

MATÉRIAUX POUR LA GÉOLOGIE DE LA SUISSE

BULLETIN

No 33

**Etude Géophysique
des Gravieres de Bioley-Orjulaz**

par

CAMILLE MEYER DE STADELHOFEN

et

OLIVIER GONET

1964 — IMPRIMERIE: LEEMANN SA, ZURICH 8
EN COMMISSION CHEZ:
KÜMMERLY & FREY SA, GEOGRAPHISCHER VERLAG, BERNE

Préface de la Commission Géotechnique Suisse

Au mois de juin, MM. C. Meyer de Stadelhofen et O. Gonet présentèrent au président de la Commission leur « Etude Géophysique des Gravieres de Bioley-Orjulaz » traitant des résultats d'une étude sur l'étendue d'un gisement de gravier d'importance économique par des méthodes géophysiques. Etant donné l'intérêt actuel de cette étude, elle a été incorporée dans la série des « Bulletins ». Nous remercions vivement les auteurs de leurs recherches.

Les opinions exprimées par les auteurs et la portée des figures jointes à leur texte sont laissées à leur seule responsabilité.

Zurich, novembre 1964

Le président
de la Commission Géotechnique Suisse :

Prof. F. DE OUERVAIN

Etude Géophysique des Graviers de Bioley-Orjulaz

Par *Camille Meyer de Stadelhofen*

et

Olivier Gonet

I. Avant-propos

En 1961, les élèves du laboratoire de géophysique de l'Université de Lausanne ont réalisé une étude géoélectrique près de Bioley-Orjulaz, dans le but d'établir l'inventaire des graviers de la région.

Ces recherches furent une occasion de plus pour le professeur Edouard Poldini de prolonger dans la pratique son enseignement de géophysique appliquée. Nous le remercions d'avoir fait bénéficier nos travaux de sa grande expérience.

II. Introduction

La gravière de Bioley-Orjulaz, propriété de l'Etat de Vaud, est située à douze kilomètres seulement au nord de Lausanne. Cette situation privilégiée et les besoins de l'autoroute en ballast, expliquent en partie le développement récent de l'exploitation: l'extraction quotidienne des graviers a passé de 400 mètres cubes en 1960 à 2000 mètres cubes en 1963.

Il va sans dire qu'une telle extension entraîne des investissements importants que doivent justifier des réserves suffisantes. L'effort entrepris pour inventorier ces réserves est à l'origine d'abord d'une série d'études géologiques, ensuite des recherches géophysiques que nous exposons ci-dessous et finalement d'une campagne de sondages mécaniques qui, nous le verrons, a confirmé et précisé les résultats obtenus par la géophysique.

III. Morphologie de la région de Bioley-Orjulaz (fig. 1)

Le paysage de Bioley, tout en douces collines allongées du sud-sud-ouest au nord-nord-est, a été presque totalement façonné par le glacier rhodanien. Parallèlement aux buttes morainiques, déposées puis modelées par la glace, courent des dépressions et des hauts sculptés dans la molasse friable par le glacier alpin voici quelque 20.000 ans.

On ne voit plus rien de ce que fut le paysage avant les glaciations. Nous montrerons plus loin que les graviers de Bioley, bien qu'interglaciaires, s'insèrent probablement dans une topographie ancienne totalement oblitérée aujourd'hui.

Le divorce entre le paysage actuel et celui, antérieur aux glaciations, qui conditionna la forme des dépôts graveleux, explique probablement l'impuissance de la géologie de surface à résoudre le problème des graviers de Bioley-Orjulaz.

Depuis 1926, plusieurs géologues, tous éminents, se sont penchés sur ce problème sans y apporter de solution définitive.

L'impossibilité de deviner sous le masque glaciaire les traits du paysage ancien, a rendu indispensable l'emploi de méthodes qui permettent «de voir» sous les dépôts morainiques.

Ces méthodes existent, ce sont la prospection électrique et la prospection gravimétrique.

IV. Principes de la méthode électrique

La possibilité de distinguer électriquement, à partir de la surface, les formations géologiques existant en profondeur et de définir leur extension, vient de ce que chacune de ces formations possède une résistivité électrique caractéristique.

Nous pouvons mesurer la conductibilité (ou résistivité) électrique du sous-sol à l'aide d'un dispositif fort simple: si nous fermons un circuit électrique par la terre, au moyen de deux piquets A, B, fichés dans celle-ci, le courant s'écoule par le sol et crée, par chute ohmique, des différences de potentiel (fig. 2).

En fin de compte, pour peu que l'on connaisse l'intensité I du courant ainsi que la différence de potentiel ΔV entre deux piquets auxiliaires M et N, la résistivité du sous-sol se calcule aisément, elle est :

$$\text{Résistivité} = K \frac{\Delta V}{I}.$$

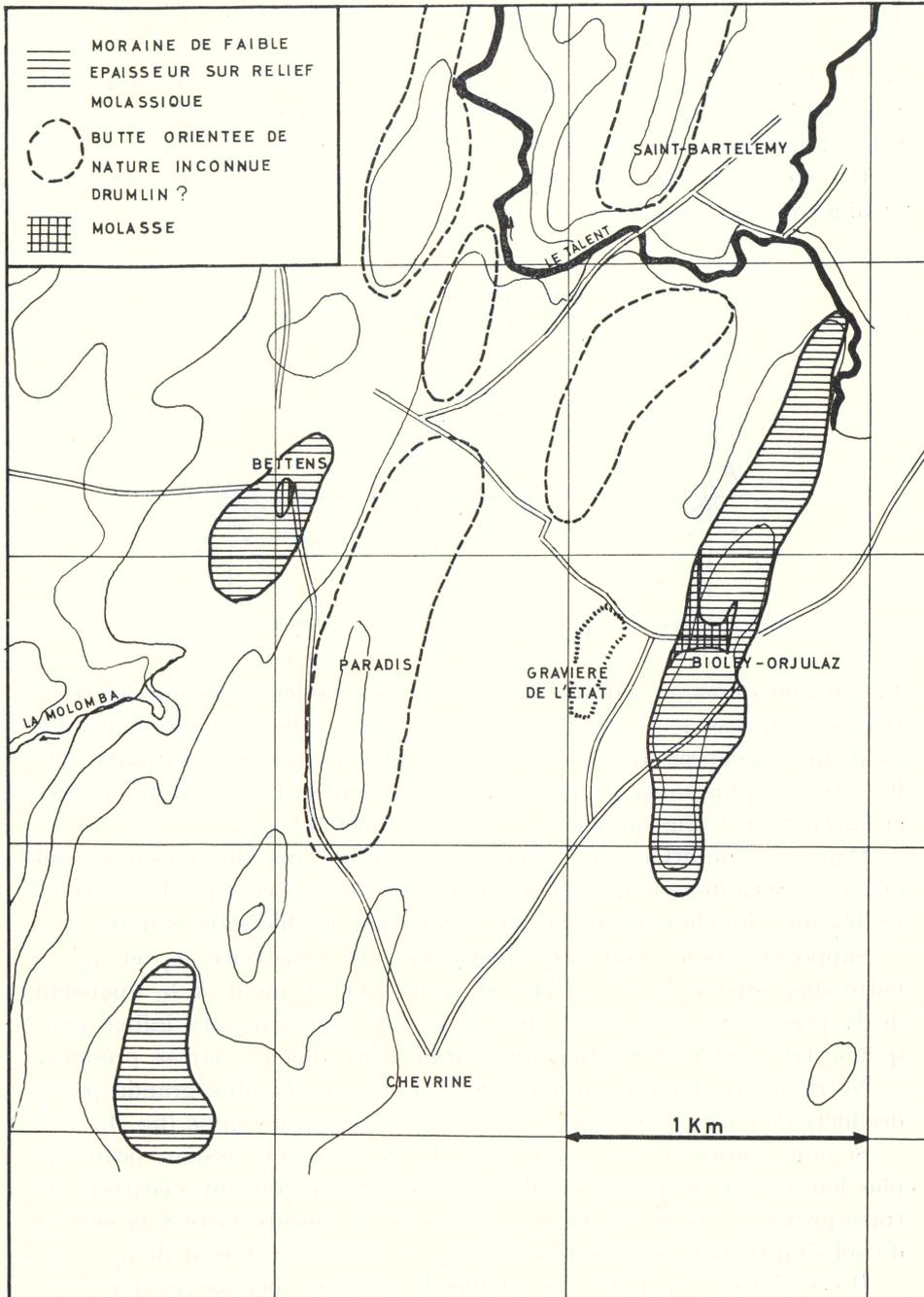


Fig. 1. Esquisse géologique d'après A. Bersier (Atlas géologique de la Suisse 1:25 000, Feuille Jorat avec Notice explicative, 1952).

K étant déterminé par les dimensions du dispositif de mesure. Cette résistivité ρ est un paramètre physique des roches qui, nous l'avons dit, peut, dans les cas favorables, suffire à les caractériser.

Par exemple, dans la région de Bioley-Orjulaz, une résistivité de 30 ohms/m. est caractéristique de la molasse; une résistivité dépassant

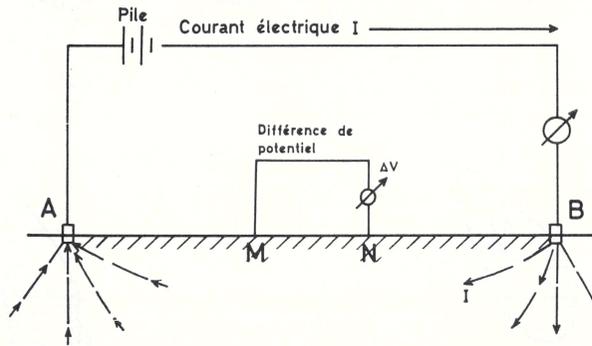


Fig. 2. Dispositif du sondage électrique (type Schlumberger).

