

MATÉRIAUX POUR LA GÉOLOGIE DE LA SUISSE
GÉOPHYSIQUE

N° 8

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

**Etude gravimétrique du
Lac Léman à bord du mésoscaphe
«Auguste Piccard»**

par

Olivier Gonet
Docteur ès Sciences

EN COMMISSION

chez Kümmerly & Frey, Geographischer Verlag, Berne
1969

ASCHMANN & SCHILLER AG ZÜRICH

Préface

de la Commission Géotechnique Suisse

Dans la séance du 20 janvier 1968 M. O. Gonet présenta un manuscrit «Etude gravimétrique du Lac Léman à bord du mésoscaphe „Auguste Piccard,». Etant donné l'intérêt scientifique de ces recherches gravimétriques dans le Lac Léman et dans les régions avoisinantes la Commission l'accepta pour être publié dans sa série «Géophysique». La Commission remercie vivement l'auteur de cette contribution intéressante à la recherche géophysique du pays.

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

Zurich, février 1969

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

Préambule

De mes précédents travaux de géophysique dans la plaine du Rhône, il ressort qu'une anomalie gravimétrique de très forte amplitude coïncide avec l'axe de la vallée. Elle trahit, semble-t-il, la présence d'un accident tectonique si important qu'il marque profondément l'architecture géologique des Préalpes dans cette région.

Curieusement, la cuvette lémanique se trouve placée comme en prolongation de cette anomalie. Or, la nature du phénomène qui a creusé cette cuvette fait encore l'objet de nombreuses hypothèses et controverses scientifiques.

Comme il n'est pas déraisonnable de voir une relation de cause à effet entre cet accident tectonique et le lac lui-même, la découverte de l'anomalie du Rhône apportait de nouveaux éléments dans la discussion.

Malheureusement, et pour des raisons purement techniques, il restait impossible de compléter la carte dans la zone couverte par le lac. Seul un sous-marin capable de se poser sur le fond pouvait permettre d'exécuter les mesures nécessaires.

L'occasion très souhaitée de continuer les recherches nous fut enfin offerte lorsque, pour l'Exposition Nationale, Jacques Piccard mit à l'eau son premier mésoscaphe.

Et c'est grâce à beaucoup de compréhension de la part des propriétaires, du constructeur, de la Commission Géotechnique, de l'Université de Lausanne et de tout l'équipage du sous-marin, que nous avons pu finalement achever un travail commencé depuis longtemps par des mesures sur terre ferme. Qu'ils en soient tous très sincèrement remerciés.

CHAPITRE I

La Méthode gravimétrique

Introduction

D'après Newton, l'intensité de la force d'attraction que deux masses exercent l'une sur l'autre est fonction de leur volume, de leur densité et de l'inverse de la distance qui les sépare.

Si l'une de ces masses est le globe terrestre, que l'autre est un peson suspendu à un ressort ultra-sensible, il est évident que l'allongement du ressort mesurera l'intensité de la pesanteur terrestre.

Or, on s'aperçoit que cette pesanteur varie très légèrement dans le temps et dans l'espace.

Elle varie dans le temps parce qu'elle est soumise à l'influence des astres en mouvement autour de la terre.

Elle varie dans l'espace pour plusieurs autres raisons:

- Parce que la rotation du globe sur lui-même engendre une force centrifuge qui est maximum à son équateur et nulle à ses pôles.
- Parce que l'intensité de la pesanteur dépend de l'altitude à laquelle on la mesure.
- Parce que les montagnes qui dominent le lieu de la mesure attirent le peson vers le haut, alors que les vallées au contraire, et par défaut de matière, diminuent l'intensité de l'attraction vers le bas.
- Parce qu'elle dépend de la densité des matériaux du sous-sol.

Ce dernier point revêt une importance particulière. En effet, si par le calcul on parvient à éliminer toutes les variations dues à des causes non géologiques, on obtiendra finalement un «résidu de variation» provoqué par les seules hétérogénéités du sous-sol lui-même.

La gravimétrie consiste à comparer une «gravité théorique» calculée à l'avance en supposant que le globe terrestre est homogène, à la «gravité réelle» mesurée sur le terrain. Les différences constatées s'appellent des «anomalies gravimétriques». On peut les traduire en réalités géologiques.

Calcul du champ théorique de la pesanteur

1. On calcule la valeur d'une gravité théorique sur l'ellipsoïde de révolution, à la latitude de la station considérée (g_a).
2. On calcule l'influence de l'altitude de cette station par rapport à l'ellipsoïde (Δg_{alt}).
3. On calcule l'influence de la topographie avoisinante (Δg_{topo}).

Et finalement, on a:

$$(g_{théorique} = g_a - \Delta g_{alt} \mp \Delta g_{topo})$$

Remarques

- A. La présence du lac, la présence des Préalpes, la grande variété des matériaux compliquent à l'extrême tous ces calculs. Notre but se limite, heureusement, à l'établissement d'une carte de caractère régional, relativement peu détaillée, mais qui surtout mette bien en évidence la manière dont se continue l'anomalie du Rhône sous la cuvette lémanique.
- B. A l'occasion d'une publication précédente (O. Gonet, 1965), nous avons décrit les méthodes de calcul qui conviennent aux régions montagneuses. Il reste à présenter ici, les calculs nécessaires aux mesures sous-lacustres.

Calcul de g théorique pour les mesures sous-lacustres

1. Le calcul de g_a n'offre aucune difficulté particulière on applique simplement une formule approximative, établie par Helmert en 1901 et qui tient compte aussi de la non sphéricité du globe:

$$g_a = 978,046 (1 - 0,005320 \sin^2 a - 0,000007 \sin^2 2a)$$

a = latitude de la station de mesure

g_a = gravité théorique sur l'ellipsoïde de révolution

2. La suite du calcul se conduit en supposant provisoirement que le lac est vide, que son eau n'a pas d'influence sur les appareils. Les calculs se font alors en suivant fidèlement le schéma classique: La valeur de g à l'altitude h au-dessus du niveau de la mer est d'autant plus petite que h est plus grand. La valeur de g est d'autant plus grande que la densité de la couche de montagne comprise entre le géoïde et la station de mesure est plus forte. Ces deux réalités physiques sont exprimées dans la formule de correction d'altitude totale, dite de «Bouguer»:

$$\Delta g_{alt} = (-0,3086 + 0,0418 \delta) h \text{ milligals}$$

δ = densité

3. Pour calculer la correction topographique, on subdivise le terrain avoisinant en secteurs de surface assez petite pour qu'il soit possible de les simplifier et de leur donner des formes géométriques dont l'effet sur le peson du gravimètre sera plus facile à calculer.

$$\text{correction approximative} = \frac{K \cdot \delta \cdot S}{L} (1 - \cos \alpha) = \Delta g_{topo}$$

K = constante de gravité

S = surface horizontale du secteur

δ = densité de la masse

α = angle sous lequel on voit ce secteur depuis la station de mesure

L = distance qui sépare la station du centre du secteur

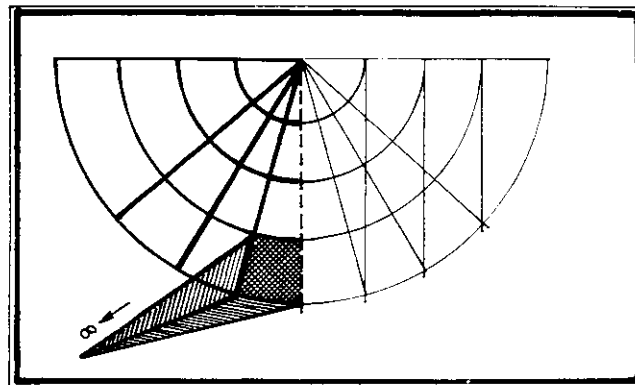
On limite l'étendue de la zone calculée à la distance au-delà de laquelle un secteur même grand n'exerce plus qu'une influence de l'ordre de précision des mesures. Dans le cas présent, nous avons été amené à calculer la correction topographique jusqu'à 120 kilomètres à la ronde.

