

Matériaux pour la Géologie de la Suisse

Géophysique No. 13

Publiés par la Commission Géotechnique Suisse
Organe de la Société Helvétique des Sciences Naturelles,
subventionnée par la Confédération

APPLICATION DES METHODES GEOPHYSIQUES
A LA RECHERCHE HYDROGEOLOGIQUE

par

P.Corniche

En Commission
chez Kümmerly & Frey, Geographischer Verlag, Berne

Zürich
Offsetdruck Helioprint AG
1973

Préface de la Commission Géotechnique Suisse

Se référant à une décision de la Commission à sa séance du 15 janvier 1972 M. le professeur Meyer de Stadelhofen présenta un manuscrit de son élève P. Corniche: "Application des Méthodes géophysiques à la Recherche hydrogéologique". Il s'agit d'une thèse de doctorat, élaborée au Laboratoire de Géophysique de l'Université de Genève sous la direction de M. le professeur C. Meyer de Stadelhofen. L'ouvrage a été accepté pour être publié dans la série "Géophysique".

La Commission Géotechnique Suisse remercie vivement M. Corniche de cette contribution intéressante à la recherche géophysique et hydrologique du pays et de sa participation aux frais d'impression.

L'Etat de Genève a bien voulu contribuer aux frais; qu'il veuille accepter notre gratitude.

Le fond du texte et des figures est laissé à la seule responsabilité de l'auteur.

Au nom de la
Commission Géotechnique Suisse
Le président: Prof. F. de Quevain

Zurich, avril 1972

TABLE DES MATIERES

Introduction

1. Objectif du travail	5
2. Méthodes de prospection	5

Chapitre I: Géologie

1.1 Situation géographique	8
1.2 Terrains constitutifs du bassin	8
1.3 Tectonique	11
1.4 Hydrologie	12
1.5 Aquifères	12

Chapitre II: Gravimétrie

2.1 Mesures de terrains	14
2.2 Correction des mesures	14
Choix des densités	15
2.3 Tableau des mesures et des calculs	15
2.4 Traitement des résultats	28
2.5 Interprétation	29

Chapitre III: Les Méthodes électriques

3.1 Méthodes utilisées	40
3.2 Trainé électrique, cartes de résistivité	41
3.3 Résultats obtenus par sondages électriques	44

Résumé et Conclusions	62
-----------------------	----

INTRODUCTION

1. Objectif du travail

En 1966, l'Etat de Vaud a chargé Messieurs *C. Meyer de Stadelhofen* et *H. Badoux*, respectivement professeurs de Géophysique et Géologie à l'Université de Lausanne, de l'étude hydrogéologique du plateau vaudois.

Le but de cette étude est de déceler les plus importants des réservoirs d'eau souterraine.

Pour l'hydrologue, la plaine vaudoise présente, dans ses grandes lignes, trois groupes distincts de formations qui sont:

- en surface, le Quaternaire très variable en épaisseurs, en porosité et en perméabilité.
- au dessous, les molasses poreuses mais imperméables, sauf dans les zones d'intense fracturation.
- plus bas, les calcaires secondaires qui peuvent, par le jeu des fractures et des karsts, être transformés en réservoirs ou en voies d'acheminement pour les eaux souterraines.

L'hydrologue doit donc essentiellement résoudre les problèmes suivants:

- Quelle est la répartition du Quaternaire tant à la verticale qu'à l'horizontale? Quelles sont les propriétés physiques de ces formations quaternaires (porosité, perméabilité)?
- Quelle est la position et l'importance du niveau imperméable que constituent les molasses?
- Comment se répartissent les zones fracturées ou karstifiées des calcaires? Dans quelles mesures ces zones favorables sont-elles connectées avec la surface du sol?

2. Méthodes de prospection

Pour répondre aux questions du paragraphe précédent, plusieurs méthodes peuvent être utilisées et, ajouterons-nous, doivent être utilisées de concert. Ces méthodes sont celles de la Géologie, de la Géophysique appliquée et enfin les essais hydrologiques directs dans les forages mécaniques.

La géologie, méthode classique, nous renseigne sur la position géographique et stratigraphique des différents terrains et affleurements. Nous pouvons découvrir, dans les cas favorables, l'arrangement de ces couches dans l'espace et les accidents qu'elles ont pu subir aux cours des temps orogéniques.

De plus, l'étude des sources, de leur répartition, de leur chimisme peut indiquer quels milieux elles drainent.

Enfin, l'examen des affleurements permet d'estimer certains paramètres physiques caractéristiques telles la porosité et la perméabilité. Ces paramètres nous permettent de définir quelles sont les formations capables de contenir l'eau.

Malheureusement, la majeure partie de notre terrain oppose à cette investigation directe un recouvrement constitué par la terre végétale. En outre, les affleurements sont souvent altérés. Ce recouvrement peu épais est suffisant cependant pour empêcher l'application pleinement efficace des méthodes géologiques ordinaires. Nous sommes donc obligés de recourir à d'autres moyens qui nous permettent de voir en profondeur. Ces moyens sont ceux de la Géophysique appliquée qui étudie à distance certains paramètres physiques des formations.

La répartition des masses en profondeur et, partant des densités, crée une hétérogénéité du sous-sol qui perturbe le champ gravifique terrestre. Il appartient à la *Méthode Gravimétrique* de mesurer les valeurs de cette perturbation et d'en tirer des conclusions quant à la répartition des couches géologiques en profondeur. Les valeurs de l'accélération de la pesanteur g , mesurée sur le terrain ne sont pas égales aux valeurs théoriques que l'on aurait dans l'hypothèse d'un globe homogène. La différence constatée entre les deux valeurs est due à des variations de densité des roches sous la surface du sol et est exprimée en termes d'anomalies: anomalies positives (lourdes) quand elles sont provoquées par des corps de grande densité, négatives (légères) dans le cas contraire.

La prospection gravimétrique ne peut être efficace que si le contraste de densité entre les différentes unités pétrographiques est suffisamment marqué pour que l'on puisse identifier l'effet de telle ou telle formation.

Sur notre terrain nous rencontrons les densités limites suivantes:

Formations	Densité
Quaternaire	2
Molasse	2,4
Calcaire	2,5

Ces différences sont suffisantes pour nous permettre de déceler les éléments structuraux utiles dans notre prospection hydrogéologique. Des valeurs élevées de gravité peuvent être associées à ces anticlinaux ou des horsts qui correspondent à une montée de matériaux denses (les calcaires) vers la surface. De forts gradients résultent de contacts verticaux entre des roches de densité différentes (failles). Au contraire, de faibles valeurs sont attribuées, soit à un enfoncement des calcaires, soit à une dépression due à l'érosion de la molasse, couverte de matériel léger quaternaire.

Une carte gravimétrique nous donne ainsi l'allure des volumes de nos réservoirs aquifères et de la molasse qui les limite. Elle nous renseigne sur les zones fracturées qui peuvent servir de chemin à l'écoulement de l'eau vers la profondeur ou vers la surface. Ce deuxième cas nous intéresse particulièrement dans la mesure où l'eau contenue dans les calcaires peut alimenter les réservoirs quaternaires de surface à travers la molasse imperméable. En outre, l'eau des calcaires peu profonds peut être directement exploitée par forages. Ces calcaires seront les premiers considérés quand la production des nappes de surface ne pourra plus répondre aux besoins et que de nouveaux investissements seront nécessaires pour les travaux de recherche.

La gravimétrie nous aide donc à définir dans l'espace les trois milieux qui constituent le sous-sol de notre région. Cette définition est toutefois grossière et imprécise, particulièrement pour le Quaternaire. Ce terme recouvre en fait plusieurs dépôts d'origine, composition, granulométrie, porosité et perméabilité différentes. Les glaciers quaternaires ont, en effet, apporté et déposé dans la région un matériel abondant. Nous distinguons un matériel à prédominance argileuse et un autre à prédominance sableuse ou graveleuse. Ces sables et ces graviers retiennent notre attention par la valeur élevée de leur perméabilité et de leur porosité. Il nous faut donc les différencier du reste des sédiments en employant un moyen de résolution plus fin que la gravimétrie. Les mesures des résistivités des diverses formations nous aident à atteindre ce but.

Le sol peut conduire l'ELECTRICITE quand on lui applique un voltage. On considère la matrice des roches comme un isolant parfait et le passage du courant se fait par l'intermédiaire des sels minéraux en dissolution dans l'eau interstitielle qui emplit les pores (électrolyte). La conductivité dépend donc essentiellement de la disposition et du volume des pores ainsi que de la salinité de l'eau d'imbibition.

L'inverse de la conductivité est la RESISTIVITE. C'est la résistance électrique qu'une formation, symbolisée par un cylindre de dimensions unitaires, oppose au passage du courant. La résistivité est donc, en première approximation, inversement proportionnelle au volume de l'eau d'imbibition et à la quantité des sels dissous. Ces deux valeurs, variant pour chaque sorte de roches, on voit qu'il est possible, en mesurant ces résistivités, de mettre en évidence diverses formations pour peu que les paramètres les caractérisant soient suffisamment différenciés. L'association "formation géologique-résistivité" est réalisée en testant le paramètre résistivité sur des affleurements représentatifs de ces formations dans la région prospectée. Nous obtenons ainsi une série stratigraphique électrique qui nous permet de traduire les valeurs physiques obtenues en langage hydrogéologique. Cette série se présente, pour notre territoire, comme suit:

Formations	Résistivité (ohm.m)	
Quaternaire	Moraines argileuses	40-- 60
	Moraines graveleuses	60--100
	Graviers secs	400 <
	Graviers humides	100--200
	Alluvions fines	< 35
Tertiaire	Molasse aquitanaise	50-- 70
	Molasse chattienne	25-- 35
Secondaire	calcaires massifs	200 <
	calcaires marneux	100--200

Avec ces valeurs volontairement schématisées, ici, nous pouvons distinguer les milieux imperméables molassiques et aussi argileux des niveaux aquifères graveleux et calcaires. La distinction de ces dépôts par les méthodes de résistivité se fait par profil ou cartes de résistivité et par sondages électriques.

Les sondages électriques permettent une investigation verticale des terrains prospectés. Leur but est de reconnaître la profondeur des niveaux imperméables, d'estimer les épaisseurs des différents domaines et de déceler les jeux de failles et autres accidents tectoniques. Les cartes de résistivité représentent une investigation électrique du sous-sol dans le plan horizontal à une profondeur H fixe. Cette profondeur d'investigation est choisie à la suite des résultats de plusieurs sondages électriques tests qui nous indiquent à quelle profondeur nous obtenons de rapides variations de résistivité. Ces variations sont l'indice de frontière entre deux domaines de résistivités différentes, donc géologiquement différents.

L'homogénéité latérale des formations est un facteur important conditionnant la qualité des résultats. Le Quaternaire varie rapidement de composition pétrographique, ce qui peut constituer un obstacle à la bonne interprétation de nos sondages électriques. D'autres facteurs peuvent empêcher quelquefois la mise en place des dispositifs. Citons une topographie accidentée, les cultures, l'urbanisation et l'industrialisation des campagnes, les conduites métalliques.

Nous venons de voir succinctement trois méthodes de prospection qui nous permettent d'approcher le but fixé, à savoir la délimitation de réservoirs aquifères.

Les cartes réalisées grâce à ces trois méthodes sont des cartes de probabilité délimitant des zones défavorables, possibles, favorables. Elles conduisent au choix de points pour l'implantation de forages et la réalisation de puits. Seuls les forages peuvent nous donner, en dernier ressort, une certitude.

La Géophysique appliquée est une des nombreuses sciences, avec la Géologie, sur laquelle repose l'hydrologie qui veut prospecter et exploiter les eaux souterraines.

Une exploitation rationnelle de ces eaux implique un calcul des réserves et des ressources exploitables. Nous espérons, par ce travail, contribuer à atteindre ce but.

CHAPITRE I

Géologie

1.1 Situation géographique

Notre territoire s'étend sur une superficie d'environ 250 km² et est délimité par les frontières naturelles de la Venoge à l'est, du Lac Léman au sud, de l'Aubonne à l'ouest et du pied du Jura au nord (feuilles 1242 *Morges* et 1222 *Cossonay* de la Carte nationale suisse au 1/25.000). La géologie a été étudiée par *W. Custer* (feuille 1222) et *J.-P. Vernet* (feuille 1242). Nous leur empruntons la plupart des éléments géologiques qui suivent en y adjoignant quelques observations personnelles (fig. 1).

1.2 Terrains constitutifs du bassin

Cette région fait partie du plateau molassique qui, d'une altitude de 800–900 mètres, au pied du Jura, descend régulièrement en direction du Lac (alt. 372 m.).

La plus grande partie de la surface est recouverte d'un épais manteau quaternaire qui dissimule la quasi totalité du substratum. En effet, celui-ci n'apparaît que très rarement, surtout dans le lit des rivières; cette pauvreté en affleurements rend hypothétiques les résultats stratigraphiques et tectoniques que l'on peut tirer des observations de surface et de quelques puits peu profonds.

Les terrains les plus anciens, d'âge *crétacé*, sont ceux du Barrémien-Urgonien, visibles au nord de la ligne l'*Isle-Cuarnens-Moiry-Ferreyres*. Ils font partie du flanc sud-est de la première chaîne du Jura. Nous n'observons sur notre terrain que le sommet de cet étage. Ce sont de gros bancs de calcaire compact à facies urgonien blanc ou jaunâtre. Leur épaisseur peut atteindre jusqu'à 20 mètres. Au nord de l'Isle (déjà en dehors de la zone étudiée) on peut également rencontrer des calcaires en alternance avec des marno-calcaires et des marnes qui forment la base du Barrémien.

Ces terrains disparaissent totalement au sud et sud-ouest sous les assises des grès et marnes tertiaires et les vastes dépôts morainiques quaternaires.

Les formations tertiaires sont représentées par des sédiments molassiques oligocènes dont l'âge chattien est généralement admis. L'étude de cette Molasse est rendue compliquée par la discontinuité des affleurements. Seule la rivière Morges a largement entamé cette série et malgré quelques lacunes, *J.-P. Vernet* (1956) a pu tracer un tableau stratigraphique général qui peut s'appliquer à l'ensemble de la région et que nous reprenons.

De bas en haut, on rencontre:

Zone de la Molasse rouge ou Marnes lie de vin (x + 130 mètres)

C'est une série marneuse, parfois gréseuse, colorée, avec quelques faibles bandes d'argiles noirâtres qui passent au sommet, aux premiers bancs de calcaires lacustres. On note l'apparition des premiers filonnets de gypse fibreux.

Zone des Calcaires lacustres (20 mètres)

Des bancs de Calcaires lacustres, plus épais que dans le reste de la série, caractérisent cette zone. La pâte des bancs s'éclaircit quand on monte dans la série. On remarque la présence de grès argileux, de marnes et d'argiles qui s'intercalent entre les bancs calcaires. Le gypse fibreux se fait plus fréquent.

Zone des Marnes gypsifères (plus de 100 mètres)

Les bancs de calcaires lacustres deviennent de plus en plus rares et tendent à disparaître vers le sommet de la zone. Les grès et marnes sont souvent argileux et présentent une série monotone. On observe toutefois une augmentation des bancs de grès qui deviennent plus nombreux et plus épais quand on s'élève dans la série. Le gypse est abondant. On le trouve sous forme de filonnets ou de nodules dispersés dans les sédiments, mais sa répartition est irrégulière. Il se raréfie vers le haut.

ESQUISSE GÉOLOGIQUE

D'APRÈS C.CUSTER & J.P. VERNET

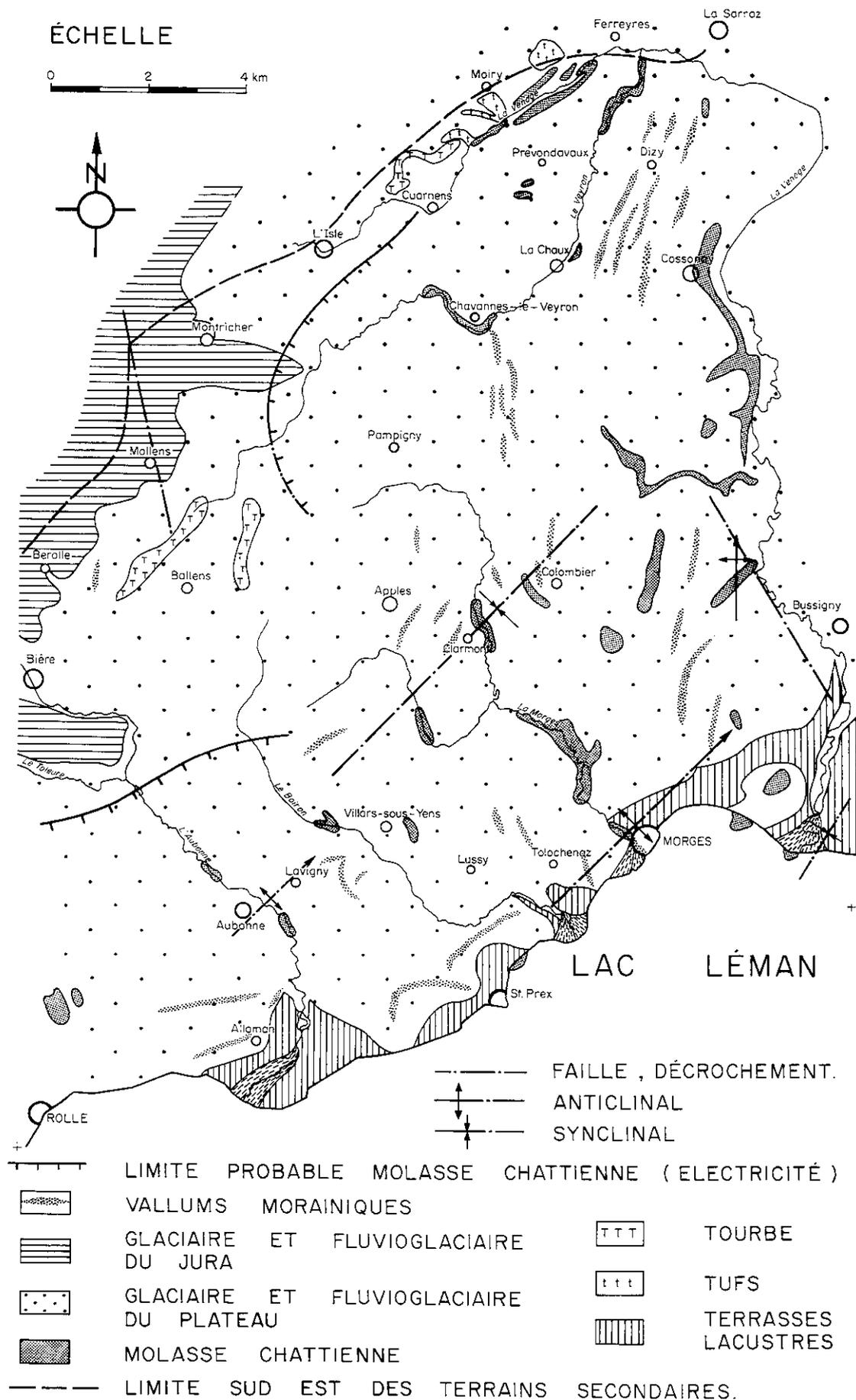


fig. 1

Zone des Grès du Moulin de Clarmont (x + 50 mètres)

Nous trouvons en ce lieu des couches de grès verdâtres, de grès argileux, de marnes. Mais la caractéristique de cette zone réside dans l'épaisseur des bancs de grès. J.-P. Vernet a noté une transgression de bancs gréseux qui lui font penser qu'ils appartiennent déjà à l'Aquitainien.

Les Terrains Quaternaires sont d'origine glaciaire, interglaciaire ou postglaciaire. Selon les auteurs, seuls les glaciations pleistocènes du Riss et du Würm ont laissé des traces dans la région lémanique.

Idealement, sur notre terrain, la série quaternaire se présente de bas en haut comme suit:

- une moraine de fond rissienne.
- des matériaux fluvioglaciaires analogues à l'alluvion ancienne des auteurs.
- le complexe würmien avec ses dépôts morainiques caractéristiques argileux et caillouteux.
- des sédiments stratifiés tardifs, glaciolacustres ou lacustres.

Moraine de fond rissienne et alluvion ancienne

La phase érosive intense qui a succédé à la glaciation rissienne et surtout l'épaisseur des dépôts würmiens font qu'il n'y a pas de trace visible de sédiments rissiens dans la région. Aussi, supposons-nous l'existence de rares moraines profondes rissiennes dans les dépressions molassiques. Elles peuvent être recouvertes par l'alluvion ancienne. Celle-ci se présente sous forme de nappes de graviers qui constituent l'interglaciaire Riss-Würm selon *Joukowski* (1941), ou un interstadiaire. Certains auteurs y voient une alluvion de progression de glacier würmien ou encore une moraine caillouteuse profonde de ce glacier (*Jayet 1966*). Ces sédiments sont visibles dans les deux gravières de Prévondavaux et Dizy, au nord de Cossonay, à Chavannes-le-Veyron et dans les captages d'eau par puits. Ce sont des cailloutis bien stratifiés en couches subhorizontales d'une épaisseur ne dépassant guère 40 mètres. D'après l'étude d'autres dépôts analogues (Genève, Nyon), il semble que ces graviers remplissent d'anciennes vallées molassiques. Ils peuvent surmonter de minces placages de moraines rissiennes mais reposent souvent directement sur la molasse (Prévondavaux). La moraine würmienne les recouvre.

Le complexe würmien et les sédiments tardifs

Le glacier würmien, arrivant de la vallée du Rhône, a déposé sa moraine de fond argileuse, puis s'est retiré, abandonnant différents sédiments à prédominance graveleuse (moraines de retrait, fluvioglaciaires, glaciolacustres).

La couverture morainique est si importante qu'elle cache tous les vestiges quaternaires antérieurs, excepté par places, l'alluvion ancienne.

Décrire spatialement les dépôts glaciaires de la région, c'est donc raconter l'histoire du glacier würmien et particulièrement de son retrait. Aussi, nous reprenons simplement les trois zones caractéristiques que J.-P. Vernet a distinguées et décrites dans son travail et que nous pouvons étendre à l'ensemble de notre territoire.

La première zone, sur une largeur d'environ 2 kilomètres suit le pied du Jura, depuis la plaine de Bière jusqu'au nord-est de Montricher. C'est une zone de fluvioglaciaire recouvrant la moraine argileuse qui comprend un mélange de matériaux d'origines différentes où les éléments jurassiens dominent (plaine de Bière, Montricher). Les graviers et sables ont été apportés par les cours d'eau jurassiens, ou proviennent du délavage des moraines du glacier. Celui-ci stationnait à peu de distance de là, lors de son retrait. Il n'est pas exclu que par endroits ces dépôts se soient faits dans les lacs de faible profondeur. Un exemple typique de ce fluvioglaciaire nous est donné dans une gravière à l'est de Montricher (seul exemple de la région) qui nous montre des bancs de graviers subhorizontaux.

La deuxième zone va de Lavigny et des Bois de Ballens jusque dans la région de Pampigny. Elle est caractérisée par des amas de matériaux glaciaires bousculés et remaniés, résultants des mouvements oscillants du glacier dans cette région. Cette accumulation est maximum au sud de Ballens et son intérêt économique est marqué par la présence de nombreuses gravières. La puissance de ces dépôts diminue vers le nord-est. Cette zone est encore caractérisée par des terrasses glaciolacustres dans la région de Lavigny. Ce sont des sédiments à structure deltaïque qui se sont déposés dans de petits lacs au moment où le glacier jouait le rôle de digue de retenue.

Si le glacier a stationné un temps assez long sur la région décrite ci-dessus, par contre, il semble que le retrait qu'il amorça ensuite ait été rapide.

En effet, dans la troisième zone, les dépôts sont peu épais et l'érosion permet d'y voir en plusieurs endroits la molasse qui affleure. Cette zone, de largeur très variable, se caractérise par la présence de vallums morainiques qui s'étendent de Dizy (au nord) jusqu'à Tolochenaz – St Prex – Allaman (au sud). Signalons qu'au dessus de la ligne Lussy – Morges, ils ont grossièrement une direction N-S alors qu'en dessous, leur direction est plus ou moins parallèle à la rive du lac (voir carte).

Les traces d'anciens petits lacs de barrages causés soit par des vallums ou par la glacier lui-même sont visibles: par exemple fluvio-glaciaire à Clarmont, Colombier; varves au S de Villars-sous-Yens sur la rive droite du Boiron.

Terrasses

Après le retrait du glacier würmien, le niveau du lac a baissé par paliers avant d'atteindre son altitude actuelle. Les terrasses lacustres qui en ont résulté sont situées à 30, 10 et 3 mètres au-dessus du niveau actuel (372 mètres). Elles ne sont pas également représentées le long de la rive (*Vernet*). La terrasse de 30 mètres est discernable dans les deltas des quatre rivières (Aubonne, Boiron, Morges, Venoge) et à St Prex où nous sommes plutôt en présence d'une surface d'érosion d'un matériel morainique par le lac. La terrasse de 10 mètres est seulement présente dans le Boiron et l'Aubonne, tandis que celle de 3 mètres s'observe bien sauf dans le delta de la Morges et à St Prex. Ces terrasses admettent parfois un équivalent fluvial: Aubonne (*Aubert 1936*), Venoge (*Custer 1928*).

Parmi les sédiments holocènes et récents les plus caractéristiques, mentionnons les dépôts de tourbes qui signalent l'emplacement d'anciens marais. On les trouve dans la région de Ballens (grand marais) et surtout le long du pied du Jura. Des tufs sont visibles dans la région de Moiry. Ces dépôts calcaires se trouvent aussi, peu importants, dans les thalwegs des ruisseaux du nord du plateau molassique.

1.3 Tectonique

La tectonique du plateau est très simple dans ses grandes lignes. Mais cette simplicité n'est peut-être qu'apparente et peut résulter de la faible densité des affleurements visibles. Ces affleurements sont en général trop peu étendus pour que l'on puisse trancher entre ondulations ou structures tectoniques réelles.

Un certain nombre d'observations (petites failles, replis) amènent les auteurs à penser que la molasse a pris part à la transmission de la poussée alpine qui a permis l'érection des plis du Jura (1). On peut donc raisonnablement imaginer que la tectonique du plateau molassique est moulée dans ses grandes lignes sur la tectonique du substratum secondaire.

Il est difficile de parler de celui-ci sur notre territoire puisqu'il n'apparaît que dans l'extrême partie nord. Aussi, est-il plus simple de décrire, dans la mesure du possible, la structure de la Molasse et d'extrapoler ces résultats pour les niveaux crétaciques. Le plateau molassique est considéré comme étant formé de couches plus ou moins horizontales. Ces couches semblent reposer en concordance sur le calcaire urgonien. Les pendages de la Molasse, toujours faibles, ne permettent pas d'affirmer la présence de telle ou telle structure et nous réduisent aux hypothèses. Les seules structures importantes se trouvent au sud de notre terrain et correspondent d'ailleurs à la zone de plus grande densité d'affleurements. On distingue un anticlinal passant au nord de Morges et d'orientation ENE-WSW. Puis le synclinal d'aquitainien des grès de Clarmont lui fait suite vers le Jura. Un deuxième anticlinal de direction NNE-SSW est visible sur la rive de St Sulpice. *J.-P. Vernet* le relie à celui de Morges par un synclinal présumé sur l'emplacement de l'embouchure de la Venoge.

Cet auteur suppose encore quelques formes tectoniques que nous traçons sur la carte (fig. 1). Notons la présence probable d'une faille à l'ouest de Bussigny, que suivrait la Venoge dont les rives sont nettement dissymétriques. La rive gauche couverte de quaternaire descend en pente douce vers la rivière, tandis que le versant droit est plus raide, laissant apparaître les parois gréseuses de la Molasse. Ces structures, après quelques ondulations, passent au vaste plateau constituant l'arrière pays.

On peut toutefois se demander si la Molasse reflète fidèlement l'allure du soubassement secondaire et si celui-ci est aussi calme que l'on peut le croire à première vue. Considérons la chaîne du Jura. Nous la voyons traversée par une suite d'accidents tectoniques. Parmi ceux-ci, le décrochement Le Pont-Mollens sabre les plis du Jura sur plusieurs kilomètres. Il se distingue par ses dimensions importantes et il serait étonnant, et même improbable, qu'il n'ait pas des suites dans le plateau. Les compartiments du substratum ont dû jouer, entraînant et déformant avec eux la Molasse susjacente. Et dans quelle mesure l'Aubonne a-t-elle profité de ces mouvements pour tracer son cours? Ajoutons que dans la région d'Aubonne-Allaman se situent quelques centres de séismes. Séismes qui peuvent indiquer le prolongement effectif du décrochement jusque dans cette zone. D'autres centres de séismes ont été décelés aux environs de la Sarraz. Ils sont à mettre en relation avec la tectonique du Mormont.

Nous n'hésitons pas à voir dans le Mormont un événement non point unique le long du Jura, mais qui a dépassé les autres par son ampleur et pu ainsi émerger des recouvrements molassiques et quaternaires. Un exemple de ces

1 A moins qu'il ne faille envisager une cause profonde de l'orogène jurassienne (déformation du socle qui aurait subi une surrection et un rétrécissement entraînant le décollement et le plissement de la carapace sédimentaire (*Aubert 1959*)).

phénomènes restés cachés sous la Molasse nous est donné par forage à Cuarny, dans le région d'Yverdon, où le Crétacé offre de notables complications tectoniques. Aussi, adoptons-nous la conclusion de Custer qui, en 1928 déjà, disait: "il est probable que des dislocations analogues existent en divers endroits le long du pied du Jura. Mais nulle part elles ne sont plus nettes qu'au Mormont, où cependant elles ont échappé jusqu'ici à l'observation géologique. Maintenant que l'attention est attirée sur elles, sans doute en retrouvera-t-on de semblables sur tout le bord du plateau suisse".

