

Matériaux pour la Géologie de la Suisse

GÉOPHYSIQUE

No 15

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

CONTRIBUTION A L'ÉTUDE
GRAVIMÉTRIQUE
DE LA SUISSE ROMANDE
ET DES RÉGIONS AVOISINANTES

par

EMILE KLINGELE

En Commission
chez Kümmerly & Frey, Geographischer Verlag, Bern

Blanc-Wittwer S.A., Genève
1972

PREFACE DE LA COMMISSION GEOTECHNIQUE SUISSE

Monsieur le Prof. C. Meyer de Stadelhofen présenta à la séance de la Commission Géotechnique du 15 janvier 1972 un manuscrit de son élève E. Klingele : "Contribution à l'Etude gravimétrique de la Suisse Romande et des Régions avoisinantes". 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. Klingele de cette contribution intéressante à la recherche gravimétrique 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 Quervain*

Zurich, juillet 1972

TABLE DES MATIERES

	page
AVANT-PROPOS	4
CHAPITRE 1. Introduction	5
1.1. But du travail	5
1.2. Délimitation géographique	5
1.3. Contexte géologique	5
CHAPITRE 2. Données de terrain	8
2.1. Réseau de base	8
2.2. Repérage des stations en X et Y	12
2.3. Repérage en altitude	12
2.4. Levé gravimétrique	15
CHAPITRE 3. Rappels théoriques	16
3.1. Elaboration des modèles	16
3.2. Effet du relief	17
3.2.1. Nouvelle méthode de corrections topographiques	20
CHAPITRE 4. Mesures et corrections	25
4.1. Résumé explicatif	25
4.2. Tableau des données	26
CHAPITRE 5. Représentation graphique des modèles	38
5.1. Introduction	38
5.2. Modèle Air-libre	38
5.3. Modèle de Bouguer sans corrections topographiques	38
5.4. Modèle de Bouguer avec corrections topographiques	38
5.5. Modèle isostatique AIRY-HEISKANEN	47
5.6. Modèle du plateau molassique	51
5.6.1. Variation de la densité de la molasse en fonction de la profondeur ..	56
5.6.2. Analyse des modèles molassiques	60
5.7. Les modèles de Bouguer modifiés	60
CHAPITRE 6. Les régionales par filtrage	73
6.1. Considérations théoriques	73
6.2. Commentaires sur les cartes filtrées	80
BIBLIOGRAPHIE	93

AVANT - PROPOS

J'exprime à la Commission Géotechnique Suisse mes plus sincères remerciements pour son importante contribution matérielle. Sans elle cette étude n'aurait pu être exécutée.

Je dédie ce travail à mon épouse qui, tout au long de ce travail, a su me seconder moralement. Je la remercie également de son efficace contribution à l'exécution des planches et dessins de ce travail.

Le professeur MEYER DE STADELHOFEN m'a chargé de cette étude puis m'a laissé toute liberté pour la mener à bien. Je le remercie de la confiance qu'il m'a accordée et je lui suis reconnaissant des conseils judicieux qu'il m'a prodigués lors de l'interprétation.

Je remercie très sincèrement le professeur C. MORELLI d'avoir si spontanément accepté, malgré ses multiples activités, de faire partie du Jury de cette thèse.

J'exprime à Monsieur J.-J. WAGNER mes plus sincères remerciements pour avoir su me guider sans faiblesses. Je le remercie aussi d'avoir assumé la responsabilité de faire partie de mon Jury de thèse.

Il m'est extrêmement agréable d'exprimer ma gratitude à tous ceux qui m'ont aidé et conseillé au cours de cette étude.

Monsieur le Professeur KOBOLD Président de la Commission Géodésique Suisse qui m'a communiqué des valeurs inédites du réseau de la pesanteur de second ordre.

Monsieur R. OLIVIER, mon camarade du Laboratoire de Géophysique, pour ses judicieux et désintéressés conseils en programmation.

Professeur CHESSEX, Messieurs CHAROLLAIS, KRUMMENACHER, JAQUET et RIGASSI avec lesquels j'ai eu d'intéressantes discussions.

Madame S. THIERY qui avec habilité et patience s'est chargée de dactylographier mon manuscrit.

Je ne saurai terminer sans mentionner mon compagnon de terrain Monsieur F. PERRET avec qui au long des jours j'ai forgé une authentique amitié.