150 ou 200 ohms/m. indique la présence de gravier alors que les résistivités comprises entre 40 et 150 ohms/m. sont celles des moraines plus ou moins argileuses. Lorsque le sous-sol est hétérogène, si en particulier il s'y trouve plusieurs couches de roches différentes, la résistivité mesurée en surface n'est plus qu'une *résistivité dite apparente* ρ_a .

Dans ces conditions, les valeurs ρ_a obtenues lors des mesures, sont des moyennes dans lesquelles se combinent, avec divers poids, les résistivités individuelles des roches traversées par les filets de courant.

Supposons deux couches superposées de résistivité ρ_1 et ρ_2 ; si notre dispositif d'émission AB est court, relativement à h , épaisseur de la première couche ρ_1 , l'effet de ρ_2 sur la mesure sera infime puisqu'une très faible proportion du courant sera affectée par sa présence.

Notre figure 4 rend sensible que dans ce cas, la plus grande partie des filets de courant se déplace comme en terrain homogène (fig. 3, 4).

Si nous supposons au contraire AB, la ligne d'émission, beaucoup plus longue que h (fig. 5), la plupart des filets de courant s'écartent du tracé prévisible pour un terrain homogène; la mesure faite à la surface du sol s'en trouve nettement affectée et ρ_a est très différent de ρ_1 .

Il est toutefois possible de calculer les valeurs successives que prendrait la résistivité apparente mesurée sur deux couches superposées de résistivité ρ_1 et ρ_2 , lorsque le rapport $\frac{AB}{h}$ va croissant (fig. 6).

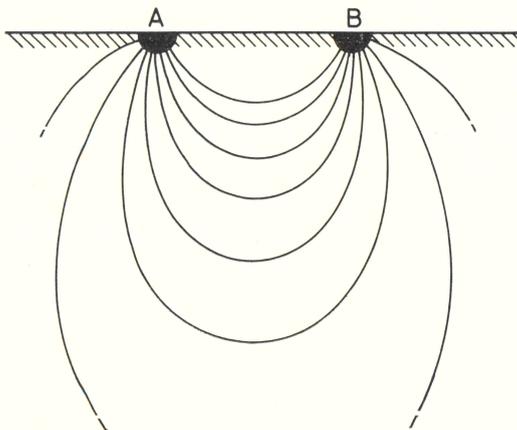


Fig. 3. Filets de courant — Terrain homogène

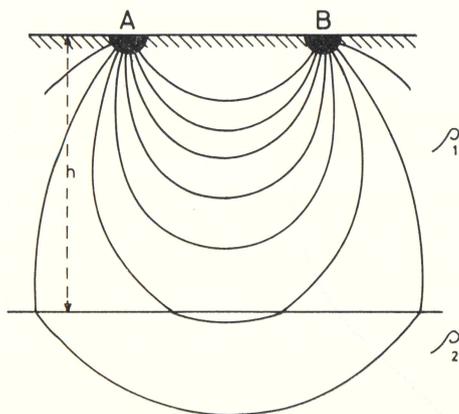


Fig. 4. Filets de courant — ρ_1 épais.

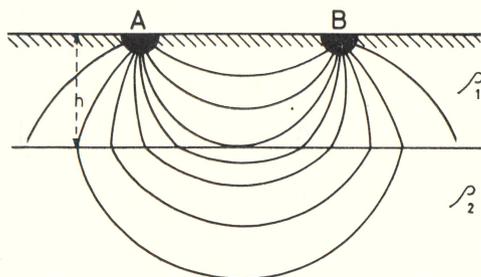


Fig. 5. Filets de courant — ρ_1 mince.

Lorsque ce rapport $\frac{AB}{h}$ passe de 0 à une grande valeur, les logarithmes des résistivités apparentes successives dessinent la courbe représentée sur la fig. 6.

(On peut calculer de même des courbes pour diverses valeurs de ρ_1 et ρ_2 et, théoriquement du moins, pour n'importe quel nombre de couches.)

De ces quelques remarques, il ressort que la profondeur d'investigation et plus généralement le volume du sous-sol touché par les mesures électriques sont fonction, entre autres choses, de la longueur de la ligne d'émission AB.

Cette relation est mise à profit dans ce qu'il est convenu d'appeler le *Sondage électrique*. En effet lors d'un sondage électrique, l'opérateur allonge progressivement AB de façon à «enfoncer» de plus en plus le courant dans le sous-sol. Ces sondages permettent, dans les cas favorables, de calculer l'épaisseur des formations rocheuses traversées successivement par le courant électrique.

Le *Trainé* est le second outil de la prospection électrique. Développé pour Marcel et Conrad Schlumberger, principalement par le professeur

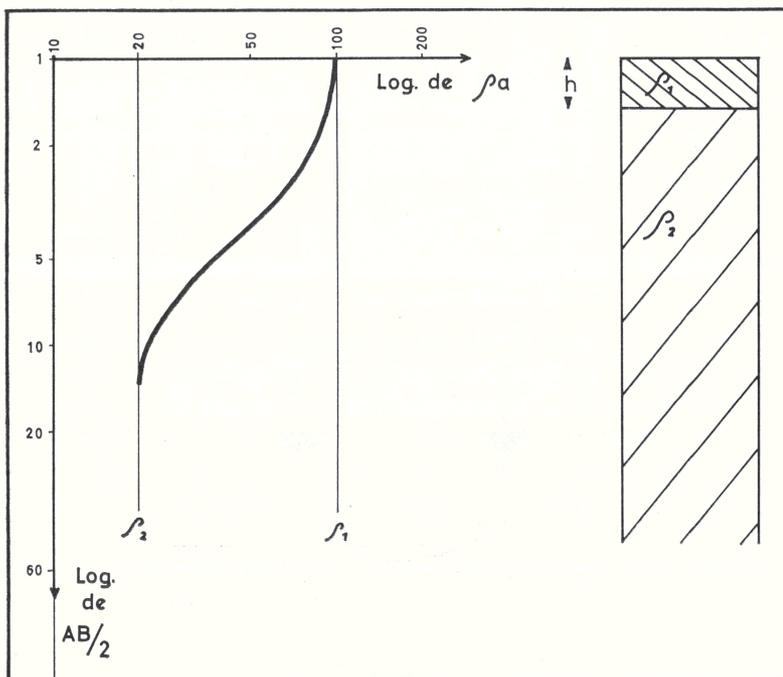


Fig. 6. Résistivités apparentes calculées pour $\rho_1 = 5 \rho_2$.

E. Poldini, le traîné s'exécute en déplaçant une ligne d'émission AB de longueur fixe. Ce procédé permet de déceler les variations latérales des résistivités dans une tranche de terrain d'épaisseur donnée et de dessiner des *Cartes de résistivité*.

Ces cartes établies grâce à des longueurs de ligne judicieusement choisies, fournissent au spécialiste qui les regarde avec discernement une sorte «d'écorché géologique».

V. Les résultats obtenus à Bioley-Orjulaz

A. Les cartes de résistivité

Nous avons réalisé trois cartes de résistivité différentes pour la région de Bioley-Orjulaz, avec des lignes d'émission AB dont les longueurs étaient respectivement :

AB = 200 m (fig. 7)

AB = 100 m (fig. 8)

AB = 40 m (fig. 9)

Ces longueurs de ligne correspondent à des profondeurs d'investigation que, pour les besoins du raisonnement, nous pouvons fixer respectivement à 100, 50 et 20 mètres.

Chacune de ces cartes de résistivité prise séparément contient quantité d'informations auxquelles nous reviendrons ultérieurement. Pour l'instant, voyons quels renseignements peut fournir la comparaison de ces trois documents.

Rappelons tout d'abord que nos trois cartes sont des cartes de résistivités apparentes. Chacune des mesures (plus de mille en tout), fournit un résultat dans lequel interviennent, en diverses proportions, les résistivités vraies des n formations géologiques sousjacentes.

Nous l'avons dit, à Bioley, ces formations sont principalement : la molasse qui constitue le soubassement et présente une résistivité de 30 ohms/m., les graviers dont la résistivité dépasse 150 ohms/m. et peut atteindre plusieurs centaines d'ohms et enfin la couverture morainique caractérisée par des résistivités allant de 50 à 150 ohms/m.

La comparaison des fig. 7, 8 et 9, et plus spécialement de la fig. 7 et de la fig. 9, conduit à deux constatations :

— Les courbes d'équirésistivité sont plus tourmentées sur la fig. 9 (AB = 40 mètres), que sur la fig. 7 (AB = 200 mètres); cela n'est guère surprenant. Les mesures de la fig. 9, beaucoup plus que celles de la fig. 7, sont sensibles aux variations locales des terrains superficiels,

puisque l'investigation des premières porte sur une profondeur et un volume relativement restreints.

— Sur la fig. 9, les plages d'égales résistivités, celles de 50 à 100 ohms/m. ou celles de 100 à 200 ohms/m. par exemple sont, dans leurs grandes lignes, orientées du nord au sud. Les mesures de la fig. 9, qui reflètent la constitution des 20 premiers mètres du sous-sol, confirment donc les observations morphologiques. Ces mesures fournissent en outre des renseignements sur les graviers proches de la surface sans cependant dévoiler le paysage préglaciaire.

