspond le socle profond.

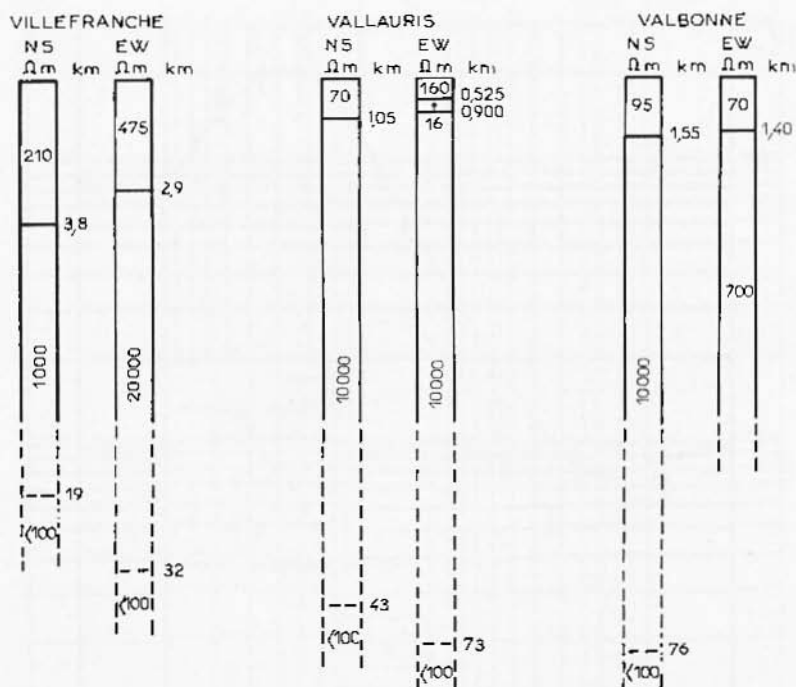


Fig. 57 - Tableau synoptique des résultats de l'interprétation pour la région de Nice.

Le problème consiste à déterminer quelles sont les formations géologiques pouvant produire un contraste de résistivité tel que celui qui est prévu à 1 kilomètre de profondeur par les résultats géophysiques. D'après la notice de la carte géologique d'Antibes, on peut distinguer les grandes unités lithologiques suivantes: un ensemble de terrains calcaires et dolomitiques comprenant l'Effetangien (affleurant à l'emplacement des deux stations) le Rhétien et le Trias dont l'épaisseur atteint 400 à 500 mètres, un ensemble volcano-sédimentaire puissant datant du Permien et auquel on peut associer les terrains du Stéphaniens, des terrains cristallophylliens comme ceux du Tanneron dont l'épaisseur peut atteindre plusieurs milliers de mètres et enfin un

Jurassique et du Crétacé, refoulées par le Massif de l'Argentera-Mercantour viennent buter contre le prolongement du Massif des Maures. L'ensemble des terrains calcaireo-dolomitiques plus ou moins redressés du Jurassique et du Crétacé et des terrains plastiques du Lias peuvent avoir une épaisseur comprise entre 1800 et 2500 mètres et repose probablement sur des terrains permien, cristallophylliens et cristallins de même nature que ceux de la région du Tanneron et de l'Esterel.

Etant donné la direction structurale, ce sont les résultats du diagramme E-W qui doivent être retenus. En fait le socle paraît plus profond que prévu. Si l'on reprend les mêmes hypothèses qu'à Vallauris et à Valbonne, il faut supposer l'existence des terrains du Permien et du Stéphanien dont l'épaisseur est donc comprise entre 400 et 1100 mètres.

On a sans doute remarqué que l'interprétation de la plupart des diagrammes laissait entrevoir la présence d'une couche conductrice à l'intérieur du socle. Bien que cela soit vraisemblable, ce problème n'a pas été abordé car les mesures ne sont pas suffisamment sûres dans ce domaine. Cependant cela met en évidence l'un des avantages de la méthode: la facilité avec laquelle on atteint les couches de terrain les plus profondes.

B. Prospection dans les départements du Cher et de la Nièvre.

1) Introduction.

Les mesures M.T. dans le Centre de la France, autour du Centre de Recherches Géophysiques ont débuté en 1962. La figure 60 présente le premier d'une série de sondages qui furent réalisés à l'aide d'un équipement (Benderitter 1963) assez rudimentaire par certains aspects et qui fut remplacé par un appareillage mieux adapté (Benderitter 1968).

La première phase de mesures a duré jusqu'en Décembre 1963, la suivante a débuté en Octobre 1964 avec une seule chaîne, la seconde étant entrée en service en Mars 1966.

L'étalement des mesures sur quelques sept années n'est pas un élément favorable lorsqu'on tente à la fin, une interprétation que l'on voudrait très précise et très cohérente. Si effectivement certaines dissemblances dans les courbes expérimentales peuvent surprendre pour

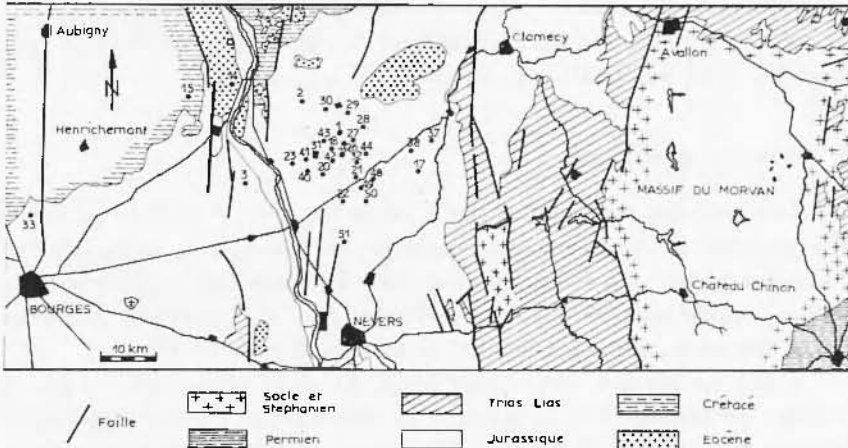


Fig. 59 - Situation géographique des sondages M.T. dans le Centre de la France.

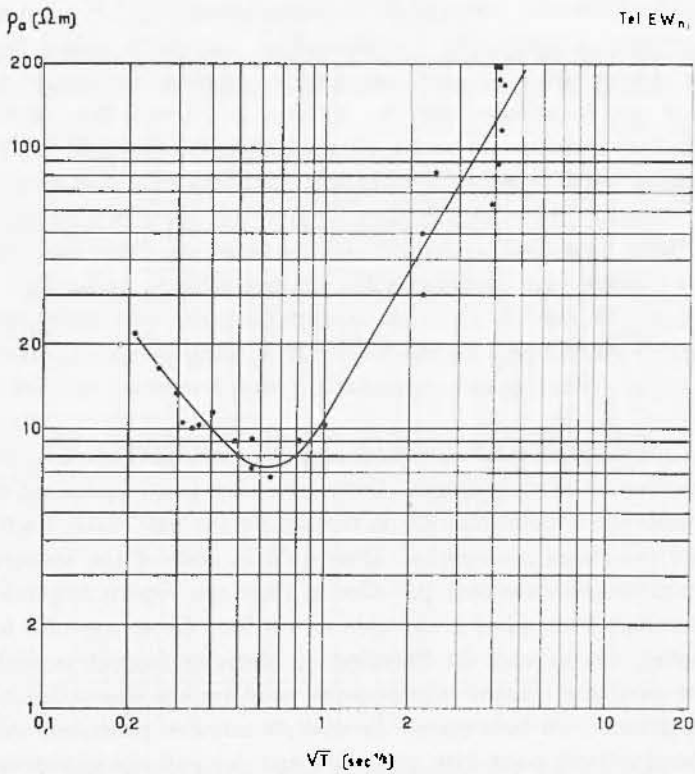


Fig. 60 - Premier sondage M.T. effectué sur le terrain en France (1962).

des stations très proches mais prospectées avec des équipements différents; d'autres fois c'est au contraire la similitude des résultats qui dans les mêmes conditions étonne.

2) Situation géologique.

Les surprises viennent surtout de ce que l'on a tort de se lier à une géologie de surface assez conforme au principe de tabularité et d'imaginer ainsi que la structure de la région est caractérisée par un simple empilement de couches sédimentaires affectées par quelques failles mineures, reposant sur un socle granitique bien plat.

Cette conception structurale simpliste peut être admise pour la tranche de terrain correspondant aux formations de l'ère secondaire. Mais on ne saurait oublier que l'ère précédente s'est terminée par une importante orogénèse accompagnée, comme il se doit, par la surrection d'importants reliefs, par des phénomènes de métamorphisme et suivie d'un cycle d'érosion non moins classique aboutissant à une certaine pénéplation. L'orogénèse n'a cependant pas en la même intensité partout, les granites ne sont pas montés partout au même niveau, de même que le métamorphisme. Si bien que toutes les couches déposées à l'ère primaire ne sont pas assimilables au socle. Il est évident que sous les terrains secondaires ce sont les sédiments post-orogéniques du Permien qui présentent le plus de diversité aussi bien quant à leur composition qu'à leur épaisseur. Ils réalisent en effet une sorte de transition entre une période agitée et une période calme des temps géologiques. Ils s'accumulent sur des épaisseurs considérables dans des fosses qu'ils contribuent à entretenir par le phénomène de subsidence, tandis qu'ils vont jusqu'à disparaître complètement sur les paléo-reliefs.

On parle maintenant couramment de socle anté-permien et c'est une précision utile au géologue. Cette précision peut cependant devenir dangereuse car le géologue, sur le terrain ou sur une carte, matérialise très bien cet étage géologique. Alors qu'à la suite d'une mesure M.T. on ne pourra généralement pas dire si l'horizon repéré avant le socle est le sommet d'un relief granitique en contact direct avec les terrains secondaires, un niveau du Permien en dessous duquel la résistivité s'accroît progressivement sans presque montrer de discontinuité avec celle du granite, ou bien encore la base de terrains primaires suffisamment conducteurs pour être assimilés aux formations antérieures. Le socle dont il sera question ici sera le socle électrique sans implication

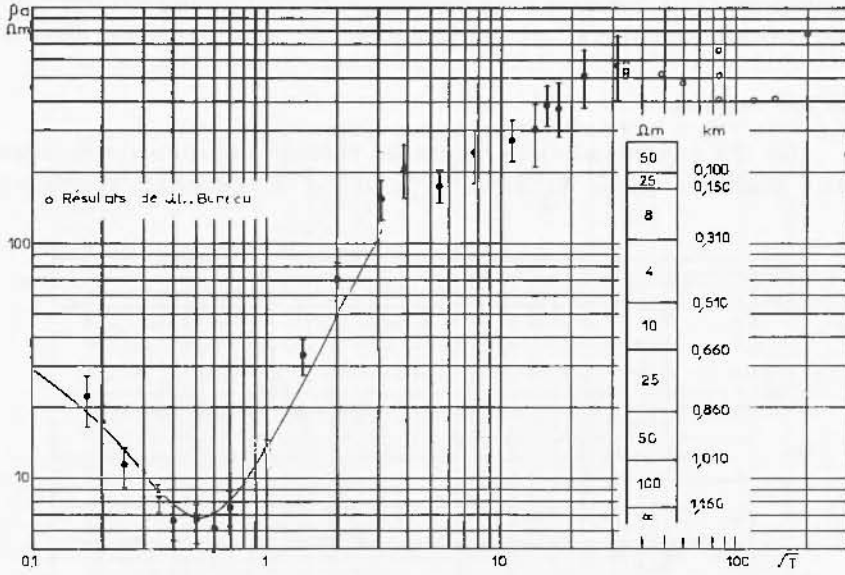


Fig. 61 - Données expérimentales et interprétation du sondage M.T. effectué au Centre de Recherches Géophysiques dans la direction N-S.