1.4 Hydrologie

Le pays est bien arrosé. Les précipitations y sont relativement abondantes, surtout dans le nord (jusqu'à 900 mm par an). L'eau qui s'infiltre s'ajoute à l'eau des formations aquifères. Une partie de cette eau revient à la surface par les sources ou les émergences dans le lit des rivières.

Quelques-unes parmi celles-ci sont très anciennes et drainaient déjà le plateau molassique avant les glaciations. Ainsi en est-il de la Venoge qui coule sur l'emplacement de son ancien lit, n'ayant pas réussi à débayer totalement les dépôts glaciaires. *Aubert (1936)*, se basant sur l'altitude de différents affleurements de Molasse dans la région de l'Aubonne, conclut que cette rivière doit couler en partie sur l'emplacement d'une vallée préwürmienne comblée par des sédiments quaternaires.

La Morges et le Boiron semblent être des rivières récentes. En effet, elles prennent toutes deux leur source dans une région, siège d'une importante accumulation de dépôts glaciaires. Elles trouvent leur origine dans le drainage de l'eau contenue dans les sables et graviers de ces dépôts. Le fait que la Morges coule pour une grande partie sur le substratum molassique appuie l'origine post-glaciaire de cette rivière. Par contre, le Boiron, très différent en cela de la Morges, a dégagé peu d'affleurements. Cette rareté d'affleurements peut s'expliquer par une zone de plus grande accumulation de matériaux morainiques que traverserait son cours.

Parfois les traces d'ancien réseau hydrographique peuvent être décelées par la présence de marécages. Mais ce ne sont que des variations de cours relativement courtes, sans grande signification. Notons toutefois l'hypothèse d'un ancien Veyron tributaire de l'Aubonne ou du Boiron par la dépression du Grand-Marais et de Froideville.

La présence d'anciennes vallées fossiles taillées dans la Molasse, que l'on soupçonne sans en connaître la délimitation, semble être caractéristique du bassin lémanique. Le canton de Genève nous en donne plusieurs exemples (*Joukowski, 1941; Poldini, 1957*).

Ces anciens cours sont des chemins d'écoulement et des réservoirs parfaits pour les eaux souterraines quand leur remplissage est suffisamment poreux et perméable pour permettre une circulation d'eau. La localisation de ces cours fossiles est donc importante pour la production d'eau potable, d'autant plus que les eaux de surface sont maintenant généralement polluées. Il est impossible d'utiliser ces dernières, à moins de traitements mécaniques et chimiques coûteux. En outre, les puits dans la Molasse sont peu à peu abandonnés et l'on doit utiliser de l'eau de source amenée parfois de fort loin.

1.5 Aquifères

De façon générale, on peut distinguer trois modes de gisements aquifères ou nappes phréatiques définis d'après leur alimentation et leur profondeur.

Alimentation par descensum

1. Les graviers superficiels et intramorainiques peuvent être aquifères.

L'eau, quand elle ne peut s'écouler en profondeur, contribue à la formation des ruisseaux ou des marais. Du fait des risques de pollution certaine et de leur débit très variable, ces réservoirs présentent peu d'intérêt pour l'exploitation industrielle.

2. Sous la moraine argileuse würmienne, nous trouvons des cailloutis dont la dénomination change selon les auteurs et qui se trouvent être un excellent niveau aquifère. Ils comblent souvent d'anciens sillons taillés dans la Molasse et nous les avons signalés comme interglaciaires (interstadias) à Prévondavaux et Dizy. Cette nappe aquifère profonde est bien protégée de la pollution de surface par sa couverture qui fait office de filtre ou de toit imperméable.

Alimentation par ascensum

3. Au pied du Jura, les sources sont de nature vaclusienne. Les sources de la Venoge et de la Malagne sont dans ce cas et ce type de résurgence peut aussi alimenter les graviers de toute cette région à travers les fractures du substratum.

Nous avons, dans ce chapitre, résumé rapidement les différentes formations qui peuvent intéresser l'hydrogéologue.

Pour accéder aux nappes telles que nous les avons décrites, il nous faut d'autres informations que nous demanderons à la géophysique.

Ces renseignements sont :

- position et extension des réservoirs, c'est-à-dire des graviers perméables.
- position et extension des imperméables protecteurs (molasse, moraines argileuses).
- position des fractures pouvant servir à l'alimentation par ascensum des nappes.

CHAPITRE II

Gravimétrie

La recherche de structures géologiques cachées, à travers les perturbations qu'elles causent à la surface sur le champ gravifique terrestre, nécessite plusieurs opérations essentielles que nous examinons successivement.

2.1 Mesures de terrain

Les mesures ont été effectuées pendant l'été 1968 avec un gravimètre Worden Master No 805. Les stations choisies sont des bornes topographiques de triangulation du troisième ordre, dont les protocoles, avec indications de lieu, altitude et coordonnées, nous ont été fournies par le cadastre de l'Etat de Vaud.

Les valeurs obtenues avec ce gravimètre à ressort ne sont que relatives et expriment des différences de grandeur par rapport à des bases de départ. Ces bases sont celles du réseau *Poldini* auxquelles nous avons ajouté, pour faciliter la prospection, trois bases intermédiaires, elles-mêmes reliées au dit réseau. La valeur de l'accélération terrestre est connue sur ces bases et par addition algébrique sur l'ensemble des points de mesure.

bases réseau Poldini:	Aubonne	980600.63	Milligal
	Morges	980625.78	Milligal
	Rolle	980627.77	Milligal
bases intermédiaires:	No 1	980585.83	Milligal
	No 2	980603.01	Milligal
	No 3	980608.53	Milligal

Les emplacements des bases et des stations, avec croquis des lieux et coordonnées sont conservés au laboratoire de géophysique de l'Université de Genève où ils peuvent être consultés.

2.2 Correction des mesures

La différence que l'on observe entre la pesanteur mesurée et la pesanteur théorique est l'anomalie de Bouguer.

Pour obtenir la valeur théorique de la pesanteur, nous posons sur un ellipsoïde de révolution un relief correspondant à la topographie de la terre dans la zone de prospection.

Cet ellipsoïde est la meilleure approximation de la forme de la terre et représente virtuellement la surface des océans. La formule $g_{\varphi} = 978049 (1 + 0,0052884 \sin^2 \varphi + 0,0000059 \sin^2 2\varphi)$ nous fournit la valeur de g en chacun de ses points en fonction de la latitude φ .

Pour passer de la valeur g du niveau de l'ellipsoïde à celle des stations, il faut la modifier d'une quantité $C = (0,3086 - 0,0419 d) \cdot Z$ qui est fonction de l'altitude Z (en m) des stations et de la densité d choisie pour la tranche de terrain entre l'ellipsoïde et les points de mesure.

Il reste encore à tenir compte du relief autour des stations en procédant à des corrections topographiques sur le terrain, puis sur des cartes topographiques comme nous le verrons dans un paragraphe ci-après.

Nous obtenons alors:

g théorique = g_{φ} + corrections d'altitude – corrections topographiques.

Finalement, nous pouvons calculer l'expression "Anomalie de Bouguer = g mesuré – g théorique" en chacune des stations. Ces résultats reportés sur carte, nous relient tous les points, où les valeurs de l'anomalie sont identiques, par des courbes isogales dont le tracé constitue la carte gravimétrique ou carte de Bouguer.

Corrections topographiques (Corrections de terrain)

Les corrections topographiques proches correspondant aux couronnes d'Hayford: 0m à 2m, 2m à 19m, couronnes divisées en quatre secteurs, ont été effectuées sur le terrain.

Pour les corrections plus lointaines (jusqu'à 20 km), nous avons utilisé un ordinateur et des cartes digitalisées.

Nous renvoyons le lecteur intéressé à plus de détails quant à cette utilisation aux publications de *MM R. Olivier* (1970 et à paraître) et *J.-J. Wagner* (1970) qui décrivent les procédés et programmes utilisés dans cette étude.

Nous signalerons ci-dessous les découpages employés pour calculer ces corrections.

- Corrections topographiques 19m à 2,6 km: sur des cartes au 1/10.000e, nous avons relevé 400 altitudes pour chaque km², altitudes mises sur cartes perforées et enregistrées par l'ordinateur. Celui-ci connaît la position de chaque altitude exactement. Il choisit pour chaque station de mesure, toutes les altitudes contenues dans chaque secteur de chaque couronne de Hayford jusqu'à 2,6 km et calcule les altitudes moyennes et les valeurs de l'attraction des secteurs.

Notons que pour les stations riveraines du lac, l'effet de la couche aquifère n'a pu être apprécié et compensé que jusqu'à cette distance maximum de 2,6 km.

- Corrections topographiques 2,6 km à 20 km: les cartes au 1/50.000e sont découpées en feuilles de 15' x 15' (lat., long.). Chaque feuille est découpée en compartiments plus petits de 1' x 1'. Treize altitudes sont estimées dans chaque compartiment.

Pour cette dernière correction, ce n'est plus l'influence des secteurs des couronnes qui est calculée, mais celle des compartiments (1' x 1').

L'utilisation de modèles topographiques digitalisés présentent plusieurs avantages par rapport à la méthode des couronnes traditionnelles.

1. Dans le système manuel classique, on est souvent obligé de réestimer plusieurs fois certaines altitudes, si celles-ci sont concernées par différentes stations. Ce travail répété devient inutile avec un ordinateur, celui-ci possédant ces altitudes en mémoire une fois pour toutes.
2. Le gain de temps est évident, ce système est avantageux pour les densités supérieures à une station pour 7 km².
3. La carte étant digitalisée, on peut ajouter autant de stations qu'il est nécessaire pour compléter une étude sans que cela entraîne un travail de correction supplémentaire.
4. Ces cartes digitalisées peuvent servir dans d'autres domaines:
 - à des études morphologiques
 - à des calculs de bassins versant en hydrologie
 - en génie civil, à des estimations de volumes de matériaux à déplacer pour la construction de routes, de barrages, de tunnels.

Choix des densités

Un point délicat dans le calcul de l'anomalie de Bouguer réside dans le choix d'une densité appropriée. En effet, faire intervenir plusieurs densités pour rendre compte de tous les terrains et de leur importance complique la tâche du Géophysicien lors de l'interprétation.

Aussi est-il préférable de prendre plusieurs densités, valeurs moyennes représentatives de telle ou telle influence et de comparer ensuite les cartes obtenues pour différencier l'effet des différentes formations.

Nous avons choisi trois densités:

- 2,35 et 2,50 pour tenir compte surtout de la Molasse et du Quaternaire
- 2,67 qui correspond à la densité moyenne de la croûte terrestre et représente également l'influence des calcaires très épais.

2.3 Tableau des mesures et des calculs

Précisions des Résultats

La qualité de nos résultats dépend:

- a) de la précision des mesures elles-mêmes, précision que l'on estime à 0,03 milligal dans les conditions de travail rencontrées: facilité d'accès au point de mesures (risques de chocs sur le gravimètre), position de l'appareil, lectures, température de l'air.

- b) de la précision du lever topographique. L'altitude des stations étant connue à plus ou moins 5 cm près, nous obtenons avec une densité $d = 2,5$ une précision de plus ou moins 0,01 milligal pour la correction d'altitude. Quant à l'erreur sur la latitude, elle est considérée comme négligeable avec les coordonnées calculées au centimètre.
- c) de la précision apportée dans l'estimation de nos corrections topographiques. Nous évaluons à plus ou moins 0,03 milligal l'erreur qui provient des lectures d'altitudes sur le terrain et les cartes digitalisées et du choix de la densité et qui affectent ces corrections.
- d) de l'erreur de fermeture (plus ou moins 0,02 milligal) lors de la liaison de nos bases intermédiaires à une des bases principales (Aubonne, Réseau Poldini).

L'erreur totale sera finalement:

$$\sqrt{0,03^2 + 0,01^2 + 0,03^2 + 0,02^2} = \pm 0,05 \text{ milligal}$$

Plan du Tableau

1. STA = numéro de la station de mesure
2. X, Y = Coordonnées rectangulaires suisses en mètres, classées selon les X décroissants
3. Z = altitude en mètres
4. GM = valeur mesurée de "g" en milligals. Les chiffres sont exprimés par rapport à 980 000,000 mgl.
5. GT = valeur théorique de "g" en milligals
6. CAL = correction air libre en milligal
7. CP = correction de plateau en milligal, calculée pour une densité 2,67
8. CT = correction topographique jusqu'à 20 km, calculée pour une densité 2,67
9. B1 = anomalie de Bouguer, densité 2,67
10. B2 = anomalie de bouguer, densité 2,50
11. B3 = anomalie de bouguer, densité 2,35
12. NO = numéro de séquence

STA	X	Y	Z	GM	GT	CAL	CP	CT	B1	B2	B3	NO
179	168467.7	527281.9	583.7	603.340	779.600	180.11	65.29	0.76	-61.35	-57.20	-53.54	1
184	167994.9	526092.2	601.3	600.230	779.210	185.57	67.27	0.93	-60.44	-56.18	-52.41	2
182	167909.8	525346.8	634.7	593.610	779.130	195.88	71.01	1.01	-60.37	-55.87	-51.90	3
183	167519.4	526362.8	587.5	602.500	778.820	181.29	65.72	0.87	-60.40	-56.26	-52.59	4
188	167343.2	528571.3	490.6	620.660	778.700	151.41	54.89	0.77	-60.62	-57.22	-54.23	5
131	167305.1	527169.2	591.4	600.910	778.650	182.52	66.17	0.68	-60.82	-56.68	-53.03	6
189	167001.1	527922.1	566.4	605.560	778.410	174.78	63.36	0.60	-61.16	-57.16	-53.64	7
132	166692.0	526444.5	598.9	599.920	778.160	184.82	67.00	0.75	-60.18	-55.95	-52.21	8
473	166572.9	525143.6	616.3	596.680	778.030	190.20	68.95	0.97	-59.04	-54.77	-51.00	9
472	166380.8	524198.6	628.8	595.000	777.870	194.06	70.35	1.16	-58.70	-54.26	-50.33	10
476	166331.0	523540.5	655.3	589.670	777.820	202.24	73.31	1.26	-58.71	-54.08	-49.99	11
190	166325.1	527364.5	552.4	608.860	777.850	170.48	61.80	0.66	-60.31	-56.38	-52.91	12
139	166244.9	527892.2	581.8	602.060	777.790	179.56	65.09	0.54	-61.03	-56.93	-53.31	13
144	166186.9	530901.3	489.3	619.560	777.780	151.01	54.74	0.44	-61.84	-58.38	-55.33	14
140	165977.5	528676.6	561.5	605.790	777.600	173.26	62.81	0.47	-61.16	-57.20	-53.70	15
199	165966.9	529577.7	531.0	611.810	777.600	163.87	59.41	0.42	-61.47	-57.68	-54.34	16
200	165788.8	530758.6	487.2	620.140	777.460	150.36	54.51	0.45	-61.52	-58.05	-55.00	17
990	165592.7	527653.2	603.8	597.480	777.270	186.33	67.55	0.53	-60.37	-56.16	-52.44	18
191	165549.6	526958.5	546.7	609.930	777.220	168.70	61.16	0.68	-59.68	-55.80	-52.37	19
197	165546.4	528564.5	569.3	604.550	777.240	175.67	63.68	0.46	-60.72	-56.68	-53.11	20
442	165284.7	522906.8	660.3	588.160	776.970	203.77	73.87	1.28	-58.02	-53.40	-49.32	21
135	165270.4	525954.7	588.0	601.670	777.000	181.47	65.79	0.74	-58.31	-54.29	-50.73	22
198	165256.9	529559.0	552.4	607.330	777.010	170.46	61.79	0.40	-61.12	-57.19	-53.72	23
134	165234.4	525311.2	614.0	596.900	776.950	189.47	68.69	0.79	-59.04	-54.69	-50.86	24
162	165171.8	531529.8	444.4	627.280	776.970	137.15	49.72	0.58	-61.90	-58.78	-56.02	25
495	164993.2	524254.8	621.1	595.720	776.760	191.68	69.49	0.97	-58.57	-54.17	-50.28	26
192	164900.0	527072.1	572.0	604.330	776.700	176.53	64.00	0.58	-59.88	-55.81	-52.22	27
492	164848.8	522255.4	651.3	589.910	776.610	200.98	72.86	1.49	-57.76	-53.19	-49.15	28
215	164794.6	529987.1	495.8	618.520	776.650	153.02	55.47	0.45	-60.72	-57.18	-54.06	29
196	164782.3	527937.3	593.8	599.620	776.620	183.26	66.43	0.48	-60.22	-56.00	-52.28	30
529	164697.2	528857.4	571.0	603.960	776.560	176.22	63.88	0.42	-60.42	-56.35	-52.76	31
478	164654.0	523302.9	643.4	591.340	776.470	198.56	71.98	1.12	-58.17	-53.61	-49.60	32

STA	X	Y	Z	GM	GT	CAL	CP	CT	B1	B2	B3	NO
490	164440.6	521349.0	709.6	578.720	776.280	218.99	79.39	1.52	-57.20	-52.20	-47.79	33
137	164397.0	526590.7	560.2	606.750	776.290	172.89	62.68	0.64	-59.01	-55.06	-51.58	34
109	164390.3	529236.1	569.3	603.500	776.310	175.69	63.69	0.39	-60.66	-56.65	-53.10	35
136	164229.1	525808.8	586.6	601.690	776.140	181.03	65.63	0.70	-58.69	-54.56	-50.91	36
471	164220.6	525137.8	594.6	600.580	776.130	183.50	66.52	0.79	-58.26	-54.06	-50.36	37
193	164127.6	526961.8	576.1	603.400	776.080	177.79	64.45	0.57	-59.46	-55.35	-51.73	38
443	164045.4	522159.6	662.9	587.390	775.960	204.58	74.16	1.35	-57.48	-52.81	-48.69	39
489	164033.6	520903.7	712.3	578.170	775.930	219.82	79.69	1.62	-56.77	-51.76	-47.34	40
441	163901.2	520381.8	744.4	571.440	775.830	229.73	83.28	1.69	-56.84	-51.62	-47.02	41
110	163759.9	528869.0	574.7	601.830	775.800	177.36	64.30	0.40	-60.54	-56.51	-52.95	42
449	163722.0	519807.7	748.9	570.330	775.680	231.12	83.79	1.92	-56.77	-51.53	-46.90	43
470	163624.6	522954.7	645.1	590.800	775.630	199.09	72.17	1.10	-57.58	-53.01	-48.98	44
462	163447.8	524252.2	627.0	594.200	775.500	193.48	70.14	0.81	-57.83	-53.38	-49.45	45
59	163158.7	527786.0	595.2	598.370	775.300	183.68	66.59	0.46	-59.91	-55.68	-51.94	46
463	163068.8	525056.2	607.3	597.430	775.200	187.43	67.95	0.69	-58.17	-53.86	-50.06	47
451	163056.6	519079.9	771.5	565.850	775.120	238.09	86.31	2.09	-56.05	-50.66	-45.91	48
469	163014.3	521942.1	652.8	589.450	775.120	201.47	73.04	1.32	-56.67	-52.06	-47.99	49
447	162997.0	521166.8	673.8	585.290	775.110	207.94	75.38	1.54	-56.43	-51.69	-47.50	50
105	162729.8	528895.4	564.7	603.190	774.950	174.27	63.17	0.39	-60.49	-56.51	-52.99	51
107	162726.8	527519.1	594.1	598.220	774.940	183.35	66.47	0.47	-60.04	-55.80	-52.05	52
58	162618.5	527971.7	594.4	598.350	774.860	183.44	66.50	0.44	-59.69	-55.46	-51.73	53
467	162526.0	524654.1	603.1	598.220	774.760	186.12	67.47	0.73	-57.81	-53.53	-49.74	54
57	162373.7	527165.6	605.3	595.790	774.650	186.79	67.71	0.49	-59.92	-55.61	-51.81	55
104	162342.5	529335.7	499.6	615.560	774.650	154.19	55.90	0.44	-60.87	-57.32	-54.18	56
452	162298.9	518642.8	781.0	563.810	774.500	241.03	87.38	2.24	-55.47	-50.02	-45.22	57
466	162266.1	525585.2	593.4	599.410	774.550	183.11	66.38	0.61	-58.30	-54.10	-50.39	58
524	161985.5	527753.9	576.7	601.530	774.350	177.95	64.51	0.44	-59.61	-55.49	-51.86	59
496	161976.5	522567.2	638.7	591.250	774.290	197.11	71.46	1.03	-57.09	-52.56	-48.57	60
56	161924.2	527024.8	604.8	595.230	774.290	186.65	67.66	0.49	-60.17	-55.87	-52.07	61
165	161923.9	528794.8	582.2	599.070	774.310	179.68	65.14	0.40	-60.41	-56.32	-52.71	62
25	161908.0	526308.5	601.7	596.760	774.260	185.70	67.32	0.53	-58.89	-54.65	-50.90	63
525	161704.2	529884.2	447.1	625.240	774.140	137.99	50.02	0.56	-60.71	-57.55	-54.77	64
498	161595.3	523809.8	622.2	593.830	773.990	192.00	69.60	0.79	-57.64	-53.22	-49.33	65

STA	X	Y	Z	GM	GT	CAL	CP	CT	B1	B2	B3	NO
464	161555.3	524688.8	610.4	595.590	773.960	188.38	68.29	0.68	-58.02	-53.71	-49.91	66
465	161463.2	525618.5	597.3	597.640	773.900	184.34	66.83	0.58	-58.63	-54.40	-50.67	67
454	161341.8	518009.0	771.4	564.300	773.720	238.06	86.30	2.53	-55.30	-50.00	-45.32	68
438	161205.4	519991.4	672.5	584.730	773.630	207.54	75.24	1.88	-55.47	-50.76	-46.60	69
26	161091.0	526312.7	579.0	600.730	773.600	178.69	64.78	0.53	-59.07	-54.94	-51.30	70
52	161071.3	527607.2	573.0	601.070	773.600	176.81	64.10	0.46	-59.93	-55.85	-52.25	71
486	160994.1	523111.9	640.2	589.510	773.500	197.57	71.62	0.84	-57.73	-53.20	-49.21	72
54	160969.9	529084.2	542.6	606.050	773.540	167.46	60.71	0.36	-60.75	-56.91	-53.51	73
455	160959.0	519106.3	694.5	580.760	773.420	214.34	77.70	2.27	-54.46	-49.62	-45.35	74
499	160879.8	520835.1	661.7	585.850	773.380	204.19	74.02	1.43	-56.66	-52.00	-47.89	75
485	160761.2	521682.3	673.8	583.230	773.290	207.94	75.38	1.08	-57.15	-52.38	-48.17	76
53	160660.3	528445.9	555.0	603.410	773.270	171.29	62.09	0.40	-60.65	-56.71	-53.24	77
69	160499.4	529456.4	521.5	609.390	773.150	160.95	58.35	0.35	-61.17	-57.47	-54.21	78
434	160424.4	518116.8	725.9	572.680	772.990	224.03	81.21	2.62	-55.19	-50.20	-45.79	79
500	160373.9	520248.5	667.9	584.290	772.960	206.12	74.72	1.60	-56.44	-51.74	-47.59	80
61	160356.8	526255.2	553.7	604.910	773.020	170.87	61.95	0.55	-59.28	-55.33	-51.85	81
532	160109.1	530090.8	431.3	625.720	772.850	133.11	48.26	0.57	-61.77	-58.76	-56.10	82
327	160091.1	522488.5	662.0	584.570	772.760	204.28	74.05	0.89	-57.77	-53.07	-48.93	83
433	159986.0	519096.6	700.5	577.460	772.640	216.18	78.37	2.03	-56.05	-51.15	-46.83	84
426	159863.6	519627.5	689.4	579.760	772.540	212.76	77.13	1.73	-56.12	-51.29	-47.02	85
28	159860.2	526969.5	553.0	603.640	772.610	170.66	61.87	0.48	-60.23	-56.30	-52.83	86
48	159812.4	525071.0	602.6	594.700	772.550	185.97	67.42	0.61	-59.00	-54.75	-51.00	87
483	159727.4	521341.9	687.6	579.080	772.450	212.21	76.93	1.07	-57.76	-52.89	-48.60	88
51	159724.7	525896.1	561.8	602.570	772.490	173.38	62.85	0.56	-59.49	-55.48	-51.95	89
65	159424.2	526801.6	547.2	604.140	772.270	168.88	61.22	0.50	-60.55	-56.66	-53.22	90
67	159335.6	529266.1	495.7	612.920	772.210	152.98	55.46	0.40	-61.76	-58.24	-55.14	91
800	159280.3	522495.0	655.4	584.990	772.100	202.24	73.32	0.86	-58.06	-53.41	-49.30	92
328	159168.4	523864.8	607.9	593.870	772.020	187.60	68.01	0.71	-58.55	-54.23	-50.41	93
117	159130.2	521320.5	693.3	576.310	771.960	213.95	77.56	1.03	-58.90	-54.00	-49.67	94
73	159098.8	529834.6	451.1	620.900	772.020	139.22	50.47	0.48	-62.26	-59.07	-56.25	95
71	159034.8	528592.6	487.2	614.350	771.960	150.36	54.51	0.44	-61.57	-58.14	-55.10	96
428	159007.6	518757.2	695.1	578.170	771.840	214.51	77.76	2.04	-55.63	-50.77	-46.48	97
118	158885.6	521997.9	680.7	579.170	771.770	210.06	76.15	0.92	-58.33	-53.53	-49.28	98

STA	X	Y	Z	GM	GT	CAL	CP	CT	B1	B2	B3	NO
50	158859.6	525199.9	580.2	597.960	771.780	179.06	64.91	0.60	-59.71	-55.58	-51.93	99
437	158827.3	516953.4	781.6	560.060	771.680	241.19	87.44	2.51	-55.55	-50.18	-45.43	100
521	158762.8	530252.6	413.5	627.020	771.750	127.59	46.25	0.58	-63.20	-60.28	-57.70	101
64	158734.6	527015.5	537.1	604.880	771.710	165.76	60.09	0.47	-61.19	-57.37	-54.01	102
23	158677.2	525968.9	573.0	598.410	771.650	176.84	64.11	0.55	-60.43	-56.37	-52.79	103
318	158433.8	527455.0	483.2	615.150	771.470	149.10	54.05	0.50	-61.28	-57.85	-54.82	104
74	158407.3	529570.4	450.8	620.320	771.470	139.11	50.43	0.47	-62.51	-59.30	-56.47	105
456	158357.2	516580.3	782.0	559.340	771.290	241.31	87.48	2.55	-55.75	-50.37	-45.63	106
321	158316.6	526800.3	526.9	606.500	771.360	162.60	58.95	0.50	-61.24	-57.49	-54.19	107
329	158260.7	524435.5	598.6	593.160	771.290	184.74	66.97	0.64	-59.71	-55.53	-51.84	108
480	158257.3	521672.2	670.5	580.620	771.260	206.93	75.01	0.94	-58.50	-53.75	-49.55	109
263	158157.1	521480.3	681.0	576.800	771.180	210.15	76.18	0.96	-59.24	-54.52	-50.36	110
47	158141.9	524853.4	573.4	598.460	771.200	176.95	64.15	0.62	-59.94	-55.86	-52.26	111
522	158132.0	529207.5	447.1	620.910	771.230	137.98	50.02	0.49	-62.41	-59.22	-56.41	112
30	158130.9	528444.5	496.0	611.500	771.230	153.08	55.49	0.42	-62.12	-58.60	-55.50	113
479	158119.3	522352.7	655.6	583.060	771.150	202.33	73.35	0.85	-59.02	-54.36	-50.25	114
331	158111.4	522860.4	639.4	586.230	771.150	197.32	71.53	0.78	-59.05	-54.51	-50.50	115
46	158091.0	525814.4	558.4	600.640	771.170	172.33	62.47	0.55	-60.72	-56.75	-53.24	116
63	157984.4	528023.8	501.1	610.560	771.110	154.65	56.06	0.43	-62.06	-58.49	-55.34	117
320	157893.4	526479.5	532.4	604.920	771.020	164.30	59.56	0.51	-61.31	-57.53	-54.20	118
324	157888.2	523329.6	622.7	588.840	770.970	192.17	69.67	0.72	-59.52	-55.10	-51.20	119
330	157834.5	524224.6	585.4	595.710	770.940	180.67	65.49	0.65	-59.92	-55.77	-52.11	120
44	157797.4	524985.4	565.5	599.220	770.930	174.53	63.27	0.61	-60.36	-56.35	-52.81	121
72	157759.8	529470.0	466.5	615.610	770.940	143.98	52.19	0.43	-63.39	-60.10	-57.19	122
459	157654.7	518080.0	690.9	578.460	770.730	213.22	77.30	2.05	-55.06	-50.23	-45.96	123
323	157653.2	526981.9	495.0	611.880	770.820	152.76	55.38	0.50	-61.65	-58.12	-55.01	124
322	157608.4	527682.8	498.6	610.660	770.790	153.88	55.78	0.45	-62.17	-58.62	-55.48	125
75	157525.7	528805.3	472.2	615.030	770.730	145.73	52.83	0.43	-62.94	-59.57	-56.60	126
45	157450.3	524947.1	564.4	598.960	770.640	174.19	63.15	0.61	-60.53	-56.54	-53.00	127
224	157377.4	516120.9	741.6	567.120	770.490	228.87	82.97	2.69	-55.06	-49.97	-45.47	128
246	157336.3	518783.3	704.5	573.760	770.480	217.42	78.82	1.55	-57.28	-52.33	-47.95	129
332	157318.6	522911.5	621.8	588.420	770.510	191.89	69.56	0.75	-59.71	-55.29	-51.39	130
256	157110.2	517400.3	688.6	578.810	770.280	212.51	77.04	2.26	-54.45	-49.66	-45.42	131