CHAPITRE I – INTRODUCTION

1.1. BUT DU TRAVAIL

Dans le cadre de ce travail, nous avons tenté le premier pas vers un levé général de la Suisse à l'aide de gravimètre. En effet, jusqu'à ce jour il n'existait de notre pays qu'un levé pendulaire effectué par TH. NIETHAMMER entre 1900 et 1916.

Sur la base de ces levés, nous nous sommes fixé d'établir le plus grand nombre possible de modèles, en tenant compte de paramètres plus nombreux qu'il n'est d'usage habituellement, grâce à l'intervention de l'ordinateur comme instrument de travail. Ces modèles ont été, dans la mesure du possible reliés à des phénomènes tectoniques ou ont permis de différencier les effets régionaux des principales structures de l'étude.

1.2. DELIMITATION GEOGRAPHIQUE

La zone étudiée se présente en gros comme un rectangle de 116 x 160 km, orienté SE-NW, et ayant une aire de 18'000 km².

La limite NE est représentée par une droite joignant La Chaux-de-Fonds à la vallée de Binn (Valais), la limite SW par la vallée de l'Arve, prolongée d'une part jusqu'au pied de la chaîne du Jura, et d'autre part jusqu'à la vallée d'Aoste sur le versant sud du Mont-Blanc.

Les lignes NW et SE sont déterminées d'une part par les sommets de la première chaîne du Jura, d'autre part par une ligne suivant la Doire Baltée d'Aoste à Chatillon, continuant ensuite jusqu'à Domodossola, puis empruntant le val Antigorio jusqu'à Fondovalle.

1.3. CONTEXTE GEOLOGIQUE

Du point de vue géologique, il est possible de différencier de grandes unités parallèles entre elles et dont les directions coïncident avec celle de la chaîne alpine.

Si nous nous déplaçons du NW vers le SE nous rencontrons successivement :

La chaîne du Jura : essentiellement formée de matériaux calcaires et présentant, au moins dans la partie étudiée, une série de synclinaux et d'anticlinaux réguliers.

Le plateau molassique : importante cuvette remplie de sédiment greso-calcaire dont la principale caractéristique est de se différencier de l'ensemble de l'étude par une densité faible.

La zone des nappes (Préalpes, Ultra Helvétiques, Helvétiques) que l'on considère classiquement comme de grandes masses allochtones mises en place par la poussée alpine.

Les massifs cristallins externes (Aig. Rouges, Aar) : sortes de bastions rigides supposés immobiles depuis l'orogène hercynienne.

La zone des nappes penniques : vaste complexe de matériaux cristallins, éruptif, cristallophylien et sédimentaire charié et plissé et dont une description détaillée sortirait du cadre de notre propos.

Voir planche I.