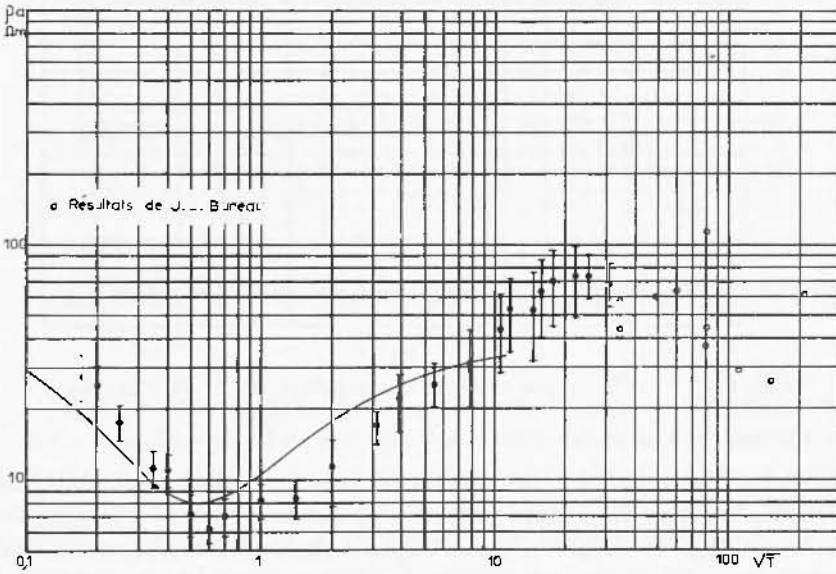


Fig. 62 - Données expérimentales et interprétation du sondage M.T. effectué au Centre de Recherches Géophysiques dans la direction E-W.

géologique nette, même si la probabilité pour qu'il corresponde au mur des couches permienues est assez grande.

3) Les mesures.

On n'a pas reproduit ici toutes les courbes expérimentales, elles sont d'ailleurs toutes du même type et on se contentera d'énoncer

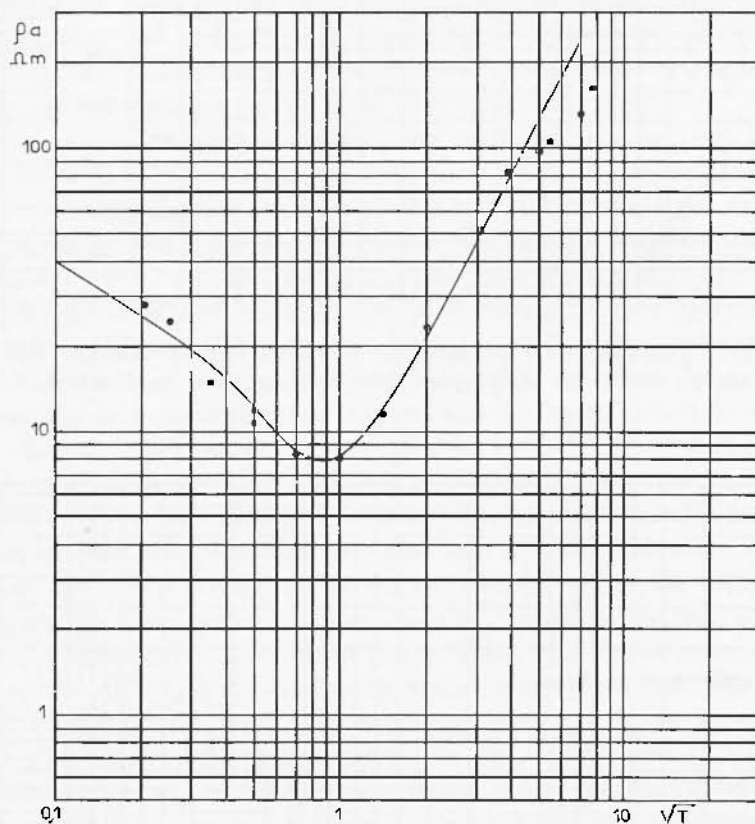


Fig. 63 - Courbe expérimentale du sondage M.T. de Chevroux.

quelques particularités. Les premières mesures montraient déjà, au C.R.G., un écart important entre les ρ_a obtenues par le sondage N-S et le sondage E-W aux périodes supérieures à la seconde, ce qui fut confirmé et précisé par la suite (Figures 61 et 62). Cependant en généralisant le pratique du sondage croisé on s'est aperçu que cet écart

disparaissait pour les stations situées à l'Est de Garchy (Figure 64) où le socle est plus proche de la surface.

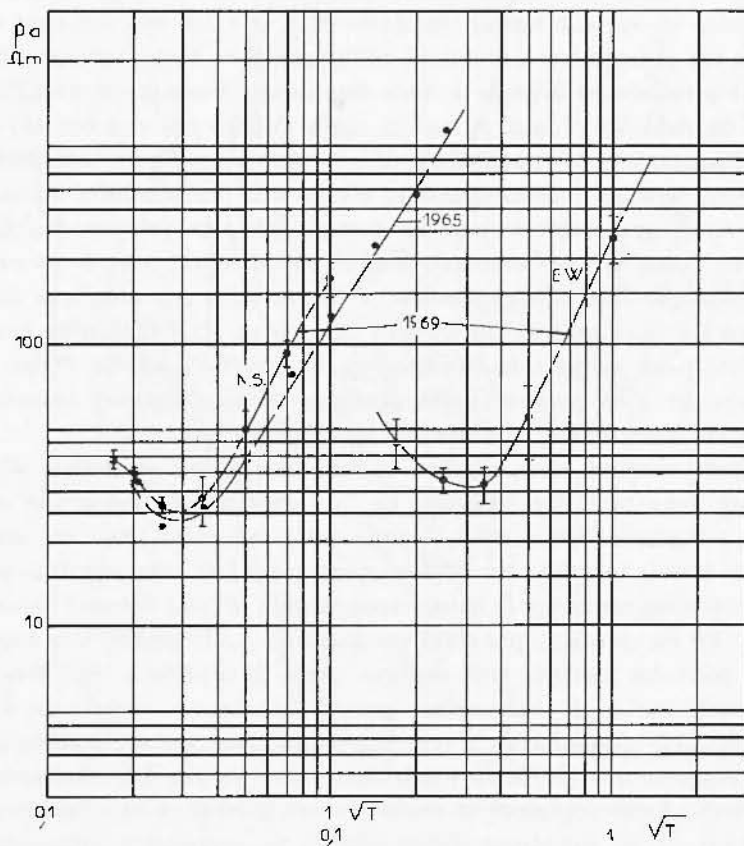


Fig. 64 - Stabilité des résultats des sondages M.T. - La Vénérie 1965 et 1969.

La dissemblance des courbes n'intervient, pour l'interpréteur, qu'au niveau du socle et ne perturbe pas la détermination des paramètres ρ_i et c_i des terrains sédimentaires comme on peut le constater d'après les Figures 61 et 62, en effet seule la résistivité du dernier terrain (infinie en N-S, 40 Ω m en E-W) diffère pour les deux courbes calculées. L'épaisseur de ce dernier terrain est supposée infinie car on n'a pas interprété les données de J.L. Bureau.

4) Résultats de l'interprétation.

Comme on peut le voir en comparant les figures 61 et 63 les courbes présentent bien une même allure générale avec un premier terrain résistant, un second terrain conducteur et un socle très résistant si la courbe est obtenue avec une ligne tellurique N-S. Mais l'interprétation qui est proposée ici dépasse le stade déjà très intéressant du calcul théorique de modèles soumis au calcul après l'étude des courbes à l'aide des abaques. Car les possibilités d'équivalence pratiques introduisent déjà une certaine indétermination. Et de plus les résultats de carottages électriques relevés dans les forages les plus proches: Subligny près de Cosne s/Loire et Saint-Georges-sur-Mourlon près de Bourges, montrent que la coupe géoélectrique des terrains rencontrés se divise en plus de trois unités. On a donc renoncé au modèle simple à trois terrains, pour adopter une coupe-type schématisée sur la Figure 61. Cette coupe a été retenue après plusieurs essais de calculs théoriques en tenant compte des données des diagrammes électriques.

Cette solution rend compte de l'uniformité des structures superficielles dans la région étudiée. Et l'interprétation fondée sur cette coupe est plus satisfaisante que celle qui serait faite avec un simple modèle à trois terrains. En effet on peut grâce à la présence d'un socle très résistant, connaître la conductance totale (S) des terrains sédimentaires. Or on constate que cette conductance varie parfois très rapidement pour des stations très voisines. Avec le modèle à trois terrains ces écarts sur S se traduiraient par d'importantes variations de la cote du socle alors qu'avec la présente solution on peut en quelque sorte faire absorber les écarts de conductance par les couches conductrices du Permo-Trias supérieur (terrains à 4 et à 10 Ωm) et ainsi réduire notablement les variations d'épaisseur du recouvrement sédimentaire.

L'interprétation se conduit donc en prenant comme base la coupe qui convient à la station 31 (C.R.G.) avec une conductance de 65 mhos pour le Permo-Trias supérieur et de 36,5 mhos pour les terrains du Secondaire et du Permien inférieur. On admet que dans la région prospectée cette conductance de 36,5 mhos est invariable et la différence de conductance totale entre une station et la station 31 est traduite en variation d'épaisseur du Permo-Trias supérieur ayant une résistivité moyenne de 5,4 Ωm .

Pour les stations 17, 37 et 38 dont la conductance est inférieure à 36,5 on a évidemment choisi une autre solution dans laquelle le Permo-Trias est pratiquement absent. On obtient ainsi des résultats

qui s'accordent très bien avec ceux que J. Duroux et C. Weber (1968) ont publiés pour la région de Prémery.

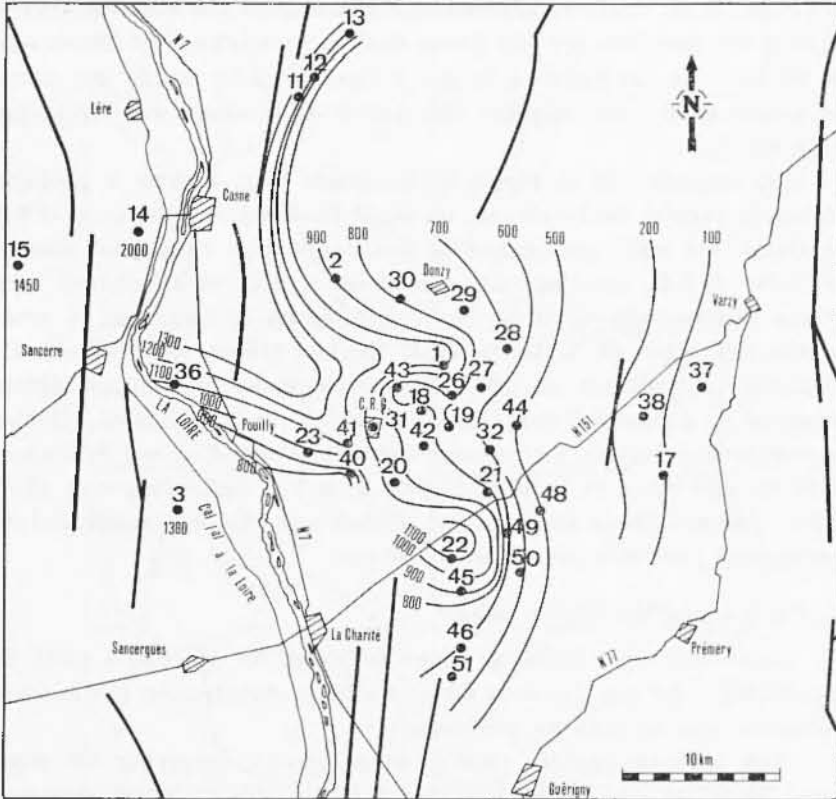


Fig. 65 - Isobathes du toit du socle dans les environs du Centre de Recherches Géophysiques.

Sur la Figure 65 on a pu tracer les isobathes du toit du socle (par rapport au niveau de la mer) pour les stations les plus proches du C.R.G. Pour les stations 3, 14, 15 cette cote figure sous leur numéro. Il manque les résultats correspondant aux stations 4, 5, 6 et 7 car les mesures, trop anciennes demandent une vérification; les conductances calculées sont en effet très supérieures à la moyenne des valeurs obtenues dans la région.

La station 33 est implantée au voisinage d'un forage pétrolier à une dizaine de kilomètres au Nord de Bourges. La diagraphie électrique de ce forage montre l'existence, sous le Permien-Trias, de terrains

primaires moyennement résistants. Le forage a été arrêté à — 1720 m dans des schistes métamorphiques. La cote du socle (— 1900 m) donnée par l'interprétation du sondage M.T. est donc en accord avec le forage. Il est vraisemblable en effet que le socle électrique se trouve au-delà des dernières couches forées dont la résistivité n'est encore que de 80 Ωm . La conductance totale d'après la M.T. est de 266 mhos en accord aussi avec celle que l'on déduit de la diagraphie électrique (273 mhos).

Les isobathes de la Figure 65 montrent bien, comme la géologie régionale permet de le penser, un approfondissement du socle d'Est en Ouest. On remarque cependant l'existence d'un haut fond orienté W-N-W — E-S-E, débutant au niveau du C.R.G. et s'étendant vers l'Ouest. Cette carte confirme certains résultats obtenus par la prospection tellurique de A. Martel et J. Mennier (1962), résultats que H. Fournier a explicités en 1965. Plus récemment le sondage dipôle azimutal de J. Roussel et D. Tournier (1968) leur a permis de calculer la conductance totale du recouvrement: 110 mhos et son épaisseur: 1350 m (100 mhos et 1150 m d'après la M.T.). Baltenberger et Recq (1965) par une étude sismique ont obtenu une côte supérieure qui ne correspond peut être pas au même niveau.