STA	X	Y	Z	GM	GT	CAL	CP	CT	B1	B2	B3	NO
252	157085.8	520253.2	696.0	574.300	770.300	214.80	77.87	1.10	-58.64	-53.72	-49.38	132
307	157026.6	525955.2	558.0	598.420	770.310	172.18	62.42	0.55	-61.78	-57.86	-54.39	133
202	156989.1	523364.5	620.3	587.530	770.250	191.43	69.40	0.70	-60.35	-55.97	-52.11	134
264	156891.6	521873.8	668.8	578.690	770.160	206.40	74.83	0.88	-59.78	-55.02	-50.83	135
306	156778.5	525564.3	554.7	599.260	770.100	171.19	62.06	0.56	-61.45	-57.54	-54.09	136
77	156761.0	529417.1	464.4	614.660	770.130	143.32	51.96	0.41	-64.13	-60.83	-57.92	137
120	156676.3	515797.4	737.8	567.590	769.920	227.67	82.54	2.65	-55.08	-49.98	-45.48	138
251	156654.8	519770.2	693.9	574.280	769.940	214.15	77.63	1.14	-58.69	-53.79	-49.46	139
317	156637.0	527001.6	510.6	607.070	770.000	157.58	57.13	0.47	-62.58	-58.94	-55.73	140
266	156622.6	522856.4	638.3	583.810	769.950	196.98	71.41	0.75	-60.47	-55.94	-51.94	141
123	156571.6	523555.1	610.2	588.910	769.910	188.31	68.27	0.68	-60.87	-56.54	-52.72	142
122	156555.2	521154.7	703.2	571.360	769.880	217.00	78.67	0.98	-59.71	-54.75	-50.38	143
303	156545.8	524089.4	564.5	597.820	769.890	174.19	63.15	0.66	-60.89	-56.89	-53.36	144
247	156504.5	519353.9	700.0	573.010	769.820	216.03	78.31	1.21	-58.38	-53.46	-49.12	145
255	156474.3	517936.8	706.1	573.580	769.770	217.91	79.00	1.68	-56.35	-51.39	-47.01	146
312	156415.2	525828.3	527.3	604.350	769.820	162.71	58.99	0.54	-61.78	-58.03	-54.72	147
316	156315.3	526813.7	517.1	605.450	769.740	159.59	57.85	0.47	-62.68	-59.00	-55.74	148
79	156236.3	529471.2	468.1	613.120	769.700	144.46	52.37	0.39	-64.60	-61.26	-58.32	149
250	156199.1	520206.3	685.0	575.320	769.580	211.38	76.63	1.06	-59.24	-54.38	-50.09	150
341	156091.7	527992.0	494.6	608.660	769.580	152.64	55.33	0.44	-63.70	-60.18	-57.07	151
268	156083.3	523611.8	596.4	590.770	769.520	184.05	66.72	0.69	-61.33	-57.10	-53.36	152
308	156081.0	525191.5	528.9	603.980	769.530	163.23	59.17	0.60	-61.48	-57.72	-54.40	153
78	156043.3	529433.5	480.2	610.420	769.550	148.20	53.72	0.39	-64.60	-61.20	-58.20	154
121	156022.5	518213.2	718.7	569.530	769.410	221.78	80.40	1.43	-57.80	-52.73	-48.26	155
245	156019.6	519100.5	715.7	569.460	769.430	220.88	80.07	1.21	-58.54	-53.49	-49.05	156
267	155995.4	523019.7	624.6	585.390	769.440	192.76	69.88	0.72	-61.07	-56.63	-52.72	157
314	155845.6	526364.4	513.2	606.040	769.350	158.36	57.41	0.52	-62.44	-58.78	-55.55	158
233	155842.0	516109.6	711.5	572.820	769.240	219.58	79.60	2.31	-54.89	-49.93	-45.55	159
272	155716.8	521398.1	661.0	578.630	769.200	203.97	73.94	0.88	-60.39	-55.69	-51.55	160
254	155659.6	518441.5	713.3	570.310	769.120	220.13	79.80	1.31	-57.97	-52.93	-48.48	161
253	155651.0	519191.2	682.7	575.950	769.120	210.67	76.37	1.17	-58.48	-53.65	-49.38	162
311	155635.5	526860.6	531.2	601.700	769.180	163.91	59.42	0.49	-63.04	-59.26	-55.93	163
81	155572.9	530363.9	459.1	613.110	769.170	141.69	51.36	0.40	-65.80	-62.53	-59.65	164

STA	X	Y	Z	GM	GT	CAL	CP	CT	B1	B2	B3	NO
315	155457.4	525694.4	519.8	604.610	769.030	160.39	58.15	0.55	-62.14	-58.45	-55.19	165
32	155454.1	528335.2	483.0	609.680	769.050	149.04	54.03	0.44	-64.26	-60.85	-57.83	166
261	155417.0	521820.6	660.3	578.070	768.960	203.78	73.88	0.86	-60.74	-56.06	-51.94	167
269	155413.0	523789.9	577.2	593.310	768.970	178.13	64.58	0.68	-61.74	-57.68	-54.09	168
277	155366.3	524516.0	521.5	604.570	768.940	160.92	58.34	0.65	-61.44	-57.77	-54.53	169
82	155296.7	530814.2	444.8	615.490	768.940	137.27	49.76	0.40	-66.05	-62.88	-60.08	170
310	155287.3	527192.9	527.2	601.480	768.910	162.68	58.97	0.50	-63.56	-59.84	-56.55	171
270	155256.9	523018.8	602.2	587.820	768.840	185.83	67.37	0.73	-62.50	-58.22	-54.44	172
220	155204.8	515817.3	714.4	572.430	768.720	220.47	79.92	2.15	-54.37	-49.38	-44.97	173
2	155120.0	529726.4	471.8	610.660	768.790	145.58	52.78	0.42	-65.37	-62.02	-59.06	174
278	155103.0	525429.5	525.7	603.190	768.730	162.24	58.82	0.57	-62.15	-58.40	-55.10	175
234	154958.5	517621.0	715.0	569.520	768.540	220.66	79.99	1.40	-57.72	-52.67	-48.22	176
309	154957.0	526142.6	531.4	601.210	768.630	164.00	59.45	0.55	-62.88	-59.10	-55.76	177
4	154905.5	530876.1	462.3	611.530	768.630	142.67	51.72	0.41	-66.17	-62.89	-59.99	178
83	154817.7	528628.1	459.9	613.220	768.540	141.93	51.45	0.44	-64.91	-61.64	-58.75	179
260	154724.3	522049.5	635.5	581.890	768.400	196.10	71.09	0.82	-61.32	-56.81	-52.83	180
502	154701.0	515670.0	692.8	575.850	768.310	213.81	77.51	2.09	-54.84	-49.99	-45.72	181
232	154697.3	516600.8	693.0	574.920	768.310	213.85	77.53	1.70	-56.15	-51.28	-46.98	182
276	154664.1	523589.9	564.3	595.320	768.370	174.14	63.13	0.68	-61.77	-57.78	-54.26	183
295	154655.3	524995.4	509.4	606.220	768.370	157.20	56.99	0.60	-61.96	-58.34	-55.13	184
5	154618.3	531201.0	457.6	611.860	768.400	141.23	51.20	0.42	-66.43	-63.19	-60.33	185
339	154588.1	525930.5	527.8	601.720	768.330	162.88	59.05	0.56	-62.77	-59.02	-55.71	186
124	154556.2	517323.8	709.9	569.950	768.210	219.07	79.42	1.40	-57.91	-52.91	-48.50	187
294	154249.5	524401.3	496.2	608.490	768.040	153.14	55.51	0.65	-61.85	-58.32	-55.21	188
420	154222.7	520127.0	670.5	575.430	767.970	206.90	75.01	0.98	-60.38	-55.63	-51.43	189
3	154138.6	530255.9	459.7	611.280	768.010	141.87	51.43	0.44	-66.28	-63.02	-60.14	190
292	154128.6	523225.8	562.2	595.300	767.920	173.48	62.89	0.70	-61.93	-57.94	-54.42	191
271	154093.6	521447.1	655.9	576.830	767.880	202.42	73.38	0.90	-61.59	-56.96	-52.88	192
900	154053.5	528477.1	478.0	608.390	767.920	147.53	53.48	0.47	-65.34	-61.96	-58.98	193
275	154004.2	522915.8	585.3	590.210	767.820	180.61	65.47	0.75	-62.00	-57.89	-54.26	194
236	153887.8	517317.9	683.6	574.330	767.670	210.97	76.48	1.32	-58.15	-53.34	-49.09	195
421	153782.1	520902.8	648.4	578.890	767.620	200.11	72.54	0.91	-60.97	-56.37	-52.31	196
424	153773.1	519502.0	653.1	579.020	767.610	201.53	73.06	1.00	-59.69	-55.08	-51.01	197

STA	X	Y	Z	GM	GT	CAL	CP	CT	B1	B2	B3	NO
229	153751.0	515940.6	679.0	576.540	767.550	209.54	75.96	1.68	-56.52	-51.74	-47.53	198
419	153520.6	519909.7	659.7	576.710	767.400	203.57	73.80	0.98	-60.28	-55.65	-51.57	199
418	153321.1	519317.2	653.0	578.780	767.230	201.50	73.05	1.01	-59.63	-55.02	-50.94	200
20	153285.7	530507.9	397.4	621.290	767.320	122.62	44.45	0.47	-67.85	-65.02	-62.53	201
17	153248.7	529146.4	460.1	610.010	767.280	141.97	51.47	0.49	-66.16	-62.97	-60.14	202
230	153220.4	516935.3	674.8	575.020	767.130	208.24	75.49	1.31	-58.79	-54.02	-49.82	203
415	153017.9	518939.5	673.7	574.190	766.980	207.89	75.36	1.06	-59.89	-55.12	-50.92	204
238	152822.5	516288.1	673.7	574.820	766.800	207.92	75.37	1.38	-58.75	-54.01	-49.82	205
801	152644.0	530576.3	432.8	614.290	766.800	133.55	48.42	0.52	-67.10	-64.06	-61.37	206
206	151997.3	529839.6	394.5	621.800	766.270	121.73	44.13	0.51	-66.74	-63.95	-61.48	207
15	151781.9	531381.2	391.8	620.980	766.100	120.91	43.83	0.54	-67.92	-65.14	-62.69	208
340	154768.8	527824.1	491.9	607.380	768.490	151.79	55.03	0.47	-64.43	-60.93	-57.84	209
338	154305.2	525504.9	521.5	602.670	768.090	160.93	58.34	0.58	-62.76	-59.06	-55.79	210
296	154063.0	524919.8	495.5	607.420	767.890	152.93	55.44	0.61	-62.29	-58.84	-55.80	211
279	153857.4	526019.3	517.5	602.190	767.740	159.69	57.89	0.57	-63.45	-59.80	-56.59	212
293	153792.6	523712.9	530.0	600.950	767.670	163.57	59.30	0.67	-62.25	-58.50	-55.19	213
333	153529.9	526219.7	490.8	606.520	767.470	151.46	54.91	0.56	-64.13	-60.67	-57.61	214
335	153466.6	526926.5	490.1	606.640	767.430	151.24	54.83	0.52	-64.32	-60.84	-57.77	215
346	153403.6	528197.8	474.2	608.410	767.400	146.35	53.05	0.50	-65.56	-62.20	-59.24	216
127	153382.6	521209.9	655.3	576.450	767.310	202.23	73.31	0.94	-61.34	-56.74	-52.67	217
281	153292.8	524727.9	516.3	602.540	767.260	159.31	57.75	0.62	-63.06	-59.40	-56.17	218
298	153288.3	525709.9	489.1	607.200	767.280	150.93	54.71	0.58	-63.79	-60.32	-57.25	219
507	153194.1	527854.4	467.0	610.170	767.220	144.11	52.24	0.50	-65.16	-61.85	-58.92	220
258	153127.0	521860.4	628.2	580.710	767.100	193.86	70.28	0.88	-62.17	-57.77	-53.89	221
291	153036.5	522829.5	535.0	604.870	767.040	165.09	59.85	0.73	-56.81	-53.01	-49.66	222
585	152965.0	523780.0	507.4	604.400	766.990	156.59	56.77	0.66	-62.71	-59.10	-55.92	223
388	152954.1	520795.7	640.8	578.850	766.950	197.74	71.68	0.92	-61.48	-56.98	-53.01	224
347	152901.8	527658.5	455.0	612.130	766.980	140.41	50.90	0.50	-65.29	-62.06	-59.21	225
435	152829.3	524631.7	515.7	602.230	766.890	159.14	57.69	0.63	-63.12	-59.46	-56.23	226
11	152810.0	528580.0	414.9	619.170	766.920	128.05	46.42	0.49	-66.08	-63.13	-60.53	227
334	152726.7	527155.2	469.8	609.870	766.830	144.99	52.56	0.52	-64.28	-60.97	-58.04	228
173	152651.6	526653.5	467.8	609.000	766.770	144.37	52.34	0.55	-64.72	-61.51	-58.68	229
417	152571.7	519527.8	625.0	583.050	766.630	192.87	69.92	0.95	-60.36	-55.93	-52.02	230

STA	X	Y	Z	GM	GT	CAL	CP	CT	B1	B2	B3	NO
389	152549.4	521062.3	585.4	591.260	766.630	180.66	65.49	0.85	-56.36	-52.66	-49.37	231
413	152509.7	518006.1	681.0	571.130	766.550	210.14	76.18	1.13	-60.82	-56.03	-51.81	232
283	152383.6	522012.6	558.6	594.460	766.490	172.38	62.49	0.80	-61.84	-57.90	-54.41	233
299	152368.5	526144.3	454.5	612.120	766.520	140.27	50.85	0.57	-64.69	-61.49	-58.66	234
285	152302.1	524021.3	515.6	602.030	766.450	159.10	57.68	0.66	-62.90	-59.24	-56.00	235
411	152254.1	519047.0	653.8	576.050	766.360	201.78	73.15	1.02	-61.25	-56.64	-52.56	236
348	152214.2	526704.1	431.4	616.130	766.400	133.14	48.27	0.56	-65.15	-62.11	-59.42	237
301	152212.6	524932.8	491.9	605.750	766.390	151.80	55.03	0.62	-63.76	-60.27	-57.19	238
349	152196.9	527062.4	426.6	617.130	766.400	131.65	47.72	0.53	-65.30	-62.27	-59.60	239
412	152103.9	518290.7	657.2	574.860	766.240	202.82	73.53	1.08	-60.85	-56.30	-52.29	240
209	152016.5	528331.8	375.3	626.090	766.270	115.80	41.98	0.54	-66.19	-63.54	-61.20	241
289	151926.8	523478.0	503.7	604.210	766.150	155.44	56.35	0.67	-62.77	-59.19	-56.03	242
410	151923.6	518682.6	647.2	576.990	766.090	199.71	72.40	1.04	-61.25	-56.69	-52.67	243
386	151915.1	519525.3	634.8	578.620	766.090	195.91	71.02	0.97	-62.01	-57.55	-53.61	244
390	151834.2	520821.6	541.3	598.300	766.040	167.03	60.55	0.85	-60.96	-57.13	-53.75	245
290	151665.1	522124.5	500.2	605.170	765.920	154.36	55.96	0.78	-61.76	-58.27	-55.18	246
358	151618.0	526998.0	399.9	621.770	765.920	123.40	44.74	0.55	-65.35	-62.51	-60.01	247
513	151604.5	522500.4	488.0	607.360	765.880	150.59	54.59	0.74	-62.31	-58.85	-55.80	248
176	151495.0	528040.0	373.7	625.870	765.830	115.33	41.81	0.54	-66.28	-63.64	-61.31	249
401	151421.2	519657.0	608.3	583.330	765.700	187.72	68.05	0.94	-62.26	-57.97	-54.18	250
350	151404.7	526228.1	429.9	616.050	765.740	132.67	48.09	0.58	-64.95	-61.91	-59.23	251
286	151379.2	524656.3	481.8	606.490	765.710	148.67	53.90	0.64	-64.21	-60.81	-57.80	252
288	151336.3	523452.2	487.2	606.700	765.670	150.35	54.51	0.67	-63.01	-59.55	-56.50	253
300	151268.0	525455.0	442.7	615.780	765.620	136.63	49.53	0.60	-62.64	-59.50	-56.72	254
391	151205.9	521366.7	528.5	599.090	765.530	163.10	59.13	0.81	-62.25	-58.51	-55.20	255
287	151104.8	524088.2	479.6	607.020	765.490	148.02	53.66	0.66	-63.94	-60.55	-57.55	256
408	151088.8	519217.6	588.7	587.620	765.410	181.67	65.86	0.94	-61.45	-57.31	-53.65	257
365	151021.3	522937.7	467.0	612.560	765.400	144.13	52.25	0.69	-60.80	-57.49	-54.56	258
282	151000.2	5221704.8	547.9	594.030	765.370	169.09	61.30	0.80	-62.80	-58.99	-55.61	259
352	150998.0	524753.4	462.0	609.690	765.400	142.56	51.68	0.64	-64.63	-61.36	-58.47	260
361	150956.2	526885.9	390.3	622.940	765.400	120.46	43.67	0.55	-65.48	-62.72	-60.29	261
508	150948.7	525285.2	426.6	616.920	765.370	131.65	47.72	0.63	-64.36	-61.34	-58.67	262
409	150903.8	518989.8	581.7	588.630	765.260	179.51	65.08	0.96	-59.86	-55.99	-52.57	263

STA	X	Y	Z	GM	GT	GAL	CP	CT	B1	R2	B3	NO
351	150902.8	526318.7	420.4	617.130	765.340	129.74	47.03	0.58	-65.28	-62.31	-59.69	264
385	150855.0	520445.0	537.3	597.230	765.250	165.80	60.11	0.86	-62.10	-58.29	-54.93	265
509	150805.4	524216.2	454.3	611.660	765.250	140.19	50.82	0.65	-64.12	-60.89	-58.05	266
515	150751.3	527575.0	373.5	625.150	765.230	115.25	41.78	0.57	-66.40	-63.77	-61.44	267
375	150717.7	523333.0	461.6	611.020	765.160	142.46	51.65	0.68	-63.22	-59.94	-57.04	268
356	150715.6	525522.4	425.4	616.440	765.190	131.28	47.59	0.60	-64.94	-61.93	-59.26	269
407	150692.3	519529.2	552.5	594.560	765.100	170.49	61.81	0.92	-61.36	-57.47	-54.04	270
376	150390.3	523682.1	460.6	610.750	764.900	142.16	51.53	0.66	-63.41	-60.14	-57.26	271
378	150342.0	523115.3	456.7	611.560	764.860	140.93	51.09	0.68	-63.21	-59.98	-57.13	272
353	150176.2	524504.7	436.0	614.470	764.740	134.55	48.78	0.64	-64.34	-61.25	-58.52	273
393	150174.6	522346.1	488.3	604.760	764.710	150.68	54.62	0.74	-63.68	-60.23	-57.17	274
129	150134.0	521934.0	512.9	599.910	764.680	158.29	57.38	0.77	-63.40	-59.79	-56.61	275
377	149974.2	523456.0	455.2	610.720	764.560	140.46	50.92	0.67	-64.07	-60.85	-58.01	276
357	149954.2	526166.8	399.5	620.120	764.570	123.29	44.70	0.60	-65.50	-62.69	-60.22	277
395	149700.3	521790.1	488.7	605.090	764.320	150.82	54.67	0.76	-62.88	-59.41	-56.36	278
399	149684.4	520703.7	473.5	609.490	764.300	146.11	52.97	0.83	-61.37	-58.02	-55.07	279
379	149558.1	523042.3	459.0	610.020	764.230	141.64	51.35	0.69	-63.71	-60.46	-57.59	280
177	149541.7	525351.8	415.8	616.760	764.230	128.32	46.52	0.62	-65.27	-62.36	-59.78	281
364	149475.4	523709.6	439.9	613.260	764.170	135.75	49.21	0.67	-64.15	-61.04	-58.30	282
514	149411.8	526546.2	372.8	624.480	764.140	115.04	41.70	0.60	-66.02	-63.40	-61.09	283
374	149199.1	524364.6	420.1	616.480	763.940	129.64	47.00	0.65	-64.60	-61.63	-59.01	284
368	148885.6	521319.6	465.9	609.640	763.650	143.78	52.12	0.78	-61.90	-58.62	-55.74	285
512	148745.0	524920.0	385.8	623.290	763.580	119.05	43.16	0.63	-64.12	-61.40	-59.00	286
371	148643.1	522784.1	433.9	614.810	763.470	133.91	48.54	0.71	-63.08	-60.01	-57.30	287
369	148589.3	521003.2	457.9	611.140	763.410	141.31	51.23	0.79	-61.78	-58.56	-55.71	288
362	148116.8	523633.6	425.7	614.680	763.050	131.36	47.62	0.70	-64.22	-61.23	-58.60	289
363	148110.8	524139.7	416.3	616.190	763.050	128.46	46.57	0.68	-64.35	-61.46	-58.90	290
402	147815.8	521113.9	420.1	617.500	762.780	129.64	47.00	0.78	-62.28	-59.32	-56.71	291
140	147746.0	522931.2	422.3	615.730	762.750	130.32	47.24	0.70	-63.55	-60.59	-57.97	292
381	147734.2	523832.4	397.9	619.810	762.750	122.79	44.51	0.67	-64.32	-61.52	-59.05	293
382	147483.9	523309.7	397.3	620.740	762.540	122.59	44.44	0.69	-63.31	-60.52	-58.05	294
406	147057.6	521820.8	401.1	619.510	762.180	123.77	44.87	0.73	-63.34	-60.53	-58.05	295
404	146315.1	520515.4	384.1	623.120	761.570	118.53	42.97	0.76	-62.44	-59.75	-57.37	296

STA	X	Y	Z	GM	GT	CAL	CP	CT	B1	B2	B3	NO
405	145936.7	520312.8	377.9	623.420	761.250	116.62	42.28	0.75	-62.88	-60.25	-57.94	297
68	151291.4	517152.5	666.5	573.260	765.560	205.67	74.56	1.16	-60.54	-55.86	-51.72	298
8	150931.4	516489.0	656.6	575.800	765.260	202.64	73.46	1.22	-59.77	-55.13	-51.04	299
67	150900.8	518417.7	530.4	600.750	765.260	163.68	59.34	1.10	-59.43	-55.72	-52.44	300
9	150392.1	517103.6	633.4	579.690	764.830	195.47	70.86	1.15	-59.81	-55.36	-51.44	301
12	150327.9	515218.3	688.7	570.030	764.750	212.54	77.05	1.32	-58.70	-53.83	-49.54	302
10	150224.9	517620.3	593.5	587.300	764.710	183.15	66.40	1.07	-60.19	-56.00	-52.30	303
11	150155.6	518467.8	585.6	588.240	764.660	180.71	65.51	1.02	-60.59	-56.48	-52.85	304
1	150022.8	519758.2	486.0	607.100	764.560	149.96	54.36	0.94	-61.38	-57.96	-54.94	305
7	149825.7	516516.5	672.2	571.300	764.360	207.43	75.20	1.26	-60.18	-55.45	-51.27	306
6	149709.1	517185.0	637.2	577.900	764.290	196.64	71.29	1.16	-60.38	-55.90	-51.95	307
5	149645.4	517960.2	616.5	580.650	764.240	190.27	68.98	1.10	-61.69	-57.36	-53.53	308
13	149593.9	515573.7	690.2	569.110	764.170	213.00	77.21	1.33	-58.59	-53.73	-49.44	309
2	149528.5	519955.8	496.9	604.850	764.170	153.34	55.59	0.88	-61.06	-57.57	-54.48	310
4	149504.5	518860.2	544.2	596.150	764.140	167.94	60.88	0.96	-60.55	-56.70	-53.31	311
3	149189.4	518449.4	556.9	593.320	763.860	171.87	62.30	1.01	-60.44	-56.52	-53.06	312
17	149170.8	517376.4	667.0	570.660	763.850	205.85	74.62	1.30	-60.73	-56.10	-52.02	313
66	149047.0	519500.9	469.1	610.520	763.760	144.76	52.48	0.92	-60.58	-57.27	-54.34	314
15	148928.8	515304.8	730.8	560.030	763.620	225.52	81.76	1.54	-58.74	-53.64	-49.12	315
16	148760.7	516724.7	695.7	564.460	763.500	214.68	77.82	1.46	-60.63	-55.83	-51.59	316
64	148755.3	520432.6	453.7	612.240	763.530	140.00	50.75	0.83	-61.43	-58.26	-55.46	317
14	148751.6	516124.6	716.7	561.440	763.490	221.16	80.18	1.54	-59.55	-54.59	-50.21	318
60	148744.7	517375.9	614.3	581.580	763.500	189.59	68.73	1.17	-60.25	-55.95	-52.15	319
58	148356.9	518334.3	463.0	611.760	763.190	142.89	51.80	1.04	-59.72	-56.47	-53.61	320
59	148202.5	517448.2	528.4	598.170	763.050	163.07	59.12	1.07	-60.37	-56.65	-53.37	321
65	148151.4	519777.0	444.2	614.110	763.040	137.08	49.69	0.88	-61.15	-58.02	-55.25	322
61	148068.8	516769.8	545.5	595.250	762.950	168.34	61.03	1.12	-59.83	-55.99	-52.60	323
57	147771.7	517978.8	437.8	615.920	762.720	135.11	48.98	1.10	-59.94	-56.88	-54.18	324
42	147613.7	520054.9	421.9	618.220	762.620	130.19	47.20	0.84	-61.05	-58.07	-55.44	325
62	147590.6	517136.3	439.0	615.870	762.560	135.48	49.11	1.19	-59.40	-56.35	-53.65	326
45	147342.2	518519.1	424.1	618.220	762.380	130.89	47.45	0.99	-60.17	-57.19	-54.56	327
63	147186.1	515352.6	472.8	609.610	762.210	145.91	52.89	1.35	-58.60	-55.31	-52.40	328
43	147162.2	519380.3	420.6	618.020	762.240	129.80	47.05	0.87	-60.98	-58.03	-55.42	329

STA	X	Y	Z	GM	GT	CAL	CP	CT	B1	B2	B3	NO
41	147016.1	519952.6	399.0	621.930	762.120	123.14	44.64	0.84	-61.28	-58.47	-55.99	330
44	146872.0	518681.3	424.0	617.000	761.990	130.85	47.43	0.93	-60.74	-57.80	-55.21	331
36	146817.4	517521.4	418.1	619.160	761.940	129.03	46.78	1.10	-59.74	-56.83	-54.26	332
40	146804.2	520217.3	398.5	620.940	761.960	122.99	44.59	0.80	-62.11	-59.32	-56.85	333
37	146797.3	516796.5	420.2	619.250	761.910	129.68	47.01	1.19	-59.07	-56.16	-53.58	334
46	146794.2	518058.0	417.1	618.960	761.930	128.73	46.67	1.01	-59.95	-57.07	-54.53	335
38	146303.9	515295.9	398.9	623.510	761.490	123.09	44.62	1.46	-58.26	-55.52	-53.10	336
35	146272.6	517263.1	373.5	628.040	761.490	115.28	41.79	1.18	-59.05	-56.46	-54.18	337
34	146142.9	516516.7	374.0	628.310	761.380	115.42	41.84	1.29	-58.48	-55.89	-53.61	338
33	145992.6	515675.1	378.1	627.360	761.250	116.67	42.30	1.40	-58.37	-55.77	-53.47	339
48	145425.2	513196.9	449.2	612.940	760.750	138.62	50.25	1.50	-58.41	-55.29	-52.53	340
32	145258.9	515254.9	374.1	627.510	760.650	115.43	41.85	1.30	-58.56	-55.97	-53.69	341
49	145211.4	512423.5	452.5	612.550	760.570	139.64	50.62	1.58	-57.86	-54.72	-51.95	342
47	145110.6	513811.4	426.8	617.110	760.510	131.72	47.75	1.37	-58.50	-55.53	-52.90	343
50	144743.3	512970.7	436.9	615.190	760.200	134.84	48.88	1.41	-58.12	-55.07	-52.38	344
51	143837.4	513129.4	427.0	614.470	759.480	131.77	47.77	1.16	-60.17	-57.20	-54.57	345

2.4 Traitement des Résultats

Les cartes gravimétriques ou cartes de Bouguer représentent l'anomalie gravimétrique totale. Celle-ci est la résultante mesurée en surface de toutes les anomalies dues aux hétérogénéités du sous-sol.

Avant de pouvoir interpréter ces anomalies, il nous faut donc les différencier et les isoler les unes des autres puis identifier et quantifier celles jugées significatives en fonction du but de la prospection.

Décomposition de l'anomalie totale

soit:

$$A_t = \sum AR_m + \sum AR_n$$

la somme des anomalies qui constituent l'anomalie totale ou anomalie de Bouguer.