Parvenus à ce point du calcul, il nous reste encore à tenir compte de l'influence de l'eau du lac. C'est l'abaque de Jung qui va le permettre facilement. Par l'usage de cet abaque, on peut déterminer la valeur de la composante verticale de l'attraction de masses cylindriques, infiniment longues et de sections quelconques.

Bien sûr, la longueur du lac n'est pas infinie, mais, à l'échelle de précision des mesures, l'approximation reste très suffisante.

L'abaque de Jung

Il détermine un ensemble de surfaces élémentaires, sections de cylindres infiniment allongés, qui ont tous le même effet en 0.



Abaque de Jung, construction de l'abaque
Fig. 1. Δg total provoqué par $S = N \Delta g$ élémentaires.

L'effet de l'eau du lac sur une station située à «mipente» se calcule en deux temps:

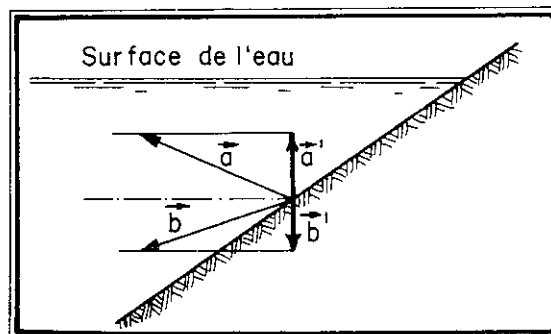


Fig. 2. On calcule $\vec{a'}$ et $\vec{b'}$ au moyen de l'abaque. $\vec{a'}$ s'ajoute à la valeur mesurée, alors que $\vec{b'}$ s'en déduit.

CHAPITRE II

Technique d'exécution des mesures

Remarque préliminaire

Un grand nombre des mesures qui ont servi à l'établissement des cartes ci-après est extrait de travaux anciens. C'est ainsi que celles situées dans la plaine du Rhône ont été exécutées en 1964-65 et que leur interprétation a été publiée sous le titre: «Etude gravimétrique de la plaine du Rhône» (O. Gonet, 1965); de même, l'interprétation des mesures situées à l'Ouest de Lausanne, sur la côte suisse, a été partiellement publiée sous le titre: «Les anomalies de la gravité dans le canton de Vaud» (O. Gonet, 1963).

Nous avons relié ces différents travaux en exécutant 70 mesures supplémentaires sur terre ferme et 10 mesures sous-lacustres.

Les mesures sur terre ferme

Elles ne présentaient pas de difficultés techniques particulières, sauf pour celles situées sur les reliefs montagneux ou dans leur immédiate proximité. Pour elles, il fallut améliorer la carte topographique de la zone qui leur était voisine, faire des levés à la planchette puis calculer les corrections topographiques avec un soin très particulier.

Les mesures sous-lacustres

Un gravimètre moderne est capable de mesures extraordinairement précises. Il permet de déceler des variations dix millions de fois plus petites que la valeur de l'intensité normale de la pesanteur.

En échange de cette performance, son fonctionnement exige une très grande stabilité. Il serait exclu, par exemple, d'obtenir des résultats depuis la surface de l'eau. Les légers mouvements d'un bateau, même par temps très calme suffisent pour affoler complètement les aiguilles et les niveaux d'eau de l'appareil et rendent impossible toute tentative de lecture. C'est pourquoi l'usage d'un submersible est absolument indispensable.

Avant d'avoir fait les essais préliminaires, nous pensions qu'il suffirait de s'enfoncer au-delà de la zone superficielle agitée par les vagues et de pénétrer dans un milieu de stabilité suffisante pour maintenir la lourde coque du mésoscaphe immobile. Il n'en fut rien. D'imperceptibles courants obligeaient le pilote à des réglages incessants. Lentement mais continuellement, le sous-marin piquait du nez, montait ou descendait. Dans ces conditions, les mesures restaient impossibles.

Nous avons essayé ensuite de poser la coque sur le fond. Mais, sous la quille du mésoscaphe se trouve un dispositif stabilisateur en forme de cloche. Posé sur cette proéminence et non sur la quille elle-même, le sous-marin avait tendance à basculer ce qui de nouveau empêchait le travail d'observation.

Heureusement, Jacques Piccard imagina une manœuvre particulière qui permit enfin de travailler. Après avoir soigneusement vérifié qu'aucun gros caillou ne se trouvait dans la zone choisie pour l'exécution de la mesure, le capitaine faisait élever le sous-marin à une dizaine de mètres au-dessus du fond, puis l'alourdissait brusquement pour qu'il arrivât au sol avec force et qu'il s'y enfoncât dans la vase. Une fois bien «plantée», la coque gardait une immobilité parfaite et les mesures pouvaient se faire normalement, presque aussi bien que sur terre ferme.

Restait à résoudre le problème le plus délicat, celui du repérage des stations.

D'emblée, il faut dire que nous avons dû renoncer à un repérage de précision. La chose eût été possible mais très coûteuse. D'autre part, elle n'était pas absolument indispensable au problème de géophysique que nous voulions résoudre.

Il ne s'agissait, en effet, que de compléter, à l'échelle d'une assez grande région, l'étude de l'anomalie du Rhône. Son amplitude est très importante, plus de 15 milligals alors que sa largeur ne dépasse pas 10 ou 15 kilomètres.

Dans ces conditions, et nos cartes le confirment, il apparaît qu'une précision d'environ 1 milligal suffit pour déterminer sa forme générale.

Un milligal correspond à une précision cent fois moindre que celle obtenue normalement sur terre ferme. Comme les mesures dans le lac furent d'une qualité presque comparable à celles de terre ferme, cette énorme marge d'imprécision admissible put être entièrement sacrifiée à l'imperfection du repérage.

Naturellement, il fallait aussi abandonner l'idée d'une interprétation de détail, mais le seul fait que le sous-marin n'était mis à notre disposition que pendant trois journées rendait impossible l'exécution de mesures en nombre suffisant pour aborder l'étude gravimétrique détaillée du fond de la cuvette.

C'est pour toutes ces raisons que nous avons renoncé dès le début aux méthodes efficaces mais coûteuses du repérage sous-marin de précision.

L'équipage du mésoscaphe était constitué de professionnels du repérage à vue et à l'estime. Ce furent finalement qui eux furent chargés de ce travail. Et ils y mirent le plus grand soin et la plus grande compétence. D'ailleurs, l'emplacement des stations fut déterminé de telle manière que leur tâche fut facilitée au maximum.