5) Un sondage M.T. sur le socle.

La station 9 est située au coeur du Massif du Morvan à l'Est de Montsauche, les mesures sont donc effectuées directement sur le socle recherché par ailleurs en profondeur.

Aux périodes rapides (0,05 s.) la résistivité apparente est d'environ 5000 Ωm , elle décroît ensuite pour atteindre quelques centaines d' Ωm seulement à 1 s. puis croît de nouveau jusqu'à 2000 Ωm pour $T = 20$ s. Cela indiquerait l'existence, à l'intérieur du socle, d'un premier terrain de résistivité au moins égale à 5000 Ωm et d'une épaisseur de 10 km environ. L'absence de mesures exploitables pour des périodes supérieures à 20 s ne permet pas de distinguer les caractéristiques des horizons inférieurs. D'autre part on sait (Fatémi 1963) l'importance que prennent les phénomènes d'électrofiltration et les inégalités de la topographie sur les terrains très résistants, il est donc nécessaire de choisir très soigneusement l'emplacement d'un sondage M.T. sur un terrain granitique.

Sur les terrains sédimentaires voisins, les courbes de sondage M.T. indiquent également que la résistivité du socle d'abord très grande, décroît ensuite à partir de profondeurs généralement supérieures à

10 km. Mais les mesures sont trop peu nombreuses encore pour permettre une interprétation quantitative sûre. Cependant les travaux récents de J. L. Bureau (1968) laissent penser qu'il sera bientôt possible d'obtenir des résultats précis en ce domaine.

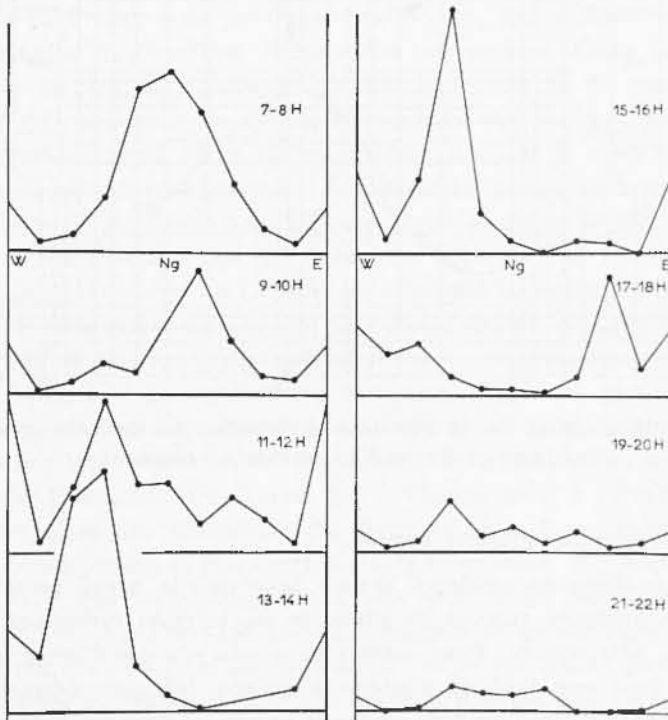


Fig. 66 - Exemple de variation de la polarisation des courants telluriques dans le temps.

La présence d'un socle très résistant simplifie parfois, comme on l'a vu précédemment, l'interprétation de cas simples. Mais il n'en va plus de même lorsque les couches sédimentaires au contact du socle sont plus résistantes que les terrains superficiels. Il devient alors difficile, voire impossible de bien les identifier. On voit sur la figure 67 qu'une couche épaisse (30 km) et résistante (500 Ωm) située juste au dessus d'un dernier terrain conducteur est bien identifiée sur la courbe alors que si le dernier terrain est très résistant cette même couche n'est presque plus perceptible.

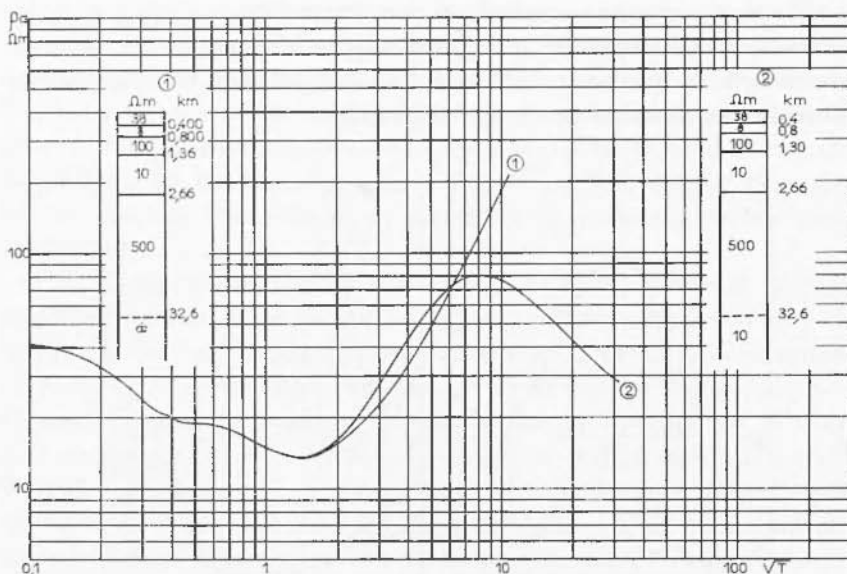


Fig. 67 – Illustration de la difficulté d'identifier un terrain « résistant » situé juste au-dessus d'un socle très « résistant ».

6) Anisotropie et sondages croisés.

La pratique de sondages croisés telle qu'elle a été présentée ici comporte quelques risques en présence de terrains fortement anisotropes ou hétérogènes. Pour cette région cela n'a pas d'inconvénients majeurs tant que l'on ne s'intéresse qu'aux terrains sédimentaires. Cependant le problème se pose également pour ces terrains dans maintes régions. Quand on ne possède pas les moyens d'effectuer un traitement de l'information par calculateurs on ne peut espérer obtenir des résultats intéressants que si l'on connaît à l'avance les directions structurales principales. On dispose alors les capteurs selon ces directions et l'on parvient à évaluer les paramètres des terrains mêmes anisotropes tant que la polarisation des phénomènes ne correspond pas aux directions des axes principaux. Or cette polarisation n'est pas constante comme le montre la Figure 66 et l'on a bien constaté une stabilité des résultats (Figure 64) à condition de prendre la valeur moyenne de nombreux rapports e/h . On admet maintenant que la dispersion des mesures pour une même période et l'écart entre q_x et q_y ne sont dus ni à l'appareillage ni aux sources mais aux conditions géologiques locales (D. Rankin, I. K. Reddy 1969).

CHAPITRE III. — PROSPECTIONS MINIÈRES (*).

A. *Introduction.*

La découverte des gisements de minerais manifiérés actuellement exploités en France a eu pour point de départ, des minéralisations ou des anomalies radioactives découvertes en surface. Cette recherche classique, au moyen d'observations sur le terrain et de mesures de radioactivité, a permis de dresser l'inventaire des indices superficiels. La poursuite de cet effort de recherches, tendant à compléter l'inventaire des ressources françaises a conduit les géologues à rechercher la possibilité de gisements qui n'affleurent pas ou qui ne se signaleraient que très médiocrement par des anomalies superficielles. Il leur fallait pour ce faire, s'inspirer de l'évolution subie par la recherche pétrolière qui si elle consistait, à l'époque du Colonel Drake, à forer au point de chute d'un chapeau, exige actuellement un impressionnant déploiement d'équipes et de matériel sur le terrain. Après un premier stade certes moins « léger » que celui des pétroliers il s'agissait alors de les imiter dans leur recherche des conditions de formation et de conservation des gisements. C'est ainsi que le Commissariat à l'Energie Atomique fit appel aux disciplines des Sciences de la Terre telles que la Géologie structurale, la Sédimentologie, la Géochimie, la Géophysique.

Dans le cas présent cette nouvelle orientation sera illustrée en décrivant l'emploi d'une méthode de prospection géophysique uniquement appliquée aux gîtes sédimentaires. On présentera en premier lieu les caractères généraux de trois bassins ainsi étudiés, puis on analysera les résultats obtenus.

B. *Les bassins prospectés.*

Les trois bassins étudiés par cette méthode sont ceux de Rodez, Blanzey et Lodève, tous situés en bordure du Massif Central (Figure 68). Si leur encadrement géologique n'est pas absolument identique il est néanmoins possible de dégager quelques traits communs quant à leur structure et à leur sédimentation.

(*) Ce chapitre est tiré de la *Revue de Géographie physique et de Géologie dynamique*. 2^e série — Vol. XII — Fasc. 4, grâce à l'aimable autorisation de M^{me} CHAYÉ d'ALBISSIN Rédacteur en chef.

Les dépôts susceptibles de contenir le minéral intéressant sont tous d'âge Permien et c'est la base de cet étage, l'Autunien, qui retient plus particulièrement l'attention. Les sédiments proviennent de l'éro-

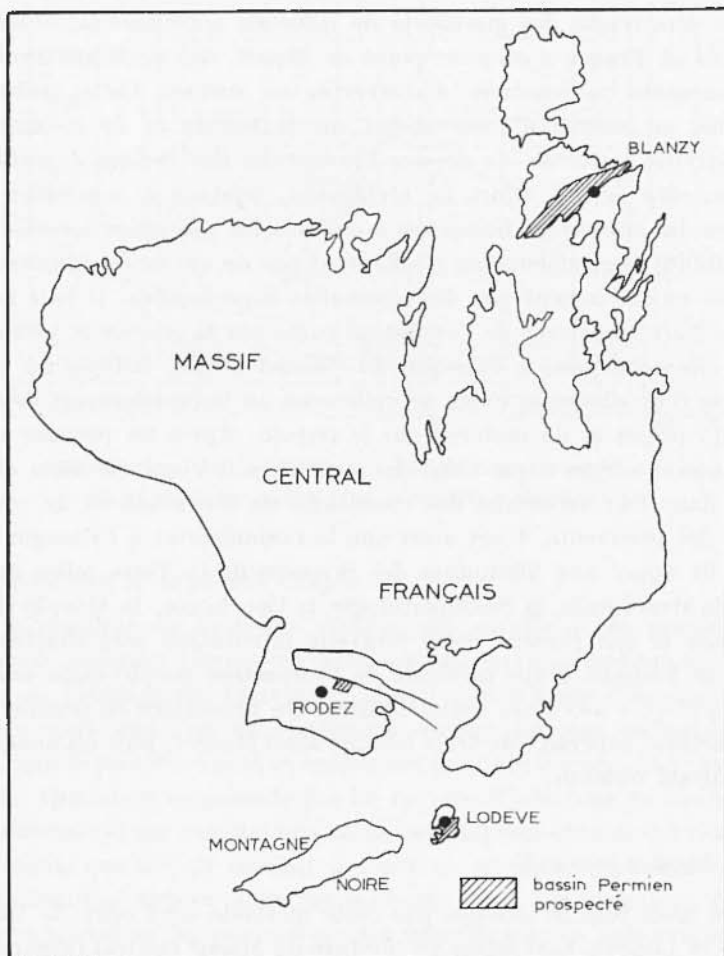


Fig. 68 - Situation géographique des trois bassins prospectés pour le compte du Commissariat à l'Énergie Atomique.

sion des reliefs hercyniens formés peu avant cette période calme de l'histoire géologique qu'est le Permien. Ce sont en général des formations continentales dans la genèse desquelles l'eau a cependant joué un rôle important. On y trouve surtout des roches détritiques tels que con-

glomérats, grès, argiles plus ou moins schisteuses. La taille des éléments va ainsi des blocs dans les conglomérats aux fines particules des pélites et des argiles. On note également quelques intercalations carbonatées ou dolomitiques. La stratification est souvent entrecroisée, ce qui révèle l'influence de courants sur cette sédimentation. La répartition cyclique des différents sédiments est loin de correspondre aux séquences types qui sont toutes théoriques. On constate plutôt des tendances plus conglomératiques ou plus pélitiques à certains niveaux.

Les « nouveaux grès rouges », comme on les a appelés malgré une teinte dominante grise dans l'Autunien, couvrent parfois de grandes surfaces à l'affleurement mais ce n'est pas le cas pour les régions de Blanzay et de Rodez où ils disparaissent vite sous les formations plus récentes. Dans ce cas l'extension et l'épaisseur de ces formations deviennent encore plus difficiles à évaluer que lorsqu'elles affleurent. Entre le Permien et le socle (mal défini) quelques forages ont rencontré le Stéphanien qui affleure rarement.