Les termes AR_m rassemblent les effets des structures d'une certaine dimension, mais trop profondes pour nous intéresser et dont nous voulons éliminer l'influence. Du fait que ces formations couvrent une certaine étendue, nous désignons la somme des AR_m par le terme général d'anomalie régionale.

Par opposition à cette anomalie régionale, les termes AR_n représentent les effets propres aux éléments géologiques peu profonds et de dimensions restreintes qu'il faut étudier. L'anomalie qui les groupe est un résidu de l'anomalie totale.

Aussi, l'expression 1 peut-elle s'écrire:

Anomalie Totale = Anomalie Régionale + Anomalie Résiduelle.

Ou encore:

Anomalie résiduelle = Anomalie Totale – Anomalie Régionale 2.

Anomalies régionales et résiduelles

Pour pouvoir exprimer l'anomalie régionale, nous admettons une relation de proportionnalité entre le rayon de courbure d'une anomalie et, en particulier, la profondeur de la masse qui la provoque. Toutes choses restant égales par ailleurs, le rayon est d'autant plus grand que la masse est éloignée de la surface. L'anomalie régionale, d'origine profonde, se présente alors comme une anomalie étendue à grand rayon de courbure, dont les variations sont lentes et régulières. L'appréciation de cette courbure dépend de l'interpréteur et la résiduelle obtenue en 2 peut encore contenir partiellement ou en totalité un caractère de régionalité que l'on éliminera si nécessaire. Il importe pour cela de toujours avoir un esprit critique quant à la signification géologique de ces filtrages successifs de l'anomalie totale.

Méthode analytique

Parmi les nombreux procédés pratiques existant pour le calcul de l'anomalie régionale, nous avons choisi la méthode analytique.

Du fait de la régularité de cette anomalie, nous supposons qu'elle ne peut être assimilée à une surface mathématique et représentée par une fonction analytique, en fait un polynôme orthogonal de la forme:

$E(y) = 1 + x + y + x^2 + xy + y^2 + \dots$ dont le nombre de termes dépend du degré choisi pour la surface.

Le calcul et l'ajustage de cette surface sur l'anomalie de Bouguer doivent tenir compte de certaines conditions limites (*Baranov, 1954, Olivier, à paraître*). Ces opérations sont effectuées par un ordinateur qui donne aussi directement et par simple soustraction la valeur de la résiduelle en chacun des points de mesure.

Cette méthode est relativement objective, puisque elle est indépendante de la fantaisie ou de l'habileté de l'interpréteur une fois le choix de la surface arrêté.

2.5 Interprétation

Cartes de Bouguer

La comparaison des cartes de Bouguer (fig. 2, 3, 4) correspondant aux densités choisies (d : 2,35, 2,50, 2,67) ne montre pas de variations fondamentales quant à l'allure générale de l'anomalie totale. Celle-ci est largement influencée par le phénomène de l'isostasie qui provoque une décroissance lente et régulière de la gravité en direction du sud-est, c'est-à-dire vers les Alpes. Cependant, la régularité de cette évolution, qui se traduit par des courbes isogales plus ou moins parallèles et équidistantes, est contrariée par des phénomènes plus superficiels, d'un intérêt géologique plus pratique. Les formations lourdes ressortent en "bosses" ou "replats" et celles légères en "creux" par rapport à la pente gravifique générale que l'on peut assimiler à une pente topographique, les isogales jouant le rôle des courbes de niveaux. Cette pente dépend d'ailleurs de la densité choisie pour le calcul. Une forte valeur affaiblit le gradient gravimétrique de l'anomalie (carte 2,67) mais accentue au contraire l'effet des masses légères au détriment des formations plus denses. Le phénomène inverse se produit pour des densités peu élevées et l'influence des masses lourdes marquent alors davantage l'aspect de l'anomalie totale (carte 2,35).

Cartes régionales et résiduelles

Comme nous l'avons souligné (p. 28), une carte régionale comporte l'anomalie ou les anomalies à grand rayon de courbure.

Au vu de nos cartes de Bouguer, nous avons choisi, en premier stade, comme régionale, un plan (surface du premier degré, rayon de courbure infini) qui traduit la tendance générale de l'anomalie totale.

Puis, pour tenir compte du rebroussement prononcé des isogales vers le nord dans la région de Cossonay, nous avons essayé une surface du deuxième degré, en espérant mettre en évidence des phénomènes plus superficiels.

Les cartes résiduelles obtenues à partir de chacune des régionales (fig. 5, 6) nous montrent une alternance de zones négatives (légères) et positives (lourdes) d'orientation approximativement est-ouest.

Si nous détaillons ces différentes zones, nous distinguons successivement:

- Une anomalie légère au nord de la ligne l'Isle – La Sarraz. Son ampleur et son intensité indiquent un phénomène qui dépasse largement les limites de notre carte.
- Un axe positif lourd longeant le pied du Jura de Bière à Montricher.
- Une anomalie lourde plus étendue qui s'étend à l'est de Pampigny. Elle se retrouve sur la rive gauche de la Venoge.
- Dans la région bordière du lac se mêlent plusieurs effets positifs ou négatifs d'origines géologiques différentes.

Nous avons schématisé toutes ces anomalies par des axes sur la figure 7.

Anomalie l'Isle – la Sarraz

L'extension de cette anomalie et son intensité excluent une cause superficielle pour ce phénomène. L'origine de ce léger est à rechercher au niveau du soubassement cristallin et des formations salifères du Trias. En effet, ces terrains qui affleurent loin de nos régions ont été rencontrés dans des sondages pétroliers profonds effectués les uns sur le plateau suisse, les autres dans le Jura français (bibliogr. 8,43).

Le profil, quelque peu hypothétique, réalisé à partir de ces informations (fig. 8) montre en premier lieu un enfoncement du socle cristallin sous le Jura, où le forage de Laveron, au sud-ouest de Pontarlier, poussé jusqu'à plus de 2500 mètres n'a pu le rencontrer. Des sédiments du trias moyen et supérieur, particulièrement riches du point de vue évaporitique, comblent cette dépression. Ils forment une série dilatée de plus de 1000 mètres de sels intercalés d'argiles. Les deux phénomènes, enfoncement du socle lourd (densité 2,6) et présence d'importantes formations salifères et légères (densité 2,3) ont contribué à la création de cette anomalie négative, dont nous ne voyons que le bord sud sur notre carte, anomalie qui s'étend probablement sur une grande partie du Jura. L'intensité de cette perturbation oblitère partiellement les anomalies plus modestes. Nous avons cependant pu mettre ces dernières en évidence en traçant pour cette zone une nouvelle régionale plane. De la carte résiduelle obtenue alors (fig. 9), nous retenons principalement deux axes négatifs, l'axe de Dizy-Cossonay et l'axe plus indistinct de Cuarnens-Prévondavaux. Ils marquent l'emplacement de sillons d'érosion creusés dans la Molasse et remplis par la suite de matériel quaternaire. Leurs points de départ ou d'arrivée sont problématiques. Ils seront précisés par la prospection électrique qui déterminera plus exactement leurs trajets et leurs paramètres.

Axe lourd Bière-Montricher

Au pied du Jura, une série de sources jalonnent l'axe d'une anomalie gravifique lourde. Celle-ci débute au sud de Montricher et se développe, parallèlement à la chaîne, dans la direction de Bière où elle s'élargit et augmente en intensité. L'interprétation que l'on peut en donner conduit à deux hypothèses. Dans la première hypothèse, il peut s'agir d'une ondulation des couches calcaires qui forment la pente structurale de la chaîne, cette ondulation pouvant aller du simple replat à l'ébauche d'un pli anticlinal, dont la retombée brusque vers le sud-est pourrait être faillée. Le manque de mesures au nord de cette structure ne nous permet malheureusement pas d'être plus précis. La deuxième hypothèse à mentionner exclut une origine tectonique de l'anomalie, mais envisage au contraire, une cause stratigraphique. Nous aurions là le faite des couches du Crétacé inférieur interrompu par l'érosion, sorte de cuesta ensevelie sous les dépôts quaternaires. On peut, en première approximation, considérer que les lignes isanomales de la résiduelle sont parallèles aux courbes de niveau définissant le toit de la structure. Nous pouvons ainsi voir, quelle que soit l'hypothèse choisie pour l'interprétation, les calcaires qui remontent vers la surface du nord-est vers le sud-ouest. A l'ouest de Ballens, ils sont recouverts par une vingtaine de mètres de couverture glaciaire et les sondages électriques nous donnent une idée de leur plongement. Nous pouvons suivre un niveau repère très résistant dont la profondeur atteint 150 à 200 mètres au sud de Berolle et va en augmentant jusqu'à 450 mètres à l'est de Mollens. Cette augmentation est à mettre en rapport avec le décrochement Le Pont-Mallens qui semble avoir sectionné la partie terminale de la structure. Mentionnons l'intérêt hydrogéologique de ces calcaires qui doivent alimenter par le fond, avec leur système de failles et de diaclases, les graviers qui les couvrent. La série de sources signalées ci-dessus en est l'indice probant.

Anomalie lourde Pampigny-Cossonay

Nous n'avons pas de certitude quant à l'origine de cette anomalie dont nous ne connaissons pas toute l'extension. Elle résulte peut-être de la remontée du socle paléozoïque ou, plus probablement, de celle du contact molasse-calcaire.

Région bordière du lac

Une large zone négative borde au sud l'anomalie précédente. Nous l'attribuons à l'enfoncement progressif des terrains secondaires lourds, qui amorcent, dans cette région, le pli synclinal de Clarmont.

De cette toile de fond se détachent différentes anomalies que nous examinerons successivement.

Axe négatif de l'Aubonne

Visible au sud de la plaine de Bière, il file par St Livres vers l'embouchure du Boiron, mais perd de son intensité avant d'arriver au lac. Cet axe nous indique une partie du tracé d'une vallée fossile, aujourd'hui comblée, que nous attribuons à une ancienne Aubonne. L'intensité de l'anomalie gravimétrique est en relation avec la profondeur du thalweg ancien. Elle est bien marquée au nord-ouest, où l'entaille d'érosion est la plus profonde, et partant, le remplissage quaternaire léger particulièrement épais; les mesures électriques nous montrent plus de 200 mètres de sédiments reposant sur le substratum molassique. Puis la différence de niveau diminue entre le fond du sillon et la surface molassique qui descend en pente "régulière" vers le lac. Le comblement devient par conséquent moins important (environ 100 mètres) et l'anomalie s'estompe.

Hormis le tracé principal, il est difficile de distinguer des dérivations secondaires. Le nombre de stations de mesures est beaucoup trop faible et devrait être multiplié par quatre ou cinq pour que l'on puisse tenter une interprétation de détail qui sera plutôt effectuée avec les méthodes électriques. Nous avons esquissé quelques axes d'écoulement sur la figure 7. Ils ressortent d'un essai de filtrage supplémentaire réalisé sur les données gravimétriques de cette zone (figure 10).

— Au nord de Yens, jusqu'à Ballens et Apples, s'étend une plage légère que nous distinguons de l'axe précédent bien qu'elle semble s'y rattacher. Nous envisageons hypothétiquement une surépaisseur de terrains légers superficiels, sans pouvoir préciser d'avantage.

Axes lourds de Perroy et St Prex

En bordure du lac, sur ces axes positifs, nous avons trouvé le calcaire sous 650 mètres de molasse. Il s'agit d'une remontée accentuée du substratum secondaire, qui amorce un ou plusieurs plis anticlinaux. L'axe de St Prex monte un net plongement vers le nord-est, et la ligne faîtière de cet anticlinal en relation avec celui de Morges doit présenter une

suite d'ondulations avec un maximum à St Prex.

Une série de Légers s'échelonnent le long du rivage, de l'Aubonne à la Venoge. Ils montrent une surépaisseur de sédiments quaternaires qui ont remblayé la topographie molassique (sillons) et sur laquelle se surimposent les dépôts deltaïques de l'Aubonne, du Boiron et de la Venoge, au sud de Lonay, dans la dépression du Bief.

CARTE DE BOUGUER 2.35

CORRECTION TERRAIN 20 Km.

(Valeurs notés en milligals)

ÉCHELLE

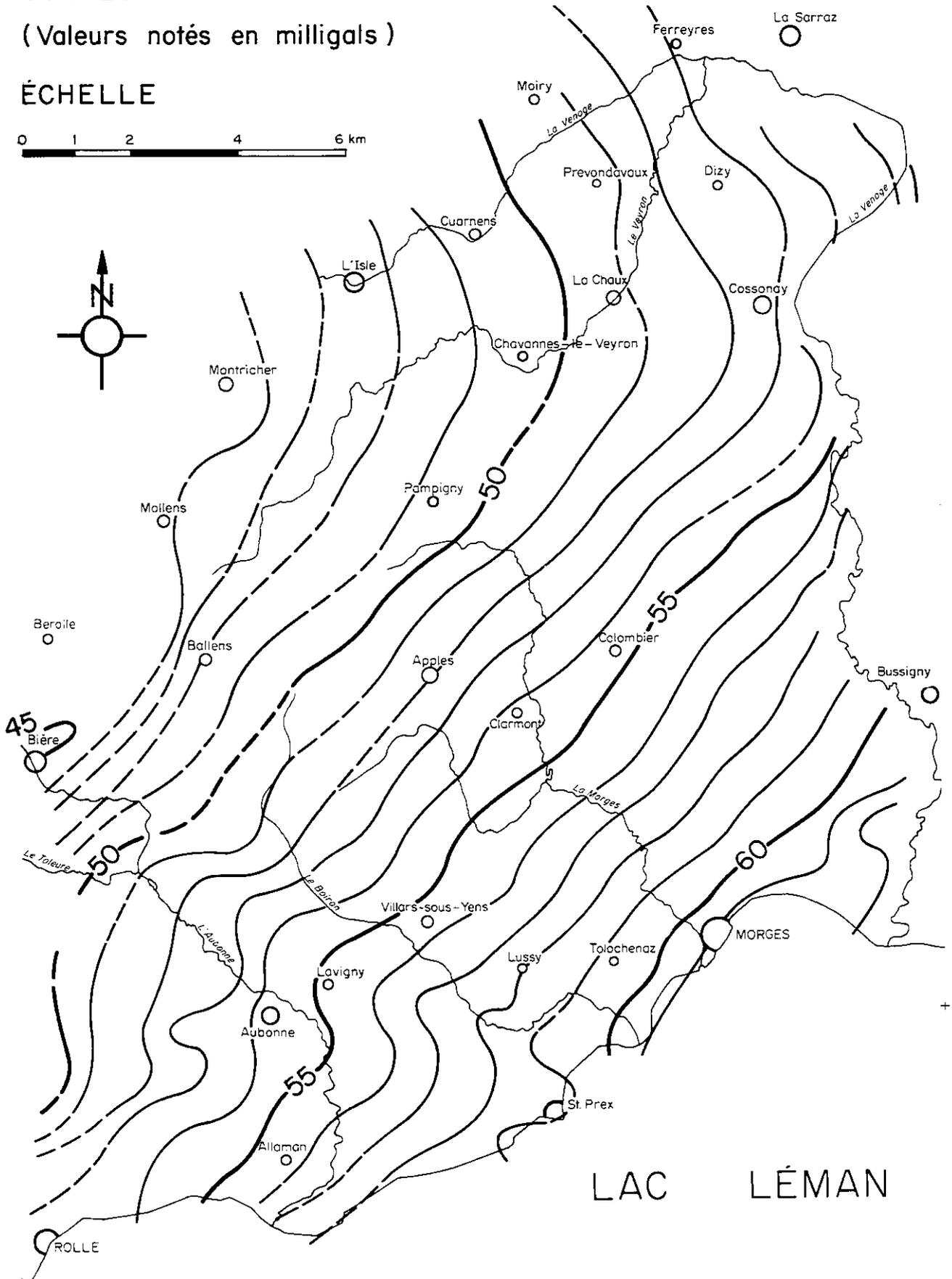
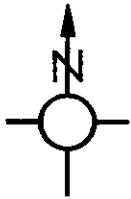


fig. 2

CARTE DE BOUGUER 2.50

CORRECTION TERRAIN 20 Km.

(Valeurs notés en milligals)

ÉCHELLE

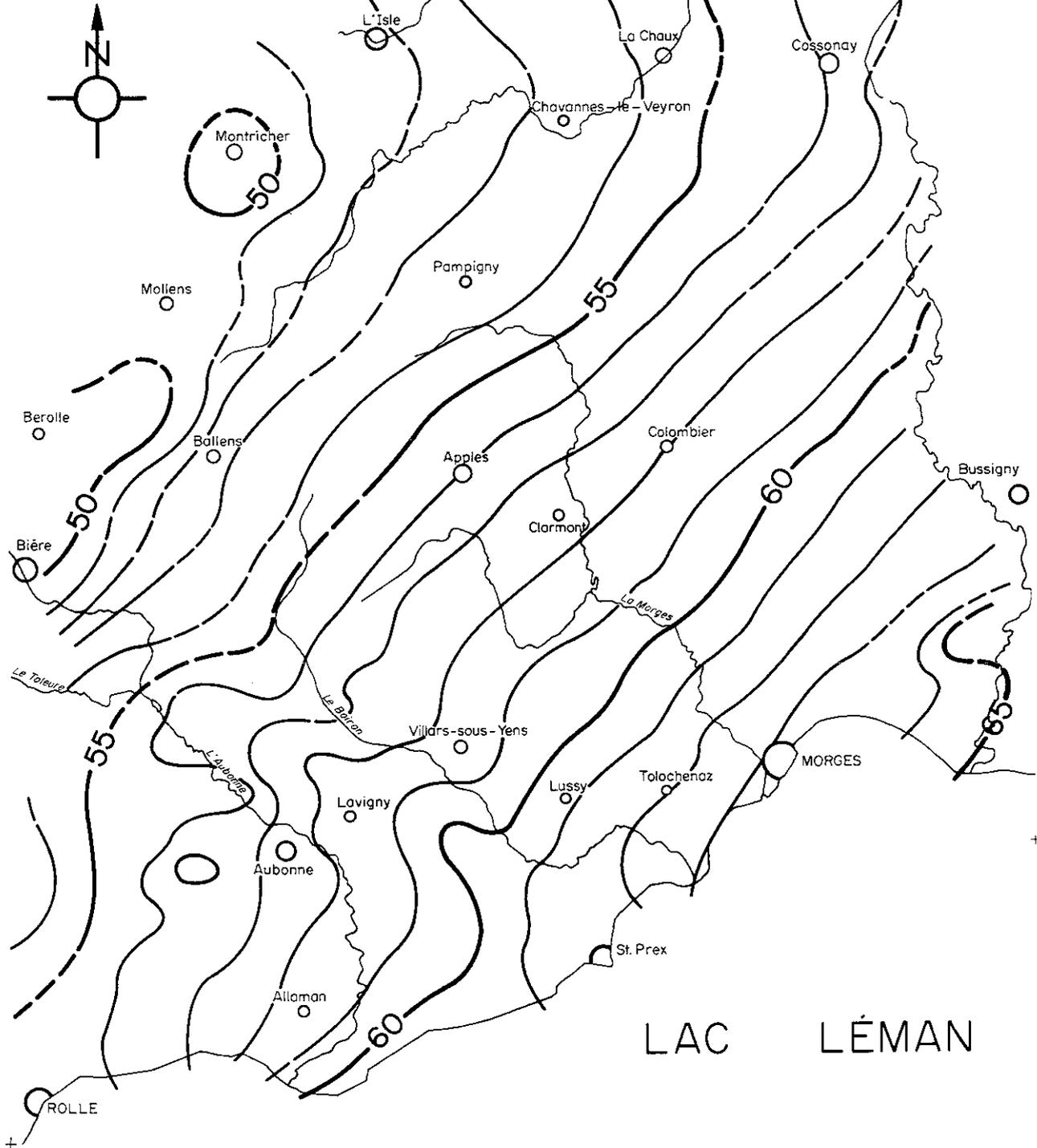


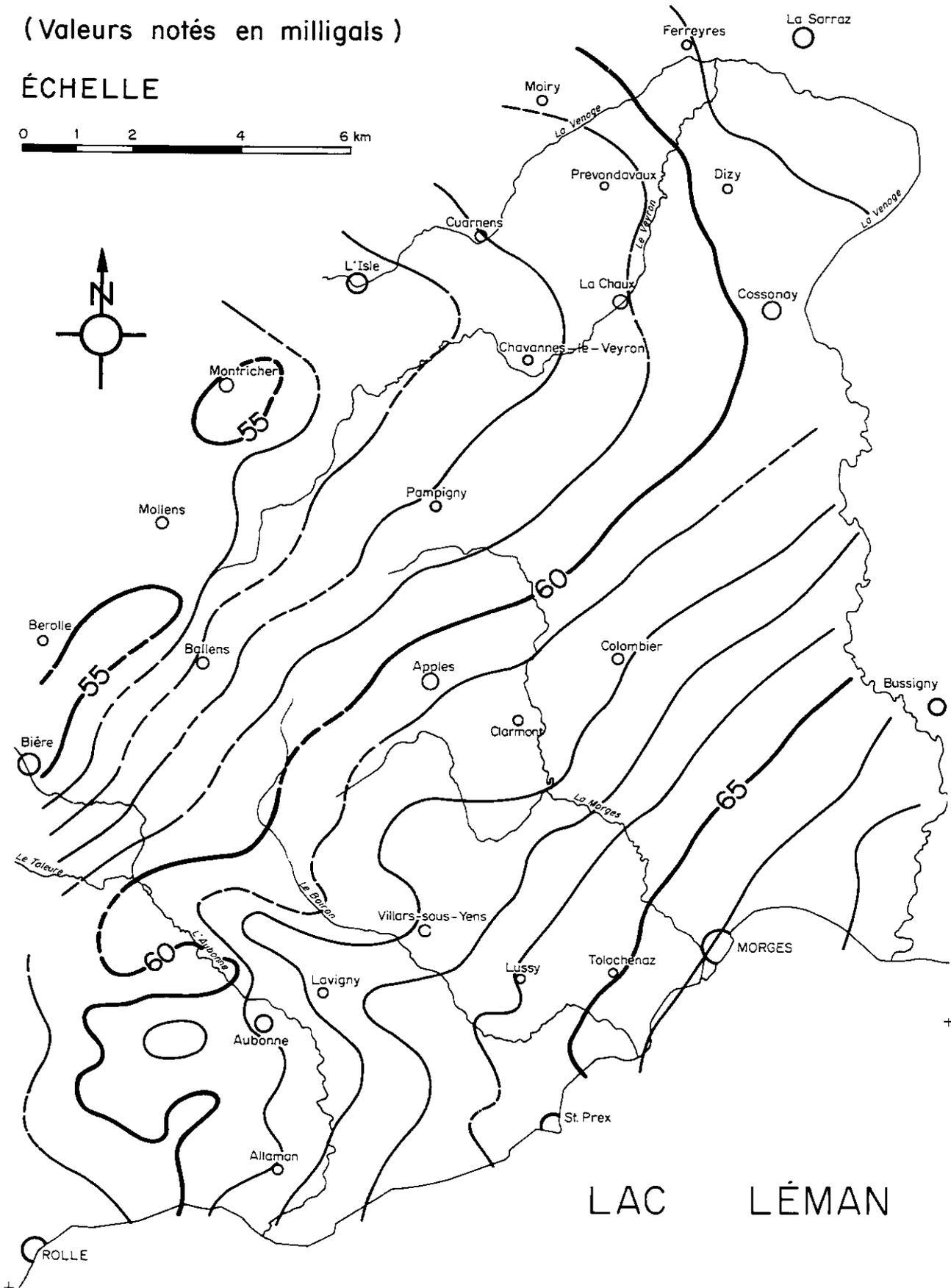
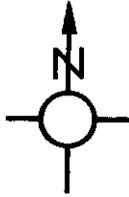
fig. 3

CARTE DE BOUGUER 2.67

CORRECTION TERRAIN 20 Km.

(Valeurs notés en milligals)

ÉCHELLE



LAC LÉMAN

fig. 4

RÉSIDUELLE 2.50 R1

BOUGUER - RÉGIONALE PLANE

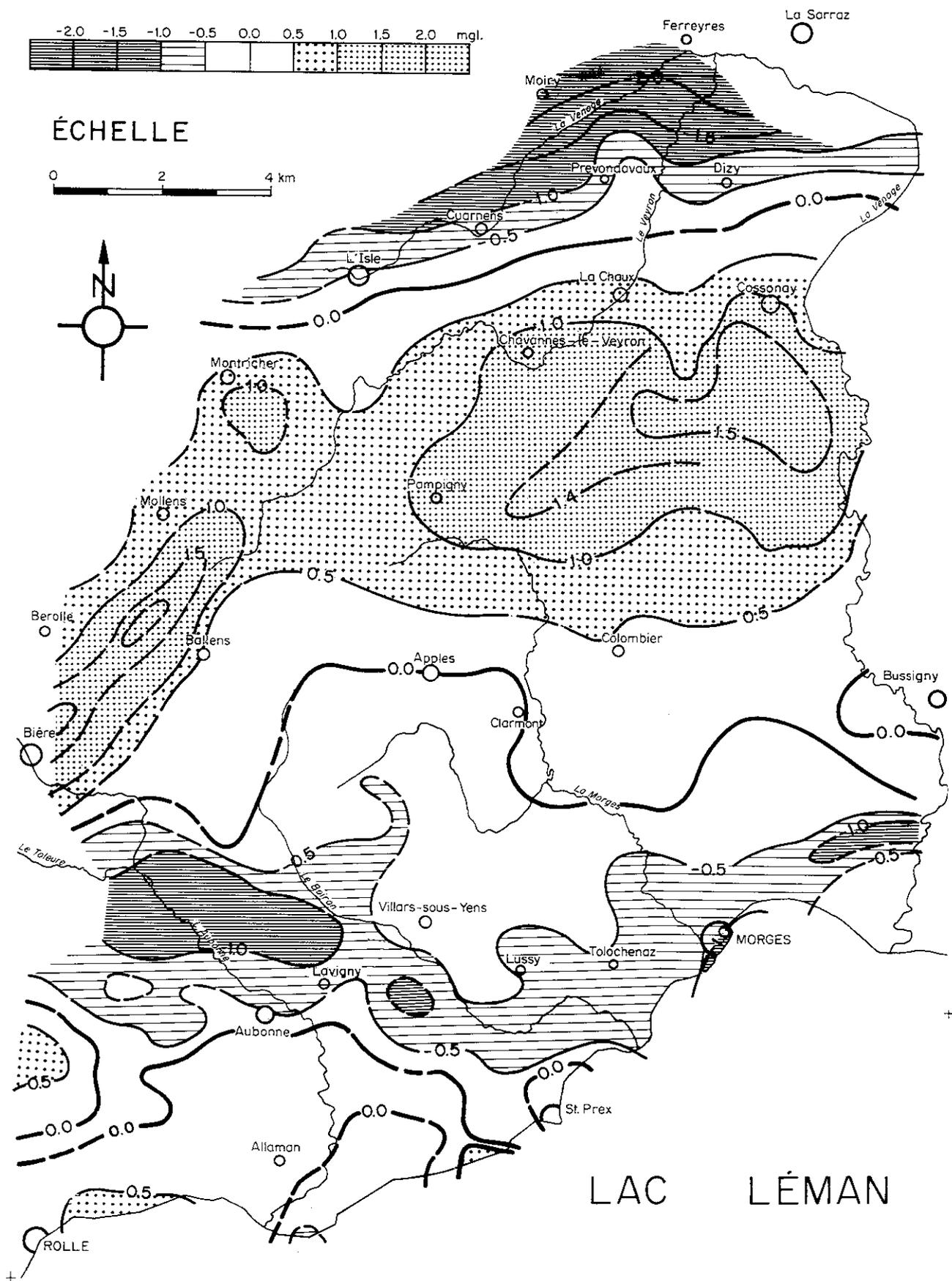


fig. 5

RÉSIDUELLE 2.50 R2

BOUGUER - RÉGIONALE 2^{EME} D°

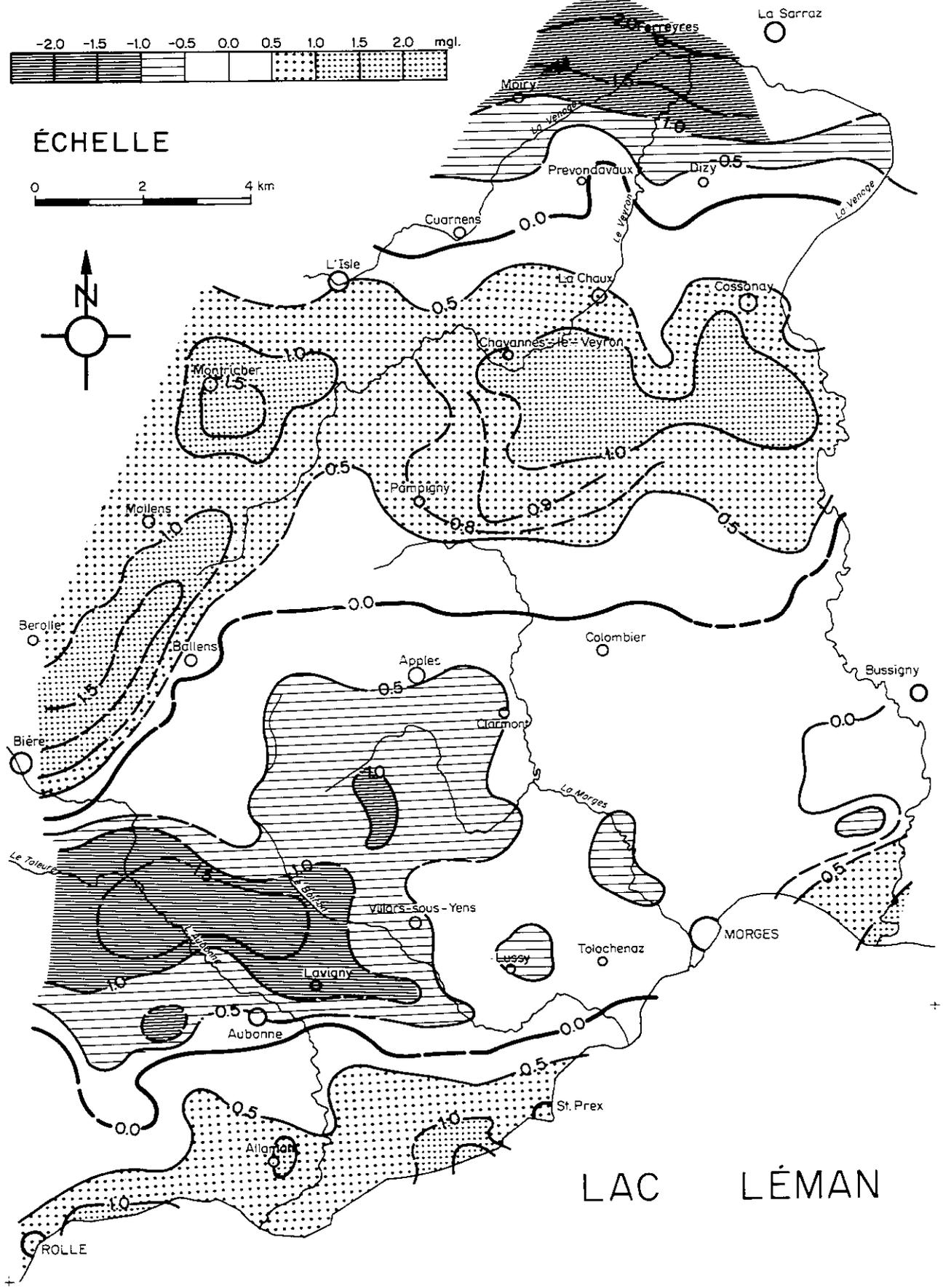


fig. 6

AXES DES ANOMALIES GRAVIFIQUES

TRAITS FORTS : ANOMALIES PROFONDES

TRAITS FINS : ANOMALIES SUPERFICIELLES
(MOLASSE - QUATERNAIRE)