Sur la fig. 7 au contraire, l'axe des plages d'égales résistivités s'oriente franchement d'est en ouest; certes il subsiste des appendices d'orientation nord-sud, mais la physionomie de l'ensemble n'a rien de commun avec ce que nous laissait deviner l'étude superficielle. Nous voyons en effet apparaître sur la fig. 7 un trait de la topographie préglaciaire de la molasse. (Comparer fig. 1 et fig. 7)

Les résistivités portées sur cette carte sont, rappelons-le, influencées par les formations situées dans les premiers 100 mètres à partir de la surface du sol. Elles dessinent une gouttière creusée dans les grès, vestige probable d'une vallée ancienne.

Cette topographie, aujourd'hui oblitérée, est particulièrement importante pour nous, car elle a, semble-t-il, conditionné la sédimentation des graviers.

L'observation de chacune de nos trois figures confirme et précise cette découverte essentielle.

Fig. 7 (AB = 200 mètres)

Pour faciliter la lecture de cette figure, comme d'ailleurs celle des fig. 8 et 9, on peut utiliser un procédé qui, pour être quelque peu simpliste, n'en est pas moins utile.

Dans la région de Bioley, la moraine, dont la résistivité varie le plus souvent entre 50 et 100 ohms/m., recouvre presque tout; elle repose soit sur la molasse (30 ohms/m.), soit sur des graviers (plusieurs centaines d'ohms/m.). On peut donc admettre que les résistivités apparentes inférieures à 50 ohms/m. sont le plus souvent associées aux molasses faiblement recouvertes de moraine. Les résistivités supérieures à 100 ohms/m. suggèrent la présence de graviers sous la moraine.

Ces simplifications admises, notre fig. 7 se lit de la façon suivante: Partout où la résistivité dépasse 100 ohms/m., les graviers remplissent une dépression d'axe est-ouest creusée dans les terrains molassiques. Ces derniers sont subaffleurants là où la résistivité n'atteint pas 50 ohms/m.

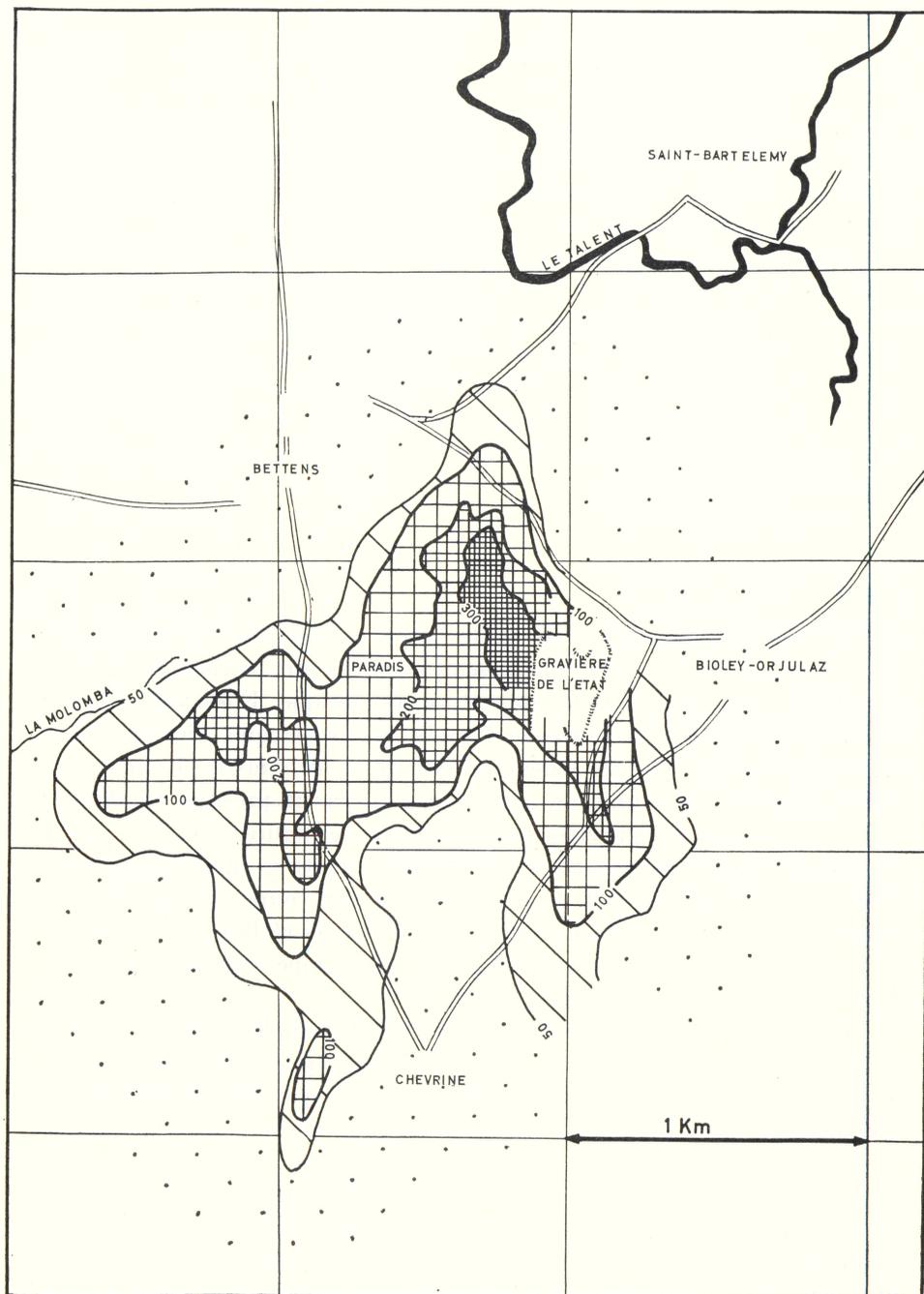


Fig. 7. Carte de résistivité. AB = 200 mètres.

Fig. 8 (AB = 100 mètres)

La fig. 8 nous fournit des renseignements assez semblables à ceux de la fig. 7. Ici cependant, les structures orientées du nord au sud commencent à prendre le pas sur celles d'orientation est-ouest, car l'influence des terrains glaciaires devient prépondérante.

D'autre part la diminution presque générale des résistivités apparentes lorsqu'on passe de la fig. 7 à la 8, montre que les terrains conducteurs de surface influent davantage sur les résistivités apparentes que les conducteurs de profondeur. En d'autres mots, même pour l'étude qui porte sur une tranche de 100 mètres (AB = 200), la moraine superficielle et les graviers sont plus importants, électriquement parlant, que la molasse du soubassement. C'est dire que cette moraine et ces graviers sont fort épais.

Fig. 9 (AB = 40 mètres)

Les mesures reproduites sur cette figure portent sur une tranche de 20 mètres, elles sont particulièrement sensibles aux variations d'épaisseur et de constitution de la couverture morainique. Elles font ressortir en particulier la longue butte du Paradis qui se marque, bien que constituée de moraine, par des valeurs inférieures à 50 ohms/m. Remarquons que l'influence électrique de cette butte disparaît presque totalement au profit de celle des graviers sousjacents sur les figures 7 et 8.

La somme des informations fournies par ces trois figures permet de dessiner une carte du toit de la molasse et une coupe géologique sommaires où manqueraient les cotes et les épaisseurs réelles.

Essayons de tracer une telle coupe géologique des sources de la Molomba au village de Bioley-Orjulaz.

Nous avons vu que, moyennant certaines simplifications, on peut considérer provisoirement que les résistivités apparentes inférieures à 50 ohms/m. indiquent la molasse toute proche, que celles supérieures à 100 ohms/m. nous assurent de la présence de graviers sous la couverture morainique.

En combinant les profils de résistivité A, B et C obtenus respectivement pour les tranches de 20, 50 et 100 mètres d'épaisseur, il nous est facile de dessiner la coupe géologique sommaire D. Cette coupe obtenue uniquement à l'aide des cartes de résistivité, manque de cotes dans le plan vertical. Pour fixer ces cotes, pour définir l'épaisseur des formations du sous-sol, il faut passer aux sondages électriques.