Il est évident que la qualité du repérage à l'estime est directement fonction de la simplicité des manœuvres qu'il faut effectuer en aveugle et de la régularité du déplacement. C'est en tenant compte de cette évidence que nous avons adopté le schéma suivant :

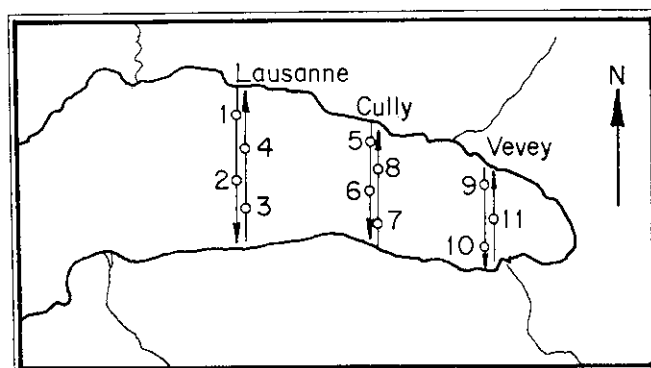


Fig. 3.

Les points d'immersion étaient situés près du rivage et très soigneusement repérés. Le sous-marin suivait ensuite le fond du lac à vitesse constante et tenait un cap le plus exactement possible Nord-Sud. Pour limiter les manœuvres, nous n'avions prévu que deux stations par traversée. Le point d'émersion était lui aussi repéré avec précision et les erreurs constatées réparties sur l'ensemble du parcours.

Le retour s'effectuait dans les mêmes conditions, avec deux autres stations de mesure, placées en alternance avec les premières.

Les stations étaient toutes alignées Nord-Sud parce que, pour les corrections topographiques comme pour les corrections de latitude, c'est dans cette direction que le repérage devait être le plus précis. Or, l'éloignement du sous-marin de son point de départ est plus facile à contrôler que la direction de son déplacement.

Quant à la profondeur, elle était indiquée par les manomètres et les échos-sondeurs du bord.

Précision de la méthode

La précision des mesures et des résultats portés sur les cartes dépend de plusieurs facteurs :

1. De la précision de l'appareil lui-même et de la qualité des mesures. Théoriquement, l'appareil devrait être capable d'apprécier le centième de milligal. Mais, à cause de la température qui, malgré les précautions d'usage, n'est jamais tout à fait constante, à cause aussi de la fidélité du ressort qui n'est pas parfaite et dont il est difficile de tenir compte avec exactitude, on se contente habituellement du trois centièmes de milligal. Dans le sous-marin, les conditions de stabilité n'étaient pas toujours aussi bonnes que sur terre ferme ; il est donc plus prudent d'augmenter encore cette marge d'erreur possible jusqu'à cinq centièmes de milligal.
2. De la qualité du calcul des corrections topographiques. Etant donné la proximité des reliefs pré-alpins, il faut évaluer l'imprécision introduite par ces calculs à 0,05 milligals.
3. Du nivellement des stations. Les appareils du sous-marin prétendaient indiquer la profondeur à quelques décimètres près. Il nous semble plus objectif de ne la considérer qu'à un mètre près. On peut calculer grâce à la formule de Bouguer, que dans ces conditions, la précision moyenne des résultats se trouve encore abaissée de 0,2 milligals.
4. De la précision du repérage dans le plan. Sur ce point, il faut subdiviser le problème. Les erreurs constatées au point d'émersion permettent de juger de la précision des méthodes décrites plus haut. Elles n'étaient justes qu'à 30 mètres près. Du point de vue de la latitude, les erreurs de cette importance introduisent une imprécision de 0,03 milligals. Du point de vue des corrections topographiques, on s'aperçoit que l'erreur est presque négligeable. En poussant les choses au pire, on peut admettre une erreur supplémentaire de 0,02 milligals.

$$\sqrt{(0,03)^2 + (0,02)^2} = 0,036$$

Finalement, l'erreur totale est à peu près de :

$$\sqrt{(0,05)^2 + (0,05)^2 + (0,2)^2 + (0,036)^2} = 0,215$$

Comme on le voit, les prétentions de précision de nos cartes sont encore quatre fois moindres que ce qu'indiquent les calculs d'erreur. Le choix des méthodes de repérage s'en trouve donc parfaitement justifié.

CHAPITRE III

Les Mesures

Les mesures absolues, les mesures relatives

Un gravimètre de terrain ne mesure que la différence d'intensité de la pesanteur entre les différentes stations et non la valeur absolue de cette intensité.

C'est donc à partir d'une station de base où «g» est connu que l'on pourra dresser une carte représentant les variations de cette valeur de base sur le terrain étudié.

Une mesure absolue de g a été réalisée à l'Observatoire de Paris. Monsieur M. Martin, par une série de mesures relatives en France, l'a reliée à Moillesulaz, à son tour Monsieur Ed. Poldini a relié cette dernière à Lausanne (Ouchy) où il admet une valeur de $g = 980619.45$ milligals. C'est à cette dernière mesure, considérée comme station de base, que nous avons rattaché notre carte gravimétrique de la cuvette lémanique.

CHAPITRE IV

Les cartes gravimétriques

Définition

Après avoir débarrassé l'anomalie brute de toutes les causes de variations non géologiques, on obtient une somme de résultats ponctuels qui n'ont pas encore grande signification. Pour leur en donner, il faut interpoler toutes ces données à l'ensemble de la région prospectée. Dans ce but, on reporte les valeurs obtenues sur une carte topographique et on y trace les «courbes isanomales», c'est à dire les courbes le long desquelles l'anomalie reste constante. On obtient alors la carte dite des «anomalies totales».

Ce document est l'expression graphique d'une estimation de l'anomalie en tout point de la carte. L'estimation est d'autant plus juste que le réseau des stations est plus serré et que l'objectivité avec laquelle on a tracé les courbes est plus grande.

Les cartes régionales, les cartes résiduelles

La carte des anomalies totales représente, comme son nom l'indique, l'addition des effets de toutes les hétérogénéités de densité du sous-sol. Avant de pouvoir interpréter les résultats gravimétriques, il faut trier les anomalies d'origines différentes qui s'y trouvent mêlées. Autrement dit, avant de le comprendre, il faut essayer de trier les renseignements contenus dans le message gravimétrique.

L'opération est délicate, mais elle n'est pas impossible parce que les hétérogénéités situées en profondeur engendrent des anomalies de gravité à rayon de courbure plus grand que celles situées près de la surface.

Cette constatation, malgré son caractère empirique, justifie la méthode qui consiste à décomposer la carte des anomalies de gravité en une carte des anomalies à grand rayon de courbure, dite «régionale» et en une carte des anomalies à petits rayons de courbure dite «résiduelle».

L'Isostasie

L'ensemble de toutes les mesures gravimétriques faites depuis cinquante ans dans le monde entier, montre que la densité moyenne de l'écorce terrestre est plus faible au-dessous des montagnes et qu'elle est plus forte au-dessous des océans. Ce très curieux paradoxe est expliqué par une théorie célèbre, celle de l'équilibre isostatique.

Développée par Airy et complétée par Vening Meinesz, elle donne une image simple et spectaculaire des couches superficielles du globe. Il serait constitué d'une grosse masse centrale de densité très élevée, sur laquelle flotterait la croûte terrestre à la manière d'un iceberg sur de l'eau.

Evidemment, plus la partie émergée de l'iceberg est volumineuse, plus la partie immergée est grande et s'enfonce profondément dans l'eau.

Il en va de même pour la croûte terrestre. Sous l'eau des océans, cette croûte s'amincit alors que sous les montagnes, elle s'épaissit et s'enfonce profondément dans la masse centrale.

Au-dessous des montagnes, les masses sous-terraines légères forment ce qu'on appelle des racines. Au-dessous des océans, ces masses font défaut et l'on parle au contraire d'anti-racines.

Il ne faut pas considérer l'isostasie comme une loi de la nature. Ce n'est qu'une condition d'équilibre vers laquelle tendent les couches supérieures de l'écorce terrestre.