ÉCHELLE

0 1 2 4 6 km

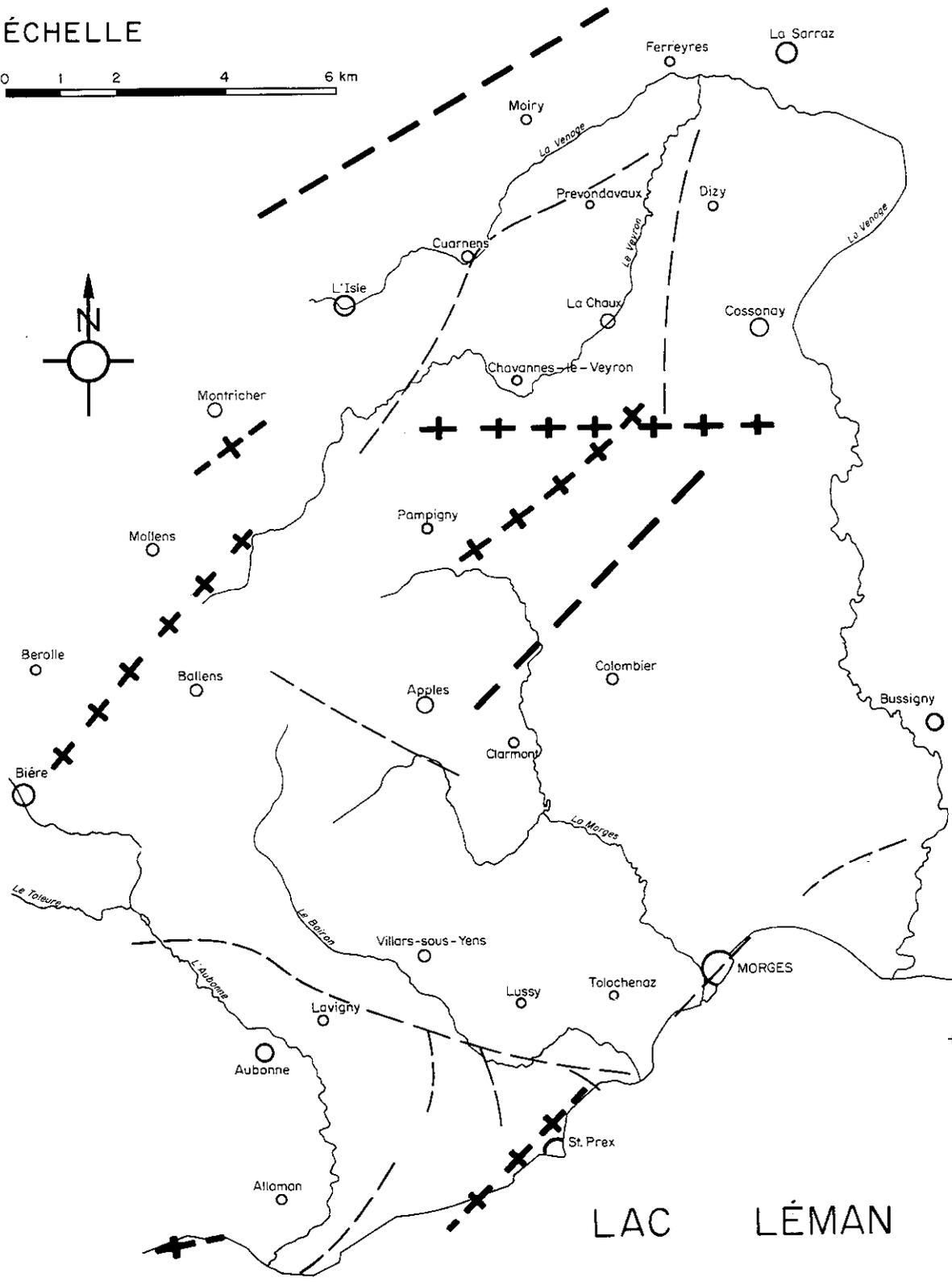


fig. 7

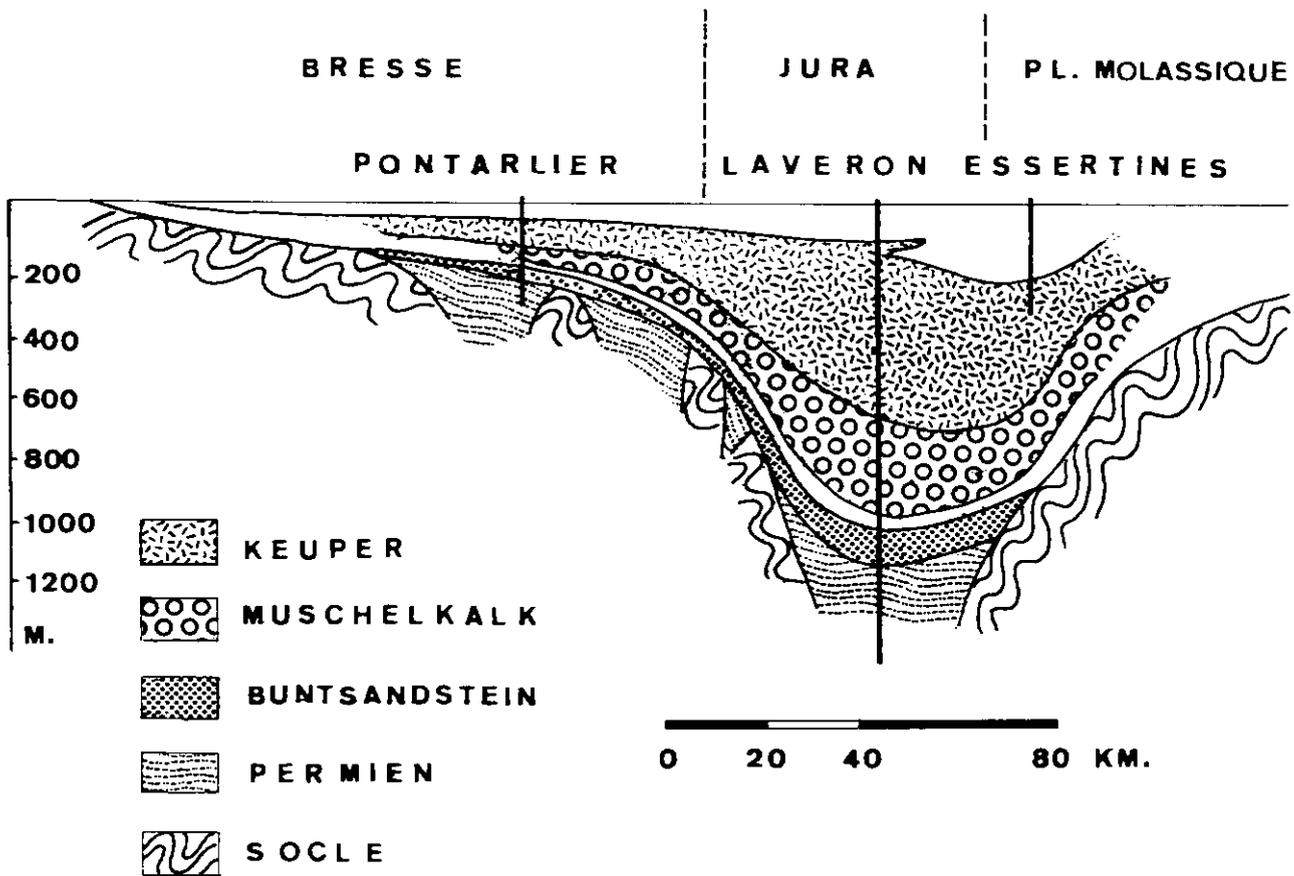
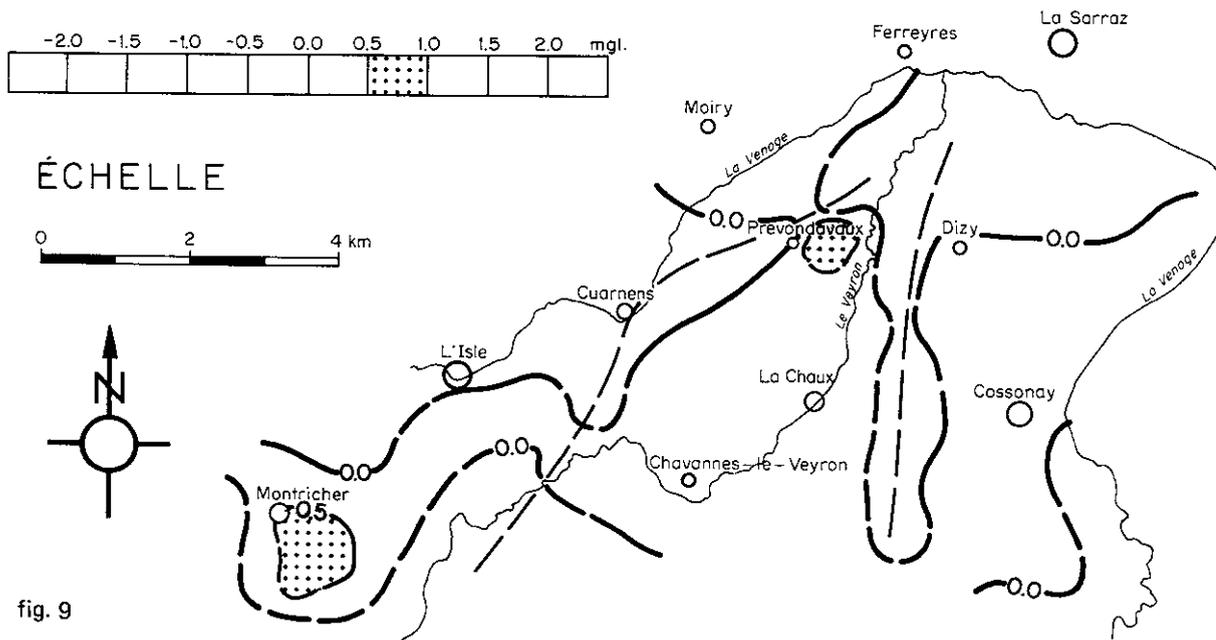


fig. 8 Profil schématique stratigraphique à travers le Jura

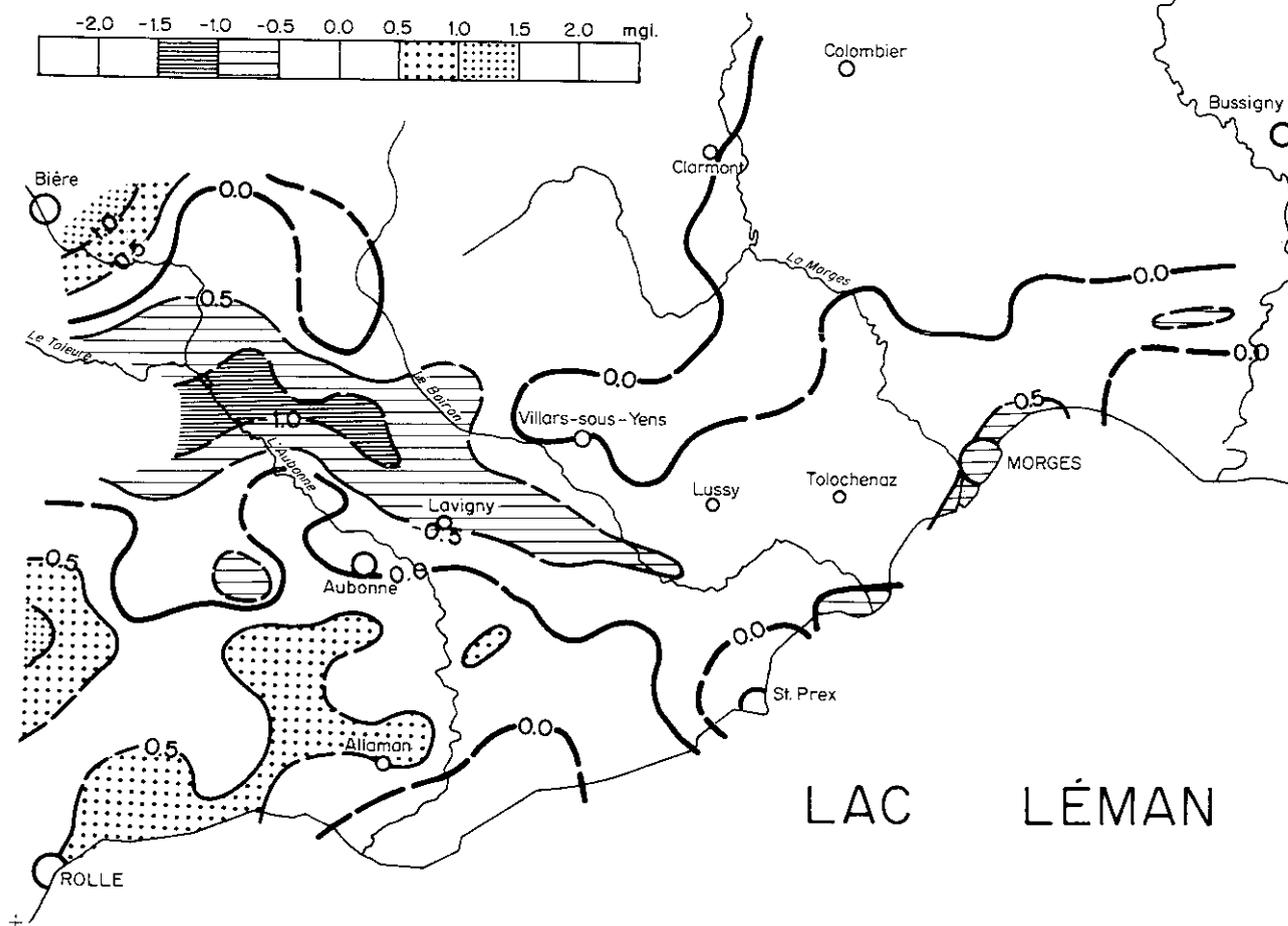
RÉSIDUELLE PRIME 2.50

RÉSIDUELLE R1 - RÉGIONALE 2^{EME} D°



RÉSIDUELLE PRIME 2.50

RÉSIDUELLE R1 - RÉGIONALE 2^{EME} D°



CHAPITRE III

Les Méthodes électriques

3.1 Méthodes utilisées

Pour notre prospection électrique, nous avons employé des méthodes couramment utilisées par le laboratoire de l'Institut de Géophysique de l'Université de Lausanne. Ces méthodes ont été déjà abondamment décrites dans plusieurs livres et publications (voir bibliographie) et nous n'en rappellerons que succinctement le principe.

Soit un dispositif d'émission de courant AB et un dispositif de réception et de mesure MN. Les électrodes A, M, B alignées sont disposés symétriquement par rapport au centre O du dispositif. La situation des électrodes est indiquée sur la figure 11.

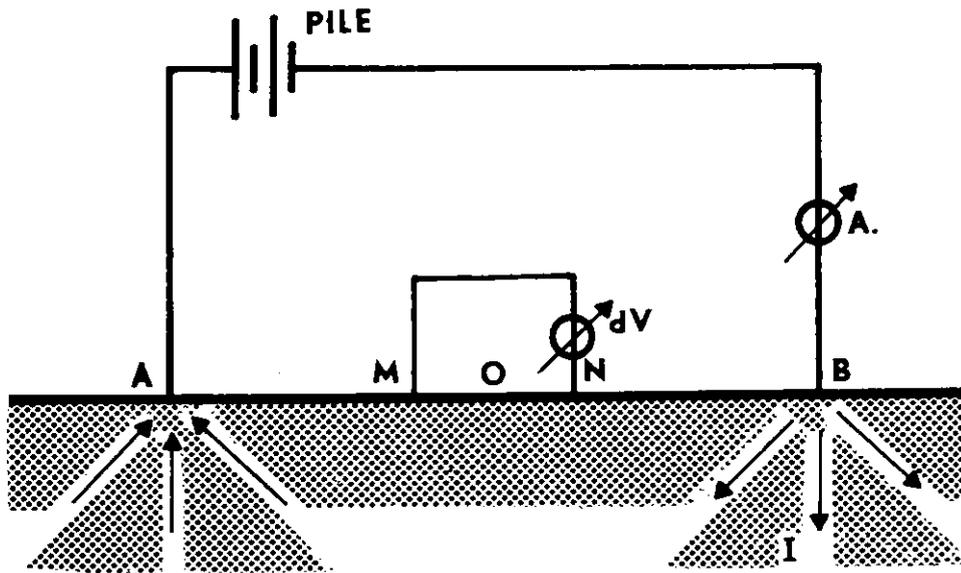


fig. 11 Quadripôle schlumberger

Le sol qui ferme le circuit AB permet le passage du courant continu I fourni par des piles sèches. Ce courant provoque par chute ohmique une différence de potentiel dV que l'on mesure entre les électrodes M et N. La résistivité du sous-sol supposée homogène se calcule facilement par la relation:

$$\rho = K \frac{dV}{I} \quad (\text{ohm. mètre, } \Omega\text{m.})$$

où K dépend de la géométrie du système de mesures. Les mesures de l'intensité I et de la différence de potentiel dV sont effectuées avec un seul appareil dit potentiomètre.

Dans le cas d'un terrain homogène, la résistivité mesurée est la résistivité vraie de ce terrain. Nous avons donné des exemples de résistivités vraies pour différentes formations géologiques dans notre introduction page 6.

Mais le sous-sol est composé de plusieurs terrains, donc hétérogène et la résistivité mesurée est dite apparente. C'est un composé complexe des résistivités vraies des diverses formations géologiques sous-jacentes.

Nous avons employé le dispositif Schlumberger, (quadripôle, Schlumberger) où la ligne de réception MN a une longueur toujours faible vis-à-vis de la ligne d'émission AB ($MN \leq 1/4 AB$).

La mise en oeuvre de ce dispositif permet en particulier deux méthodes d'investigation:

- les sondages électriques,
- le trainé électrique.

Sondages électriques

Si l'on exécute une série de mesures en agrandissant au fur et à mesure un dispositif symétrique AMONB tout en laissant le point de symétrie O fixe, on obtient une courbe des résistivités apparentes en fonction de la longueur AB que l'on nomme sondage électrique. La profondeur d'investigation H, elle aussi, est une fonction plus ou moins complexe de AB et des résistivités vraies. La courbe de sondage électrique traduit la variation de la résistivité en fonction de AB/H sur la verticale du point O.

En interprétant cette courbe, on redécouvre les résistivités vraies des différents terrains et leur épaisseur. Cette interprétation peut se faire au moyen d'abaques précalculés. Nous utilisons, quant à nous, la méthode du "partial curve matching" (F. Frischknecht & G. Keller, 1966, J.P. Gilland, 1970).

Trainé électrique

Le trainé consiste à déplacer le quadripôle AMNB en gardant la longueur AB fixe. En reportant les résultats des mesures successives, on peut obtenir une carte des résistivités apparentes. Cette carte exprime les variations horizontales de la résistivité d'une tranche de sous-sol d'épaisseur constante; moyennant une traduction appropriée, elle peut être lue comme une carte géologique.

3.2 Trainé électrique, cartes de résistivité

Grâce à plusieurs sondages électriques paramétriques, nous avons déterminé une profondeur d'investigation h où les variations de la résistivité à l'horizontale sont maximales. Ceci nous a conduit à adopter une ligne d'émission AB = 100 mètres pour la moitié nord de notre terrain et AB = 60 mètres pour la moitié sud. La limite entre les deux zones est tracée en pointillé sur la carte (planche 1.)⁽¹⁾.

Nous divisons notre terrain pour la facilité de l'exposé en quatre parts et indiquons pour chacune d'elles les dimensions du dispositif utilisé.

Nous aborderons successivement l'étude:

1. du fluvioglacière et glaciaire du pied du Jura et des dépôts de la région au sud et à l'est de Ballens.
2. des différents sillons taillés dans la Molasse.
3. de la Molasse et du Quaternaire dans la partie E et SE de notre étude.
4. du sous-sol lacustre.

Les hautes résistivités (résistivité > 100) dominent dans les deux premières régions. Elles délimitent les zones où prédomine un matériel graveleux. Les hautes valeurs sont renforcées le long du Jura par la présence du soubassement calcaire très résistant.

Des valeurs inférieures à 100Ω mètres caractérisent notre troisième région. Elles signalent des dépôts conducteurs morainiques qui reposent sur la Molasse chattienne (résistivité < 35) ou aquitainienne (résistivité > 50).

Quant à la prospection du sous-sol lacustre, notons la présence de l'eau qui constitue, du point de vue électrique, le "terrain" de surface pour lequel épaisseur et résistivité sont facilement connues, l'une grâce à un échosondeur, l'autre par des mesures effectuées avec un petit dispositif AB = 25 m (résistivité de l'eau $\simeq 45\Omega$ m).

Fluvioglacière et glaciaire du pied du Jura et dépôts de la région de Ballens (AB 100)

L'investigation électrique, qui porte sur une épaisseur de 30 mètres environ, montre ici pour cette tranche du sous-sol, des formations résistantes (graveleuses) qui dominent uniformément. Elles laissent la place, au nord et à l'est (région de Villars-Bozon et d'Apples) à des zones plus conductrices signalant des dépôts morainiques argileux reposant sur la Molasse ou le Calcaire. Les résistivités supérieures à 200Ω m, sont associées dans cette région à des sédiments à éléments jurassiens calcaires majoritaires. Ces derniers bordent notre zone, suivant le pied du Jura, et représentent le glaciaire et fluvioglacière jurassiens dont quelques appendices s'avancent dans la plaine (Mollens, Montricher).

Les résistivités extrêmes qui se manifestent également le long du Jura, au-delà de la courbe 400Ω m, signalent les terrains d'âge secondaire faiblement recouverts de quaternaire.

Des résistivités inférieures à 100Ω m apparaissent en quelques endroits et caractérisent une surépaisseur de dépôts argileux parfois associés à des tourbes (Veyron à l'ouest de Ballens).

¹ Seules les parties intéressantes de cette carte sont présentées sous formes de figures dans cette publication — La carte de résistivité complète peut être consultée à l'institut de Géophysique de l'Université de Lausanne.

Dans la plaine de Bière, le tracé des courbes d'équi-résistivité dessine un cône alluvial fossile où le classement granulométrique des sédiments graveleux se traduit par un classement des résistivités. Les plus fortes ($\rho > 400$) correspondent aux sédiments grossiers puis elles diminuent avec la dimension des éléments. Ce cône est le témoin d'un ancien Toleure ou Aubonne qui déposait ses alluvions dans un lac de barrage qui couvrait cette région (A. Baltzer, 1899, J.-P. Vernet, 1956).

Des amas morainiques graveleux caractérisent la région forestière au sud et à l'est de Ballens. Les plages de résistivité de valeurs croissantes suggèrent des épaisseurs croissantes de graviers. Entre Mollens et Pampigny, autour du lieu dit Fermens, ces dépôts sont plus argileux et quelques buttes apparaissent en conducteur.

L'empreinte d'un réseau de drainage des graviers se voit surtout à l'est de cette région de Ballens, où quelques chenaux graveleux, bien individualisés électriquement, s'échelonnent entre Chavannes-le Veyron et Yens. La trace de leurs dépôts dans des lacs temporaires se signalent par des cônes fossiles: à l'ouest de Grancy, au sud de Clarmont, à l'est de la gare de Yens. Certains de ces chenaux rejoignent d'ailleurs le sillon de l'Aubonne, que nous examinerons page 42, qu'ils ont dû alimenter temporairement. Ainsi en est-il du chenal passant par Yens et qui atteint le cours fossile de l'Aubonne dans la région de Cotrable-la Motte.

Sillons

Sur notre terrain, outre le sillon de l'Aubonne, bien mis en évidence par la prospection gravimétrique (p. 30), nous en avons décelé deux dans la région de Cuarnens-Prévondavaux et Dizy-Cossonay. Nous nous proposons de les examiner successivement à travers les mesures réalisées en trainé électrique qui mettent en relief leur remplissage graveleux.

Sillon de Cuarnens-Prévondavaux (AB 100)

Son départ, à l'est de Montricher, est indistinct car submergé par le fluvioglaciaire tardif du pied du Jura. La bande des résistivités supérieures à 100 Ω mètres nous donne ensuite le trajet de son cours qui, allant vers le nord-est, se dirige vers Cuarnens puis Prévondavaux, où une gravière témoigne de la présence et de l'épaisseur des graviers (C. Custer, 1935). Le sillon s'amincit et disparaît, probablement érodé, vers Chevilly. Une déviation a dû exister, elle se marque de part et d'autre de Chavannes-le Veyron, par des gravières sur les deux rives du Veyron, qui a fortement entaillé ces dépôts. À l'ouest de la Chaux, une série de taches de haute résistivité fait suite à cette déviation et va rejoindre le sillon principal au sud de Chevilly. La base des graviers a été atteinte par sondage mécanique à 55 mètres à Prévondavaux, ce qui nous donne environ 23 mètres de graviers sous 5 à 20 mètres de couverture morainique. Ces épaisseurs sont confirmées et même renforcées par les résultats de sondages électriques. Par exemple, dans le bois de la Croix, nous avons trouvé 45 mètres de graviers qui reposent sur la Molasse et 50 mètres au sud-ouest de la Chaux. Dans ces deux exemples, la couverture morainique est relativement faible.

Sillon Dizy-Cossonay (AB 100)

Les plages résistantes qui s'étendent à l'ouest de Cossonay, du village de Senarclens à celui de Dizy, nous donnent la situation et les dimensions de ce sillon. Les dimensions de ce dernier, de même que son remplissage, rappellent le sillon de Bioley-Orjulaz (C. Meyer de Stadelhofen & O. Gonet, 1964) qui présente des graviers stratifiés dans une dépression molassique préglaciaire.

Des graviers sont visibles dans la gravière de Dizy et leur existence est aussi connue par un captage à 575 mètres d'altitude (E. Gagnebin, 1937). Un sondage électrique dans la forêt de Dizy (coord. 527 300 / 163 960) nous les montre sur près de 60 mètres d'épaisseur et reposant sur la Molasse, ce qui situe leur base à 540 mètres. Remarquons le rétrécissement de la bande résistante à l'ouest de Dizy où les graviers manquent, érodés ou non déposés. Le matériel morainique qui les surmonte, variable en épaisseur et en composition et donc en résistivité, a été mis en évidence avec le trainé AB 40 mètres. La carte obtenue (fig. 12) montre bien, par le tracé irrégulier des isolignes, les variations latérales de résistivité pour ces dépôts superficiels ainsi que le caractère accidenté de la topographie qu'ils ont déterminée.

Sillon de l'Aubonne (AB 60, 100)

Comme nous l'avons vu précédemment, il s'agit d'un cours ancien que nous attribuons à une Aubonne pré-rissienne et que la prospection par trainé électrique a permis de mieux détailler pour une tranche de terrain d'environ 20 mètres.

Les valeurs supérieures à 100 Ω m nous signalent l'emplacement des chenaux graveleux qui affleurent ou transparaissent sous la couverture morainique. L'influence des terrains conducteurs de surface se traduit par les contours tourmentés et discontinus des plages de résistivité.