L'épaisseur totale du recouvrement sédimentaire est précisément l'information la plus précieuse que peuvent fournir les géophysiciens aux géologues soucieux de reconstituer l'évolution subie par un bassin. Et cela d'autant plus qu'avec les formations continentales qui contribuent souvent au nivellement des reliefs parfois encore jeunes, les extrapolations sont toujours hasardeuses. Sur les anciens sommets leur épaisseur peut être très réduite, voire nulle, alors que dans les dépressions le phénomène de subsidence favorise l'accumulation de quantités énormes de sédiments. De plus ces bassins marginaux ont subi les contraintes provoquées par les orogènes postérieurs, contraintes dont les effets se sont emulés avec les accidents autogénétiques ou syngénétiques. Des accidents d'importance structurale très variable découpent ainsi les bassins en nombreux compartiments mais il est difficile de distinguer à partir des observations de surface une faille de tassement d'un accident important se prolongeant dans le socle.

Le seul moyen de répondre à toutes ces questions est sans aucun doute possible, l'exécution de forages suffisamment profonds pour atteindre le socle de façon indiscutable. Mais cette solution entraîne évidemment un allongement des délais d'études et des dépenses tel qu'on la diffère jusqu'à un stade plus avancé des études (évaluation du gisement, élaboration du projet d'exploitation). C'est pourquoi on tente, par une synthèse des indications partielles fournies par des observations de terrain et par des mesures nombreuses de circonserire

dans un premier stade, les zones qui présentent le plus d'éléments favorables.

La géophysique prend place, dans cette succession d'études préliminaires, après les premières observations géologiques; son rôle est de les confirmer, de les préciser et si possible, de fournir des données quantitatives qui permettent l'établissement de schémas structuraux à partir desquels le géologue pourra décider de la poursuite des investigations.

Sur les petits compartiments de bassin que l'on prospecte dans le cas présent, il est difficile d'envisager l'application des méthodes conventionnelles de géophysique de surface (gravimétrie, magnétisme, sismique, sondage électrique) car elles peuvent difficilement prétendre à une bonne adaptation aux conditions posées par les structures et par la topographie du terrain. La magnéto-tellurique, sans être non plus une panacée, présente l'avantage de permettre une reconnaissance générale d'un bassin aussi bien que la prospection détaillée des zones qu'on croit plus intéressantes.

Quand on connaît l'ordre de grandeur de la résistivité et de l'épaisseur des sédiments, il est possible de délimiter d'avance le spectre des périodes à étudier, de façon à réduire au maximum le temps passé sur le terrain. C'est ainsi que n'ayant jamais eu à prospecter les parties les plus profondes des bassins, on n'a pas eu à utiliser des périodes de plus de 4 s, du côté des variations rapides la limite est imposée par l'appareillage actuellement en usage (0,01 s soit une fréquence de 100 Hz).

Sur le diagramme expérimental le socle se manifeste par un accroissement sensible de la résistivité apparente au-delà d'une certaine période. Il faut cependant bien préciser que ce terrain « résistant » n'est pas obligatoirement le socle des géologues. Il arrive en effet qu'entre les dernières couches « conductrices » et le socle s'intercale un terrain sédimentaire dont la résistivité s'apparente plus à celle du granite qu'à celle des marnes. Dans ces conditions, on ne pourra guère distinguer, lors de l'interprétation, ces terrains « résistants » du véritable socle. C'est pourquoi on a pu constater par endroits un certain décalage entre le socle « électrique » et le socle « géologique ».

C. Adaptation des méthodes d'interprétation.

Lorsque le recouvrement sédimentaire est assez important les courbes qu'on obtient présentent l'allure caractéristique des courbes à

« deux terrains » ou à « trois terrains » (Figure 75). Dans ce cas l'interprétation est immédiate avec les abaques « deux terrains » ou « trois terrains » dont on dispose. Toutefois, dans le cas particulier de cette prospection on étudie surtout les zones où la couverture sédimentaire est mince (inférieure à 200 m). En théorie, il suffit d'élargir le spectre des périodes analysées du côté des courtes périodes, mais en pratique on ne dispose pas encore d'un appareillage convenant aux périodes de l'ordre de 0,001 à 0,0001 s nécessaires à cette investigation.

Dans ces conditions il arrive souvent que l'on n'obtienne que des courbes tronquées qui ne se prêtent pas à une interprétation classique. Il reste cependant la possibilité de dépasser le stade d'une simple interprétation qualitative et d'obtenir des résultats numériques si l'on peut prendre en considération d'autres données géologiques ou géophysiques ainsi que des résultats de forages.

On peut tout d'abord tracer une ou plusieurs cartes d'isoresistivités pour une ou plusieurs périodes données. Dans la technique du sondage électrique ces cartes sont considérées comme autant d'« écorchés géologiques » qui renseignent sur la résistivité des terrains jusqu'à une certaine profondeur. Avec la méthode M.T. leur signification n'est pas absolument identique puisque la profondeur de pénétration est directement liée à la résistivité des terrains, mais elle reste cependant similaire.

Lorsque les mesures sont concentrées sur une faible superficie, l'on peut supposer que les résistivités en présence ne subissent que peu de modifications. La faible épaisseur de la couverture sédimentaire justifie l'assimilation au cas de « deux terrains ». On constate alors que l'augmentation d'épaisseur du sédiment se traduit par une diminution de la résistivité apparente pour une période convenablement choisie (Figure 69). Le choix de la période est important car il faut éviter qu'elle corresponde à un palier de résistivité (σ_1 ou σ_2): toutefois un examen attentif des premiers résultats de mesures doit éviter qu'il en soit ainsi. Chaque station est alors caractérisée par une valeur de g_a correspondant à la fréquence choisie. Pour obtenir une image de la topographie du socle on peut tracer un profil sur lequel on porte en ordonnées des quantités proportionnelles à $1/\sqrt{g_a}$ de façon à bien traduire les variations d'épaisseur du terrain sédimentaire (Figure 72).

S'il existe sur le périmètre prospecté un forage carotté électriquement qui ait atteint le socle, on peut interpréter quantitativement des profils en effectuant une mesure à l'emplacement du forage. A cet endroit on connaît en effet h_1 et σ_1 ce qui permettra grâce à l'abaque

« deux terrains » de compléter la courbe expérimentale. On déterminera ensuite l'épaisseur du premier terrain en calant l'abaque sur l'ordonnée ρ_a précédemment déterminée et en déplaçant le cal-

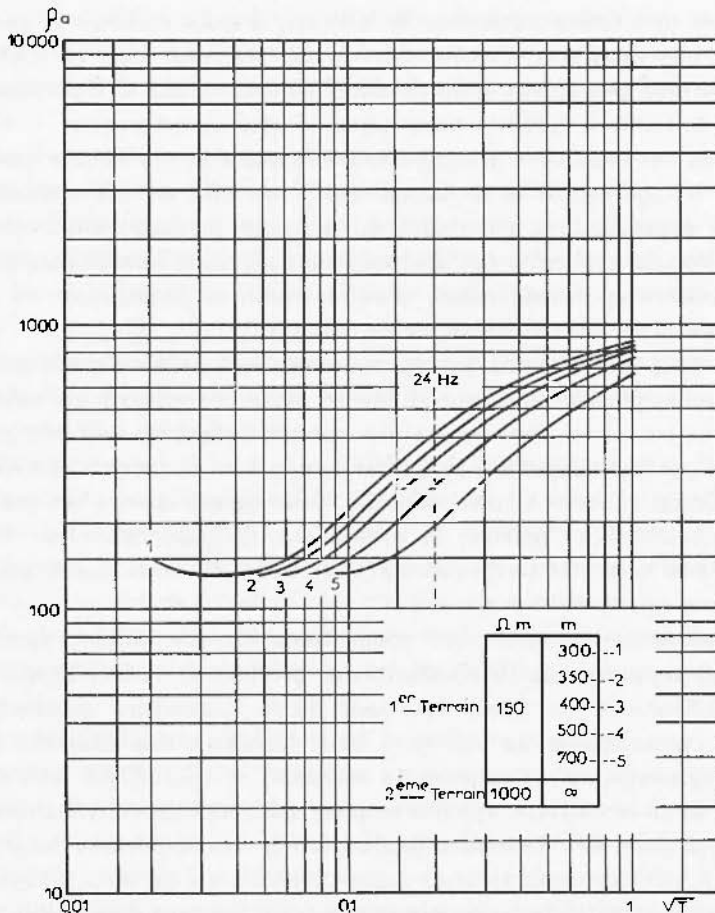


Fig. 69 - Courbes M.T. théoriques « deux terrains » montrant la variation de ρ_a avec l'épaisseur du premier terrain.

que expérimental parallèlement à l'axe des abscisses pour faire coïncider au mieux les points expérimentaux avec l'une des courbes de l'abaque. Lorsque le forage n'a pas été diagraphié ou peut, connaissant h , tracer sur le diagramme expérimental le lieu des points correspondant à cette épaisseur (c'est une droite de pente -2). Ensuite on fait glisser le diagramme expérimental sur l'abaque « deux terrains » en maintenant

en coïncidence les deux droites de pente -2 jusqu'à ce que les points expérimentaux se placent correctement sur une courbe théorique (Figure 70). La lecture de l'ordonnée du point A sur le diagramme expérimental fait connaître ρ_1 et l'interprétation peut se poursuivre comme il est indiqué ci-dessus.

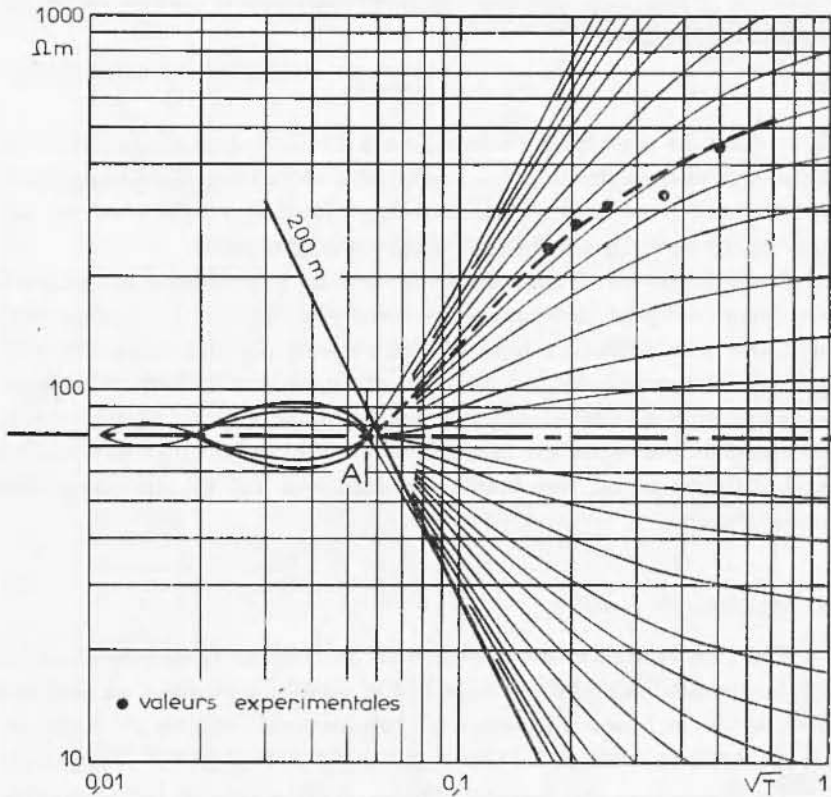


Fig. 70 - Utilisation des résultats de forages pour « caler » les valeurs expérimentales de ρ_a obtenues sur le terrain.

On vient d'envisager le cas où le socle n'a pas une résistivité très nettement supérieure à celle des sédiments. Dans le cas contraire le travail est simplifié car les points expérimentaux s'alignent sur une droite de pente $+2$. Or on sait que ce cas limite facilite une interprétation quantitative à partir de la « conductance totale des terrains sédimentaires » en appliquant la technique du profilage M.T. proposée

par Berdichevski. La conductance, S exprimée en mho, du sédimentaire peut s'écrire:

$$S = \frac{H}{\rho_s}$$

si H est l'épaisseur totale en mètres des sédiments et ρ_s leur résistivité apparente (Ωm). Les mesures M.T. permettent le calcul de S qui s'exprime alors par:

$$S = 356 \sqrt{T_0}$$

T_0 (s) étant la période correspondant à l'intersection de la droite de pente $+ 2$ avec la droite $\rho_a = 1$. On peut alors tirer H de la première formule si l'on connaît ρ_s par carottage électrique; s'il n'en est pas ainsi on se cale sur un forage comme précédemment.