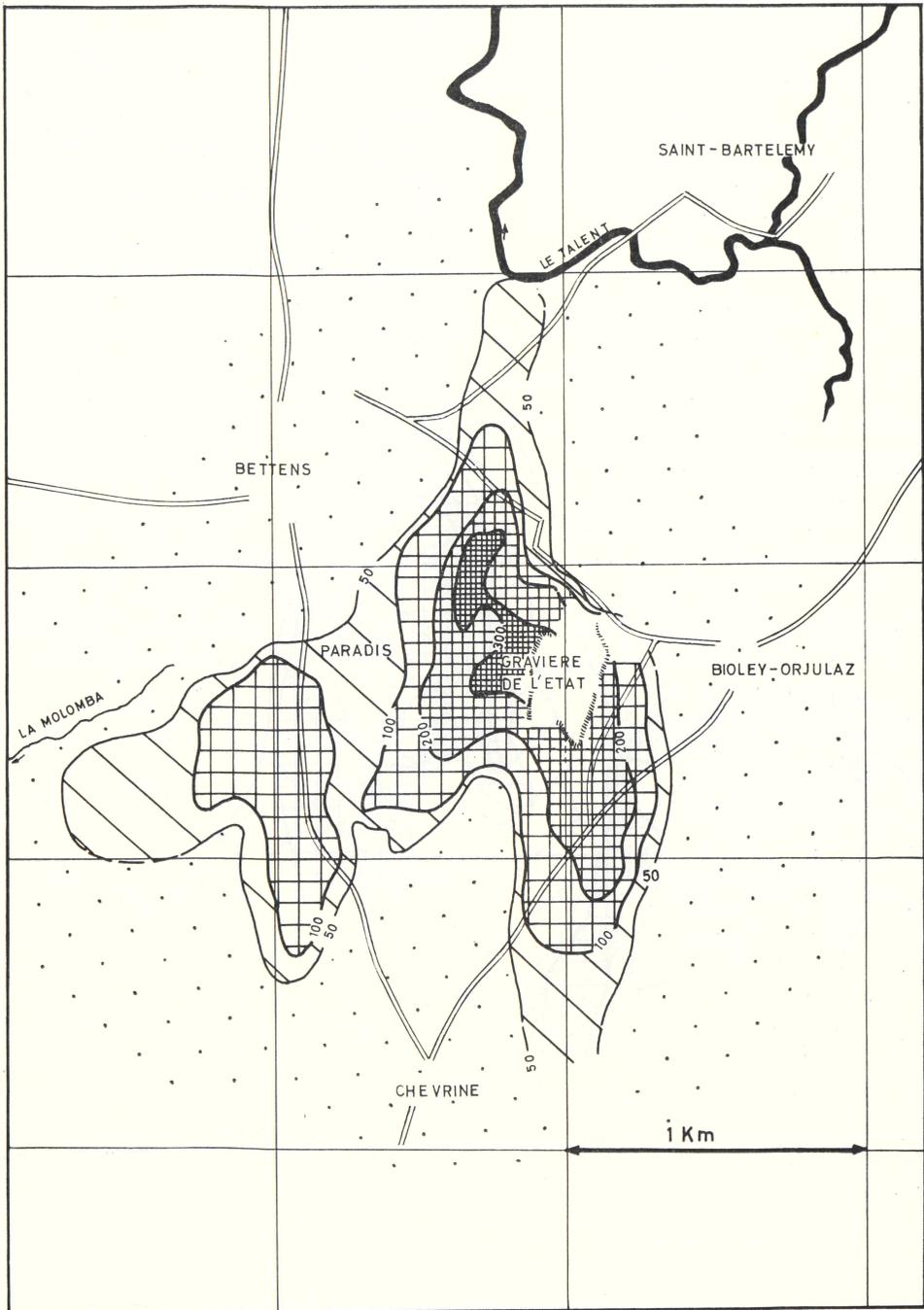


Fig. 8. Carte de résistivité. AB = 100 mètres.

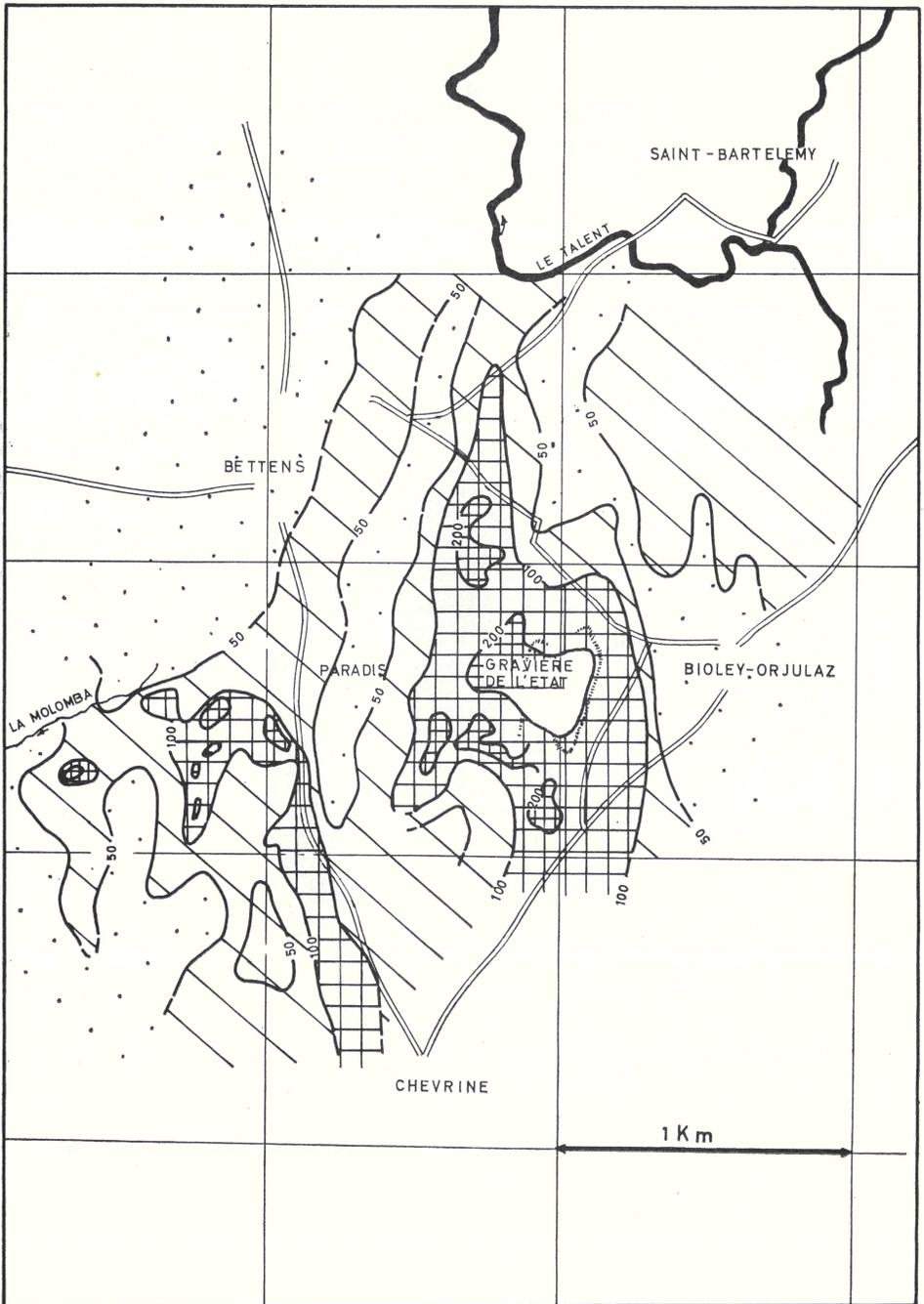


Fig. 9. Carte de résistivité. AB = 40 mètres.

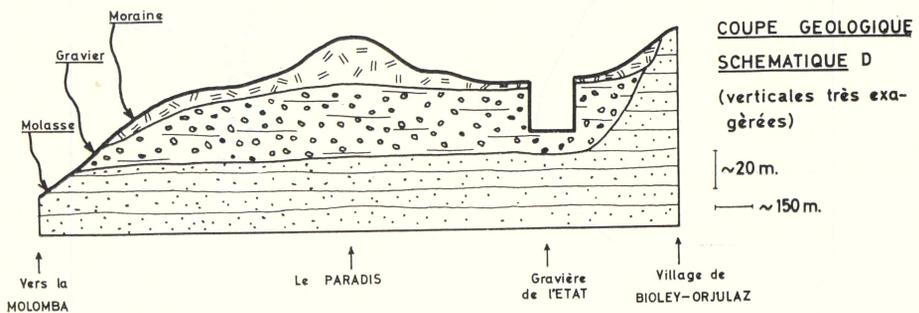
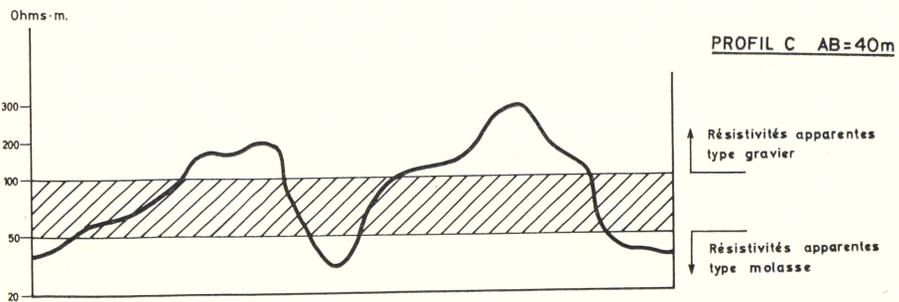
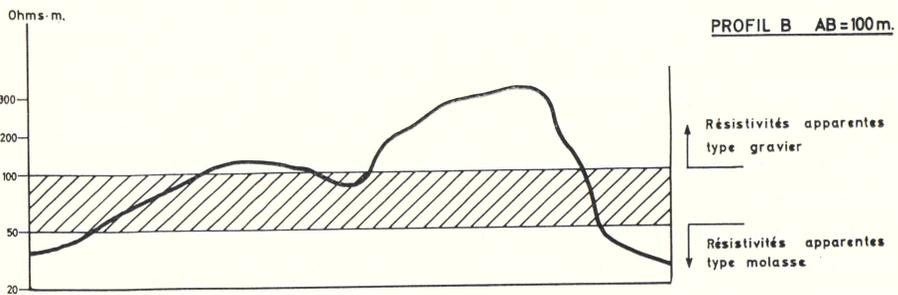
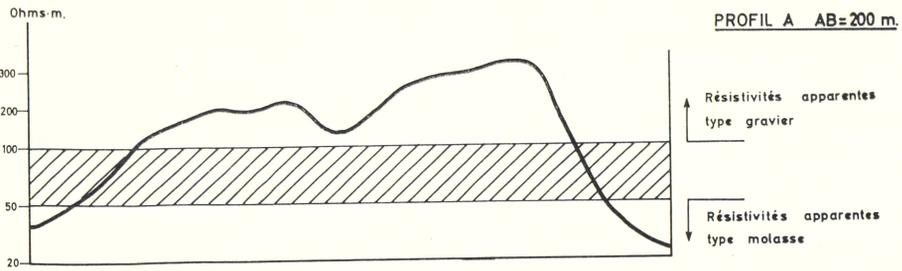


Fig. 10. Profils de résistivité et coupe géologique.