Le haut du sillon se confond électriquement avec les graviers de la région de Ballens. Plus à l'aval, nous distinguons deux branches principales. La première file vers l'embouchure du Boiron tandis que la deuxième suit l'axe de l'Aubonne actuelle. Outre ces deux branches, des dérivations mineures existent. Ce sont quelques chenaux qui atteignent le lac entre l'Aubonne et St Prex, ou plus à l'est, à Fraidaigue. La branche Aubonne domine par l'importance des sédiments déposés. Elle se développe sur la rive droite de la rivière où ses divagations aboutissent à l'est de Perroy à un cône alluvial fossile à l'altitude de 390 mètres. Un cône analogue est visible à la même cote sur la rive gauche du Boiron à son embouchure. Remarquons les valeurs élevées ($\rho > 400$) qui marquent les sommets de ces cônes, elles indiquent la présence de graviers superficiels plus ou moins secs. Des valeurs analogues signalent également l'emplacement du complexe de terrasses glaciolacustres de la région de Montherod-Lavigny et marquent d'autre part les terrasses de l'embouchure de l'Aubonne actuelle. La rivière a largement entaillé et déblayé le long de son cours les dépôts morainiques et surtout graveleux et s'est servie de ce matériel pour construire ses terrasses et avancer son delta dans le lac. Elle a d'ailleurs laissé en plusieurs points le substratum tertiaire visible tant géologiquement que géophysiquement ($\rho < 35$).

Molasse et Quaternaire (AB 60)

Cette région, qui correspond à la partie est et sud-est de notre terrain, appartient à la zone de retrait rapide du glacier. Elle se caractérise principalement par des terrains conducteurs ($\rho < 100$). La prospection électrique, par les sondages d'abord, puis le trainé, confirme l'observation géologique et souligne la faible épaisseur des dépôts glaciaires, inégalement répartis, qui laissent transparaître la Molasse chattienne. Nous lisons donc notre carte de la manière suivante: les plages de résistivité inférieures à $35\Omega\text{m}$ désignent la Molasse affleurante à subaffleurante. Les résistivités augmentent avec la puissance de la couverture quaternaire qui finit par devenir prédominante du point de vue électrique ($\rho > 70$).

On trouve quelques dépôts graveleux ($\rho > 100$). Ce sont principalement le long de la Venoge des placages, restes de dépôts entaillés par la rivière. Cette dernière coule entièrement sur des formations glaciaires qu'elle n'a pu complètement déblayer. Ces formations atteignent, d'après nos résultats électriques, 40 mètres d'épaisseur au sud de l'embouchure de la Senoge et plus d'une trentaine de mètres à l'ouest de Bussigny.

Etude du sous sol lacustre entre Aubonne et Venoge

Cette étude comprend une série de profils électriques exécutés perpendiculairement au rivage. Un bateau à moteur remorque un train de lattes de bois qui font office de flotteurs et supportent trois dispositifs Schlumberger de longueur AB 100, 50, 25 mètres. Nous pouvons donc investiguer jusqu'à environ 35, 15 et 8 mètres de profondeur (C. Meyer de Stadelhofen et G.C. Favini, 1968).

Les mesures sont effectuées régulièrement le long des profils et ceux-ci sont interrompus quand la profondeur du fond lacustre dépasse la profondeur d'investigation du plus grand des quadripôles.

Ces limitations techniques conditionnent l'extension vers le large des surfaces de résistivité caractéristiques qui dépendent ainsi en partie de la configuration du sous-sol lacustre.

Pour chaque mesure le bateau arrête sa course. Un échosondeur donne l'épaisseur de la tranche d'eau en cet endroit qui est repéré depuis la rive par un topographe en liaison radio avec le canot. Cet opérateur dispose d'un télémètre d'une portée maximale de 1000 mètres avec un cercle gradué horizontal pour mesurer l'angle de visée par rapport à un repère topographique choisi selon les circonstances.

Nous avons dessiné trois cartes de résistivité, une pour chacune des longueurs de ligne. La carte AB 25 reflète surtout l'influence de l'eau. Seuls les terrains à faible profondeur ressortent clairement à travers les mesures électriques. Les cartes AB 50 et AB 100 nous permettent de mieux définir ces terrains. Nous remarquons sur ces deux cartes une identité dans la forme des différentes plages de résistivité qui nous signalent la constance des formations dans l'espace vertical. Aussi, présentons-nous particulièrement la carte AB 50 (fig. 13) que l'on pourra utilement confronter avec celle obtenue lors de notre prospection terrestre.

D'une façon générale, en tenant compte de la présence de l'eau comme terrain de couverture, nous définissons les deux unités suivantes:

- les terrains conducteurs ont des valeurs inférieures à $35\Omega\text{m}$. Ils se situent à l'est de l'embouchure du Boiron et reflètent des marnes et grès tertiaires recouverts par place par des alluvions fines.
- les formations résistantes ($\rho > 70$) apparaissent dans la partie ouest de notre région et correspondent à des dépôts graveleux.

Les marnes et grès tertiaires de la Molasse chattienne ne sont connus qu'en quelques endroits sur la rive du lac: à St Sulpice, à Préverenges et à l'est de St Prex (Fraidaigue). Plus à l'ouest, ils disparaissent complètement. Le plus proche affleurement sur terre ferme est celui de "Le Coulet" à 395 mètres d'altitude dans le fond de la vallée de l'Aubonne. La prospection électrique permet donc d'élargir ces différents affleurements en une longue bande conductrice qui suit le rivage de St Sulpice jusqu'au Boiron puis de Fraidaigue à St Prex, avec quelques surépaisseurs de sédiments deltaïques (Morges, Venoge).

Quelques faibles valeurs sur la rive droite de l'Aubonne signalent de nouveau le substratum tertiaire subaffleurant.

Les plages résistantes correspondent aux débouchés dans le lac des différents chenaux qui ont contribué au comblement de cette partie du sillon de l'Aubonne.

Nous distinguons trois zones principales:

La première borde le delta de l'Aubonne et correspond à la partie immergée des graviers du dit delta. La répartition inégale de ces graviers de part et d'autre de l'embouchure, de même que le coude que la rivière forme aux Grands Bois, indiquent une déviation récente de son lit vers l'ouest.

Deux autres zones sont visibles plus à l'est. La forme des courbes d'équirésistivités évoque parfaitement des deltas alluviaux qui se marquent d'ailleurs dans la topographie sous-lacustre. Ces deltas représentent la limite extrême de cours d'eau fossiles et que nous avons décrit précédemment. Deux de ces cours débouchaient à l'ouest de St Prex, un troisième entre St Prex et le Boiron. Le granoclassement des dépôts deltaïques se reflète dans leurs résistivités. Nous avons, au bord, des graviers grossiers, perméables, caractérisés par des valeurs supérieures à $100\Omega m$, la diminution de la taille des éléments vers le large entraîne une baisse des résistivités.

3.3 Résultats obtenus par sondages électriques

Au vu des résultats du trainé électrique et de la prospection gravimétrique, nous avons utilisé les sondages électriques sur deux zones distinctes de notre terrain. La première correspond au pied du Jura. Il s'agit de connaître la répartition verticale des épaisseurs et des résistivités du Quaternaire et de déterminer la limite septentrionale de la Molasse. La deuxième zone comprend la partie sud de notre territoire. Dans ce cas, outre la connaissance des terrains de couverture, nous voulons obtenir une carte du toit de la Molasse chattienne et déceler éventuellement les limites du synclinal aquitainien.

Pour les études électriques profondes du substratum calcaire, en relation avec la prospection gravimétrique, il a fallu utiliser des longueurs de ligne atteignant 4000 mètres. Ces grands sondages ont été distribués sur l'ensemble de notre terrain.

L'investigation concernant le substratum tertiaire et sa couverture a nécessité des dispositifs ne dépassant pas $AB = 400$ mètres.

Pied du Jura

Lors de l'étude gravimétrique de cette région, nous avons vu que la couverture quaternaire, qui recouvre le substratum, est particulièrement épaisse.

Une campagne d'une trentaine de sondages électriques nous a permis d'établir une échelle stratigraphique des formations en fonction de leurs résistivités.

Nous distinguons de haut en bas: (fig. 14, fig. 15)

- Une couverture conductrice composée de moraines argileuses et d'alluvions fines de résistivité variant entre 50 et $100\Omega m$. Elle est inégalement répartie. Son épaisseur est maximum à l'ouest de Ballens où elle atteint 15 mètres, alors qu'elle n'apparaît pas électriquement sur la plaine de Bière.
- Les graviers formant un niveau résistant de 100 à $400\Omega m$. Ils sont très largement répandus. Leur épaisseur moyenne oscille entre 35 et 50 mètres.
- Ils recouvrent une importante formation conductrice (fig. 15). Cette-ci possède une résistivité qui varie entre 40 et $100\Omega m$. Elle disparaît sur les points hauts du substratum secondaire infiniment résistant, mais atteint 500 mètres d'épaisseur au sud de Montricher et sous la plaine de Bière. Elle s'affaiblit vers l'est, 150 à 200 mètres près de Villars-Bozon, puis disparaît totalement quand apparaît la Molasse chattienne sur laquelle reposent alors directement les graviers (fig. 14). Cette formation est difficile à identifier du point de vue géologique. Une origine glaciaire est certaine, pour le sommet de la formation, mais l'extension de celle-ci, de même que l'énorme épaisseur qu'elle conserve jusque dans les environs d'Apples, nous fait envisager la présence hypothétique de terrains préquaternaires soit molassiques, soit secondaires, dont les résistivités seraient comprises dans les limites définies ci-dessus.
- La limite vers le nord de la Molasse chattienne est connue par des affleurements sur la rive gauche et dans le lit de la Venoge, entre Moiry et Ferreyres. Cette Molasse reste invisible aux environs de l'Isle et de Montricher; nous l'avons cherchée par sondages électriques et reconnue en plusieurs points où sa résistivité apparaît de façon caractéristique ($25 < \rho < 35$). Nous indiquons ci-dessous la liste des sondages les plus septentrionaux qui nous l'ont révélée:

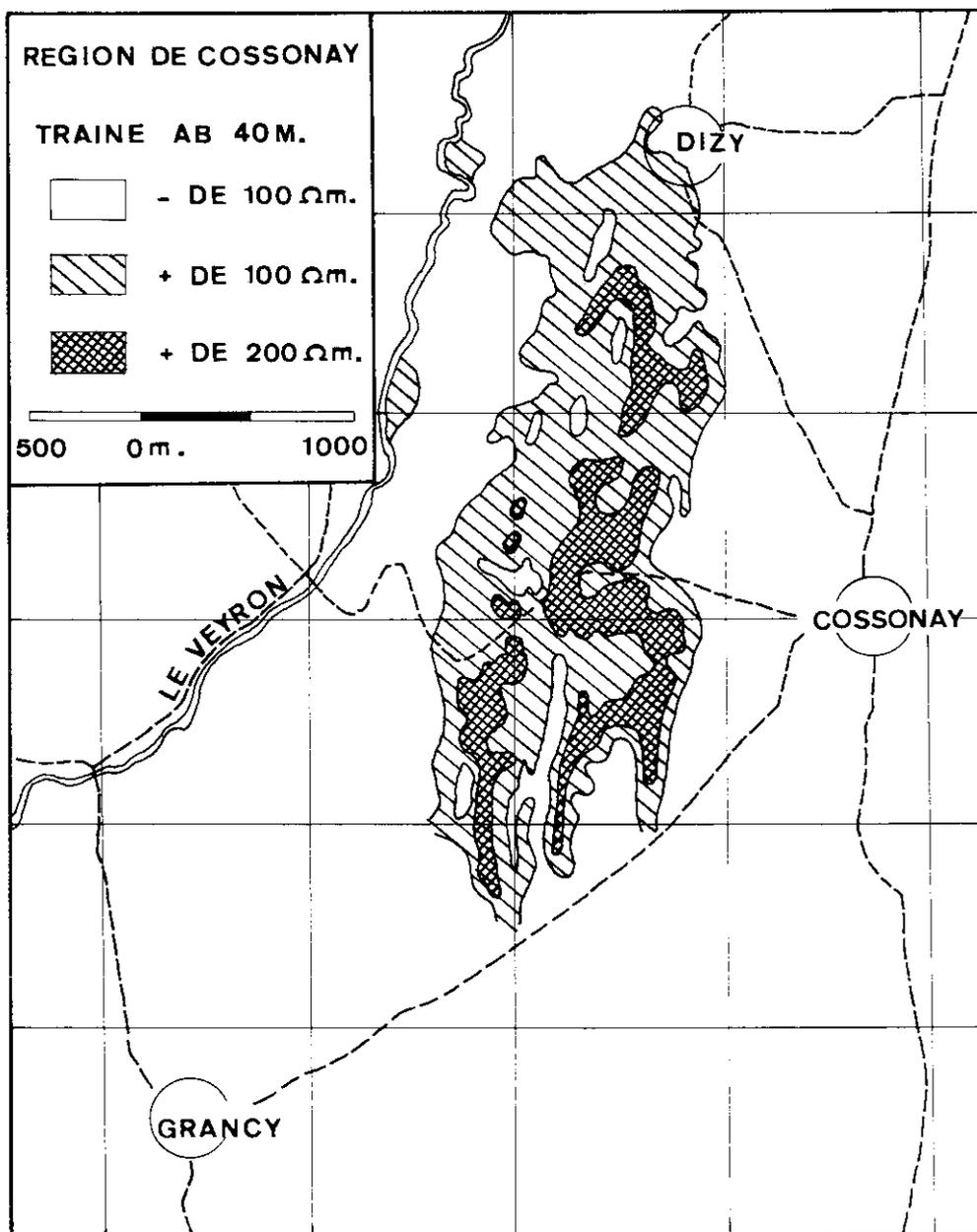
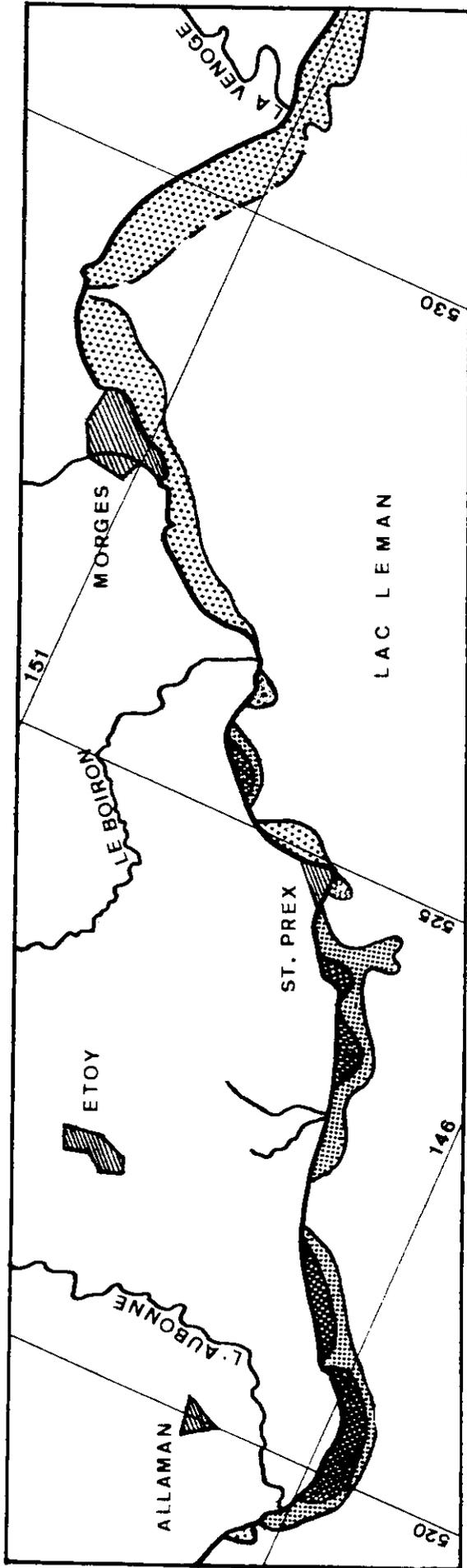


fig. 12



ECHELLE DES RESISTIVITES



ECHELLE TOPOGRAPHIQUE



fig. 13 Carte de résistivité du sous-sol lacustre AB 50.

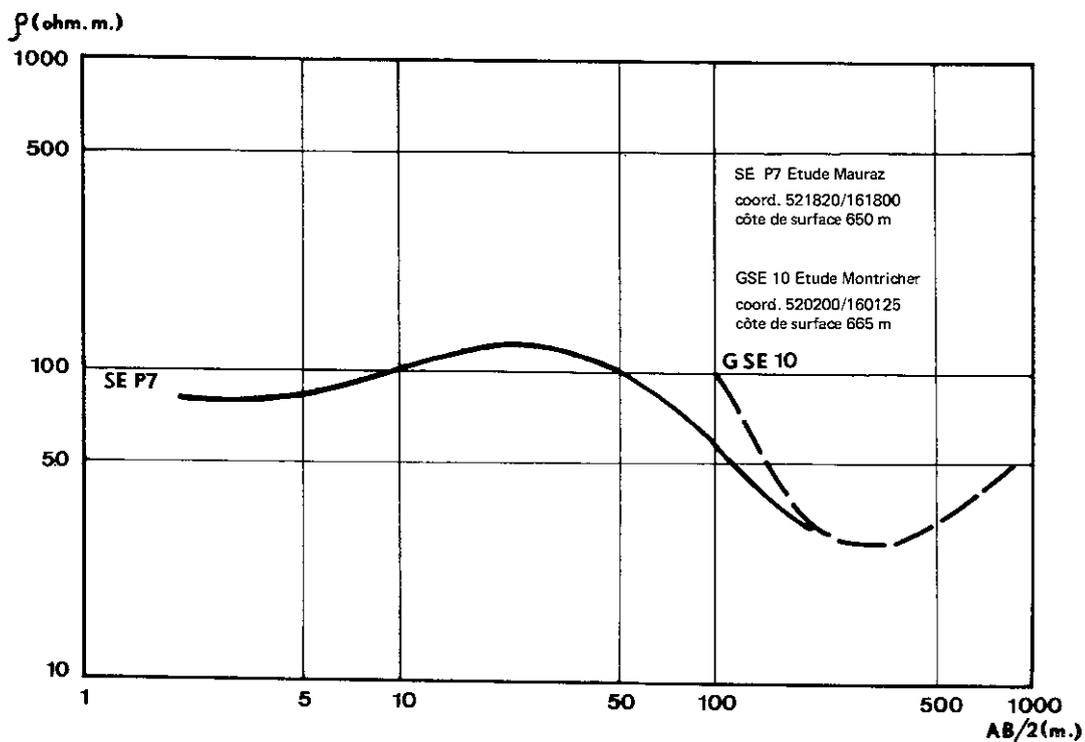


fig. 14 Exemples de sondages électriques du pied du Jura

SE P10	(522 300 / 163 450)	SE GS8	(522 080 / 162 625)
SE P7	(521 820 / 161 800)	SE GS10	(520 200 / 160 125)

L'interprétation de ces sondages donnent une épaisseur considérable pour la Molasse (350–400 mètres) qui disparaît pourtant rapidement vers le nord, à moins d'un kilomètre et demi, nous ne la trouvons plus par les méthodes électriques.

Vers le sud-ouest, elle n'apparaît pas au Moulin de la Goille, sur le Veyron, ni dans le grand Marais, à l'est de Ballens. Nous avons tracé sur la figure 1 la limite hypothétique de la Molasse chattienne, telle que nous l'avons obtenue par les mesures de résistivité.

- Le dernier terrain de notre stratigraphie est électriquement infiniment résistant. Il se traduit sur nos graphiques de sondages par une courbe ascendante d'une pente maximum de 45 degrés. Nous l'attribuons au Barrémien dans le nord de notre terrain où il est directement recouvert par la Molasse. Ailleurs, par exemple aux alentours de Bière, son identification est moins aisée, il pourrait correspondre à un niveau plus ancien.

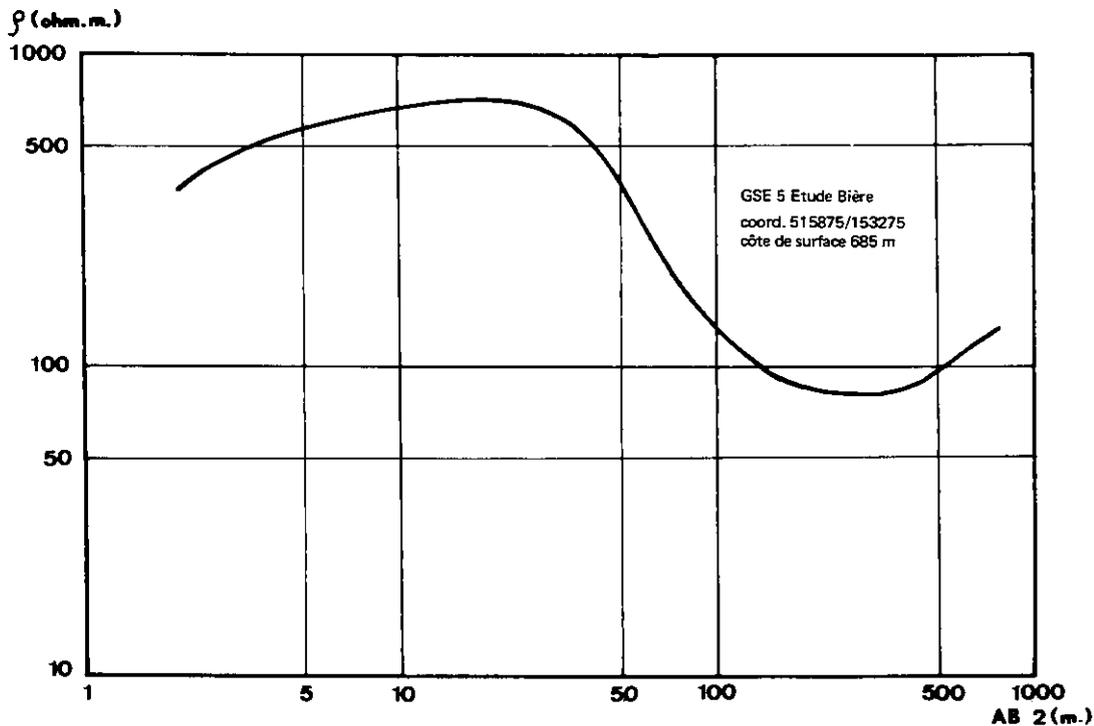


fig. 15 Sondage électrique du pied du Jura (plaine de Bière)

Zone sud

La zone sud correspond à la superficie couverte par la feuille 1242 Morges, excepté la forêt de Ballens, le bois de St Pierre et la plaine de Bière. Nous y avons effectué 140 sondages électriques. L'analyse de ces sondages nous a permis de distinguer deux régions électriquement différentes. Ainsi à l'ouest, les formations à hautes résistivités dominent sur l'axe du sillon de l'Aubonne. Sur le reste, figurent des résistivités plus faibles qui indiquent la prédominance des Molasses argiles et moraines. La limite entre ces deux domaines correspond au Boiron.

Sillon de l'Aubonne

Examinons l'allure de ce sillon fossile. L'interprétation des sondages électriques, ainsi que les différents affleurements déjà reconnus nous a permis de tracer une carte du toit de la Molasse chattienne dans cette région. L'altitude des courbes de niveau est indiquée par rapport au niveau de la mer (fig. 16).

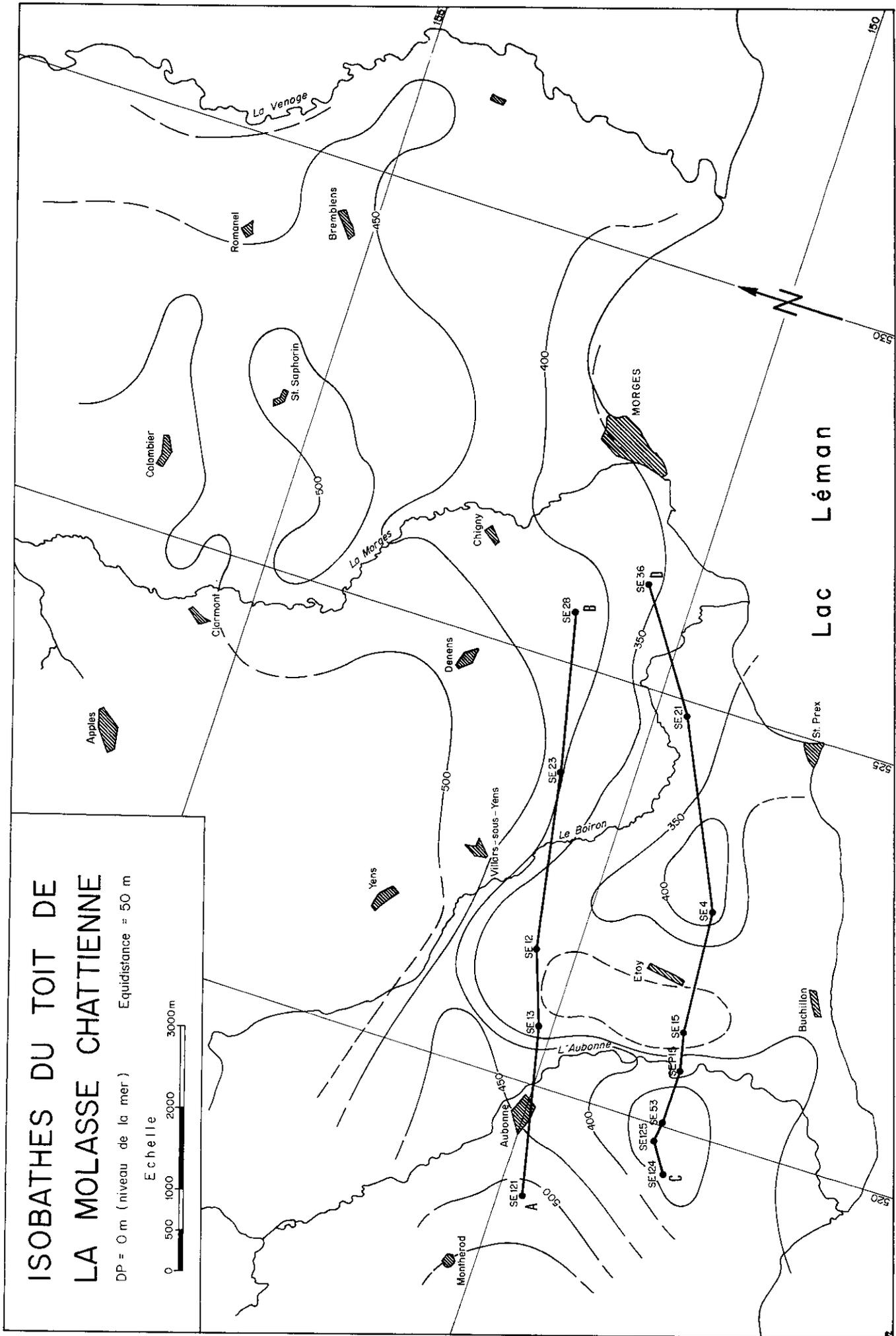


fig. 16

Le réseau hydrographique ancien se dessine parfaitement avec les deux branches principales du sillon qui se séparent dans la région d'Étoy et de Bois Riendet. Elles y provoquent un élargissement de la vallée ancienne qui occupe tout l'espace compris entre l'Aubonne et le Boiron. La butte molassique qui subsiste, séparant les deux branches, se manifeste par un affleurement sur la rive du lac, à Fraidaigue, à l'altitude de 370 mètres. Signalons enfin une faible dépression au sud d'Aubonne, sur la rive droite de la rivière. Nous avons dessiné deux profils AB et CD (fig. 17, 18) qui nous montrent chacun un aspect de la section du sillon. Une première constatation qui nous frappe est le peu de relation existant entre la topographie actuelle et celle du substratum molassique. Rien en surface ne révèle l'existence du sillon profond. Les dépôts quaternaires ont littéralement submergé et nivelé tout le relief ancien. Ils ne semblent pas avoir été affectés par un tassement et se sont emboîtés dans les dépressions molassiques préexistantes. Ce peu de relation entre le relief fossile et actuel est encore mis en évidence par la rivière Aubonne qui coule en bordure du sillon et même sur un haut molassique en aval de la Ville d'Aubonne.

Alors que la branche Boiron du sillon atteint le lac à une altitude inférieure à 350 mètres suivant une pente plus ou moins régulière, nous observons pour la branche Aubonne une profonde dépression dans la région de Pra Riendet, à l'est d'Étoy, où le thalweg se trouve à une côte inférieure à 300 mètres, avant de remonter puisque la molasse a été touchée électriquement au sud de Buchillon à 310 mètres. Pour expliquer cette topographie, il nous faut faire intervenir une action autre que celle d'un cours d'eau libre et nous émettons l'hypothèse d'un surcreusement glaciaire. La contre-pente qui en résulte est intéressante du point de vue hydrologique dans la mesure où elle peut faire office de barrage à l'écoulement de la nappe phréatique. Il se peut d'ailleurs que les études électriques donnent à cette dépression une importance exagérée.

Nos moyens d'investigation ne nous permettent pas d'observer sur la surface molassique la trace du décrochement le Pont-Mollens; il se peut que les effets de celui-ci ne se sont pas fait sentir en surface, ou encore que l'érosion en a détruit et éliminé les indices.