On peut calculer, grâce à la carte gravimétrique de Niethammer (1921), que les Alpes sont en bon équilibre isostatique. En approchant de leur centre, on observe donc une régulière augmentation de l'anomalie négative.

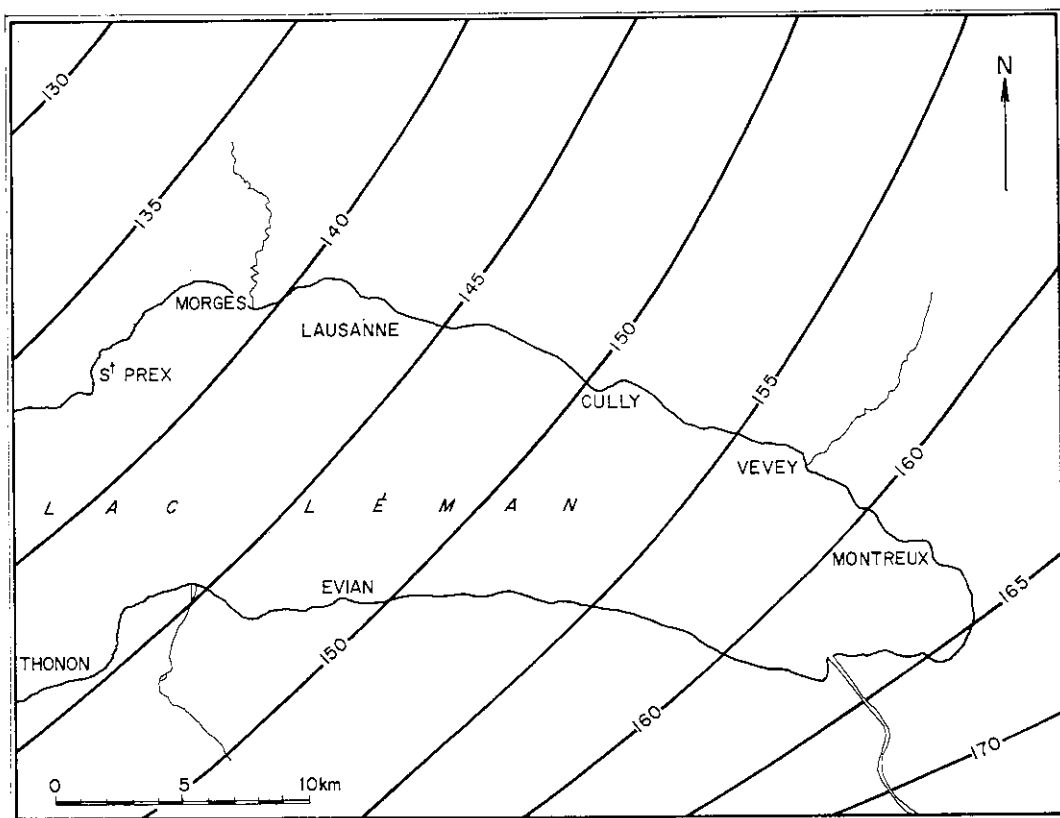


Fig. 4. L'Isostasie, l'anomalie régionale (équidistance des courbes 5 milligals).

Remarque

Dans la région de la cuvette lémanique, il est exceptionnellement difficile de distinguer les anomalies régionales et résiduelles. Les courbes gravimétriques présentent des formes si tourmentées, les causes d'anomalie sont si nombreuses et si variées qu'il est presque impossible de donner à cette phase de l'interprétation une précision suffisante pour permettre, à partir d'elle, de dresser une véritable coupe géologique à travers le lac.

Malheureusement, les cartes d'anomalie totale sont toujours d'une compréhension difficile. C'est pourquoi et dans le but d'en faciliter la lecture, nous nous sommes finalement résolu à présenter ces cartes régionales et résiduelles, mais en soulignant le fait que si elles délimitent clairement la forme et le sens des différentes anomalies, elles ne prétendent pas à la précision quant aux amplitudes.

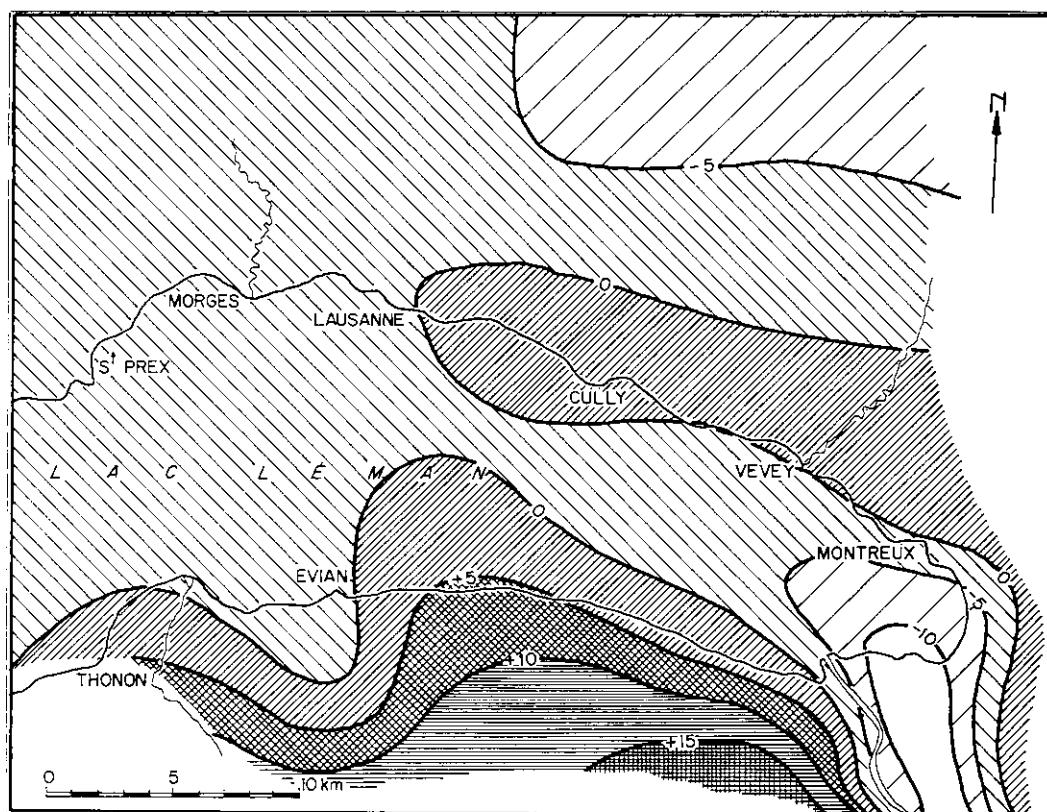


Fig. 5. L'anomalie résiduelle (équidistance des courbes 5 milligals).

CHAPITRE V

Interprétation géologique

Introduction

L'origine de la vaste dépression topographique au fond de laquelle se trouve le lac Léman reste assez mystérieuse. Certes, les hypothèses qui tendent à en expliquer la formation sont nombreuses et parfois séduisantes, mais les arguments qui les défendent sont encore très fragiles.

Les anomalies gravimétriques découvertes au cours de ce travail se situent en plein cœur du problème et, en considérant leur formes et leur directions, il semble peu probable qu'une coïncidence aussi parfaite ne soit due qu'au seul hasard.

Les éléments de la discussion

Les rayons de courbure qui affectent les anomalies résiduelles sont petits. Il apparaît donc que ces anomalies sont provoquées par des hétérogénéités géologiques relativement peu profondes.