B. Les sondages électriques

Les 15 sondages électriques effectués à Bioley sont venus confirmer et préciser les résultats fournis par les cartes de résistivité. Ils ont permis de définir l'épaisseur de la couverture morainique ainsi que celle des graviers.

La fig. 11 reproduit à titre d'exemple un sondage situé au sud du Paradis ainsi que son interprétation.

En trait plein, sont représentées les valeurs successives de la résistivité apparente. Elles sont mesurées en un point de la surface lorsque la ligne d'émission AB s'allonge.

En tirets figure l'interprétation du sondage avec en ordonnée les épaisseurs et en abscisse les résistivités vraies des formations géologiques successives.

De cette interprétation, il ressort que les graviers de résistivité 400 ohms sont épais de 40 mètres, qu'ils reposent sur la molasse à 30 ohms/m. et sont surmontés de 20 mètres de moraine présentant une résistivité de 50 ohms/m.

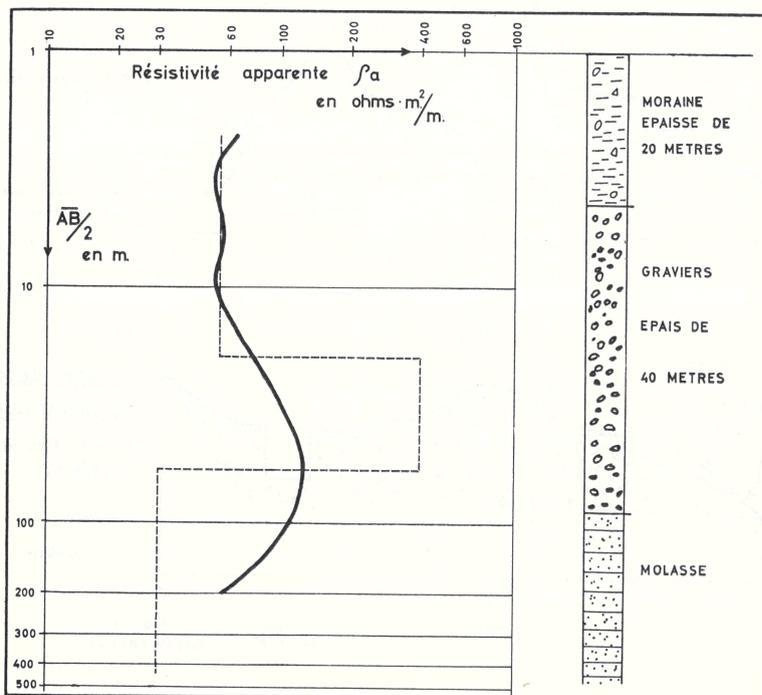


Fig. 11. Sondage électrique au sud du «Paradis».

VI. Les résultats de la campagne géoélectrique

L'étude géoélectrique de la région de Bioley-Orjulaz nous a finalement permis de reconnaître rapidement plus de 10 millions de mètres cubes de graviers cachés sous des moraines d'épaisseurs diverses. Ce premier résultat a été confirmé par les sondages mécaniques.

La carte du toit de la molasse, fig. 12, dessinée grâce aux renseignements fournis par ces sondages, montre une nette analogie avec nos fig. 7 et 8; elle confirme l'existence d'une dépression, dont l'axe est perpendiculaire à ceux de la morphologie postglaciaire.

La prospection électrique a donc ici atteint à merveille les buts qui lui étaient assignés. Elle a permis d'une part de multiplier par 20 ou 30 les réserves de graviers connues, elle a d'autre part apporté des informations précieuses pour la compréhension de la géologie de la région de Bioley-Orjulaz et plus généralement pour celle des dépôts interglaciaires.

L'étude géoélectrique une fois terminée, nous avons tenté, dans la même région, une prospection gravimétrique. Il s'agissait d'une part de tester l'efficacité de la gravimétrie dans un domaine où elle a été fort peu employée et d'autre part de comparer les résultats des deux méthodes.

VII. La méthode gravimétrique

Introduction

L'intensité de l'attraction d'un corps sur un autre est fonction de son volume, de sa densité, et de l'inverse du carré de la distance qui le sépare de l'autre corps (Newton).

La méthode gravimétrique consiste à mesurer en divers points les variations de l'attraction terrestre à l'aide d'un «gravimètre», et d'en déduire la répartition des densités en profondeur.

Par rapport aux grès molassiques, les matériaux meubles du quaternaire ont une faible densité. Plus précisément la densité du glaciaire de Bioley-Orjulaz varie entre 1,9 et 2,1 (suivant le degré d'humidité, la teneur en argiles, et l'état variable de compaction de la masse), alors que la densité des grès de la molasse, mesurée dans les voisinages, est de 2,4.

Notre propos a donc été de mesurer les variations du champ gravifique dans la région: de mettre en évidence l'influence qu'il subit de

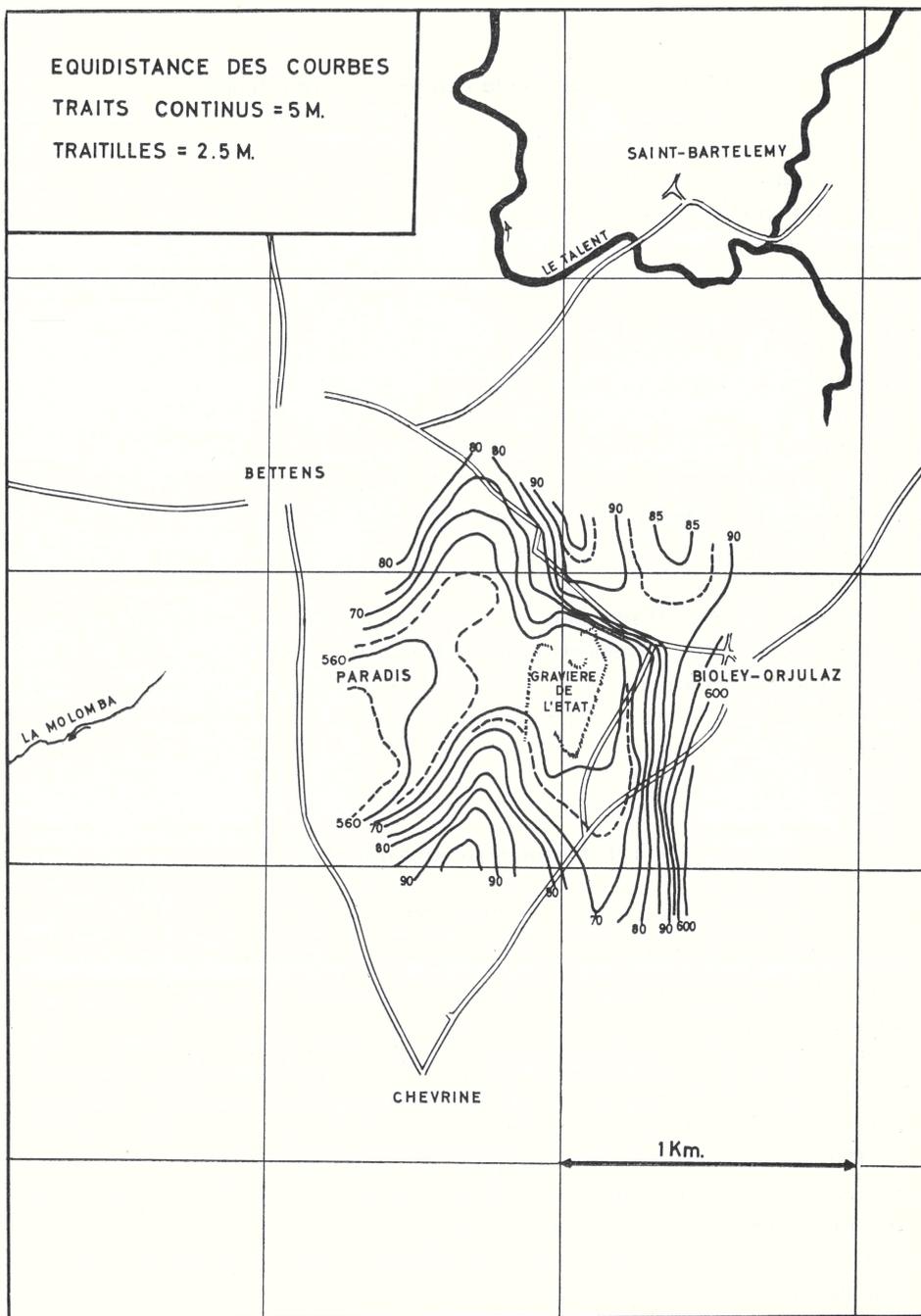


Fig. 12. Carte du toit de la molasse, dessinée par MM. Marcel Burri et Marc Weidman, d'après les résultats des sondages mécaniques, dernier stade de la prospection.

la part du quaternaire léger et d'en déduire l'épaisseur des matériaux meubles.