Dans le cas où il apparaît trois terrains le problème est plus délicat mais on peut déterminer la résistivité des deux terrains sédimentaires s'ils affleurent tous les deux (*) et, par des méthodes semblables aux précédentes, tenter une interprétation à l'aide d'abaques.

Les résultats seront exposés pour chaque bassin séparément en commençant par celui où la profondeur d'investigation était la plus faible (Rodez) et en terminant par celui qui fut le plus largement étudié (Lodève).

D. Le bassin de Rodez.

C'est au Nord-Est de Rodez, dans la zone de Gages-La Loubière que le Permien affleure sur une faible étendue. Limitée au Sud et à l'Est par le socle son extension est brutalement stoppée au Nord par une importante faille et à l'Ouest par le Lias transgressif (Figure 71).

La disposition des stations indique d'elle-même le but poursuivi: apprécier le plongement du socle vers le Nord (stations R_1 à R_6) et confirmer l'existence d'une paléovallée entaillant profondément le gneiss à l'Ouest (stations R_7 et R_8).

Pour les stations les plus proches de l'affleurement du socle au moins on prévoyait que les points expérimentaux s'aligneraient sur une pente $+ 2$ caractérisant l'existence d'un socle très résistant. En fait le contraste de résistivité mis en évidence par les mesures est

(*) Ou grâce au carottage électrique d'un forage.

plutôt faible (Figure 70) et l'on constate que les micaschistes et gneiss ont une résistivité de l'ordre de 500 à 1000 Ωm seulement sur une épaisseur de quelques kilomètres.

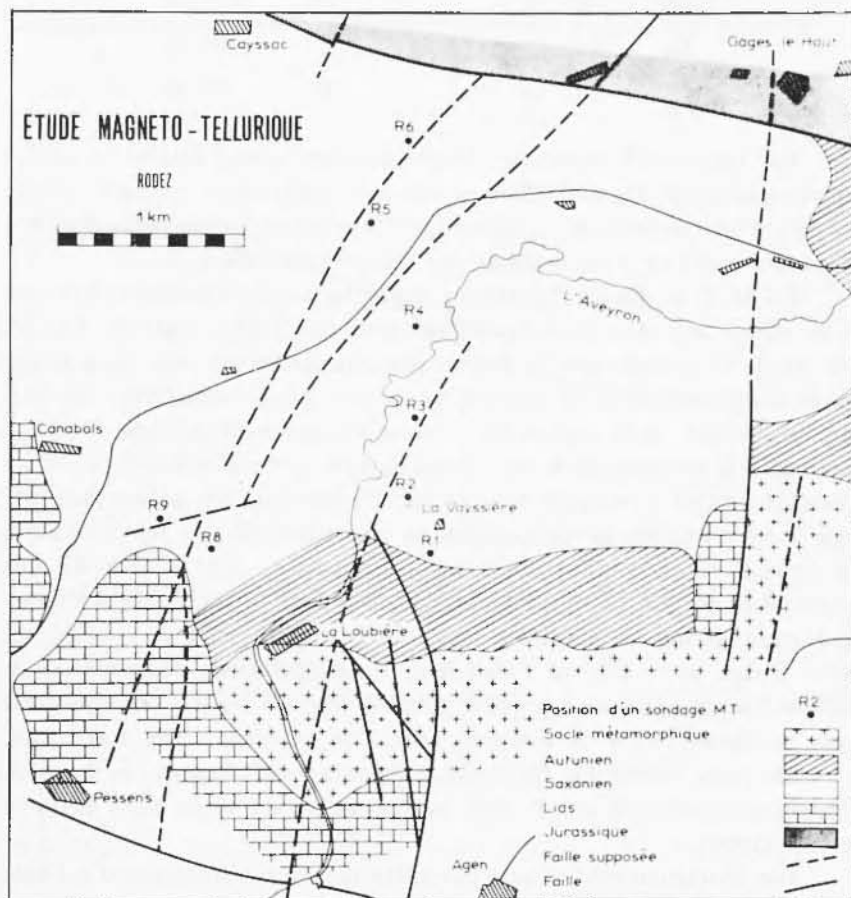


Fig. 71 - Situation géographique des mesures M.T. dans la région de Rodez.

A partir de ces portions de courbes l'interprétation quantitative directe est impossible, des résultats précis ont cependant été fournis grâce à un « calage » à la station R₁ très proche d'un forage ayant atteint le socle. On a ainsi été conduit à fixer une résistivité apparente de 75 Ωm au recouvrement sédimentaire et par la méthode développée

pécé dans le chapitre précédent on calcule les cotes suivantes (partant du niveau du sol) pour les différentes stations:

R_1 : 175 m	R_5 : 425 m
R_2 : 200 m	R_6 : 490 m
R_3 : 245 m	R_7 : 90 m
R_4 : 375 m	R_8 : 185 m

Les lignes telluriques de chaque sondage croisé étaient orientées suivant la pente du socle (N-S) et suivant la direction perpendiculaire (E-W). C'est seulement en exploitant les résultats selon cette dernière direction que l'on a pu obtenir des indications cohérentes.

En R_5 et en R_6 les résistivités apparentes calculées sont inférieures à la valeur adoptée pour l'interprétation des autres stations. On est en droit de penser que le bassin s'approfondissant, son remplissage peut se différencier et la présence de couches plus conductrices n'a rien de surprenant. A la station R_5 c'est la mesure selon la ligne N-S qui permet une interprétation en adoptant une ρ_a de 45 Ω m; en E-W les résistivités sont à peu près divisées par dix sans que l'on puisse proposer une explication de ce phénomène. A la station R_3 on retrouve avec la ligne E-W un résultat cohérent en prenant $\rho_a = 45$ Ω m tandis que selon la ligne N-S on obtient une courbe « trois terrains » dont l'interprétation donne les résultats suivants: $\rho_1 = 45$ Ω m; $e_1 = 225$ m; $\rho_2 = 9$ Ω m, $e_2 = 270$ m, l'épaisseur du sédimentaire obtenue est de 500 m donc conforme au premier résultat (480 m). Il est vraisemblable que la station R_5 se trouve très près d'un accident assez important.

De plus, l'ensemble du profil se situe au voisinage d'une zone de fractures orientées N 20° E mise en évidence par l'étude de D. Galmier et al. (1966).

Les enseignements acquis par cette rapide reconnaissance à l'aide de la méthode M.T. peuvent se présenter sous la forme de profils de la côte du socle (Figures 72 et 73). Le premier (R_1 à R_6) montre bien l'enfoncement du socle jusqu'à une très faible distance de la grande faille de Gages. Les second (R_7 , R_8 et R_9) confirme bien l'existence d'une paléovallée avec un versant abrupt à l'aplomb de la station R_7 .

En l'absence du forage qui a permis l'interprétation quantitative, il resterait le recours au profil en $1/\sqrt{\rho_a}$ (Figures 72 et 73). On constate qu'ils sont assez proches des profils de profondeur mais l'absence de cotes précises en diminue bien sûr l'intérêt.

Un sondage électrique (*) centré sur la station R₁ a d'autre part donné les résultats suivants: $\rho_1 = 105 \Omega\text{m}$; $e_1 = 130 \text{ m}$; $\rho_2 = 160 \Omega\text{m}$; $e_2 = 1700 \text{ m}$; confirmant nos résultats concernant l'épaisseur et la résistivité du terrain sédimentaire (les ρ_a obtenues en M.T. sont souvent inférieures à celles que fournit le sondage électrique) ainsi que la faible résistivité des premières formations constituant le socle.

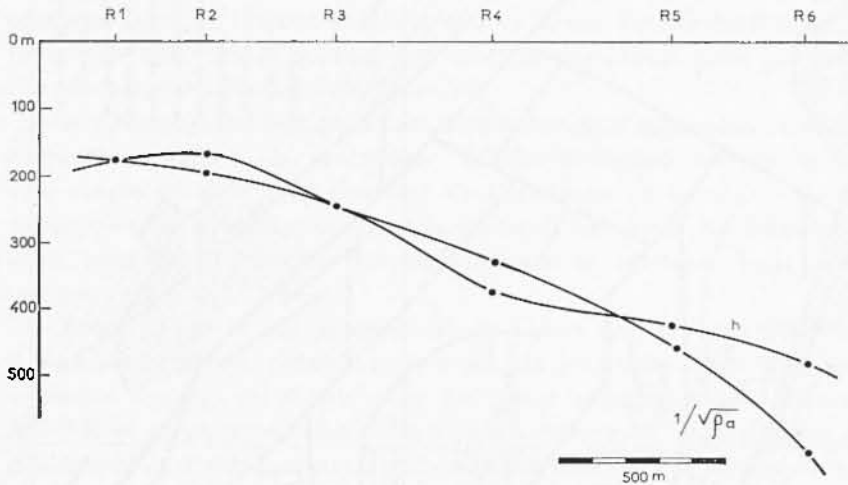


Fig. 72 - Rodez - profil R₁ à R₆ de la profondeur du socle et de $1/\sqrt{\rho_a}$.

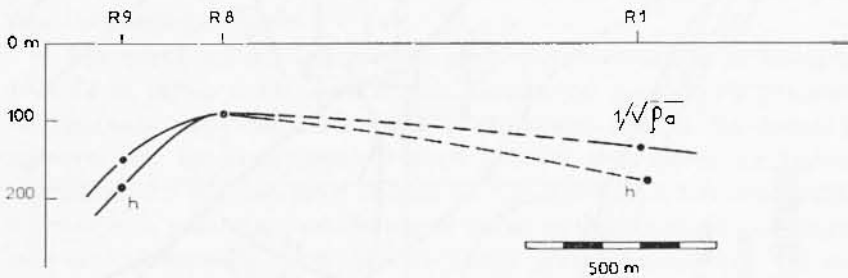


Fig. 73 - Rodez - profil R₁ à R₉ de la profondeur du socle et de $1/\sqrt{\rho_a}$.

E. La bassin de Blanzky.

Au Nord-Est du Massif Central, le bassin de Blanzky-Bert met en communication les vallées de la Loire et de la Saône. Un système de

(*) Effectué par le Service Technique du C.E.A.

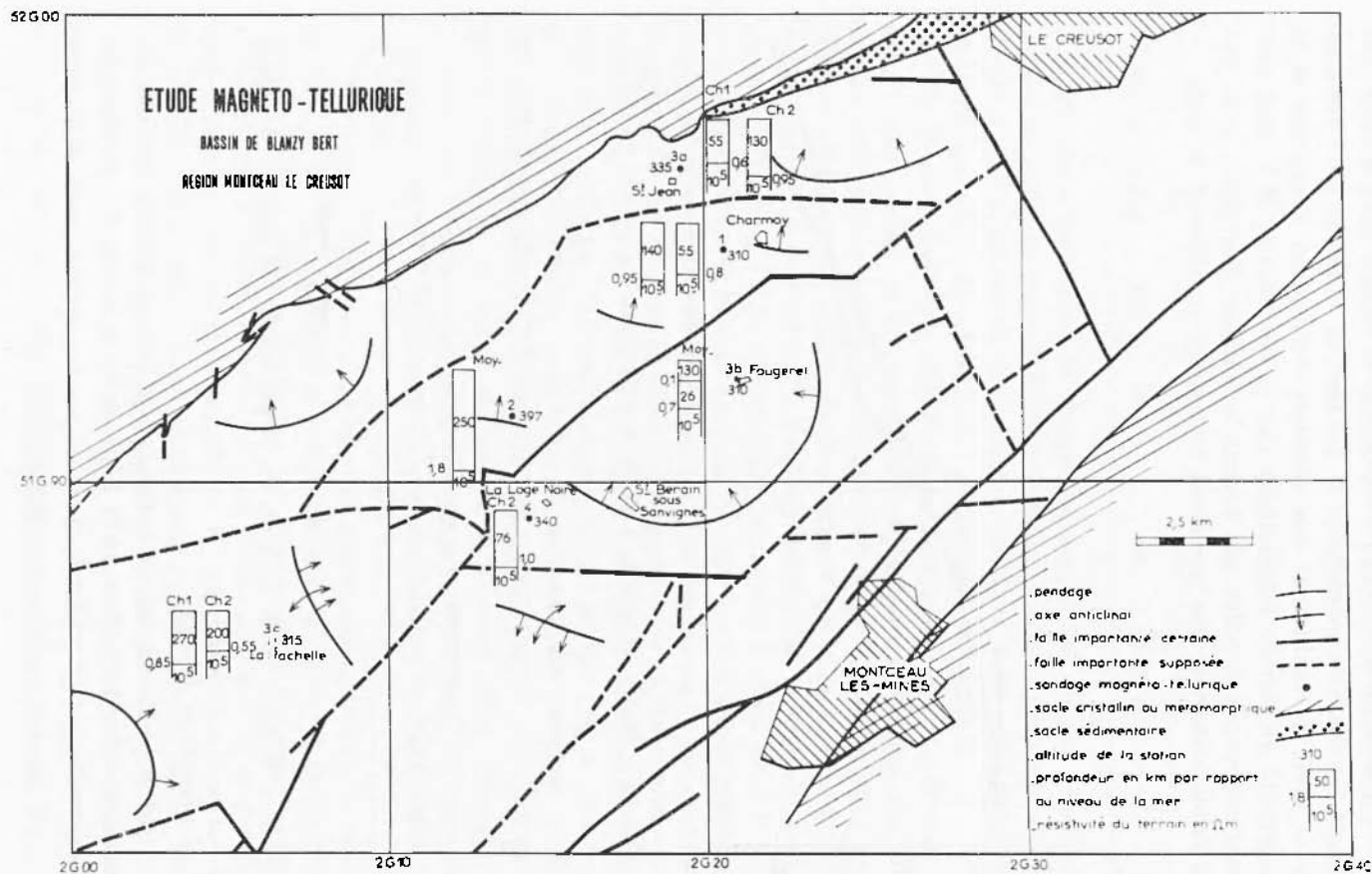


Fig. 74 - Situation géographique et résultats des mesures M.T. dans le Bassin de Blanzay.

failles de direction varisque (SW-NE) a provoqué l'effondrement du massif granitique créant un bassin large d'une dizaine de kilomètres vers le S-W, mais très étroit vers le N-E. Les dépôts d'âge permien qui l'ont comblé disparaissent vers le Sud sous les terrains tertiaires de la vallée de la Loire avant d'affleurer de nouveau à Bert à l'approche du granite du Forez.