Cartes de Résistivité

Nous avons tracé quatre cartes de résistivité en prenant sur nos courbes de sondages électriques les valeurs de résistivités apparentes correspondant à différentes longueurs d'émission AB, à savoir: AB = 400, 200, 60, 20 mètres. Nous pouvons admettre provisoirement que les profondeurs d'investigation sont approximativement égales au tiers de AB, soit respectivement 130, 70, 20 et 6 mètres. Donc en passant de la carte AB 400 à celles établies avec des longueurs AB plus petites, nous obtenons une vue électrique des terrains de couverture d'une profondeur maximale de 130 mètres à la surface.

Nous constatons, en examinant et comparant les quatre cartes obtenues (fig. 19, 20, 21, 22), que l'on peut les classer en deux catégories. La première comprend les cartes AB 400 et AB 200. Les plages résistantes occupent exactement l'emplacement du sillon où les zones les plus profondes correspondent aux plus hautes valeurs de résistivité obtenues. Ces cartes reflètent la topographie du substratum et pourraient, en première approximation, se lire comme des cartes topographiques de celui-ci, les lignes d'équirésistivité représentant les courbes de niveau classique. Au contraire, sur les deux cartes AB 60 et 20, les deux plages résistantes sont séparées. Cette individualisation provient de l'influence des terrains de surface dont l'effet devient prédominant.

Ces constatations sont encore plus évidentes si l'on examine les profils électriques tracés sur les emplacements des profils topographiques AB et CD (fig. 17, 18). Les profils correspondants aux cartes AB 400 et AB 200 représentent l'image renversée du fond molassique. Les basses valeurs de résistivité correspondent à une Molasse proche de la surface, au contraire, les dépressions du substratum se marquent par de fortes valeurs. Cette image est passablement altérée sur les deux profils suivants AB 60 et 20. Dans ces cas, le peu de rapport que l'on trouve entre le fond topographique et la courbe de résistivité montre bien l'influence prépondérante des terrains de surface.

Les sondages électriques nous ont montré, dans la région de l'Aubonne, principalement trois unités électriques que nous interprétons comme suit: de bas en haut, nous avons:

- La Molasse caractérisée par une résistivité inférieure à $30\Omega\text{m}$ qui forme le niveau profond, imperméable et dur, recouvert sur place par un matériau argilo-graveleux ($50 < \rho < 100$).
- puis les graviers, caractérisés par une résistivité qui dépasse les $100\Omega\text{m}$ et qui peut varier suivant la propreté des graviers et leur degré d'humidité.
- Enfin, la couverture conductrice de surface constituée par de la moraine ou des alluvions fines. Les résistivités de ces formations oscillent entre 50 et $100\Omega\text{m}$. Par place, ces terrains meubles peuvent reposer directement sur la Molasse en l'absence de graviers.

Ces différentes formations constituent un sous-sol hétérogène et la résistivité apparente que nous obtenons en surface dépend, comme nous l'avons vu plus haut, de l'interaction des résistivités des terrains en présence, et ceci pour chaque profondeur d'investigation. Aussi devons-nous modifier, pour notre interprétation les limites de résistivité caractérisant chaque unité en fonction de sa position dans le sous-sol. Nous admettons que les résistivités inférieures

PROFILS DE RÉSISTIVITÉ ET COUPE GÉOLOGIQUE AB

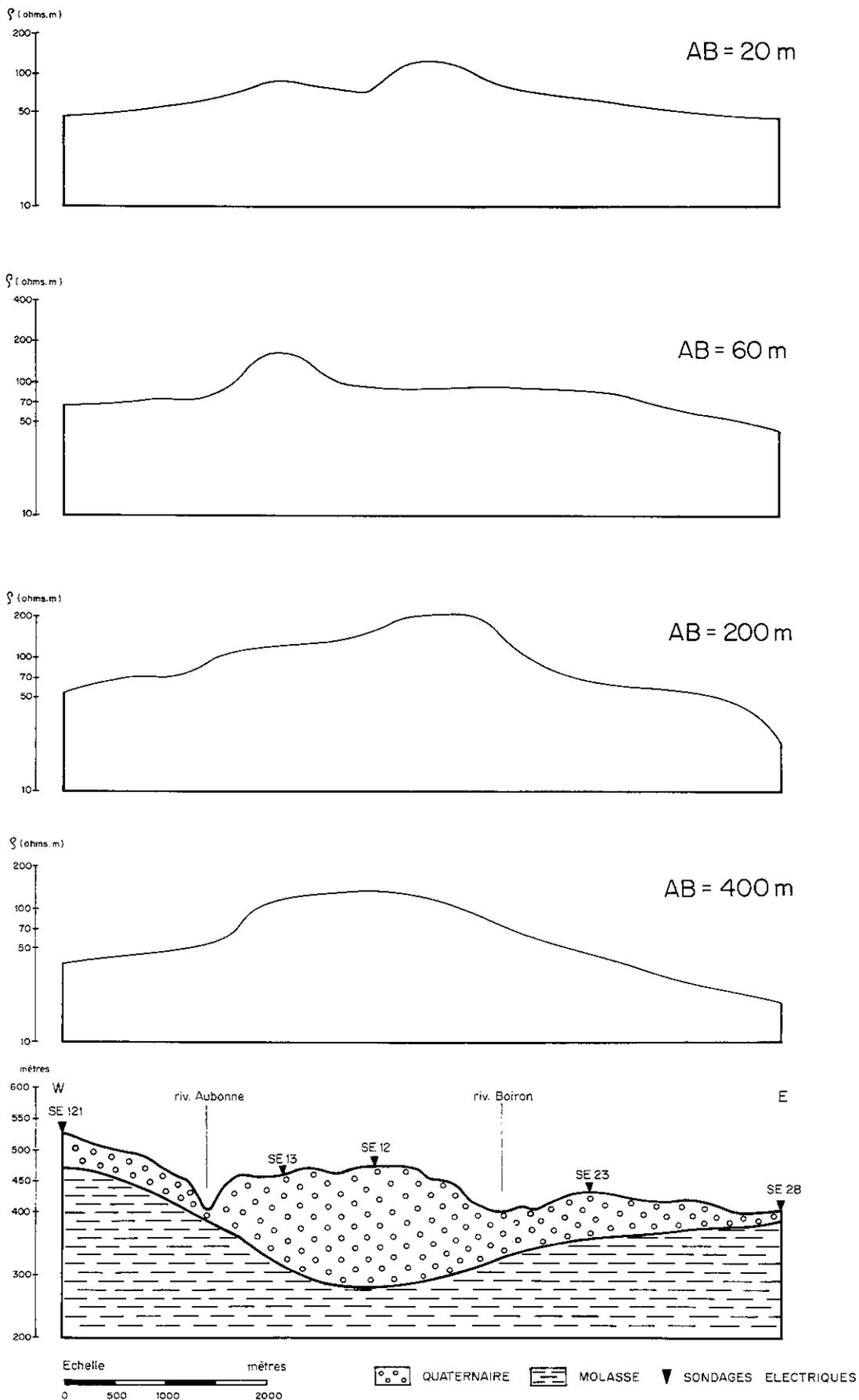


fig. 17

PROFILS DE RÉSISTIVITÉ ET COUPE GÉOLOGIQUE CD

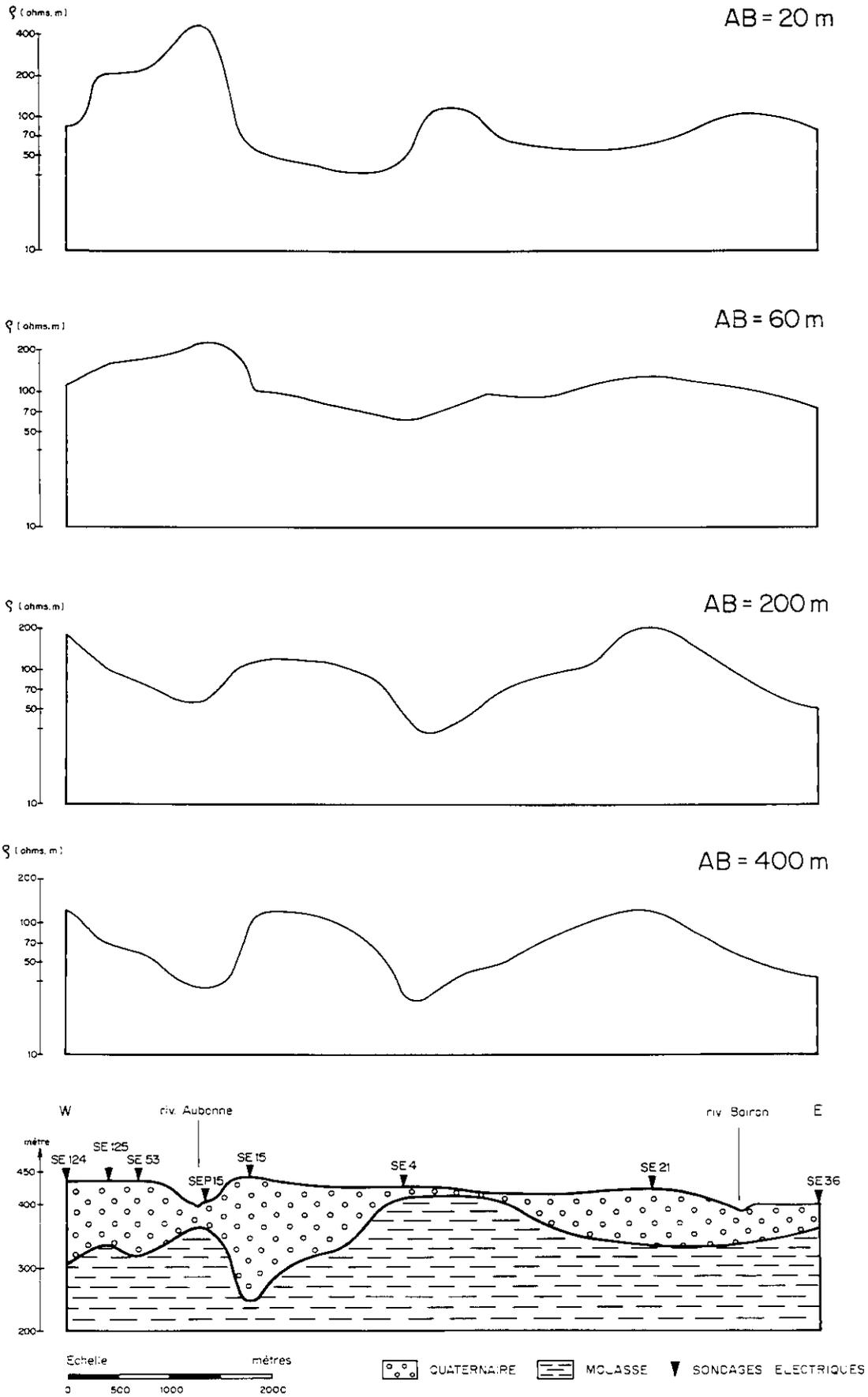


fig. 18

à $50\Omega\text{m}$ sont caractéristiques de la Molasse sous très faible couverture. Les graviers commencent à se marquer par des résistivités supérieures à $100\Omega\text{m}$. Les valeurs intermédiaires ($50 < \rho < 100$) indiquent soit la Molasse surmontée d'un matériau plus résistant, soit des graviers sur lesquels repose une couverture conductrice.

AB 400 m (fig. 19)

La courbe 100 constitue la limite inférieure caractérisant à cette profondeur ($h = 130$ mètres) la présence de graviers qui comblent notre sillon. Cette courbe se ferme avant d'atteindre le lac et indique une diminution progressive vers l'aval de l'épaisseur de ces dépôts. Les résistivités élevées désignent les axes d'écoulement principaux et des sables relativement purs, lavés et débarrassés des particules fines argileuses et sableuses.

Les valeurs basses ($\rho < 50$) nous montrent la Molasse affleurante à subaffleurement et marque bien l'emplacement de la butte molassique à l'est d'Étoy de même que les affleurements dans l'Aubonne qui correspondent au haut molassique.

Il peut arriver que l'épaisseur et surtout la résistivité des graviers soient telles qu'elles dissimulent les effets du substratum tertiaire et, dans ce cas, des valeurs élevées indiquent plutôt une surépaisseur du Quaternaire qu'une dépression. Ce cas est rencontré à l'est du Montherod où domine une zone de haute résistivité.

AB 200 m (fig. 20)

Nous retrouvons les grandes lignes de la carte précédente avec toutefois quelques modifications. Dans l'ensemble, les valeurs ont augmenté sensiblement et indiquent, par l'agrandissement des plages de résistivité supérieures à $100\Omega\text{m}$, un étalement accru des graviers à cette profondeur (60 mètres). La Molasse a moins d'influence et les terrains de surface ne se font que peu sentir. L'importance électrique de ces graviers signale leur épaisseur.

AB 60 m (fig. 21)

Les résultats portent sur les vingt premiers mètres. Sur le sillon, l'influence de la Molasse est devenue négligeable. L'influence des terrains de surface, au contraire, se manifeste en rétrécissant les zones résistantes. Les plages de résistivité supérieures à $100\Omega\text{m}$ montrent la persistance des dépôts graveleux, tandis que, particulièrement dans la région de la Perche, au nord d'Étoy, se signalent de fortes accumulations morainiques ($\rho < 100$).

AB 20 m (fig. 22)

Le rétrécissement des plages résistantes s'accroît. Ces dernières s'individualisent et sont confinées dans deux zones principales au sud de la plaine de Bière et dans la partie terminale de l'Aubonne. Les graviers de la branche Boiron disparaissent électriquement sous les dépôts conducteurs morainiques de surface qui s'étalent largement.

Il est possible, grâce à l'étude de ces cartes qui donnent l'évolution dans l'espace des niveaux de résistivité, de reconnaître la répartition des formations pétrographiques différentes. Nous pouvons, par là même, reconstituer la géologie du sous-sol.

En nous servant des profils électriques, nous avons réalisé les coupes géologiques schématisées correspondantes et les sondages électriques nous ont permis de quantifier les épaisseurs de ces formations.

A titre d'exemple, nous choisirons dans le sillon trois sondages caractéristiques (fig. 23) dont la situation est indiquée sur le profil CD (carte topographique Morges 1/25 000).

Le sondage PSE 15 (coord. 520 625/148 375) se trouve au bord de la rivière Aubonne, sur la rive gauche. L'interprétation nous donne cinq mètres de graviers secs puis vingt-sept mètres de graviers aquifères qui reposent sur la Molasse conductrice.

Le sondage SE 4 (coord. 522 600/148 600) se trouve sur la butte molassique. Sur la Molasse repose 15 mètres de graviers recouverts de six mètres de moraine.

Enfin, le sondage SE 21 (coord. 524 800/149 600) est situé sur l'axe de la branche Boiron. Nous y trouvons huit mètres de couverture morainique puis cinquante mètres de graviers qui recouvrent la Molasse.

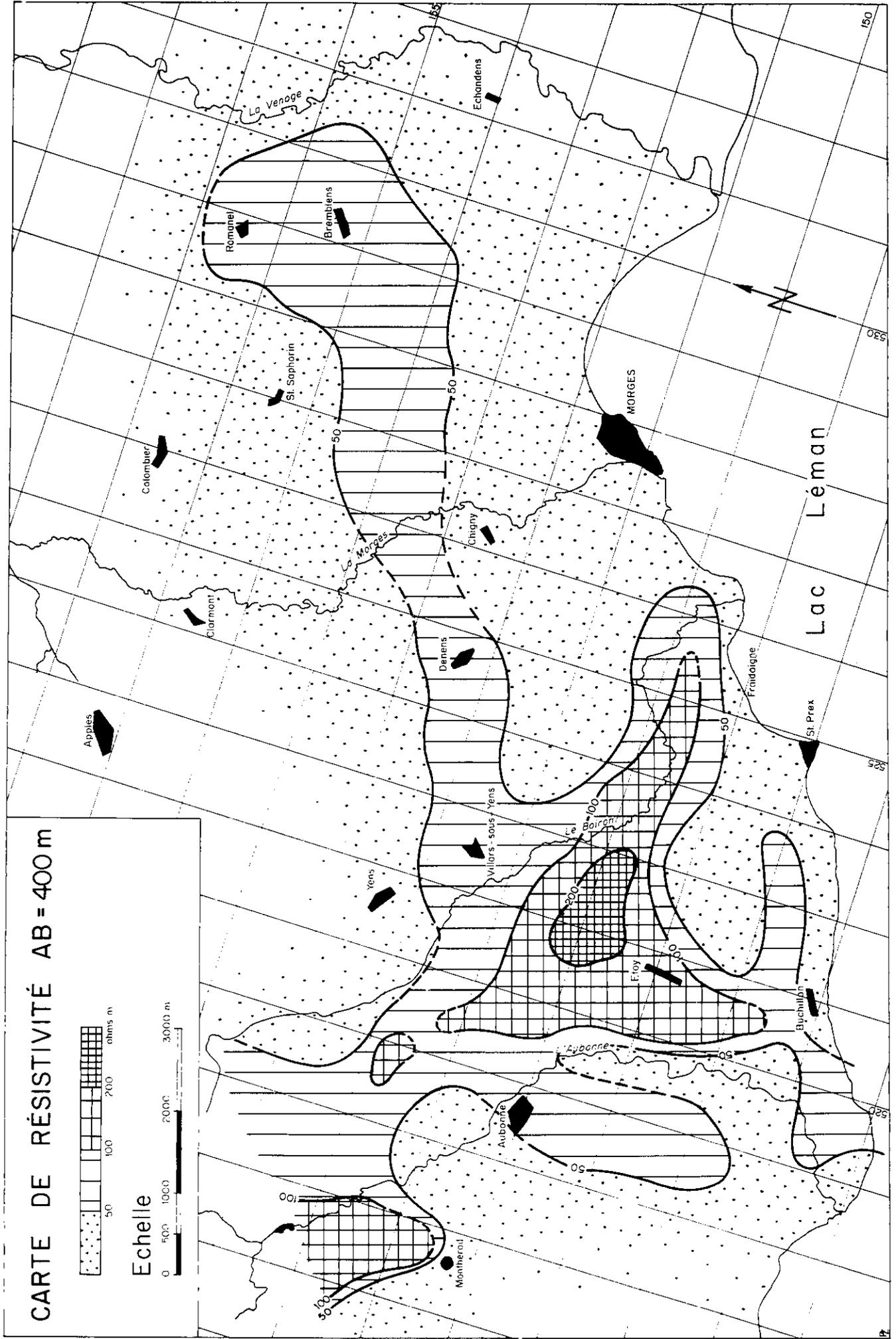


fig. 19

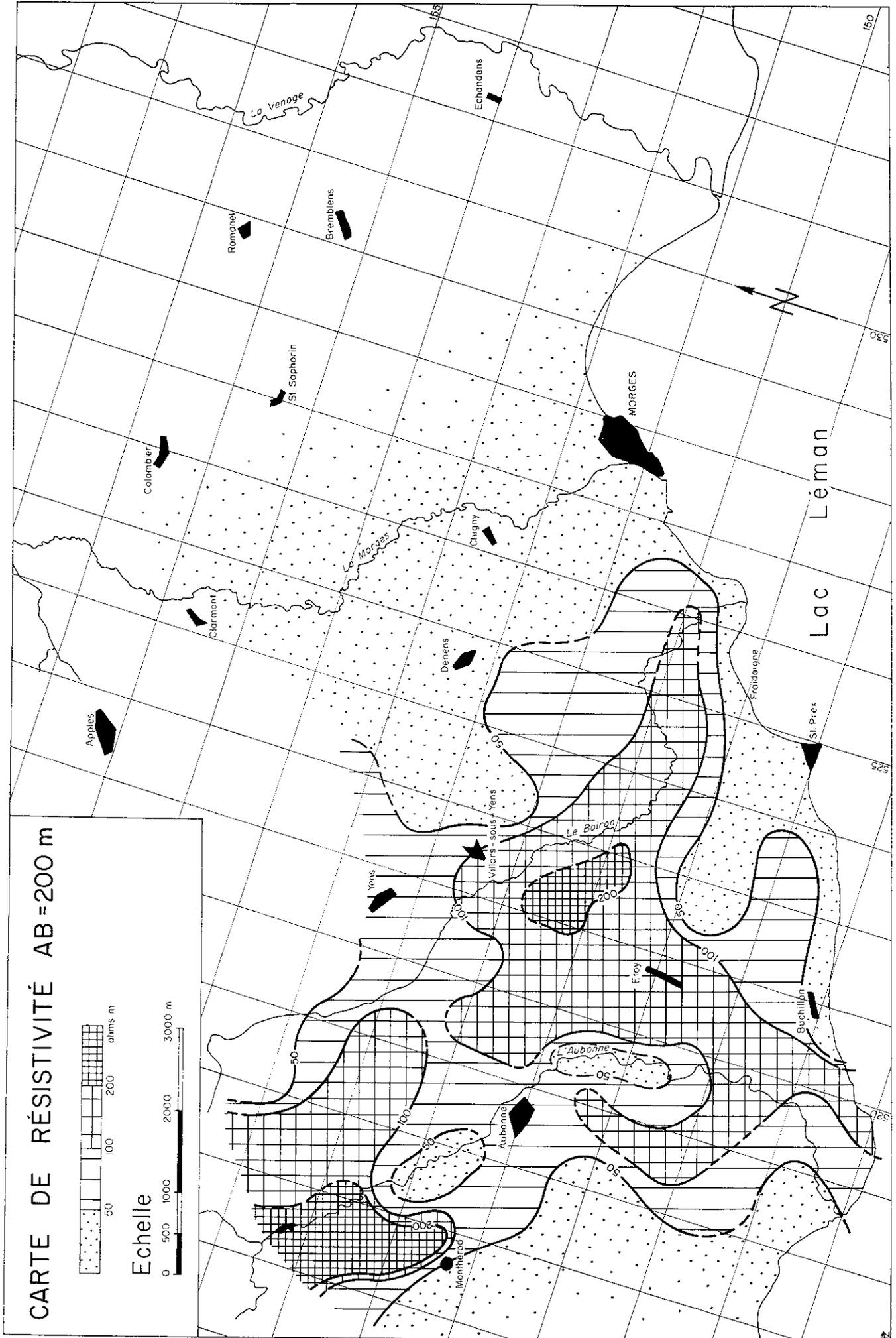


fig. 20

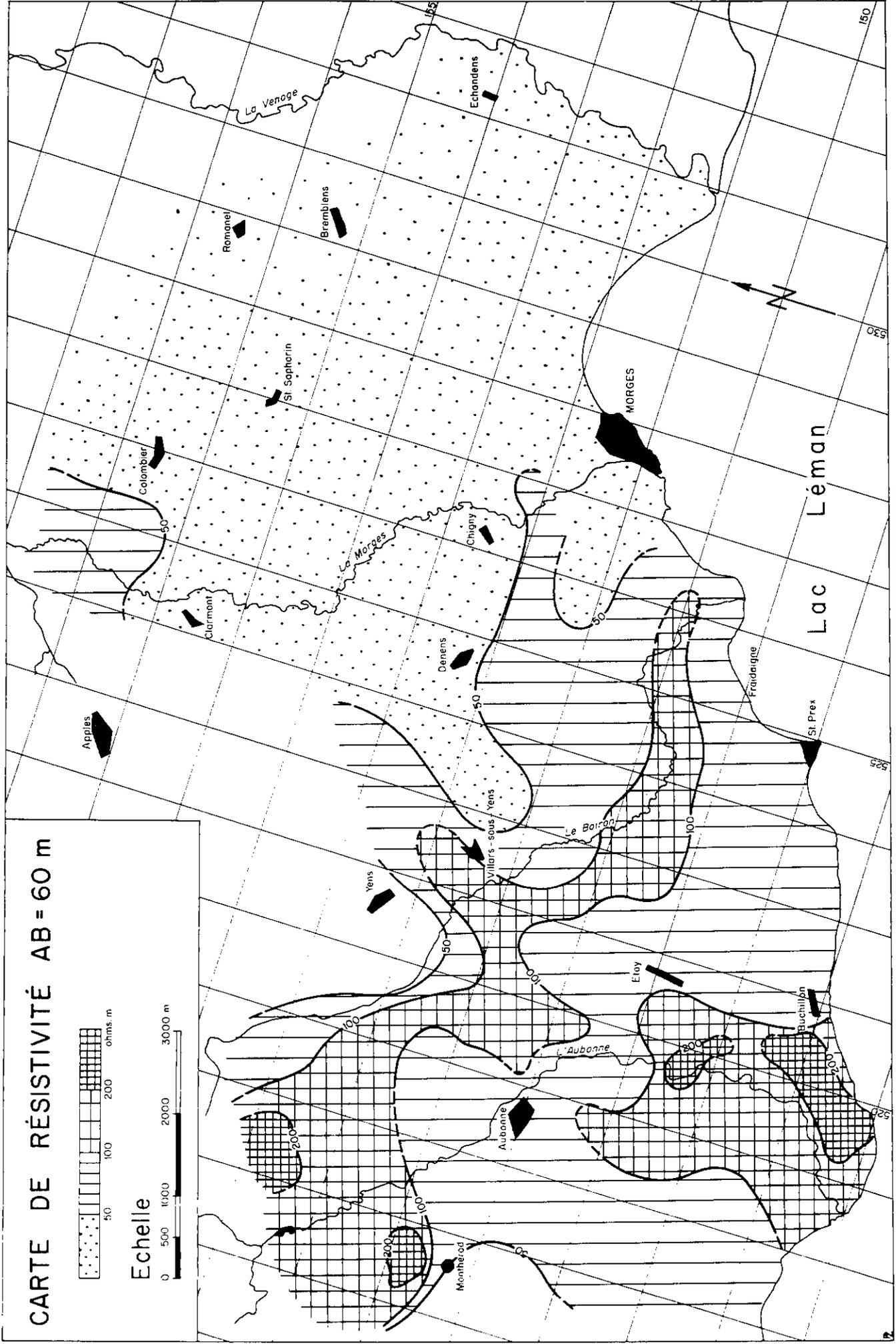


fig. 21

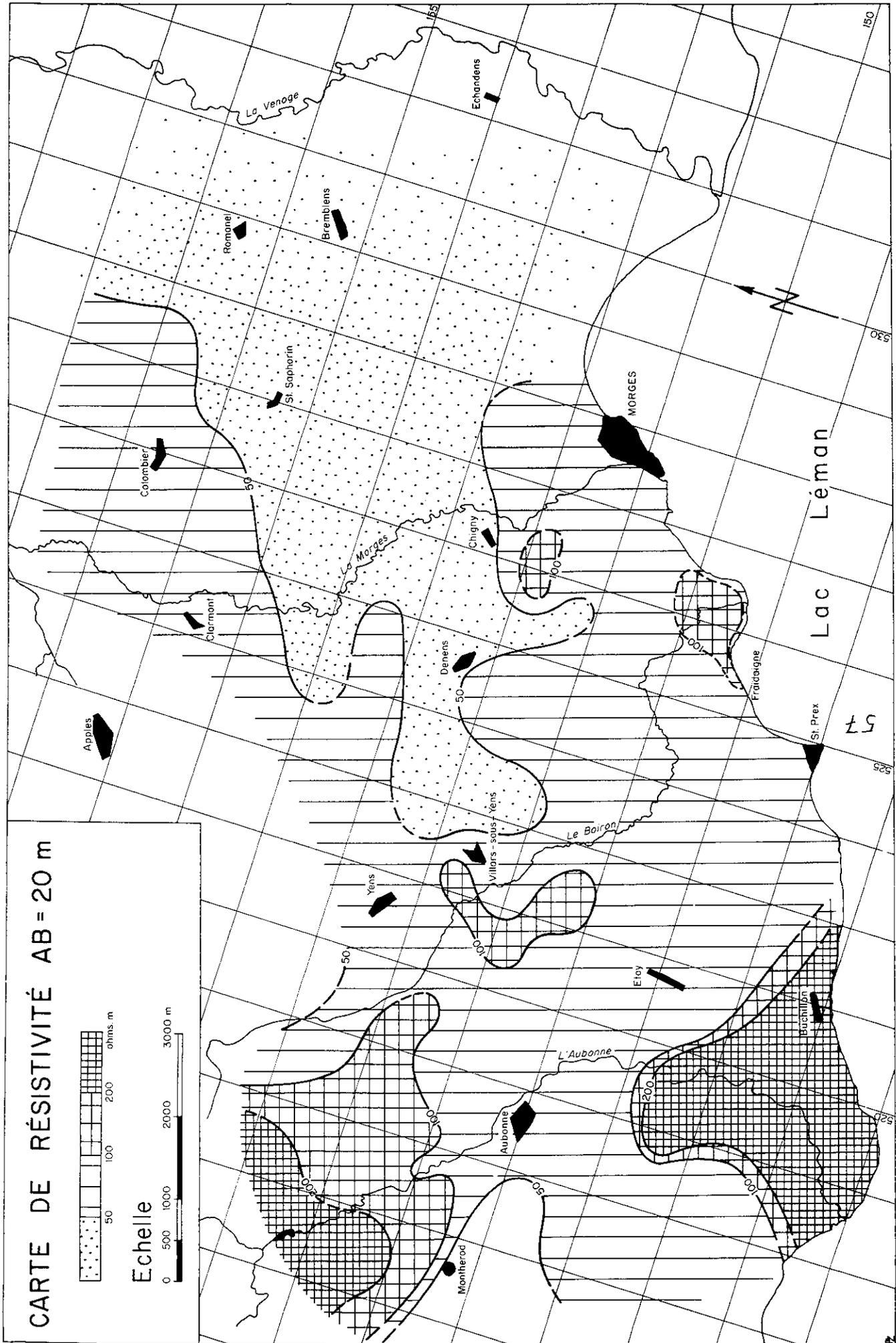


fig. 22

Est de Boiron

L'interprétation des terrains à l'est du Boiron est géophysiquement simple et l'on différencie aisément les terrains morainiques de surface ($50 < \rho < 100$) qui reposent sur la Molasse ($\rho < 50$). Les cartes de résistivité précédemment examinées traduisent ce fait et surtout la prédominance électrique du substratum molassique.