Pour cela, nous avons utilisé un gravimètre de type «Worden». La précision théorique de cet appareil est d'un centième de milligal. Afin d'illustrer ce chiffre, rappelons qu'à la surface du globe, l'intensité du champ d'attraction est à peu près égal à 980 gals. Autrement dit, cet appareil est capable de déceler une variation de la pesanteur dix millions de fois plus petite que l'intensité normale du phénomène.

On verra que le contraste de densité des matériaux présents dans cette région, provoque des variations de la pesanteur suffisamment importantes pour être perçues par un tel gravimètre.

Corrections à apporter aux mesures brutes

Un appareil doué d'une si grande précision est influencé par plusieurs effets de nature non géologique. Pour que la carte sur laquelle on reportera les mesures brutes, devienne un ensemble intelligible et représentatif des seules hétérogénéités de densité du sous-sol, il faut éliminer par le calcul toutes les composantes de g d'origine non géologique.

Elles sont essentiellement au nombre de trois :

1. Les variations de latitude.
2. Les irrégularités topographiques au voisinage de chaque station.
3. Les variations d'altitude entre les stations.

Les variations de latitude

Du fait de la sphéricité imparfaite du globe terrestre, et du fait de la force centrifuge créée par le mouvement de rotation qui l'anime, l'intensité du phénomène de la pesanteur varie avec la latitude.

Pour se débarrasser de cet effet parasite, qui n'a rien à voir avec les hétérogénéités locales du sous-sol, on utilise la formule approximative de correction établie par Helmert : g théorique = $978,049 (1 + 0,005288 \cdot \sin^2 \alpha - 0,0000059 \sin^2 2 \alpha)$ α = latitude.

La précision du gravimètre est telle, qu'il perçoit un déplacement de 20 mètres environ dans le sens latitude.

Les irrégularités topographiques avoisinant les stations

Du point de vue gravimétrique, les reliefs ou les dépressions de la topographie avoisinant les stations constituent des masses en excès ou en défaut par rapport à une surface idéalement horizontale, passant par la station de mesure :

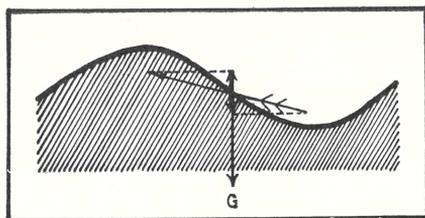


Fig. 13.

On dispose, pour éliminer par le calcul leur effet parasite, de la méthode de «Hayford».

Elle consiste :

1. à découper le paysage entourant chaque station en secteurs limités par des cercles concentriques et des rayons.
2. à calculer séparément la composante verticale de la force engendrée par chacun de ces secteurs.
3. à faire la somme de ces composantes et de la soustraire du champ mesuré.

Les variations d'altitude entre les stations

L'intensité de la pesanteur à l'altitude h est d'autant plus petite que ce h est grand.

D'un autre point de vue, cette intensité de l'attraction terrestre est d'autant plus grande que la densité du sous-sol est forte ; ces deux réalités physiques jouent de concert. Il faut donc les supprimer. Pour cela, on calcule le champ gravifique que l'on aurait mesuré si toutes les stations s'étaient trouvées à une même altitude arbitrairement choisie. C'est la correction totale d'altitude de «Bouguer».

$$\Delta \text{ alt } g = (-0,3086 + 0,04185 d) h$$

où d est la densité de la couche d'épaisseur h .

Adaptation de la technique gravimétrique au problème posé

La technique de prospection du gravier, telle qu'elle se présente sur le plateau molassique, constitue une simplification remarquable des problèmes généralement posés à la gravimétrie. Il est en effet assez rare de rencontrer dans la pratique de cette méthode un problème géologique aussi bien délimité et aussi clairement posé :

- Une seule discontinuité de densité séparant deux terrains bien connus.
- Un fort contraste de densité.
- Un terrain supérieur, le quaternaire, relativement peu épais, déterminant donc une surface de discontinuité peu profonde.

Appliquée dans de telles conditions, la méthode gravimétrique devient d'un usage très facile et très efficace.

Il ne s'agit plus que de comparer un champ théorique tel qu'il apparaîtrait si le sous-sol n'était constitué que de molasse, avec le champ réellement mesuré. La différence entre ces deux champs définit ce que l'on appelle une « anomalie gravimétrique ».

Les résultats, ainsi obtenus, sont reportés sur une carte topographique. Chaque station y est représentée par un point et par un chiffre, celui de l'anomalie mesurée et nettoyée des effets de nature non géologique.

A partir de cet ensemble de renseignements, on trace sur la carte les courbes d'isoanomalies, c'est-à-dire les courbes le long desquelles l'anomalie a une valeur constante (fig. 14).

Interprétation qualitative de l'anomalie

Nous l'avons dit, la carte des anomalies de gravité, ou carte des courbes isoanomalies représente une addition d'anomalies. C'est la somme des effets de toutes les hétérogénéités du sous-sol. L'interprétation qualitative consiste à trier ces différents effets en fonction de leur origine.

Si en général, cette opération est des plus délicates, elle peut être réduite à sa plus simple expression dans le genre de problème qui nous occupe.

Il s'agit de soustraire de la carte des anomalies « totales » (roches profondes, molasse, quaternaire), une carte dite de l'anomalie « régionale » (roches profondes, molasse), aisément calculable et schématisant l'allure générale des variations de la gravité dans la région. Le résultat de cette soustraction sera une carte dite des « résiduelles », ne concernant plus que les anomalies provoquées par les seuls terrains meubles (quaternaires) localisés en surface.

C'est cette carte des résiduelles qui fera l'objet d'une interprétation quantitative.

Les hétérogénéités qui affectent la régionale viennent de roches sédimentaires consolidées, profondément enfouies. De plus, elles intéressent de très vastes volumes. C'est dire que la forme des anomalies qu'elles provoquent est affectée de très grands rayons de courbure variant rela-

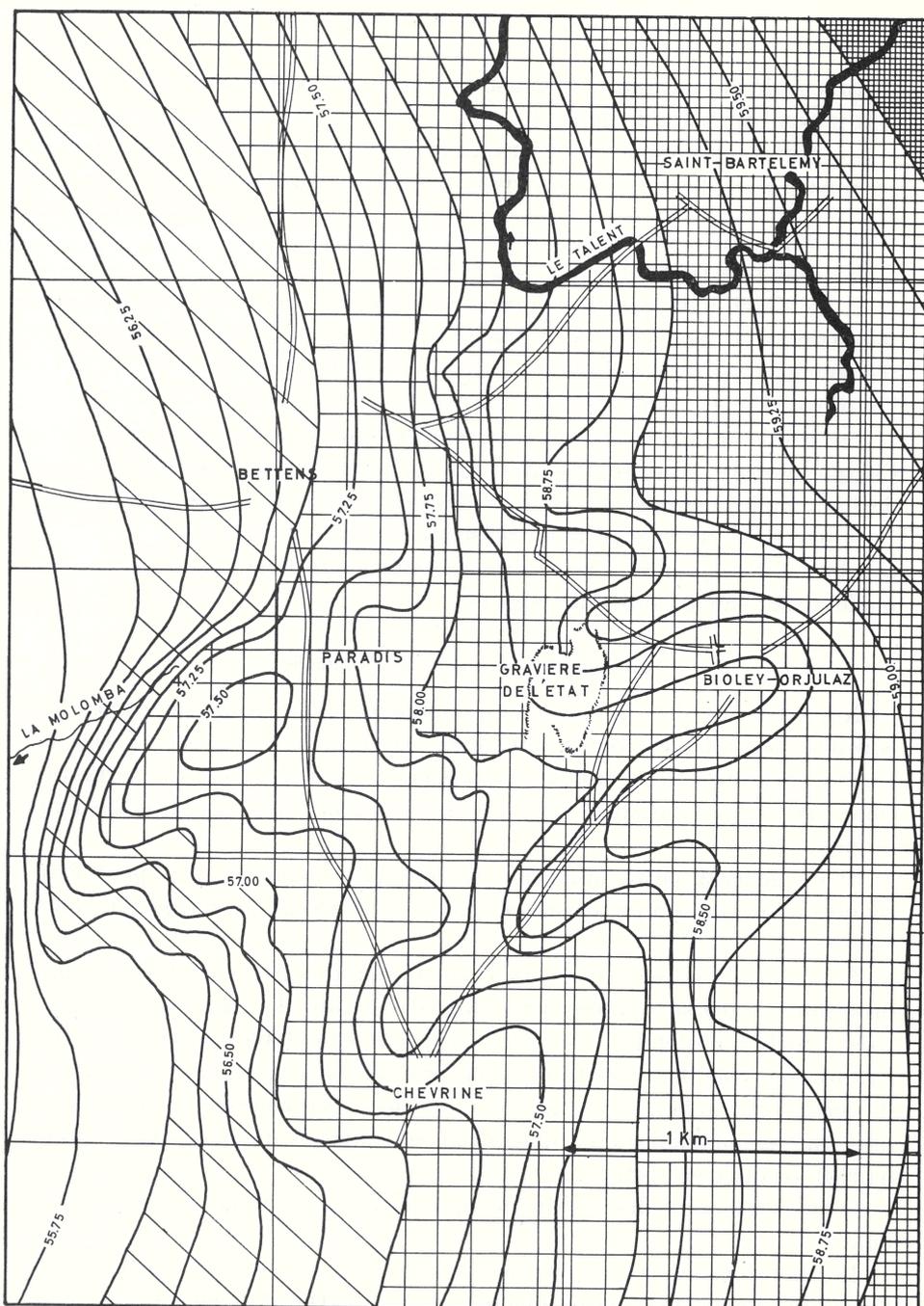


Fig. 14. Carte gravimétrique de l'anomalie totale (valeurs en milligals).

tivement peu dans un petit espace. Dans ces conditions, une dizaine de points suffisent largement pour tracer une carte d'isoanomalies. Il nous faut donc trouver sur le terrain des affleurements de molasse situés autour de la masse de matériaux meubles à étudier, et y disposer des stations de mesure en nombre suffisant. C'est à partir de ces points particuliers que l'on pourra tracer la carte des régionales.