La présence de la masse légère constituée par les alluvions et les moraines sous-lacustres contribue à en augmenter l'amplitude. Mais, elle ne suffit peut-être pas à les expliquer. On peut calculer, en effet, grâce à l'abaque de Jung, que pour provoquer une anomalie de l'importance de celle que l'on observe, il faudrait une épaisseur de matériaux variant entre 800 et 1200 mètres ce qui semble invraisemblable.

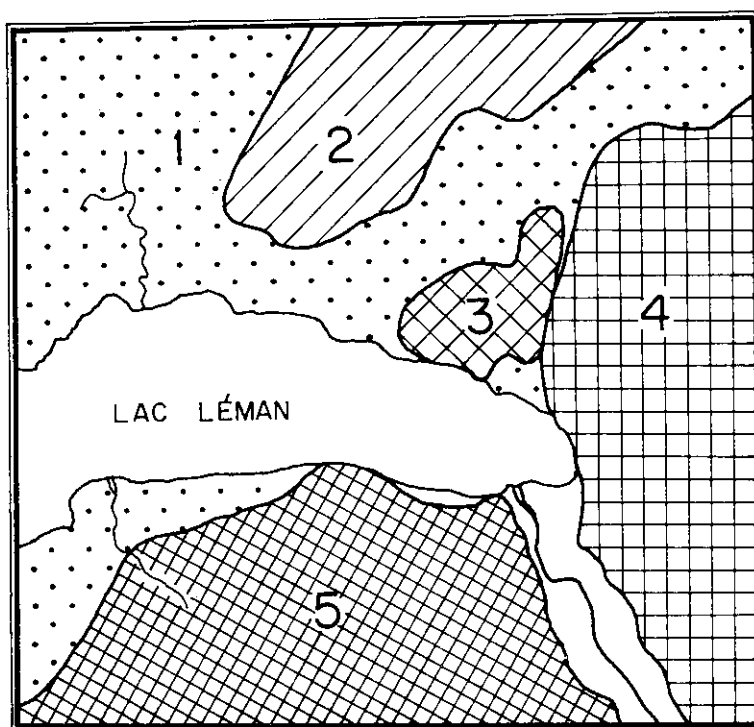


Fig. 6. Schéma géologique.

- | | |
|------------------------------|----------------------|
| 1. Aquitaniens + Chattiens | } bassin molassique. |
| 2. Burdigalien | |
| 3. Poudingues du Mt Pélerin. | |
| 4. Préalpes romandes. | |
| 5. Préalpes françaises. | |

Puisque la cause qui provoque ces anomalies n'est à chercher ni en profondeur ni uniquement en surface, elle ne peut se trouver qu'au niveau des roches sédimentaires.

Comme toujours pour interpréter une carte gravimétrique, il faut enfermer la nature et ses fantaisies dans un schéma si simple qu'il puisse être confronté à des résultats physiques obtenus par des procédés mathématiques rigoureux. Pour ce faire, nous avons adopté la coupe stratigraphique suivante.

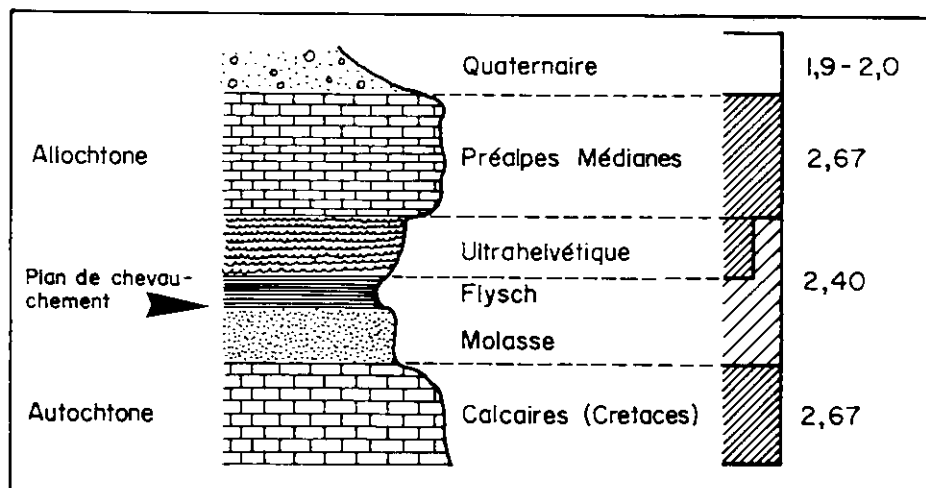


Fig. 7. Schéma des discontinuités de densité.

A partir de ce schéma, il devient évident que dans les Préalpes, les anomalies positives seront provoquées par une diminution d'épaisseur de la couche de matériaux dont la densité est de 2,40, les anomalies négatives révélant au contraire un épaississement de cette même partie de la coupe, que d'autre part, sur le Plateau molassique, les anomalies positives désigneront les zones où les calcaires Crétacés s'approchent de la surface et les anomalies négatives celles où l'épaisseur de la molasse augmente.

Ces remarques un peu trop simplistes permettent de continuer le travail d'interprétation, mais il est plus prudent de considérer les conclusions qui en découlent comme ressortant plus du domaine des hypothèses que de celui des faits indiscutables. Heureusement, les nouveaux éléments de vérité que la gravimétrie apporte peuvent être largement enrichis des connaissances de pure géologie acquises par les nombreuses générations de savants spécialisés dans l'étude des Préalpes.

Tentative d'interprétation géologique

La mise en place des nappes ultrahelvétiques s'est faite avant celle des Préalpes Médiannes. Dans toute la région sud du lac Léman, elles ont ensuite servi de sommier plastique et ont lubrifié le plan de glissement des nappes plus récentes qui ont glissé sur elles (Badoux, 1962).

Les observations géologiques que l'on peut faire tout autour de l'arc préalpin montrent que les Médiannes ont partiellement repoussé devant elles les masses ultrahelvétiques. Les écaillés qui ont échappé à ce creusement ayant contribué sans doute, à isoler l'autochtone des plissements préalpins. Le reste se trouve accumulé en abondance dans la zone située au sud d'Evian où une importante anomalie négative et quelques affleurements révèlent sa présence en grande quantité.

En d'autres endroits, la Molasse Rouge elle-même a été entraînée vers le nord par l'énorme masse de roches sédimentaires qui se mettait en place. C'est ainsi que depuis la ligne Port-Valais-Rennaz, l'épaisseur de l'autochtone léger croît de plus en plus et finit par affleurer entre Le Bouveret et St Gingolph (Gagnebin, 1944). Dans cette zone, on voit la Molasse Rouge apparaître en complète discordance avec

la structure de la nappe des Préalpes Médiannes. On remarque aussi que l'Ultrahelvétique a presque complètement disparu.

Le poids colossal de cette accumulation de matériaux allochtones déposé sur le Plateau molassique et son substratum provoque un enfoncement général de toute la région.

Au Sud-Est du lac Léman, une faille ou un groupe de failles très important situé dans l'axe de la vallée du Rhône valaisanne brise le substratum. La rive gauche de la vallée s'enfonce alors que la rive droite, placée au-delà de ces failles reste à peu près immobile.