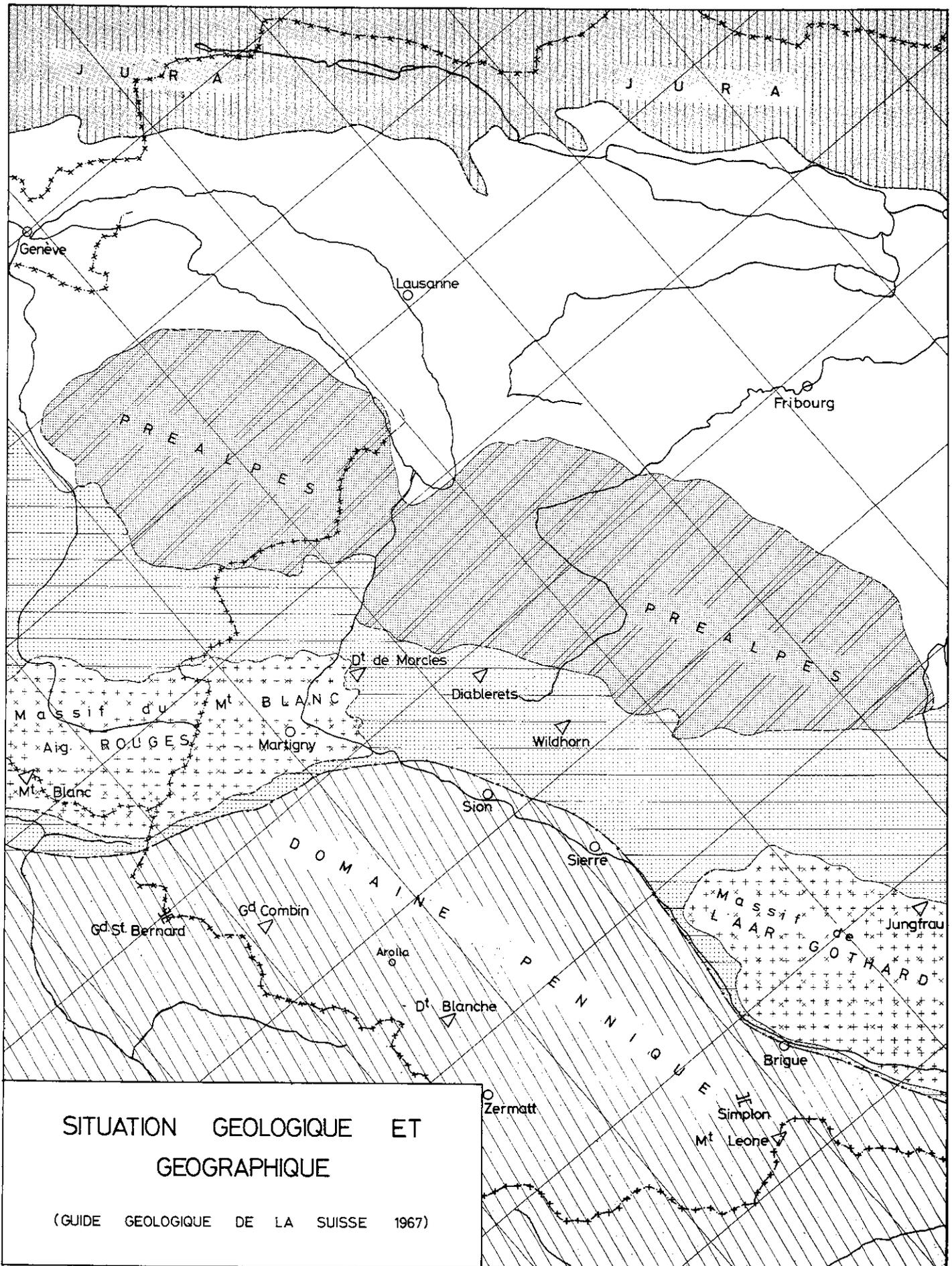


Planche I

CHAPITRE II – DONNEES DE TERRAIN

Le terrain a été couvert par 408 points de mesure, soit une densité moyenne d'une station pour 45 km²; en fait, les stations ne sont pas réparties de manière homogène sur toute la surface, car dans la partie la plus montagneuse d'importants "trous" sont provoqués par l'inaccessibilité des cimes. Le nombre des stations a été imposé par les considérations suivantes :

1. Répartir les stations le plus régulièrement possible en augmentant localement leur nombre lorsque des structures géologiques l'imposaient.
2. Implanter les stations des régions à fort relief dans des endroits où les corrections topographiques proches ne seraient pas trop importantes et garderaient encore un sens.

Notre propos n'étant pas d'analyser les anomalies de faible importance mais plutôt de nous intéresser aux structures profondes, nous avons choisi une maille de mesure assez large. Celle-ci opère comme un filtre passe-bas et coupe les "fréquences" élevées dues aux anomalies de petites dimensions ou de faibles rayons de courbures caractéristiques des masses de surface.

Les emplacements des stations sont reportés avec leur numéro sur la planche II.

2.1. RESEAU DE BASE

Nous avons employé comme réseau de base le réseau fondamental Suisse de la pesanteur et la contribution Suisse au réseau européen unifié de nivellement (Astronomischgeodätische Arbeiten in der Schweiz, Band 25, 1959) ayant comme base fondamentale Zürich ETH 980667.00 mgal (Réf. 1930) ainsi qu'au réseau de premier ordre établi entre 1962 et 1966 par la Commission Géodésique Suisse et ajusté à la nouvelle valeur du réseau de Postdam (1967).