Interprétation quantitative de l'anomalie résiduelle

Introduction

Le problème de l'interprétation quantitative est assez compliqué, car les graviers sont très fragiles aux variations imprévisibles de densité, et ceci aussi bien dans l'espace que dans le temps.

— Les graviers, comme toutes les masses meubles, sont soumis à des effets de compaction. Ces effets sont naturellement fonction de leur épaisseur et de leur composition granulométrique. Les variations de densité qui en résultent, sont très difficiles à évaluer. A la rigueur, les résultats des méthodes électriques pourront, sur ce point, préciser quelques idées.

— La teneur en argiles, qui dépend de l'origine et de la nature du dépôt, provoque également des variations de densité; surtout si ce dépôt a été soumis à des phénomènes de lessivage, donc, à une migration et à une concentration des argiles lourdes en certaines zones privilégiées. Sur ce point encore, l'électricité peut apporter de très utiles renseignements.

Le degré d'humidité variable représente certainement la cause la plus importante et la plus générale des phénomènes qui parasitent l'interprétation quantitative.

Il y a d'une part le fait que la surface supérieure de la nappe phréatique n'est pas horizontale et risque de provoquer des variations dans le plan; il y a d'autre part le fait que son niveau n'est pas constant et que l'état d'humidité des graviers sus-jacents est directement relatif aux conditions météorologiques du moment.

Toutes ces variations seront notablement atténuées si l'on choisit pour l'exécution des mesures une saison pluvieuse.

Pratique de cette interprétation

Etant donné les difficultés géologiques de cette interprétation, il importait de mettre au point une méthode approximative mais d'un usage si rapide qu'elle permît de vérifier presque immédiatement les différentes hypothèses que l'on est amené à énoncer en pareil cas.

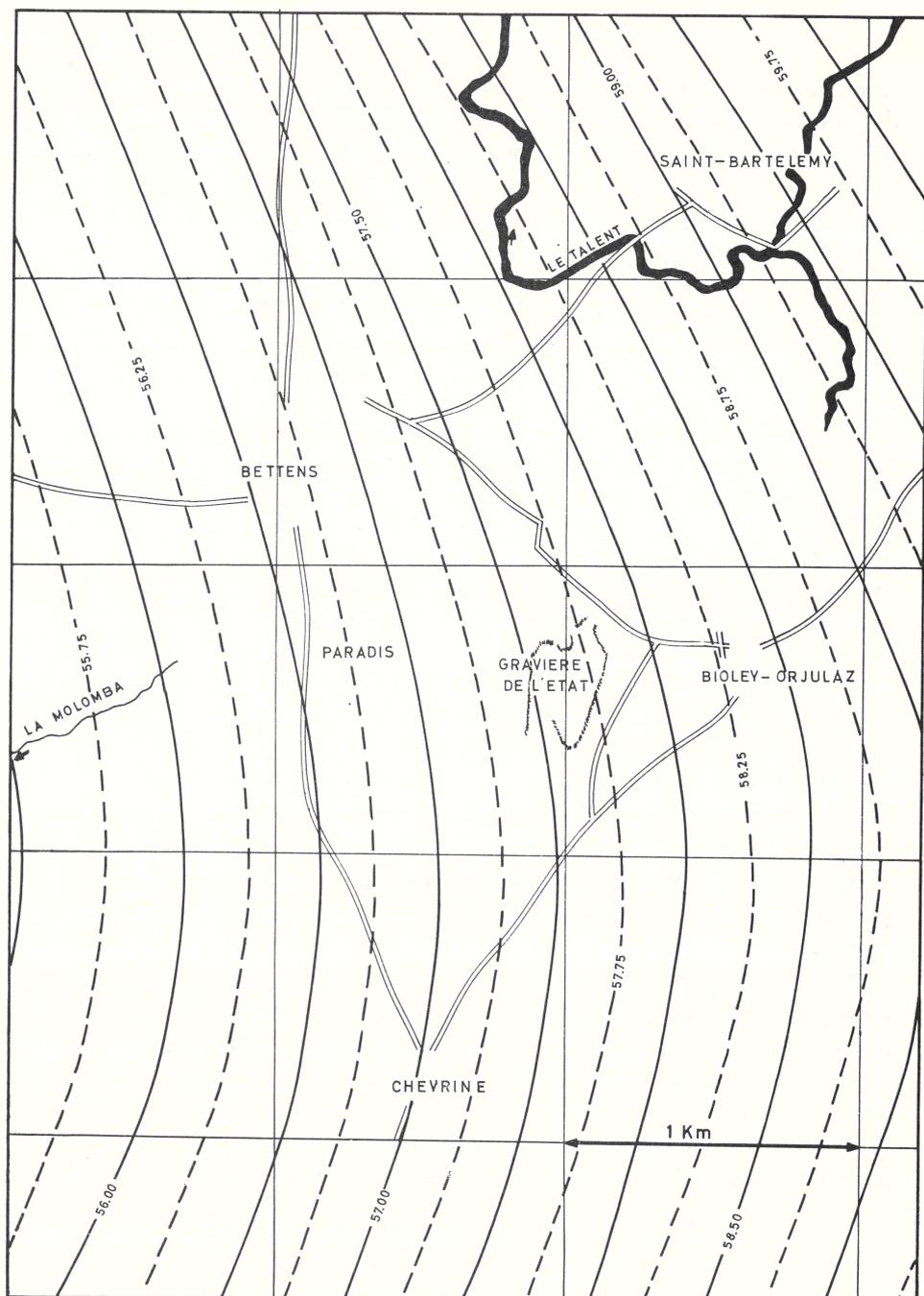
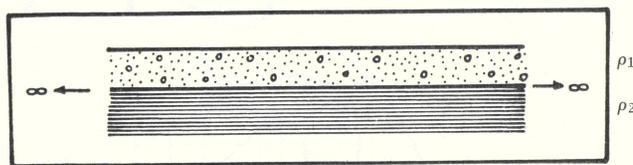


Fig. 15. Carte gravimétrique de l'anomalie régionale (valeurs en milligals).

Dans ce but, nous avons dressé un tableau adapté particulièrement au problème du quaternaire déposé sur la molasse.

Il ne correspond qu'approximativement à la réalité puisqu'il n'est exactement valable que pour une couche de terrain horizontale infiniment étendue et posée sur un substratum homogène.



ρ_1 et ρ_2 = densités. $\rho_1 - \rho_2$ = contraste de densité = ρ .

En isolant la carte des anomalies résiduelles, nous avons justement calculé l'anomalie qu'auraient provoqués les seuls graviers s'ils s'étaient déposés sur un sous-sol homogène. La seconde condition d'exactitude est donc remplie.

Grâce au tableau ci-dessous et à la carte de l'anomalie résiduelle (fig. 16), il est facile de se rendre compte que les résultats de la gravimétrie permettent de déceler un chenal dans le soubassement molassique en accord avec les données obtenues par l'électricité et les sondages mécaniques.