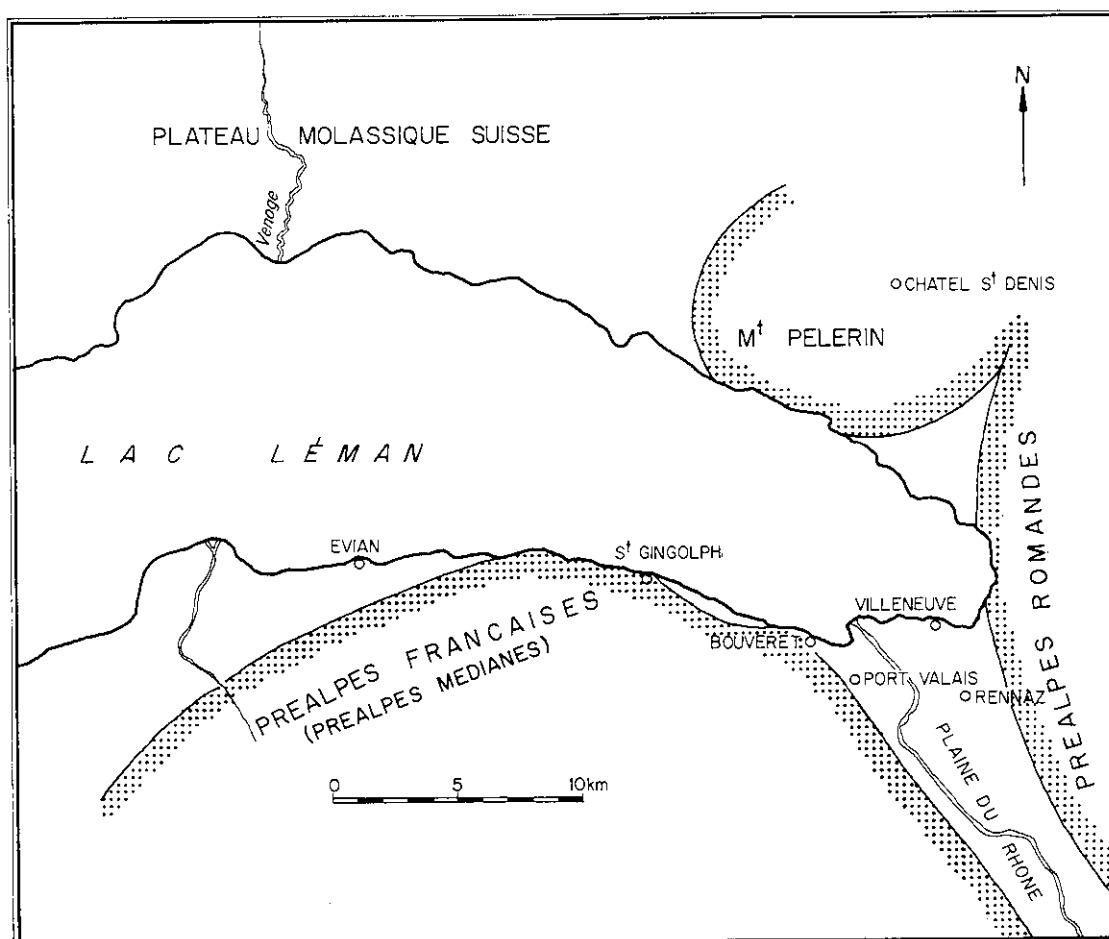
Au nord, ce mouvement de rééquilibrage isostatique entraîne avec lui le bord du Plateau molassique vaudois et crée la première cuvette lémanique.

Les grands glaciers quaternaires viendront, à leur tour, façonner cette première dépression et lui donner sa morphologie actuelle.

Il faut se rendre compte de l'immensité de ces glaciers pour admettre la part importante qu'ils ont pris dans ce travail de façonnage.

On considère généralement que quatre périodes glaciaires se sont succédées en Europe. On les appelle Günz, Mindel, Riss et Würm. Cette dernière est la mieux connue; c'est la plus récente et par suite la seule dont l'empreinte n'ait pas été dérangée (Gagnebin, 1937).

Précédé d'une grande quantité d'alluvions, le front du glacier avance, il débouche sur le plateau, grandit encore, arrive au pied du Jura, devant cet obstacle, il se scinde en deux parties: l'une se dirige au nord, parvient jusque dans la région de Soleure, l'autre s'engouffre par le petit lac dans la vallée française du Rhône et ne s'arrête qu'à 20 kilomètres de Lyon.



Mis à part l'apport de quelques glaciers locaux démesurément grossis, la totalité de ces glaces s'est écoulée par la vallée du Rhône qui est encombrée jusqu'à 1600 mètres dans la région de St-Maurice, jusqu'à 1450 au niveau de Villeneuve. (Ces altitudes sont précisées par les blocs erratiques déposés comme des témoins sur les montagnes.)

Hors des montagnes, les glaces ont tendance à s'étaler sur le Plateau suisse. Cependant, juste à la sortie de la plaine, elles restent encore plus ou moins contenues entre le Mont Pélerin et le mur des Préalpes françaises. A cet endroit, une érosion importante s'est sans doute exercée au détriment des matériaux molassiques et ultrahelvétiques qui avaient été repoussés dans la région par l'avance des nappes préalpines.

En direction de l'ouest, les glaces se répandent de plus en plus facilement vers le nord et leur pouvoir d'érosion en est d'autant diminué. L'angle aigu qui existe entre la ligne du rivage lacustre et celle qui suit le pied des Préalpes souligne ce phénomène.

L'une des conséquences de ces vastes bouleversements topographiques est de transformer complètement le réseau hydrographique. Ainsi, à la sortie des Alpes, l'ancien cours du Rhône se continuait peut-être vers le nord pour rejoindre les eaux de la Sarine. Il passait soit par la vallée de la Venoge, soit éventuellement par Châtel-St-Denis. Cette dernière éventualité paraît peu vraisemblable. Les dépôts alluvionnaires qui se trouvent dans cette région, semblant bien plutôt provenir d'un cours d'eau issu d'une branche secondaire du glacier.

Cette description est trop précise pour que certains détails n'en soient pas discutables. Mais, c'est aussi faire œuvre scientifique que de chercher la vérité par simple déduction.