Les valeurs de résistivité apparentes de ce substratum peuvent augmenter lorsque le volume investigué englobe la base du Chattien. La figure 24 illustre ce cas: les valeurs de résistivité de profondeur du Chattien passent par un minimum puis croissent avec la profondeur et la proximité des terrains secondaires. Sur notre territoire, la zone où se manifeste cette augmentation des résistivités molassiques s'étend de Villars-sous-Yens à Bremlens. Elle se marque sur la carte AB 400 par la plage de résistivité supérieure à $50\Omega\text{m}$.

Les terrains de couverture sont formés généralement de dépôts quaternaires argileux dont l'épaisseur est faible et n'excède pas dix mètres sauf rares exceptions. La présence de quelques graviers superficiels ressort de l'analyse des sondages, mais leur très faible puissance (1 à 2 mètres) est insuffisante pour influencer notablement les valeurs des résistivités mesurées en grandes lignes. On trouve ces nappes graveleuses par place au nord et au sud de Colombier le long de la Senoge, de même qu'à l'ouest de Romanel et au nord d'Echandens. Quelques dépôts graveleux, d'une puissance comprise entre dix et vingt mètres, recouvrent directement la Molasse et montrent l'existence d'un ancien réseau de drainage. Ils sont sub-affleurants dans la région de Chigny (voir carte AB 20) ou recouverts de moraines épaisses jusqu'à dix mètres, principalement le long de la route au sud du Moulin de Cottens et au sud de Denens.

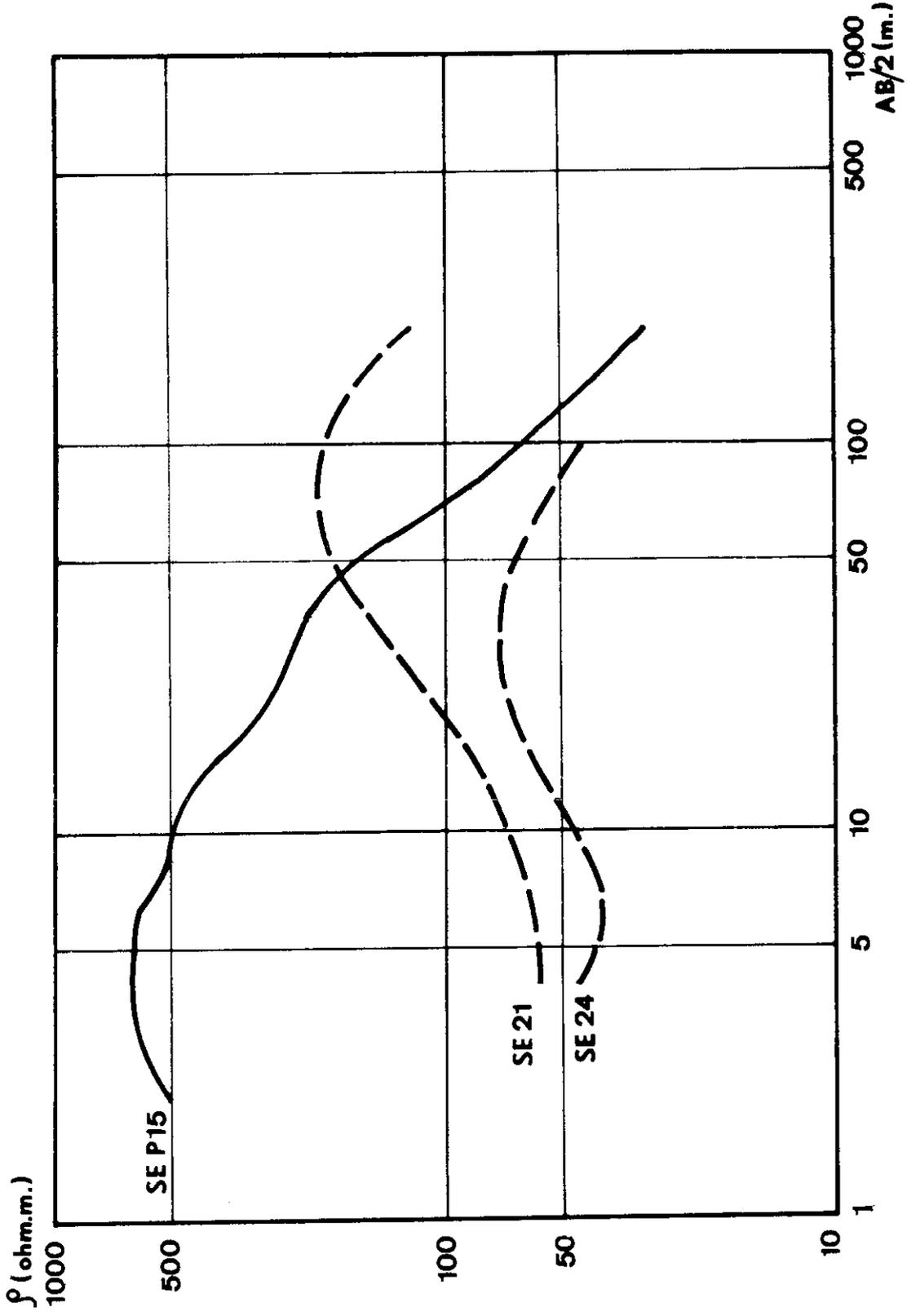
Quelques sondages illustrent les commentaires ci-dessous: (fig. 25)

Le sondage électrique SE 45 (coord. 526 520/155 020) fait apparaître 2 mètres de couverture morainique reposant sur la Molasse. Cette couverture disparaît sur le numéro SE 50 (coord. 528 520/154 680) qui signale uniquement le substratum tertiaire.

Nous remarquons, pour ces deux sondages, la remontée de la fin de courbe, caractéristique du Chattien inférieur. Enfin, le sondage SE 41 (coord. 526 120/151 850) au sud de Chigny montre la Molasse sous dix mètres de graviers.

Nous n'avons pu, lors de notre interprétation électrique, différencier, en bordure du synclinal de Clarmont, les Molasses chattiennes ($\rho < 30$) des Molasses aquitaniennes ($\rho > 50$) bien que les valeurs des paramètres généralement admises pour les caractériser soient suffisamment différentes. A cette impossibilité géophysique, nous donnons deux explications. La première réside dans la similitude des résistivités de certaines moraines et des grès aquitaniens.

Encore faut-il, et c'est la seconde explication, que les paramètres de résistivité adoptés pour définir les Molasses correspondent à la réalité de cette région. Des mesures effectuées dans le lit de la Morges avec un dispositif AB 60 nous ont donné des valeurs comprises entre 20 et 30 ohms-mètres sur les affleurements du Moulin de Clarmont et ces valeurs caractérisent habituellement les formations chattiennes.



SE P15 Etude Aubonne
 coord. 520625/148375
 côte de surface 405 m

SE 21 Etude St Prex
 coord. 524800/149600
 côte de surface 425 m

SE 4 Etude Etoy
 coord. 522600/148600
 côte de surface 430 m

fig. 23

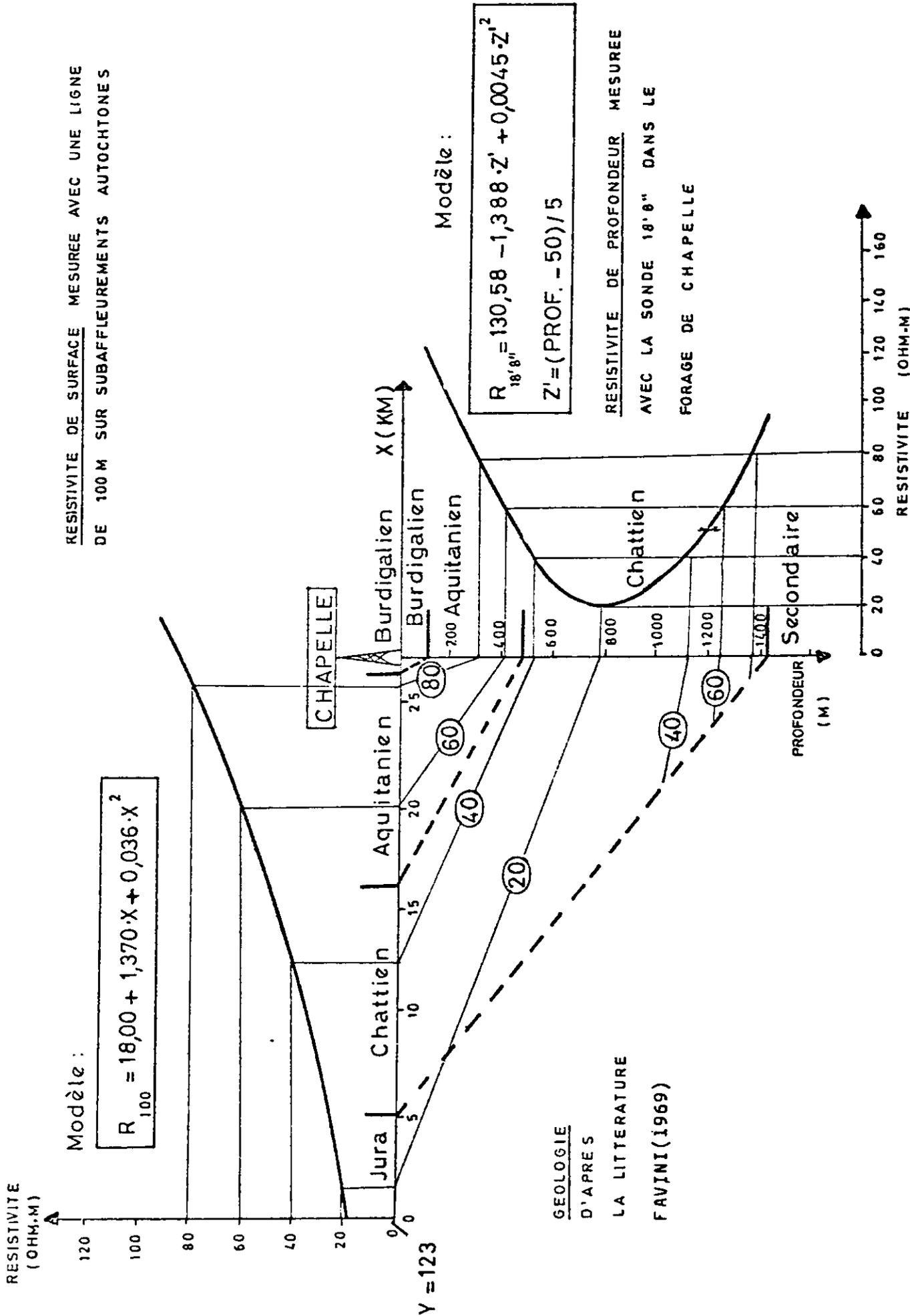
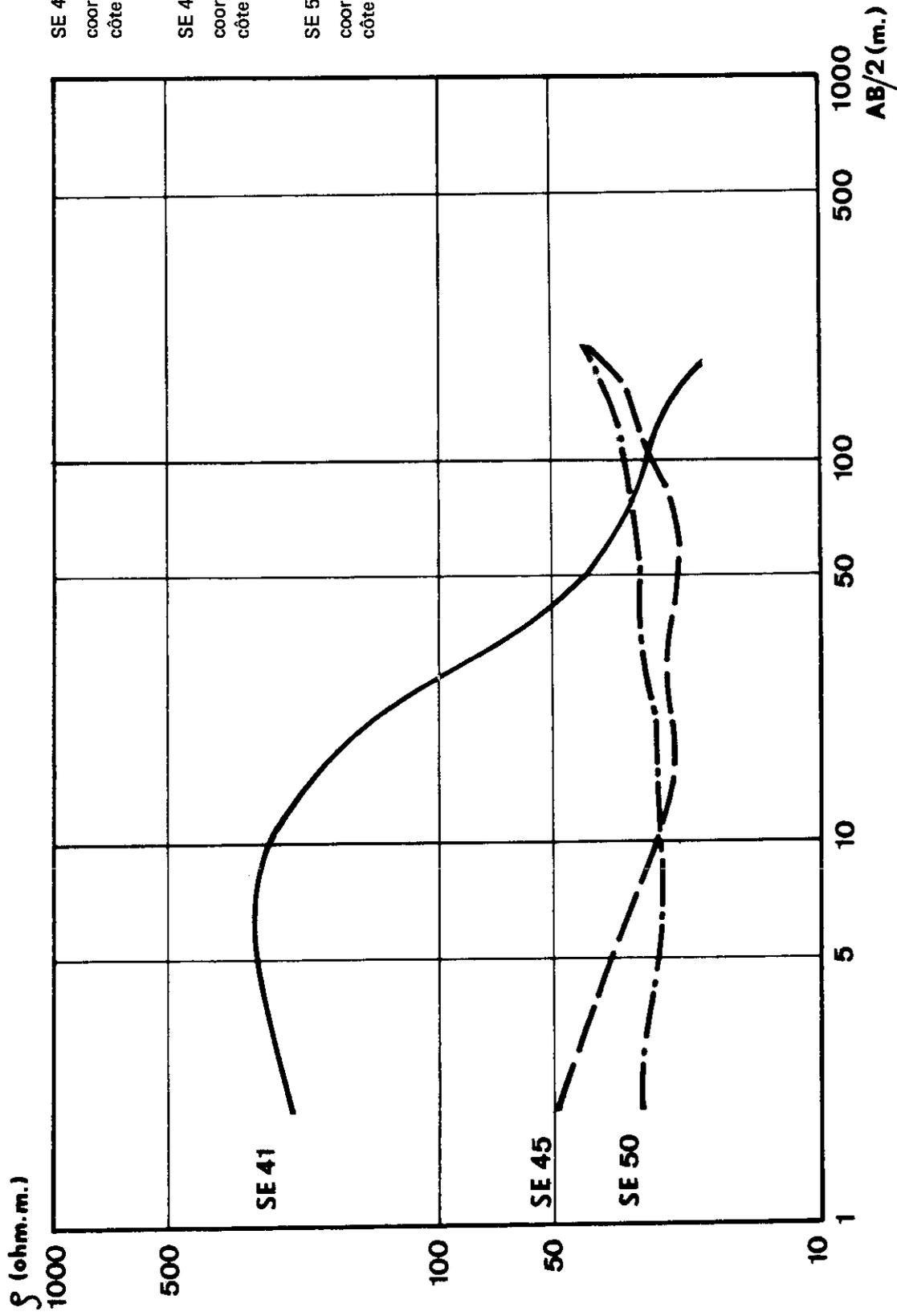


fig. 24 Géologie et résistivités de surface et de profondeur



SE 41 Etude Chigny
 coord. 526120/151850
 côte de surface 428 m

SE 45 Etude Echichens
 coord. 526520/155020
 côte de surface 518 m

SE 50 Etude Brembliens
 coord. 528520/154680
 côte de surface 462 m

fig. 25

Résumé et Conclusions

Ce travail comprend, dans un premier chapitre, un résumé des connaissances géologiques nécessaires à une interprétation des données géophysiques. Quelques hypothèses ont été faites, à la suite d'observations de surface, concernant entre autres la tectonique du plateau molassique. Puis nous avons essayé de compléter ces données obtenues sur affleurements en étudiant la répartition des masses dans le sous-sol, et leur résistivité.

Dans le chapitre II sont commentées des anomalies gravifiques qui correspondent soit à des ondulations de la surface de contact calcaire-molasse, peut-être en relation avec des mouvements du socle, soit à des entailles d'érosion dans la dite Molasse comblées de matériel quaternaire. L'interprétation de ces anomalies est purement qualitative: il ne peut en être autrement avec une densité de moins de deux points de mesures au kilomètre carré. Les sondages électriques nous ont permis toutefois d'apprécier quelques ordres de grandeur. Encore convient-il, particulièrement dans la région du pied du Jura, d'être très prudent quant à ces résultats qui ne sont pas contrôlés par des sondages mécaniques. Ils dépendent par conséquent des estimations de résistivités mesurées sur des affleurements éloignés et que l'on a adoptées pour l'ensemble de la région.

Nous avons, dans le chapitre suivant, surtout étudié les terrains de surface et délimité plusieurs domaines de résistivité déterminée, en donnant une interprétation géologique pour chacun de ces domaines. En schématisant nous pouvons dire que les zones de hautes résistivités au nord-ouest correspondent à des zones de stationnement prolongé du glacier würmien qui a ainsi pu abandonner et accumuler ses sédiments graveleux. La valeur du paramètre électrique diminue avec l'épaisseur des dépôts quaternaires qui s'amincissent vers le sud-est pour laisser apparaître la Molasse conductrice.

Si nous synthétisons les connaissances acquises au cours de ce travail, nous pouvons décrire la région étudiée de la manière suivante:

- Le soubassement secondaire se présente en larges ondulations synclinale (Clarmont) et anticlinale (St Prex-Morges) sur lesquelles se dessinent quelques plis plus accentués (pied du Jura, sud-ouest de Cossonay).

Nous supposons que la "régularité" de sa surface doit être perturbée par des failles qui marquent le passage du plateau à la première chaîne du Jura, ou encore par d'autres accidents tectoniques tels que les grands décrochements. Mais leurs empreintes géophysiques sont oblitérées par des effets superficiels ou profonds, à moins que les perturbations qu'elles occasionnent ne soient pas assez marquées pour être décelées par les méthodes employées. Ainsi en est-il du décrochement Le Pont-Mollens que l'on suit à travers le cisaillement de la structure Bière-Montricher, mais dont on perd la trace plus au sud.

- La Molasse recouvre ce substratum secondaire. Son épaisseur devient rapidement importante. De 300 mètres, déjà au sud de la gare de Montricher, elle atteint près de 650 mètres à l'ouest de St Prex, en bordure du lac, en passant par un maximum dans le synclinal de Clarmont où le toit des calcaires crétacés a été reconnu à plus de 800 mètres de profondeur.

Dans l'interprétation des mesures géophysiques, nous avons considéré uniquement les formations molassiques d'âge chattien, car elles sont bien caractérisées électriquement et elles forment un bon horizon repère. Les niveaux plus récents aquitaniens déjà reconnus géologiquement sont apparus dans quelques-uns de nos sondages, malheureusement de façon trop disséminée pour que l'on puisse les corrélérer et définir leur extension.

- Les terrains hétérogènes quaternaires et surtout glaciaires dissimulent une large part des formations antérieures. Nous nous sommes efforcés, particulièrement dans notre prospection électrique, de mettre en valeur les dépôts susceptibles d'être de bons aquifères, c'est-à-dire les graviers.

Cela nous a permis de reconstituer dans une large mesure l'hydrographie ancienne de la région. Ces graviers apparaissent en abondance au pied du Jura qui a été le siège d'une importante activité hydrologique, et dans les dépressions tertiaires, en particulier les anciennes vallées molassiques, où leur épaisseur peut atteindre plus de 150 mètres.

Les études que nous avons effectuées appartiennent au domaine de la grande reconnaissance (gravimétrie) ou du semi détail (électricité). Elles nous ont permis de délimiter certaines zones aquifères dont l'exploitation est susceptible de rendements industriels.

Parmi celles-ci, citons deux régions particulièrement favorables qui se différencient l'une de l'autre par leur mode d'alimentation.

- 1- La première se rapporte au sillon de l'Aubonne qui, par ses dimensions et ses caractéristiques, autorise tous les espoirs. En effet, il présente un substratum imperméable et une "roche" réservoir (les graviers) poreuse, perméable et très épaisse. De plus, la différence d'altitude entre les rivières actuelles de l'Aubonne et du Boiron et le fond topographique ancien interdit un drainage total de l'aquifère, puisque seulement une partie superficielle de l'eau souterraine peut s'écouler vers ces cours d'eau.

Les possibilités d'alimentation de ce sillon sont très étendues. D'une part il peut servir de réceptacle aux nappes des graviers de Ballens et de la plaine de Bière, d'autre part il reçoit, par infiltration, l'eau des rivières qui recourent son remplissage graveleux (voir carte de résistivité). Enfin le lac, pénétrant dans les dépôts deltaïques, y est une source constante d'approvisionnement.

2- Le pied du Jura est une région riche en matériaux quaternaires poreux et perméables. Mais son intérêt réside surtout dans les terrains secondaires qui, au nord-ouest de Bière en particulier, alimentent par ascensum les matériaux perméables qui les dissimulent. Des mesures électriques, faites dans les Bords de Mollens, nous donnent, pour l'eau remplissant ces dépressions, des valeurs de résistivité intermédiaires entre les résistivités propres aux eaux calcaires et celles qui caractérisent les eaux des graviers. Ce fait confirme l'origine profonde, partiellement karstique de ces eaux.

Enfin, citons quelques aquifères également intéressants, mais qui présentent cependant des possibilités moindres :

- soit parce qu'ils sont érodés et drainés (sillon de Cuarnens-Prévondavaux).
- soit parce que leur zone d'alimentation est restreinte (sillon de Dizy-Cossonay).
- soit encore parce que la puissance des couches aquifères est faible (cône lacustres fossiles entre l'Aubonne et le Boiron).

BIBLIOGRAPHIE

1. Abaques de sondages électriques. Publiées par la Compagnie Générale de Géophysique dans la revue *Geophysical Prospecting*, Vol. III, suppl. 3, sept. 1956.
2. *Aubert, D.* (1936) Les terrasses quaternaires de la vallée de l'Aubonne. *Bull. Soc. vaudoise Sc. nat.*, 59, p. 93–100.
3. *Aubert, D.* (1945) Le Jura et la tectonique d'écoulement. *Bull. Lab. Géol., Min., Géoph. et Musée géol. (Lausanne)* No 83, 20 p.
4. *Aubert, D.* (1959) Le Décrochement de Pontarlier et l'orogénèse du Jura. *Mémoires Soc. vaud. Sc. nat.*, Vol. 12, No 76, p. 93–152.
5. *Aubert, D. & Falconnier, A.* (1946) Présence de terrasses glacio-lacustres à Gimel (ct. de Vaud), *Eclogae Geol. Helv.*, Vol. 39, No 1, p. 49–53.
6. *Baltzer, A.* (1900) Beiträge zur Kenntnis des diluvialen Rhonegletschers. *Eclogae Geol. Helv.*, Vol. 6, p. 378–391.
7. *Baranov, V.* (1954) Sur une méthode analytique de calcul de l'anomalie régionale (*Geophysical Prospecting*, Vol. II, No 3).
8. *Büchi, U.P., Lemcke, K., Wiener, G., Zimdars, J.* (1965) Geologische Ergebnisse der Erdölexploration auf das Mesozoikum im Untergrund des schweizerischen Molassebeckens. *V.S.P.*, Vol. 32, No 82, p. 7–38.
9. *Collet, L.* (1955) Notice explicative de la feuille 5 Genève-Lausanne de la Carte géologique générale de la Suisse au 1/200.000e, 47 p.
10. *Custer, W.* (1928) Etude géologique au pied du Jura vaudois. *Mat. Carte géol. suisse*, livr. 59.
11. *Custer, W. et Aubert D.* (1935) Notice explicative de la feuille 300-303 Mont-la-Ville-La Sarraz-Montricher-Cossonay de l'Atlas géologique de la Suisse au 1/25.000e.
12. *Favini, G.C.* (1966) La résistivité électrique des Molasses. *Bull. Lab. Géol., Min., Géoph. et Musée géol., Lausanne*, No 162, 8 p.
13. *Favini, G.C.* (1969) Thèse (Lausanne).
14. *Flint, R.F.* (1957) *Glacial and Pleistocene Geology*. New York. John Wiley.
15. *Gagnebin, E.* (1913) Les sources boueuses de la plaine de Bière. *Bull. Soc. vaud. Sc. nat.*, 49, 1E.
16. *Gagnebin, E.* (1937) Les invasions glaciaires dans le bassin du Léman. *Bull. Soc. vaud. Sc. nat.*, Vol. 59, No 243, p. 335–415.
17. *Gilliand, P.-A.* (1970) Etude géoélectrique du Klettgau (Suisse). *Mat. pour la Géologie de la Suisse, Série Géophysique* No 12.
18. *Gonet, C.* (1965) Etude gravimétrique de la plaine du Rhône — Région St Maurice — Lac Léman. *Mat. pour la Géologie de la Suisse, Série Géophysique*, No 6, 50 p.
19. *Jayet, Ad.* (1964) Notice explicative de la feuille Coppet 1281 de l'Atlas géologique de la Suisse au 1/25.000e.
20. *Jayet, Ad.* (1966) Résumé de Géologie glaciaire régionale (Genève) G. Chappuis, 56 p.
21. *Joukowski, E.* (1928) La cimentation des graviers quaternaires — Une hypothèse de travail. *C.R. Soc. phys. et Hist. nat.*, Genève, Vol. 45, No 2, p. 86–89.
22. *Joukowski, E.* (1941) *Géologie et eaux souterraines du pays de Genève*. Imprimerie Kundig, Genève, 110 p.
23. *Keller, G.V. & Frischknecht, F.C.* (1966) *Electrical methode in Geophysical prospecting*. Oxford, Pergamon Press. Interseries of monographs in electromagnetic waves, Vol. 10, 520 p.
24. *Lasfargues, P.* (1957) *Prospection électrique par courants continus*. Manuel de prospection géophysique. Paris, Masson Ed. 290 p.
25. *Lazreg, H.* (1971) Etude géophysique, géologie et hydrologie de la région de Concise à Pompaples (vaud). *Mat. pour la Géologie de la Suisse, Série Géophysique* No 10.
26. *Lombard, A. et Paréjas, Ed.* (1965) Notice explicative de la feuille 1301 Genève de l'Atlas géologique de la Suisse au 1/25.000e.
27. *Meyer de Stadelhofen, C.* (1964) Note préliminaire au sujet de l'étude géoélectrique de la plaine du Rhône. Etude géoélectrique du cône de l'Orbe. *Bull. Lab. Géol., Min., Géoph. et Musée géol. Lausanne*, No 147, 8 p.
28. *Meyer de Stadelhofen, C.* (1965) Résistivités des Molasses du plateau vaudois. *Arch. Sciences (Genève)* Vol. 18, No 2, p. 296–304.
29. *Meyer de Stadelhofen, C. & Gonet, O.* (1964) Etude géophysique des graviers de Bioley-Orjulaz. *Mat. pour la Géologie de la Suisse*, Bull. No 33.
30. *Meyer de Stadelhofen, C. & Favini, G.C.* (1968) Exemple d'étude électrique du sous-sol lacustre. *Bull. Soc. vaud. Sc. nat.*, Vol. 70, No 327, p. 53–55.
31. *Olivier, R.* (1970) Discrétisation du relief de la Suisse romande. *Bull. Soc. vaud. sc. nat.*, Vol. 70, No 334, p. 431–442.

32. *Olivier, R.* (en préparation) Etablissement de la Bouguer, régionale et résiduelle par calculatrice électronique.
33. *Olivier, R.* (en préparation) Correction topographique à l'aide de la digitalisation du relief.
34. *Parasnis, D.S.* (1962) Principles of applied geophysics. London, Methuens monographs on geophysical subjects. 176 p.
35. *Petch, M.* (1970) Contribution à l'étude hydrogéologique de la plaine de l'Orbe. Mat. pour la Géologie de la Suisse, série géophysique No 11, 93 p.
36. *Poldini, E.* (1947) La prospection électrique du sous-sol. Librairie Rouge, Lausanne, 119 p.
37. *Poldini, E.* (1957) Etude géophysique électrique de la région de Montfleury (canton de Genève). Arch. des Sc., Vol. 10, Genève, p. 429–441.
38. *Poldini, E.* (1963) Les anomalies gravifiques du canton de Genève. Mat. pour la Géologie de la Suisse, Série géophysique, No 4, 63 p.
39. *Serruya, C.; Leenhardt, O. & Lombard, A.* (1966) Etudes géophysiques dans le lac léman; interprétation géologique. Arch. des Sc., Genève, Vol. 19, fasc. 2, p. 179–196.
40. *Vernet, J.-P.* (1956) La géologie des environs de Morges. Eclogae Geol. Helv., Vol. 49, No 1, p. 157–241.
41. *Wagner, J.J.* (1970) Elaboration d'une carte d'Anomalie de Bouguer. Mat. pour la Géologie de la Suisse, Série Géophysique No 9, 91 p.
42. *Winnock, E.* (1965) Sismique sur le Léman; résultats obtenus avec le sparker. V.S.P., Vol. 32, No 82, p. 39–48.
43. *Winnock, E.; Barthe, A. & Gottis, Ch.* (1967) Résultats des forages pétroliers français effectués dans la région voisine de la frontière suisse. V.S.P., Vol. 33, No 84, p. 7–21.

CARTES

Carte géologique générale de la Suisse au 1/200.000e, feuille 5 Genève-Lausanne (1948).

Atlas Géologique de la Suisse au 1/25.000e, feuille 300-303 Mont-la-Ville-La Sarraz-Montricher-Cossonay par *Custer, W.* et *Aubert, D.* (1935).