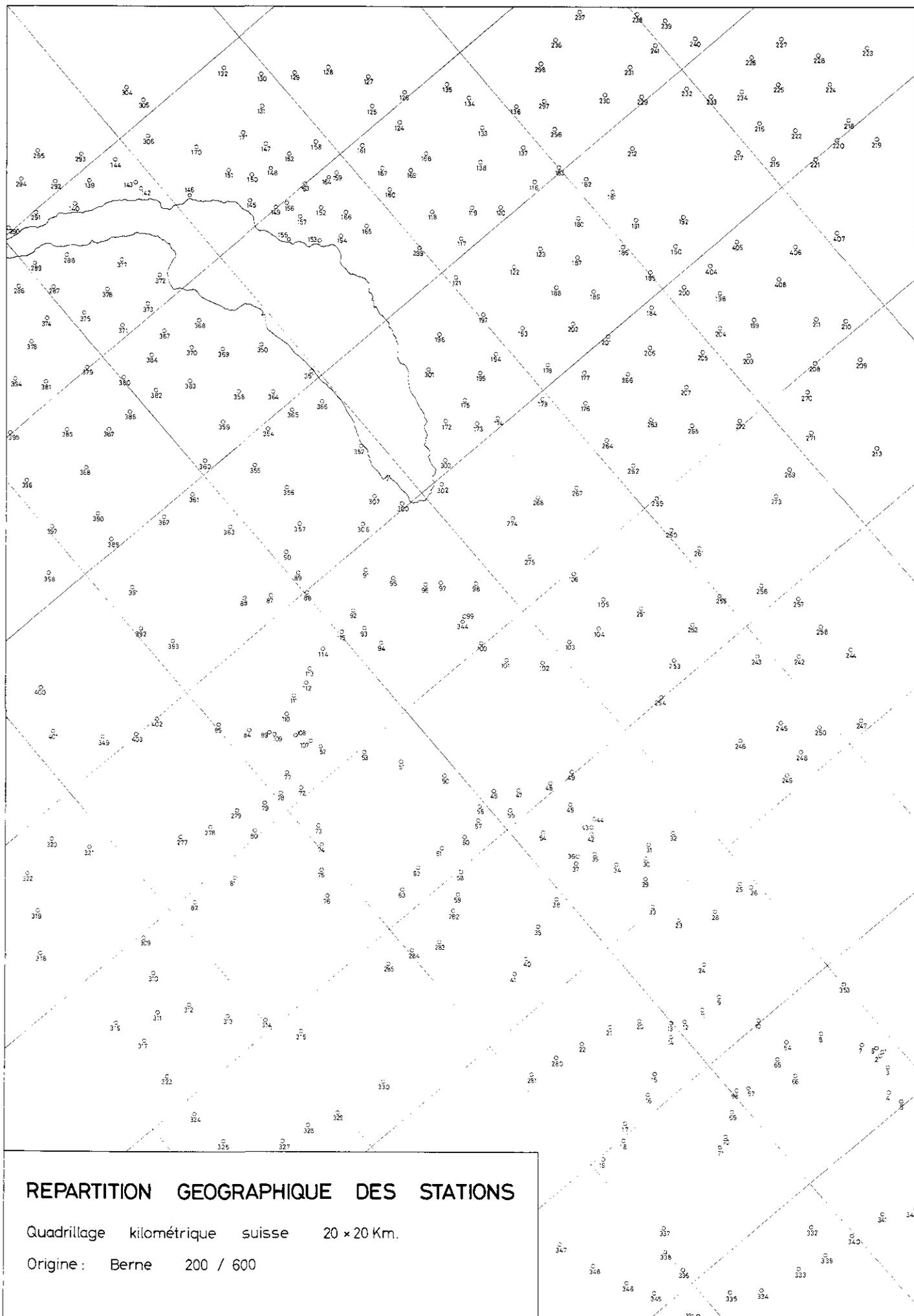
Zürich ETH 980652.00 mgal

Nous donnons, dans le tableau 1, la liste des stations de base avec la valeur correspondante de G au gravimètre.

En plus des stations de ces réseaux, nous avons dû, pour des raisons d'itinéraires et de qualité du levé, établir des stations et des petits réseaux intermédiaires raccordés au réseau fondamental (voir tableau 2 et planche III).

Pour chaque station du réseau fondamental que nous avons utilisé, nous nous sommes placés dans les conditions exactes du levé initial.

La correspondance entre les valeurs rapportées à "Zürich 1930" et "Zürich 1967" peut être faite dans le tableau 1 en ajoutant ou retranchant 15 mgal à la valeur portée en regard de la station.