Bibliographie

- Badoux, H.* (1962): Géologie des Préalpes valaisannes (Rive gauche du Rhône). Mat. carte Géol. Suisse, no. 113.
- Badoux, H.*, et *Mercanton, C. H.* (1962): Essai sur l'évolution tectonique des Préalpes médianes du Chablais. *Eclogae Geol. Helv.* 55/1.
- Carte géologique générale de la Suisse, feuille no. 5 au 1:200000. Genève-Lausanne. Commission Géologique Suisse, 1946.
- Collet, L. W.* (1955): Notice explicative de la feuille Genève-Lausanne.
- Diceglie, F.* (1959): Osservatorio Geofisico di Laureto. Fasano di Brindisi.
- Favre, E.*, et *Schardt, H.* (1887): Description géologique des Préalpes du canton de Vaud et du Chablais jusqu'à la Dranse et de la chaîne des Dents du Midi. Mat. carte Géol. Suisse no. 22.
- Forel, F. A.* (1884): Etudes glaciaires. Arch. Sc. phys. et nat. Genève, tome 12.
- Forel, F. A.* (1910): Etudes glaciaires V. Erosion ou excavation glaciaire. Arch. Sc. phys. et nat. Genève, tome 30.
- Gagnebin, E.* (1925): Les dislocations des Préalpes dans la région de Montreux. *Eclogae Geol. Helv.* 19/1.
- Gagnebin, E.* (1937): Les invasions glaciaires dans le bassin du Léman. Bull. Soc. Vaud. Sc. nat. Vol 59, no. 243.
- Gagnebin, E.* (1942): Les idées actuelles sur la formation des Alpes. Actes Soc. helv. sc. nat. Sion, pages 47 à 58.
- Gagnebin, E.* (1944): Présence du Barrémien ultra-helvétique à St. Gingolph (Valais). *Eclogae Géol. Helv.* 37/2.
- Gonet, O.* (1963): Les anomalies de la gravité dans le canton de Vaud. Bull. Soc. Vaud. Sc. nat. Vol. 68, no. 311.
- Gonet, O.* (1965): Etude Gravimétrique de la plaine du Rhône, Région St Maurice-Lac Léman. Mat. Géol. Suisse, Géophysique no. 6.
- Hammer, S.* (1939): Terrain Corrections for Gravimeter Stations. *Geophysics*, Vol. 4, no. 3.
- Heiskanen, W. A.*, et *Vening Meinesz, F. A.* (1958): The Earth and its Gravity Field. McGraw-Hill series in the Geological Sciences.
- Koechlin, R.* (1941): Formation et mouvement des glaciers. Les Alpes. Vol. 17.
- Koechlin, R.* (1944): Les glaciers et leur mécanisme. F. Rouge & Cie S.A., Lausanne.
- Lombard, A.* (1939): Influences tectoniques sur le modèle du bassin du Léman. Bull. Assoc. géogr. Franç., no. 123.
- Lugeon, M.*, et *Gagnebin, E.* (1944): Observations et vues nouvelles sur la géologie des Préalpes romandes. Bull. Lab. Géol. Min. et Géophys. de l'Univ. Lausanne no. 72.
- Nettleton, L. L.* (1939): Determination of density for reduction of gravimeter observations. *Geophysics*, Vol. 4, no. 3.
- Niethammer, T.* (1921): Schwerebestimmungen in den Jahren 1915-18. Astronomisch-geodätische Arbeiten in der Schweiz. Herausgegeben von der Schweizerischen Geodätischen Kommission. Band 16 Spl. 1 carte des anomalies gravifiques de la Suisse au 1:100000.
- Piccard, J.* (1958): Le batyscaphe et les plongées du Trieste 1953-57. Comité Recherche Océanographique.
- Piccard, J.* (1964): Le Mésoscaphe. Held S.A., Lausanne.
- Serruya, C.* (1965): Quelques données nouvelles sur la structure profonde du lac Léman. Arch. Sc. phys. et nat. Genève, Vol. 18, fasc. 1.

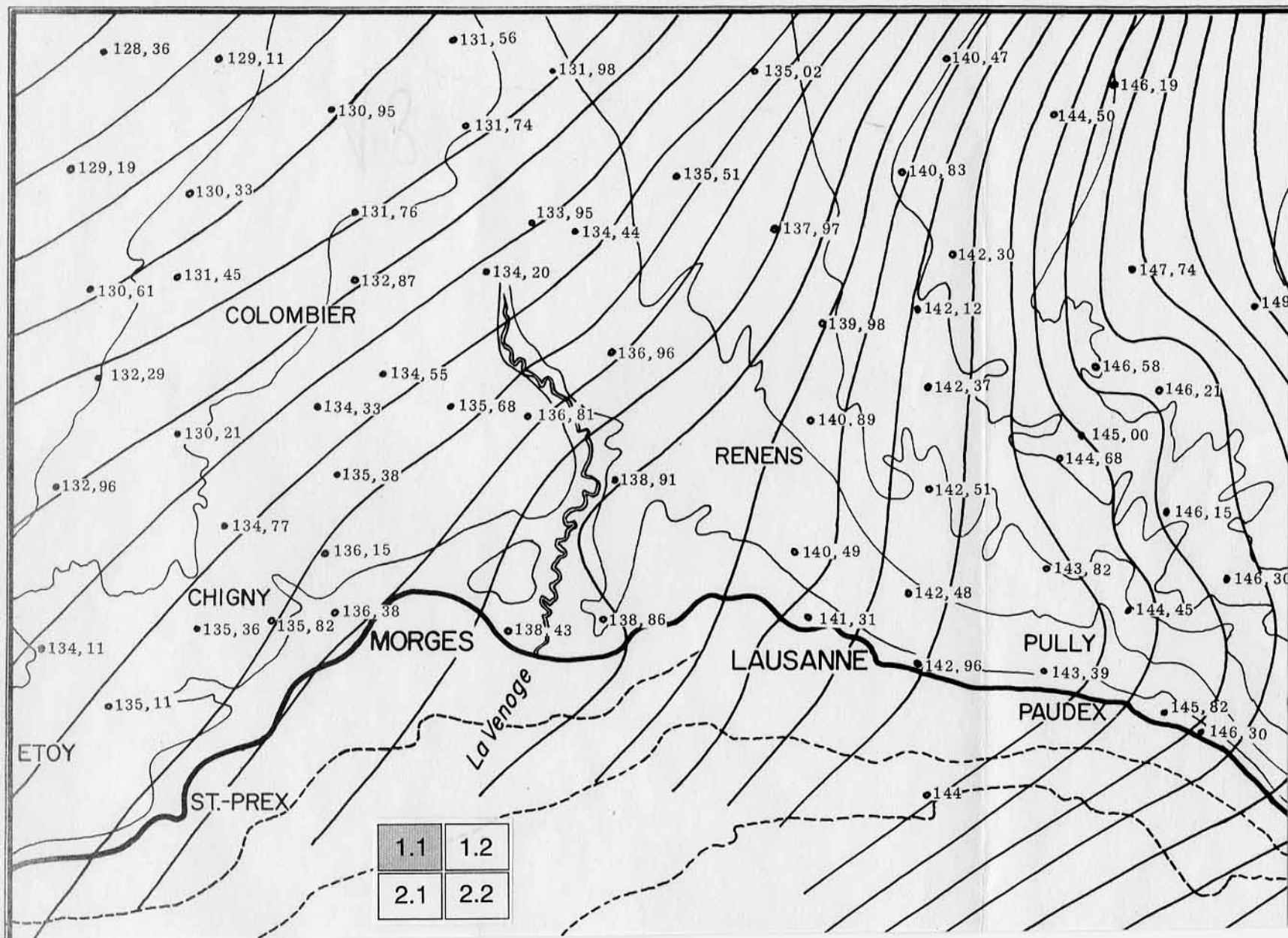
- Serruya, C., et Lienhardt, O.* (1964): Structure et évolution post-Oligocène de la région du lac Léman. C. R. Acad. Sc. Paris, tome 259.
- Sandberg, C. H.* (1958): Terrain Corrections for an inclined Plane in Gravity Computations. *Geophysics* Vol. 23, no. 4.
- Vajk, R.* (1956): Bouguer corrections with varying surface density. *Geophysics*, Vol. 21, no. 3.
- Winkler, H. A.* (1962): Simplified Gravity terrain corrections. *Geophys. Prospecting*, Vol. 10, no. 1.