Les six sondages qui ont été effectués se localisent dans la région comprise entre Le Crensoit et Monteceau-les Mines. Cette situation est à priori très défavorable à cause des courants vagabonds créés par une intense activité industrielle (Figure 74).

A Charmoy (station n° 1) un ancien forage a rencontré le socle entre 900 et 1100 m de profondeur. L'indétermination relevée sur la côte exacte du socle peut provenir de l'existence de terrains conglomératiques ou métamorphiques qui réalisent une sorte de transition aussi bien électrique que lithologique avec le véritable socle granitique.

Etant donné le net allongement du bassin dans le sens SW-NE, il paraissait indiqué, puisque nous avons la possibilité d'effectuer des sondages croisés, de choisir pour les lignes telluriques la direction SW-NE et sa perpendiculaire. On risquait cependant de se heurter à des difficultés d'ordre pratique et il n'est pas bien sûr que les directions d'anisotropie soient précisément celles des axes structuraux du bassin. C'est pourquoi, en se fondant sur la direction générale des pendages portés sur la carte structurale, on a déroulé les lignes au plus près des directions cardinales.

Les mesures n'ont pas posé de problèmes particuliers, la topographie de la région étant assez douce. Comme on pouvait s'y attendre les courants vagabonds d'amplitude supérieure à celle des courants naturels ont rendu le dépouillement délicat. Mais après un travail minutieux il a été possible d'obtenir des courbes tout à fait cohérentes. La précision peut être évaluée par le calcul en pourcentage des écarts moyens des rapports d'amplitude e/h aux périodes analysées. On obtient ainsi une valeur de la dispersion expérimentale constatée en chaque station:

Station	1	2	3a	3b	3c	4
Dispersion	11,8	14,4	12,6	10,3	11,3	11,3

Cette dispersion ne présente que peu d'écart suivant les stations, il est vrai peu éloignées les unes des autres. Mais il est intéressant de constater que les stations 3c et 4 ne se distinguent pas particuliè-

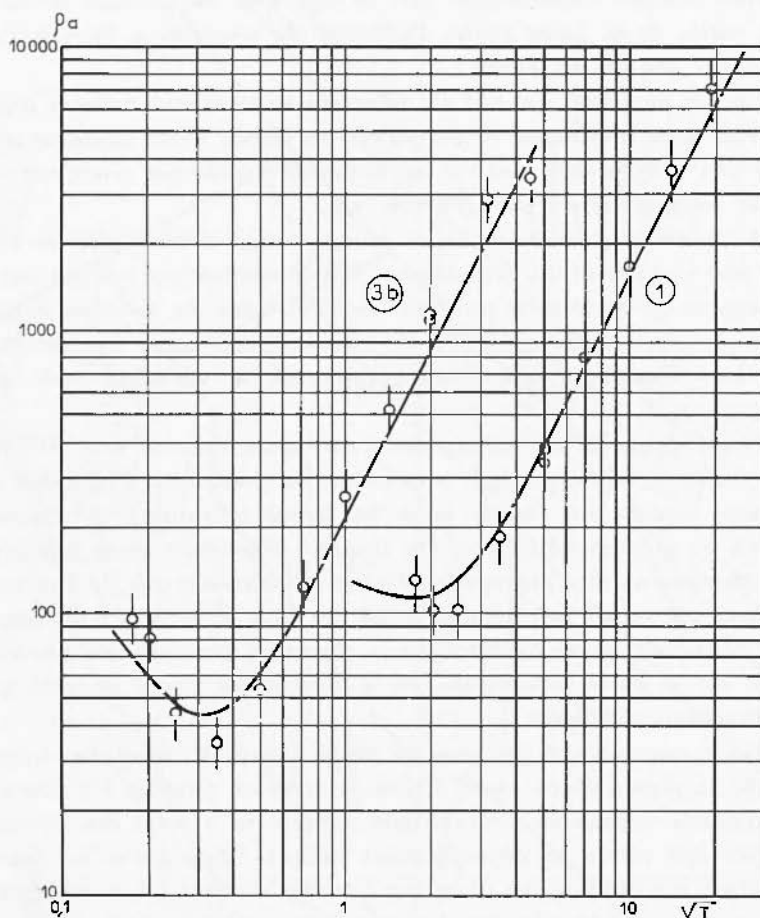


Fig. 75 - Exemples de courbes expérimentales obtenues à Blanzky.

rement alors que les mesures ont été effectuées après la fermeture annuelle des usines, donc en l'absence de courants parasites, absence qui se vérifie bien sur les enregistrements de contrôle. On peut ainsi en conclure qu'un travail attentif de déponillement permet de s'affranchir des effets de courants vagabonds pourtant intenses.

A la différence de ce qu'on a pu constater à Rodez on voit immédiatement (Figure 75) que le socle à Blanzky est très résistant, les

courbes de ρ_a se réduisent en effet presque exclusivement à une droite de pente + 2 qui caractérise la présence d'un substratum dont la résistivité est très supérieure à celle de son recouvrement.

L'inconvénient le plus sérieux mis en évidence ici est l'absence de renseignements aux courtes périodes on est ainsi réduit à considérer les courbes comme des « deux terrains », l'amorce de l'influence d'un troisième terrain est toujours insuffisante pour permettre de mener à bien une interprétation « trois terrains » indiscutable. L'interprétation simplifiée qui consiste à admettre le cas de deux terrains n'est cependant pas entachée d'une erreur importante lorsque l'on sait que les différentes formations sédimentaires ne présentent que peu de diversité dans leur composition lithologique. On constate en effet, au regard des abaques « trois terrains » que l'erreur sur l'épaisseur totale du recouvrement n'est pas très grave lorsque le contraste de résistivité entre les deux terrains qui le composent est faible.

L'examen des différentes courbes montre parfois un appréciable décalage des résistivités en une même station pour les deux directions de sondage. Ce décalage est à coup sûr la preuve d'une anisotropie des terrains dans des plans horizontaux, anisotropie dont les causes peuvent être multiples: sédimentologiques, structurales (pendages, accidents divers) mais aussi en quelque sorte théoriques car les courants peuvent difficilement s'écouler de façon uniforme dans un bassin de dimensions aussi réduites. On a cependant la satisfaction de constater que le décalage des résistivités s'accompagne d'un décalage, sur le diagramme expérimental, des courbes en fonction de la période, de telle sorte que les profondeurs calculées restent sensiblement égales.

Le résultat de l'interprétation quantitative est présenté sur la Figure 74. On ne constate pas de variations importantes de la côte du socle entre les stations 1, 3a, 3b et 4. A la station 3c, les mesures ont été perturbées sur la ligne E-W si bien que seule la courbe selon la ligne N-S a pu être retenue. Cette courbe révèle l'existence d'un recouvrement assez « résistant » (270 Ω m) sur une épaisseur de 850 m. A la station 2 on attendait la mise en évidence d'un haut fond, les deux courbes de ρ_a , très voisines, indiquent au contraire un terrain de résistivité 250 Ω m sur une épaisseur de 1800 m mais seule une étude de fréquences plus rapides permettrait de préciser si une partie de ce recouvrement n'est pas assimilable au socle en révélant un premier terrain plus « conducteur ».

Deux profils (Figures 76 et 77) précisent, chacun par une coupe schématique, les indications fournies par la méthode M.T. Le premier

de direction N-S, passe par les stations 3a-1 et 3b; il indique que les accidents détectés en surface ne semblent pas avoir d'importance structurale prédominante. Il s'agirait donc plutôt de failles de tassement. La côte du socle proposée pour la station 3a risque d'être sous-évaluée par le fait de l'extrême proximité de l'affleurement du socle (moins de 1 km). Cela ne fait que renforcer l'ampleur de l'effondrement du socle à cet endroit. Entre les stations 3a et 1 les courbes sont presque semblables si l'on associe les résultats obtenus en N-S à une station et en E-W à l'autre et inversement ceci suggère une rotation des pentages de 90° ce qui n'est pas en contradiction avec les indications fournies par le schéma structural préliminaire qui annonçait une fermeture du bassin.

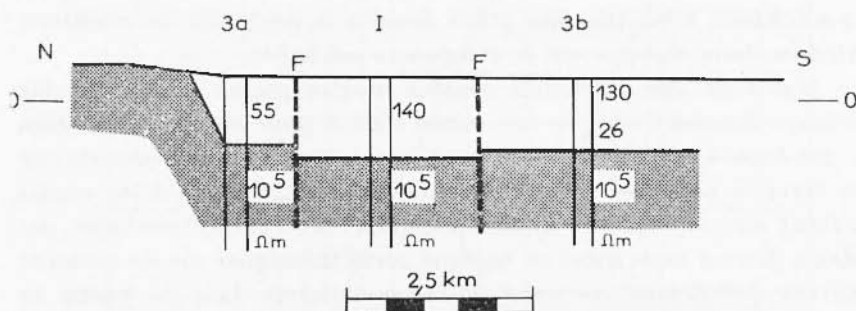


Fig. 76 - Blanzay - profil géoélectrique 3a-3b.

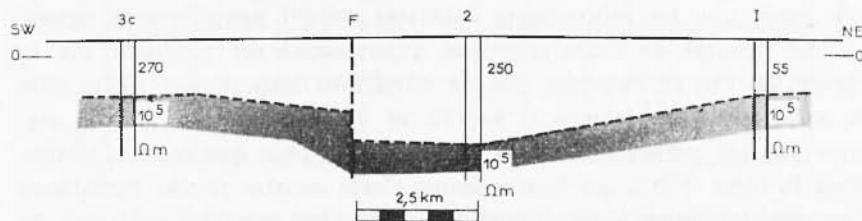


Fig. 77 - Blanzay - profil géoélectrique 3c-1.

Le second profil passe d'Ouest en Est par les stations 3c-2 et 1, les variations de puissance de la couverture sont plus importantes du moins en l'absence de précisions quant à la station 2.

Les résultats obtenus en 1, sondage de référence, sont en parfait accord avec la côte du socle fournie par un ancien forage des charbonnages n'ayant malheureusement pas été carotté électriquement.

La présence d'un socle très résistant autorise la détermination de la conductance totale du recouvrement sédimentaire. Ce paramètre ne peut être lié directement à la profondeur mais sa connaissance pourrait rendre service lors de futures investigations électriques. On obtient pour les différentes stations les valeurs suivantes:

Stations	1 N-S	2	3a N-S E-W	3b N-S	3c N-S	4 E-W
Conductance en mhos	9	8,5	17 11	24	13	17

F. Le bassin de Lodève.

Le permien affleure ici beaucoup plus largement que dans les deux premiers cas envisagés; les mesures sont ainsi plus nombreuses et les situations plus diverses.