Epaisseur du terrain supérieur mètres	Anomalie provoquée			
	$\rho = 0,6$	$\rho = 0,5$	$\rho = 0,4$	$\rho = 0,3$
5	= 0,14	0,12	0,10	0,06
10	= 0,28	0,23	0,19	0,14
15	= 0,42	0,34	0,28	0,20
20	= 0,56	0,45	0,38	0,27
25	= 0,70	0,56	0,47	0,34
30	= 0,84	0,67	0,56	0,41
35	= 0,98	0,78	0,66	0,48
40	= 1,12	0,89	0,75	0,55
45	= 1,26	1,05	0,84	0,62
50	= 1,40	1,13	0,93	0,69
55	= 1,52	1,24	1,03	0,76
60	= 1,66	1,36	1,12	0,83
70	= 1,94	1,59	1,31	0,96
80	= 2,22	1,82	1,48	1,10
90	= 2,50	2,04	1,67	1,24
100	= 2,78	2,27	1,86	1,38

ou en arrondissant par rapport à Δg

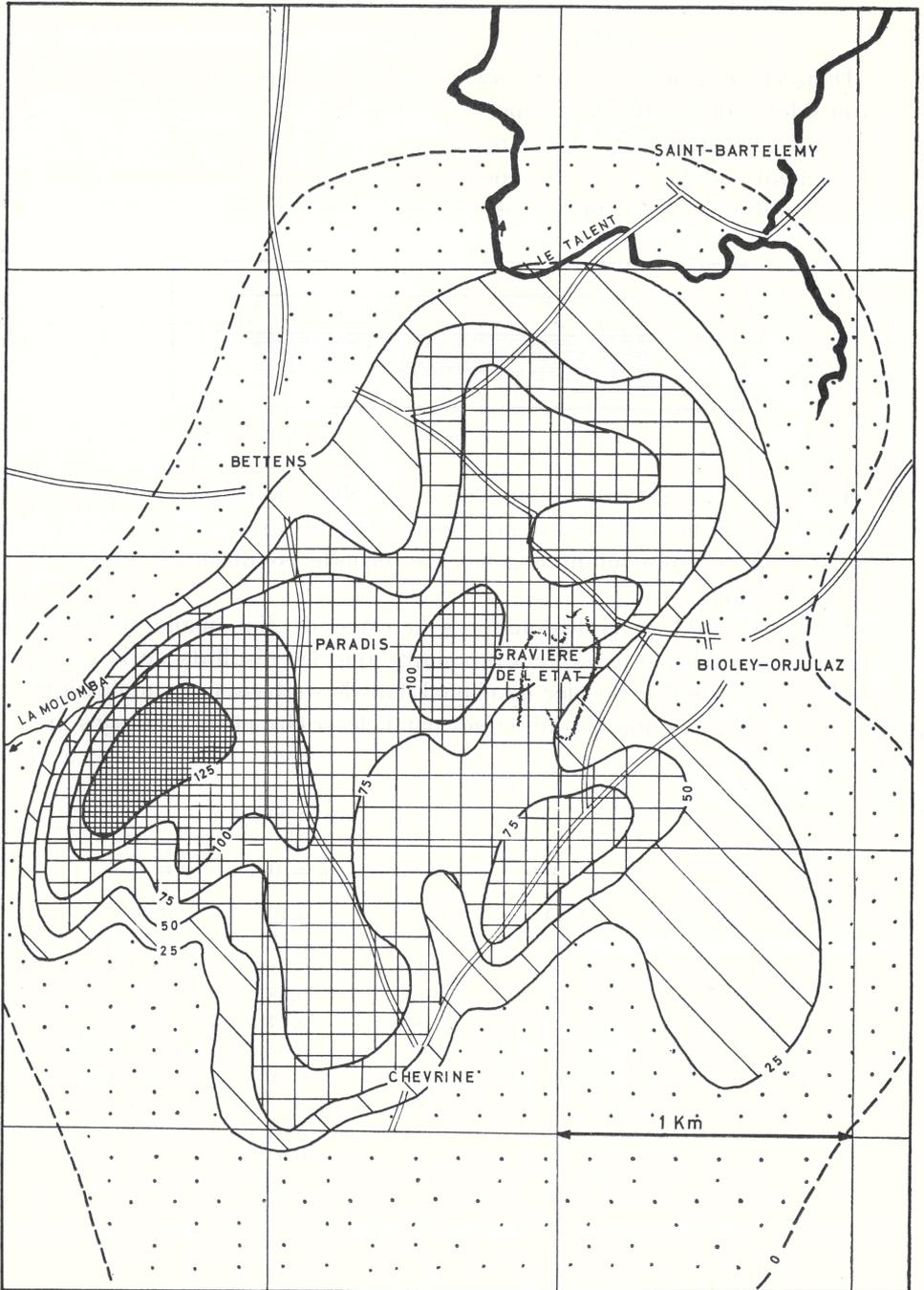


Fig. 16. Carte gravimétrique des anomalies résiduelles (valeurs en milligals).

Anomalie observée milligals		Epaisseur du terrain supérieur			
		$\rho = 0,6$	$\rho = 0,5$	$\rho = 0,4$	$\rho = 0,3$
		m	m	m	m
0,25	=	9	11	13	18
0,50	=	18	22	27	36
0,75	=	27	33	40	55
1,00	=	36	44	54	73
1,25	=	45	55	67	91
1,50	=	54	66	80	109
1,75	=	63	77	95	127

VIII. Comparaison des méthodes gravimétrique et électrique appliquées à Bioley-Orjulaz

Au terme de cette double étude, la similitude des résultats fournis par la gravimétrie et l'électricité est évidente (voir fig. 7 et 16). Cette similitude confirme la validité de chacune des méthodes.

Cependant pour être semblables, les résultats ne sont pas analogues.

La gravimétrie permet de déterminer plus rapidement et avec moins d'effort, l'allure générale de la dépression molassique, réceptacle des graviers. L'électricité, elle, autorise une plus grande précision de diagnostic, elle permet de distinguer les graviers des autres dépôts quaternaires, elle fournit plus exactement les limites du chenal graveleux.

Dans leur collaboration, chacune des deux méthodes, aura donc un rôle bien défini.

La gravimétrie permettra une reconnaissance générale et rapide, elle mettra en évidence la topographie ancienne de la surface molassique sans être trop gênée par les variations de qualité du remplissage quaternaire.

La méthode électrique, plus lente, distinguera mieux les qualités du matériel comblant les anciennes dépressions, elle permettra dans les cas favorables de donner une idée des différents types et du cubage des graviers rencontrés.

Prospections électrique et gravimétrique sont donc complémentaires, chacune fournit sa part de renseignements.

La collaboration de ces deux méthodes facilitera certainement la prospection des graviers et peut-être plus encore les recherches d'eau dans les anciens sillons de la topographie molassique.

IX. Hypothèses relatives à la sédimentation de certains graviers interglaciaires

Ce n'est pas la première fois que la prospection électrique met à jour d'importants dépôts de graviers stratifiés dans des vallées préglaciaires (Sillons de Nyon, Mont-Fleury, La Clée-aux-Moines...). Dans la plupart des cas, on peut constater que :

1° — Bon nombre des vallées molassiques sont antérieures aux glaciations.

2° — Les graviers qui remplissent partiellement ces vallées sont interglaciaires; ils reposent en effet souvent sur de minces placages de moraine de fond et sont à leur tour recouverts par une seconde moraine.

3° — Tout porte à croire que les graviers bien stratifiés, entrelardés de bancs de sables minces mais étendus, ont été accumulés dans des fosses de décantation constituées par des segments de vallées anciennes.

Ces observations suscitent quelques questions auxquelles on ne peut répondre que par des hypothèses. Par exemple, on peut se demander pourquoi les vallées anciennes n'ont été que partiellement comblées par la moraine et n'ont pas été remplies ultérieurement par les produits du retrait.

De même il est difficile de s'expliquer pourquoi les graviers, de Bioley entre autres, ne se sont déposés que longtemps après un premier recul de la glace, alors que le climat était relativement élément (présence de mammoth).

Une hypothèse nous paraît répondre à ces deux questions. Lors de l'avance des glaciers, les vallées anciennes ont été, par endroits, remplies de moraine, ailleurs de glace. Ces remplissages ont l'un comme l'autre empêché le dépôt des graviers de retrait. Plus tard, les lambeaux de glace morte ont fondu, formant de petits lacs qui servirent de réceptacles aux graviers et aux sables interglaciaires.

Laboratoire de Géophysique
Université de Lausanne
juin 1964

Schweizerische Mineralogische und Petrographische Gesellschaft
Société Suisse de Minéralogie et Pétrographie

Gegründet 1924 — Fondée en 1924

Jahresbeitrag: Persönliche Mitglieder Fr. 28. —, unpersönliche Mitglieder Fr. 40. —. Keine Eintrittsgebühr. Lebenslängliche Mitgliedschaft wird durch einmalige Zahlung von Fr. 560. — erworben. Anmeldungen als Mitglied sind zu richten an den Sekretär, Prof. M. Weibel, Inst. für Kristallographie und Petrographie ETH, Sonneggstrasse 5, 8006 Zürich. Über den Verkauf erschienenener Hefte an Mitglieder gibt der Kassier, Prof. A. NIGGLI, Inst. für Kristallographie und Petrographie ETH, Sonneggstrasse 5, 8006 Zürich, Auskunft.

Zeitschrift der Gesellschaft (jährlich 2 Hefte, für Mitglieder gratis):

Schweizerische Mineralogische und Petrographische Mitteilungen
Bulletin Suisse de Minéralogie et Pétrographie

Redaktor: Dr. A. SPICHER, Bernoullianum, 4056 Basel

Abonnemente auf die Zeitschrift (für Nichtmitglieder) nimmt der Verlag Leemann, Postfach, 8034 Zürich, entgegen (Schweiz Fr. 60.—, Ausland inkl. Porto sFr. 63.— pro Jahr)

Die Gesellschaft kauft jederzeit guterhaltene Hefte früherer Jahrgänge zurück. Angebote sind an den Kassier zu richten

Anfang 1958 ist erschienen:

Register der Bände 1–35 (1921–1955)
der Schweizerischen Mineralogischen und Petrographischen Mitteilungen

Der Registerband umfasst 110 Seiten und enthält ein Autoren-, Sach- und Ortsregister, ein gekürztes chronologisches Register der Bände 1–35 sowie die offiziellen Mitteilungen der SMPG

Preis für das broschiierte Heft Fr. 15.— für Mitglieder,
Fr. 20.— für Nichtmitglieder

Bestellungen nimmt der Verlag Leemann, Postfach, 8034 Zürich, entgegen
Postcheck-Konto 80-2323