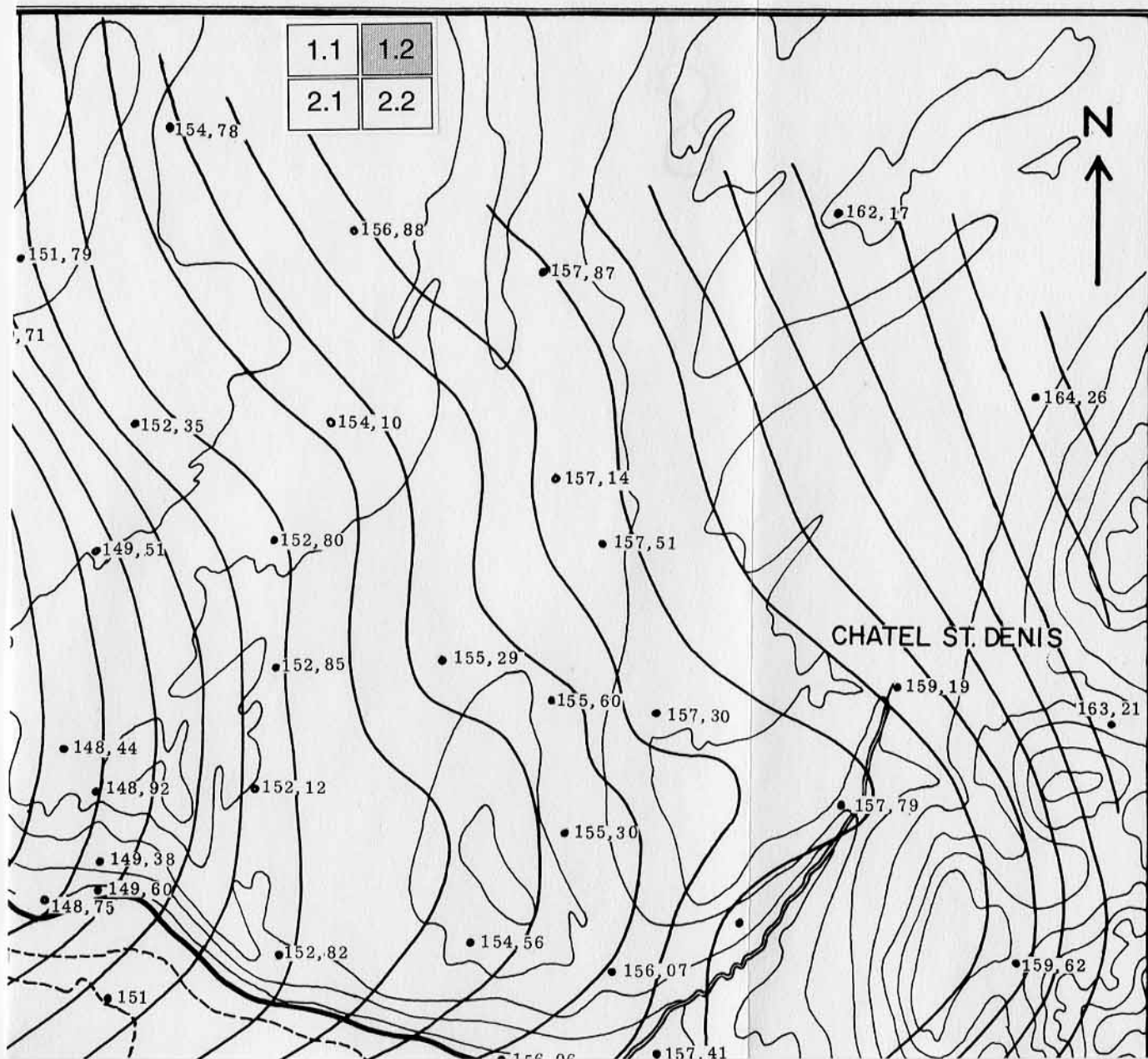
PUBLICATION N°8

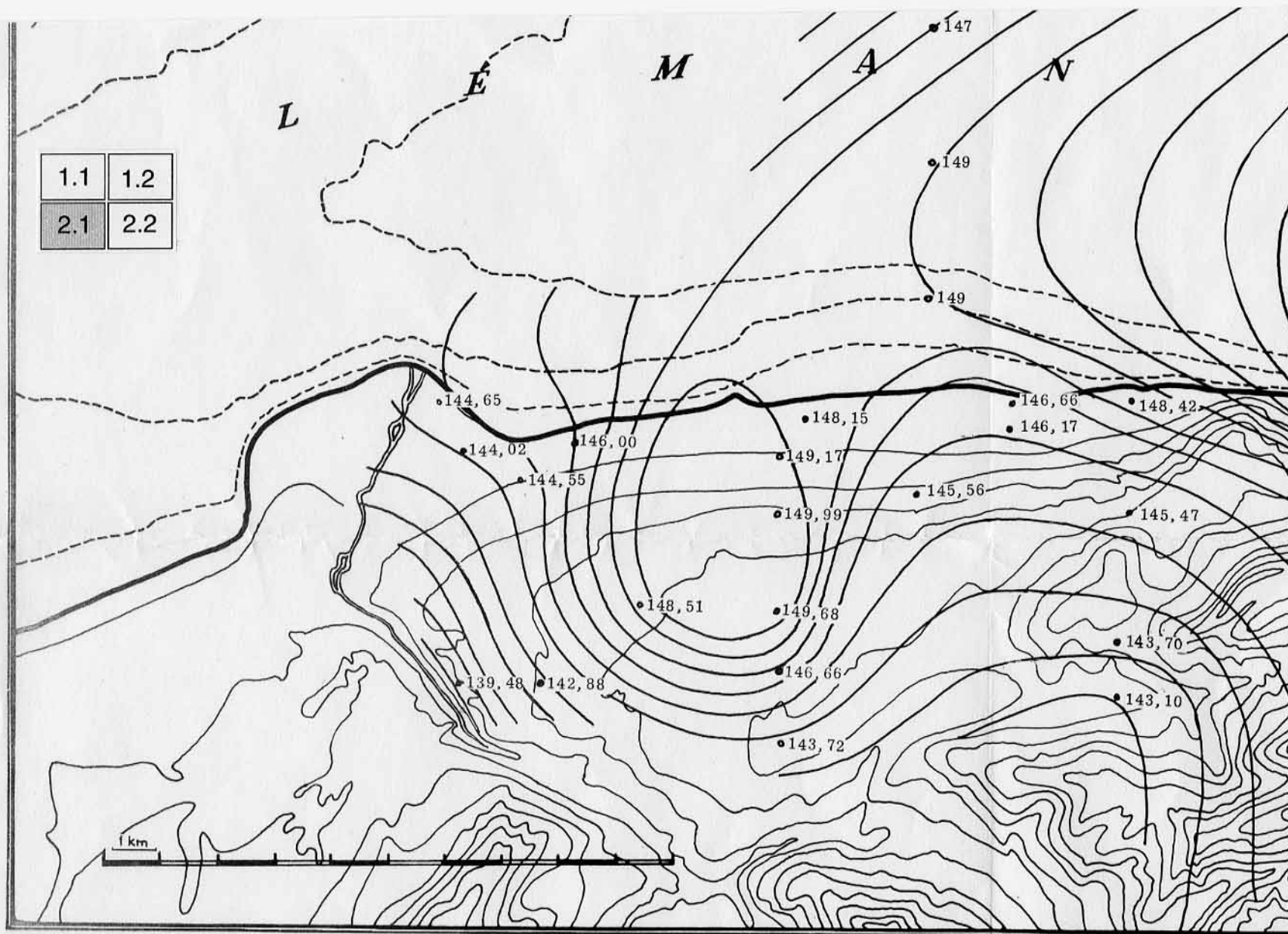
ETUDE GRAVIMETRIQUE DU LAC LEMAN
A BORD DU MESOSCAPHE “ AUGUSTE PICCARD ”

Par Olivier Gonet

1 PLANCHE DIVISEE EN 4 FEUILLES







1.1	1.2
2.1	2.2