Le socle débute par les séries cambriennes affleurant à Lodève et reposant vraisemblablement sur un granite, il s'enfonce vers le S.S.E. de façon progressive mais sa surface est affectée d'une topographie créée par une érosion postcambrienne liée à des courants qui ont précisément contribué au dépôt des formations permienes. Il est important de reconstituer la paléotopographie du socle pour en déduire les conditions sédimentologiques et hydrologiques qui ont présidé à la mise en place de l'uranium dans le bassin. Le remplissage du bassin est constitué par des sédiments autuniens et saxoniens, la limite entre ces deux formations étant marquée par un banc conglomératique représenté sur la Figure 78. A l'Est le Permien entre en contact avec le Jurassique par une importante faille tandis qu'au Sud il disparaît sous les formations plus récentes.

Le C.E.A. possédait nombre de renseignements précis quant à la côte du socle en maints endroits (forages) et à la résistivité des terrains permienes (forages pétroliers diagraphiés). Les mesures M.T. se sont déroulées en deux temps. Dans une première phase une série de dix sondages a permis de contrôler l'adaptation de la méthode à ce type de prospection, on préparait ainsi une seconde phase lors de laquelle les mesures, plus nombreuses, s'intégraient dans un plan d'étude plus large destiné à définir plus en détail la paléogéographie du socle antepremien à moyenne profondeur.

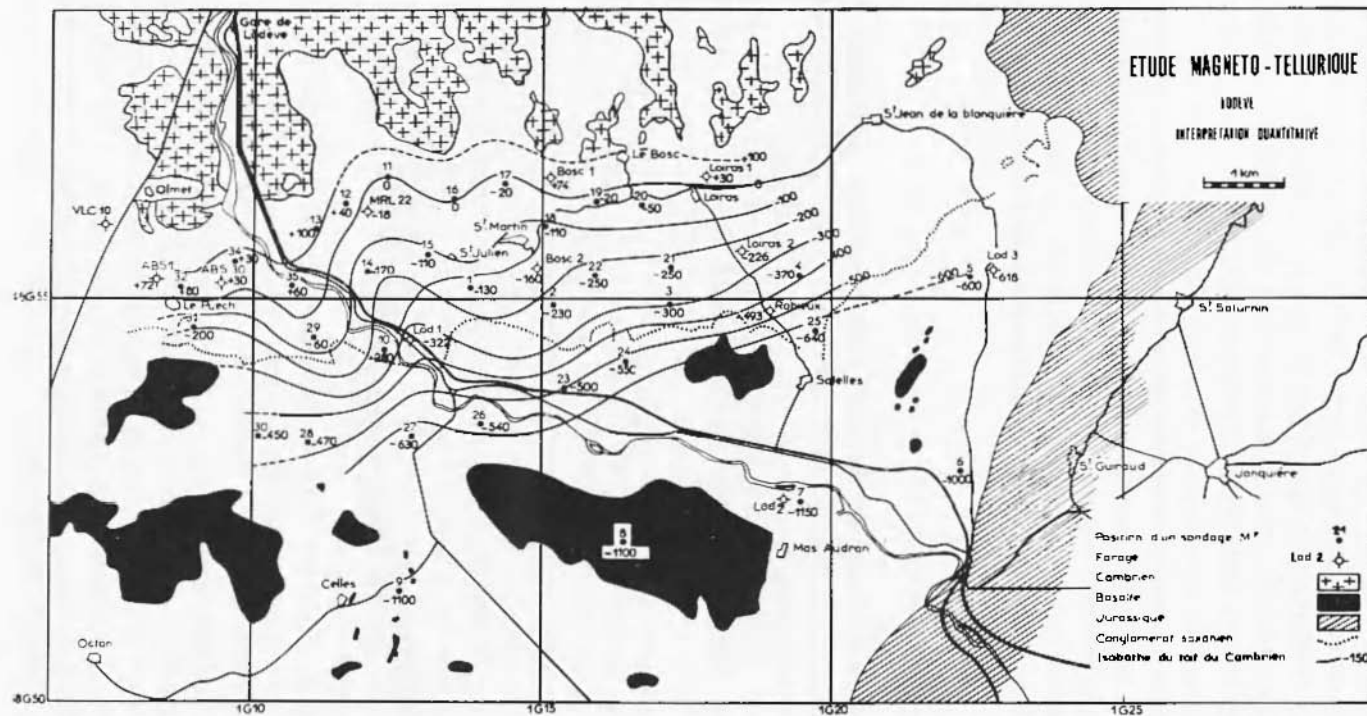


Fig. 78 - Situation géographique des mesures M.T. dans le Bassin de Lodève et isobathes du toit du socle d'après la M.T.

Les renseignements que recherchent les géologues du C.E.A. ne concernent les zones profondes du bassin que dans la mesure où une connaissance structurale sur une région aussi étendue que possible est toujours souhaitable. C'est pourquoi la première mission comportait un premier profil de six sondages alignés d'Ouest en Est à moyenne profondeur (300 à 500 m) et un second profil de quatre sondages, situé au Sud du premier dans une zone où l'épaisseur des formations sédimentaires peut atteindre 1500 m. Trois des stations étaient placées à proximité de forages pétroliers. On a pu ainsi calculer à l'avance les courbes M.T. théoriques pour ces trois points (Figure 79). Ces courbes montrent qu'il n'est pas nécessaire d'analyser des périodes très longues pour déterminer l'épaisseur des terrains sédimentaires puisque à une période de 0,25 s ($\sqrt{T} = 0,5$) l'influence du socle est déjà évidente. A titre de précaution on a cependant procédé à l'enregistrement des phénomènes de la gamme $\frac{1}{4}$ Hz à 4 Hz sur bande magnétique. Cette précaution a été abandonnée lors de la deuxième mission qui n'intéressait, en bordure des affleurements du socle, que des zones de faible accumulation de sédiments. Cet allègement du travail de terrain pour chaque station a permis de faire passer la cadence des mesures de deux à trois par jour.

On constate sur la Figure 79 un décalage systématique entre les courbes théoriques, et les courbes expérimentales. Ceci peut s'expliquer, pour les résistivités, par la différence de technique qui ne devrait pas avoir de conséquences pour un sous-sol homogène et isotrope. Par contre, le décalage des abscisses est normal puisqu'il compense en quelque sorte celui des ordonnées permettant ainsi de calculer des épaisseurs voisines de celles qu'indiquent les forages. On jugera de la précision des résultats d'après les comparaisons suivantes:

— Station L₁₆. Le forage a montré un accroissement sensible de la résistivité à partir de 425 m de profondeur, l'interprétation révèle un premier terrain de 85 Ωm de résistivité pour une épaisseur de 400 m.

— Station L₁₇. D'après le forage la résistivité des terrains s'accroît nettement en dessous de 650 m. Les deux terrains sédimentaires distingués sur la courbe expérimentale ont respectivement 215 et 430 m d'épaisseur (soit 650 m à eux deux).

— Station L₅. C'est en dessous de 1400 m qu'apparaissent sur le log électrique les formations à forte résistivité, l'interprétation distingue deux terrains d'épaisseur 420 et 840 m (soit 1250 m environ en tout) au-dessus du socle électrique.

Ces résultats, intéressants pour le Géophysicien, le sont malheureusement un peu moins pour le Géologue car il constate que le socle électrique déterminé par la méthode M.T. ne coïncide pas toujours avec son socle géologique, mais on ne saurait reprocher à la plus belle méthode de ne donner que ce qu'elle a. Au surplus les écarts ne sont pas considérables puisque les formations riches en quartz que l'on regarde comme le toit du socle apparaissent à 430 m en L_{10} , à 770 m en L_6 et à 1500 m en L_7 .

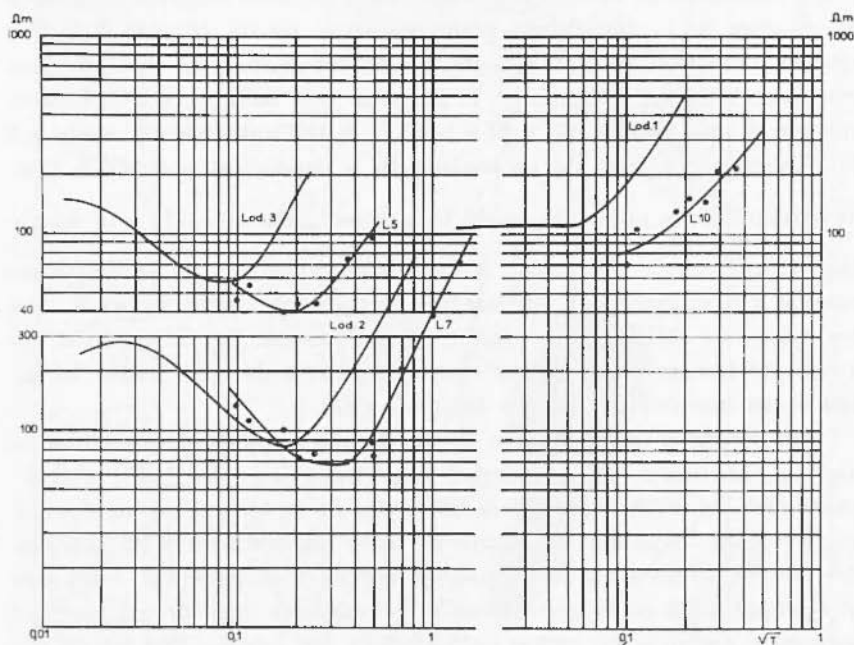


Fig. 79 - Lodève: comparaison entre courbes M.T. théoriques et expérimentales.

Le profil situé le plus au Nord a donné lieu à une coupe interprétative (Figure 80) sur laquelle on vérifie la faible différence que l'on vient de constater entre socle géologique et socle électrique.

La seconde mission consistait en vingt quatre stations disposées en profils sensiblement parallèles aux précédents en partant aussi près que possible des affleurements du socle vers le Nord pour arriver vers le Sud entre les deux premières séries de mesures. L'interprétation des courbes s'est faite presque exclusivement à partir des côtes fournies par quelques forages qui autorisaient un calage des courbes en certains

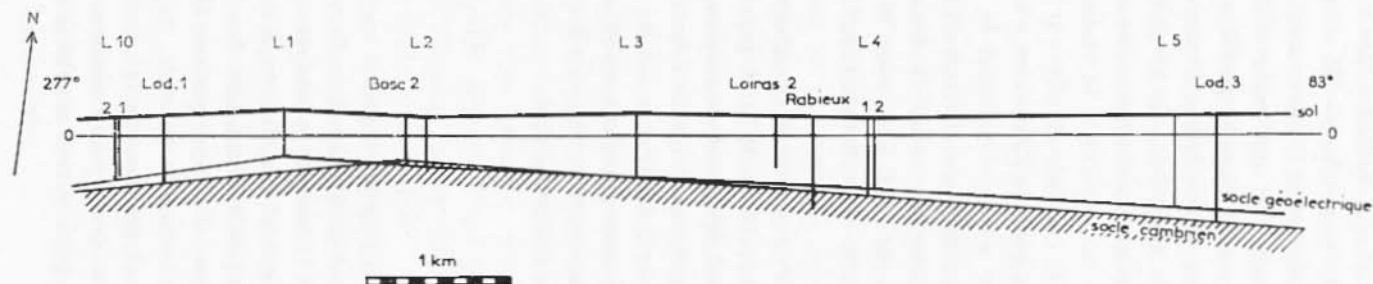


Fig. 80 - Lodève: coupes géologiques d'après les forages: (socle cambrien), et d'après la M.T.: (socle géoélectrique).

points. On a pu ainsi présenter une synthèse des résultats sous la forme d'une carte d'isobathes du socle (Figure 78). Cette carte montre bien l'existence de deux axes principaux de haut fond du bassin (stations 35 à 27 et 16 à 23) séparés par une paléovallée (stations 11 à 10). Ces axes sont très régulièrement dans le prolongement des reliefs du socle affleurant vers le Nord à très faible distance des premières stations M.T. Les côtes du socle trouvées pour les stations du dernier profil (27 à 5) ont été systématiquement augmentées de 100 m pour tenir compte du décalage (120 m) observé à la station 5 entre socle électrique et socle géologique. On constate en effet sur le log électrique du forage que la résistivité de la base de l'Autunien s'accroît progressivement avec la profondeur. Or c'est précisément la côte à laquelle la résistivité commence à augmenter que fournit l'interprétation du sondage M.T. Cette carte d'isobathes complète bien et précise les données préliminaires fournies par le C.E.A. sous la forme de trois séries d'isobathes du socle d'après les affleurements, les sondages ou d'après la tectonique.

L'écart moyen relevé sur les rapports d'amplitude effectués pour une même période se situe entre 10 et 15% et entraîne une erreur du même ordre sur l'appréciation des profondeurs dans les cas simples (deux terrains). On constate d'autre part que le décalage, irréductible, entre le socle géologique et le socle électrique, est du même ordre de grandeur. L'utilisation d'intégrateurs synchronisés (Benderitter, Dupis, Morat 1968) réduit l'écart moyen (environ 5%) sur les mesures lorsque les enregistrements sont de très bonne qualité.

G. Conclusion.

S'il est difficile de porter un jugement précis sur les résultats obtenus à Blanzay et à Rodez où manquent les points de repère, par contre à Lodève, la densité des mesures (1/km²) et la comparaison des résultats avec des données précises permettent d'apprécier la bonne adaptation de ce type de prospection aux problèmes miniers. Les forages exécutés ultérieurement par le C.E.A. ont d'ailleurs prouvé la valeur des indications portées sur la carte d'isobathes du socle. Si cette carte s'est révélée intéressante surtout qualitativement c'est qu'il est difficile de connaître la résistivité moyenne des terrains sédimentaires dans une zone où la nature des dépôts peut varier rapidement sur de faibles distances.

Il reste qu'on a mis en évidence la nécessité de recourir à l'analyse des fréquences plus élevées si l'on veut prospector des terrains superficiels totalement inconnus. D'autre part, l'appareillage utilisé, conçu pour la prospection pétrolière, n'est pas tout à fait adéquat. En effet si on se limite à l'étude des fréquences supérieures à 4 Hz on peut simplifier beaucoup l'appareillage, en particulier les capteurs magnétiques (Benderitter, Le Donche 1969), et réduire la longueur des lignes telluriques (50 à 150 m au lieu de 300 à 400 m).

CONCLUSION.

La méthode magnéto-tellurique n'a pris son véritable essor que ces dernières années, il y aura pourtant bientôt 20 ans que sa théorie fut élaborée. Elle a d'abord subi l'assaut de théoriciens restés sceptiques devant les hypothèses simplificatrices. Ce scepticisme était d'ailleurs alimenté par les résultats des premières tentatives d'application qui concernaient plus la Physique du Globe que la Géophysique Appliquée. Il fallut attendre d'autre part une décennie avant qu'apparaissent des appareillages bien adaptés aux besoins de la méthode.

Un tel délai ne devait pas favoriser le développement de la méthode d'autant qu'on lui a souvent réservé, pour la tester, les zones inaccessibles aux méthodes conventionnelles. De même une certaine précipitation dans l'application un peu aveugle des principes modernes de traitement automatique de l'information a t'elle pu conduire à une condamnation trop vite formulée. Nous avons pour notre part pensé qu'il était préférable d'acquérir au préalable une bonne expérience pratique grâce à l'étude, parfois fastidieuse il est vrai, d'un grand nombre de documents analogiques.

Il semble que maintenant la méthode soit mieux comprise et qu'on ne discute plus son intérêt. Les avantages que son auteur lui attribuait sont généralement reconnus. On espère que ce mémoire aura contribué à les souligner: aisance et rapidité des opérations de terrain, supériorité sur ses rivales quant à la profondeur de pénétration et au pouvoir de résolution, commodité du traitement des données par le calcul numérique.

L'accélération du progrès est telle que les applications de la méthode M.T. pour l'investigation des structures complexes se multiplient. C'est une preuve à la fois des réelles possibilités qu'elle offre et de la confiance qu'on lui accorde.

Il ne faut cependant pas perdre de vue que toute investigation du sous-sol ne saurait s'envisager sérieusement par l'application d'une seule méthode. La magnéto-tellurique, pas plus qu'une autre, n'est une panacée bien qu'il faille désormais la compter parmi les méthodes les plus fructueuses.

BIBLIOGRAPHIE

- ALEKSEYEV A. M. et al., *Application of electromagnetic methods in oil and gas exploration in the U.S.S.R.* World Petroleum Cong. Mexico, in « New geophysical Developments and Methods », p. 697-708, 1967.
- BALTENBERGER P. - RECQ M., *Etude sismique du socle dans la région du Val de Loire.* « C. R. Acad. Sc. Paris », t 261, p. 1053-1056, 1965.
- BECKER A. - FLINT T. R., *A portable microvoltmeter for the measurement of 8 c/s telluric currents.* « Geological survey of Canada Ottawa, Ontario », rapport interne 35 p., 1967.
- BENDERITTER Y., *Etude, mise au point, étalonnage d'appareils mobiles pour la prospection magnéto-tellurique.* « Th. Doct. de spéc. (Géophysique Appliquée), faculté des Sciences », Paris, juin 1963.
- BENDERITTER Y. - DUPIS A., *Technique de mesure de la différence de phase entre champ tellurique et champ magnétique dans la méthode de prospection magnéto-tellurique.* « Ann. de Géophys. », 12, p. 605-606, 1965.
- BENDERITTER Y. - BOLUSSET - DUPIS A. - MOATTE E. - PHAM VAN NGOC., *Résultats d'une prospection de grande reconnaissance par sondages magnéto-telluriques croisés.* « Communication au meeting de l'E.A.E.G. à Stockholm », 9 Juin 1967.
- BENDERITTER Y., *Appareillage magnéto-tellurique de prospection pétrolière.* « Rev. Inst. Franç. du Pétrole », 5, p. 608-618, 1968.
- BENDERITTER Y. - DUPIS A. - MORAT P., *Traitement des informations magnéto-telluriques à l'aide d'intégrateurs synchronisés,* « L'onde électrique », 491, p. 177-178, 1968.
- BENDERITTER Y., *Enregistrement des phénomènes magnéto-telluriques pour la prospection Géophysique.* « Thèse Doctoral d'Etat - Fac. Sciences », Paris 1968.
- BENDERITTER Y. - LE DONCHE L., *Contribution à l'étude des capteurs magnétiques à induction pour la prospection magnéto-tellurique.* Etude de la sensibilité et améliorations. C.N.E.S. Colloque international: champs magnétiques faibles d'intérêt géophysique et spatial. Paris 20-30 Mai 1969 - A paraître dans le « Journal de Physique de la Société Française de Physique ».
- BERDICHEVSKI M. - BRUNELLI B., *Teoreticheskie predposylki magnito-telluriceskogo profilirovaniya.* « Izvest. Akad. Nauk SSR », 7, p. 1061-1069, 1959.

- BERDICHEVSKI M., *Electrical prospecting with the telluric current method*. « 1960 traduit par Keller Colorado School Mines Quart », **60**, 1, p. 1-216, 1960.
- BLEIL D. F., *Natural electromagnetic phenomena below 30 kc/s. Introduction talk*. D. F. Bleil Editor, 1964.
- BUREAU J. L., *Sur une méthode de dépouillement magnéto-tellurique*. « C.P. Ac. Sc. », 266, p. 1173-1174, 1968.
- CAGNIARD L., *Principe de la méthode magnéto-tellurique, nouvelle méthode de prospection géophysique*. « Annales de Géophys. », **9**, p. 95-125, 1953.
- CAGNIARD L., *Théorie et pratique de la prospection magnéto-tellurique*. « Pétrole Informations », Paris, 435, p. 667-668, 1967.
- CHAUVEAU, *Généralités sur la méthode magnéto-tellurique*. « Institut Français du Pétrole », Ronéo 25 p., 1965.
- D'ERCEVILLE I. - KUNETZ G., *The effect of a fault on the Earth's natural electromagnetic field*. « Geophysics », **27**, p. 651-665, 1962.
- DUPIS A., *Description, résultats, enseignements de la première campagne expérimentale de sondages magnéto-telluriques effectués en France*. « Th. Doct. de spéc. (Géophysique Appliquée) », Faculté des Sciences, Paris, Juin 1963.
- DUPIS A., *Le sondage magnéto-tellurique -- son application à une prospection de grande reconnaissance*. « Revue de l'Institut Français du Pétrole », p. 1309-1338, Nov. 1969.
- DUPIS A., *Prospection magnéto-tellurique à faible et moyenne profondeurs pour la recherche de Uranium*. A. paraître, « Rev. Géol. Dyn. », Sept. 1970.
- DUROUX J. - WEBER C., *Données sur la géologie profonde de la bordure sédimentaire du Morvan obtenues par un procédé géophysique nouveau (magnéto-électrique)*. « C.R.S. Soc. géol. », Fasc. 2, p. 36-38, 1968.
- EYEN H. M., *Theory and practice of low frequency electromagnetic exploration*. « Geophysics », **13**, 1948.
- FOURNIER H., *Description des installations d'une station d'enregistrement des variations très rapides du champ magnétique terrestre*. « C. R. Acad. Sc. », Paris, t. 251, p. 962-964, 1960.
- FOURNIER H., *Contribution à la spectrographie directionnelle magnéto-tellurique absolue à Garchy*. « Revue AIMS », 10, p. 1-8, Oct. 1962.
- FOURNIER H., *Die Richtungspektrographie in der magnetotellurik*. « Freiburger Forschung », C. 174, p. 109-120.
- FOURNIER H., *Essai d'un historique des connaissances magnéto-telluriques*. « Inst. de Phys. du Globe, Fac. Sc. », Paris, Note 17, 272 pages, 1966.
- GALMIER D. - FUCHS Y. - SAMAMA J. C., *Exemples d'applications de la photogéologie à la détection des gisements stratiformes enfouis*. « Actes du IIème symposium International de photo-interprétation », Paris 1966. Edit. Technip IV, 1, p. 34-44, 1967.
- GEZE B., *Structure de l'Arc de Nice -- Lière à la mémoire du Professeur P. Fallot* - Mémoire hors série de la Société Géologique de France, II, p. 289-300, 1960-1963.

- GRANGEON M. - FEYS R. - GREBER Ch., *Géologie profonde de la région de Decize (Nièvre)* « Bull. B.R.G.M. », (2), I, 1, 1968.
- MAILLET R., *The fundamental equations of electrical prospecting*, « Geophysics », **12**, p. 529-556, 1947.
- MANN J. E., *Magneto-telluric theory of the sinusoidal interface*, « Journal of Geophysics Res. » **69**, 1964.
- MANN J. E., *The importance of Anisotropic conductivity in magnetotelluric interpretation*. « Journal of Geophysics Res. », **70**, 12, p. 2940-2942, 1965.
- MORAT P., *Principes, exigences et perspectives de la prospection magnéto-tellurique marine*. « Cahiers Océanographiques », **XXI**, 9, Nov. 1969.
- MUSE L., *Première prospection magnéto-tellurique dans le bassin sédimentaire saharien*. « Revue de l'Institut Français du Pétrole », Oct. et Nov. 1969.
- NABETANI S. - RANKIN D., *An inverse method of magnetotelluric analysis for a multilayered Earth*. « Geophysics », **34**, 1, p. 75-86, 1969.
- O'BRIEN D. P. - MORRISON H. F., *Electromagnetic field in an N-layer anisotropic half-space*. « Geophysics », **32**, 4, 1967.
- ORELLANA E. - MOONEY H., *Master tables and curves for vertical electrical sounding over layered structures*. « Interciencia », Madrid, 1966.
- PORSTENDORFER G., *Methodische und apparative Entwicklung magneto-tellurischer Verfahren mit Anwendung auf die tiefe Fernerkundung im Bereich der norddeutschen Leitfähigkeitsanomalie*. « Deutsche Akademie Der Wissenschaften Zu », 76 pages, Berlin 1965.
- PRICE A. T., *The theory of magneto-telluric methods when the source field is considered*. « Journal of Geophysic. Res. », **67**, 5, p. 1907-1918, 1962.
- RANKIN D. - REDDY I. K., *A magnetotelluric study of resistivity anisotropy*. « Geophysics », **34**, 3, p. 438-449, 1969.
- ROCAFORT, *Application de l'analyse magnéto-tellurique rapide à la prospection géophysique*. « Thèse Doct. de Spéc. (Géophysique Appliquée) », Faculté des Sciences, Paris, Rouco 94 p., 1969.
- ROUSSEL J. - TOURNIER D., *Sur la détermination de la résistivité électrique des couches profondes du sous-sol par sondage dipôle azimutal*. « C. R. Acad. Sc. », Paris, 267, p. 1045-1048, 1968.
- SANSELME H., *Recherche indirecte de l'uranium en terrain sédimentaire*. « Commissariat à l'Énergie Atomique B.I.T.S. », **88**, p. 35-43, 1964.
- TIGER B., *Considérations théoriques sur les sondages magnéto-telluriques, leur interprétation et leurs applications*. « Th. Doct. de spéc. (Géophysique Appliquée) », Faculté des Sciences de Paris - Juin 1963.
- WAIT J. R., *On the relation between telluric currents and the Earth's magnetic field*. « Geophysics », **XIX**, 2, p. 281-289, 1954.
- WU F. T., *The inverse problem of magnetotelluric analysis for a multilayered Earth*. « Geophysics », **34**, 1, p. 75-86, 1969.