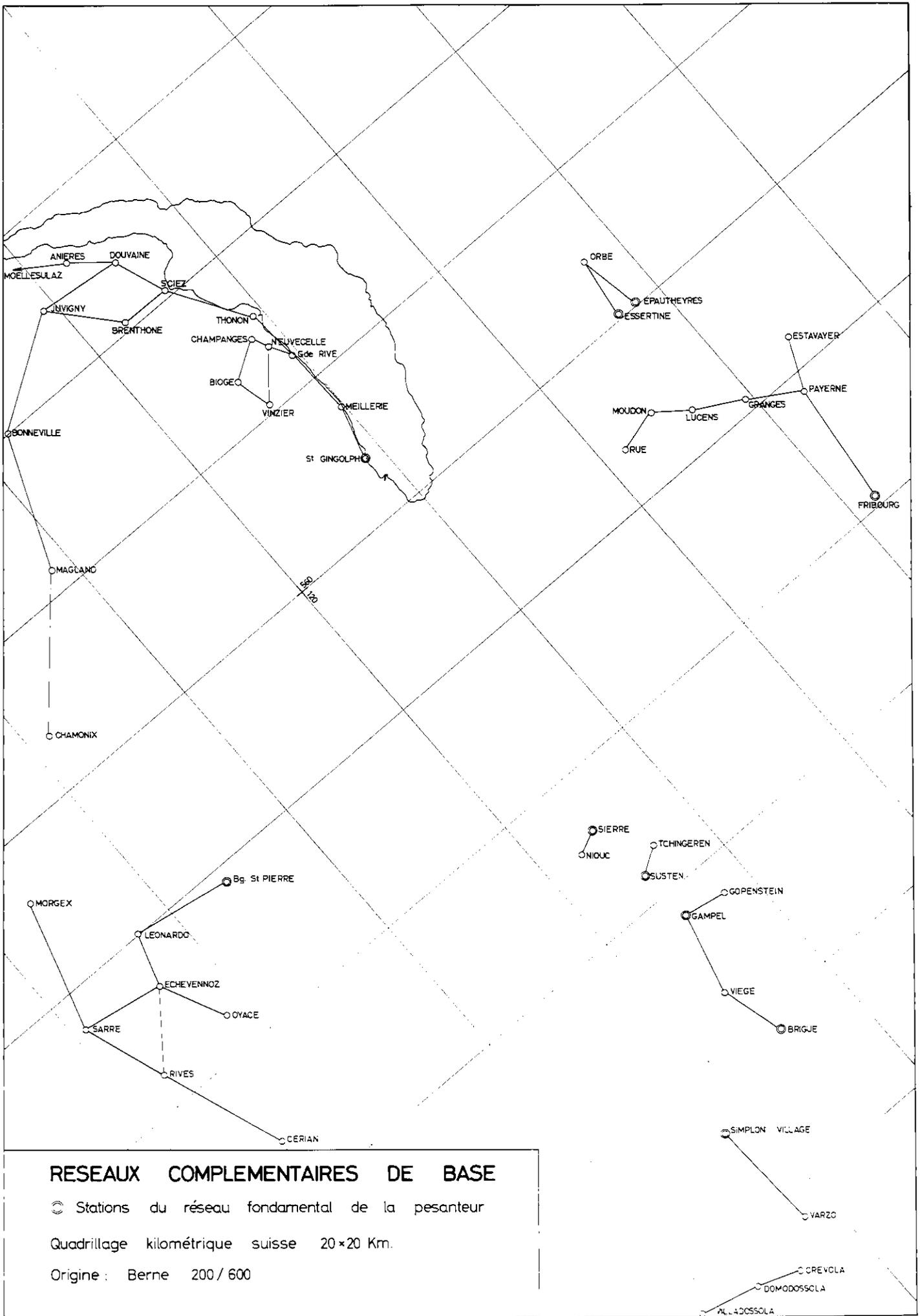


TABLEAU 1

	1930	1967		1930	1967
AIGLE	546.26		LA CURE		469.59
ARDON	467.76		LAX	373.89	
BEVAIX	644.17		MARTIGNY	461.84	
BOUDEVILLIER		584.18	MOILLESULAZ	572.78	
BRIGUE	425.06		MONTHEY	529.54	
BOURG ST PIERRE	215.02		MORGES	624.08	
BULLE	521.43		ORSIERES	359.17	
CHARRAT	459.49		REICHENBACH	500.17	
CHAUX-DE-FONDS		554.04	SAANEN		469.54
CHESEAUX	585.30		SEMBRANCHER	405.49	
CHEZ LE BART	648.35		SIERRE	465.79	
CONCISE	642.01		SIMPLON VILLAGE		255.6
DIESCH	381.18		SION	469.52	
ECHALLENS	584.65		ST GINGOLPH		560.66
EPAUTHEYRE	610.01		ST NIKLAUS		293.93
ESTAVAYER		619.53	SUSTEN	441.57	
FLEURIER		578.79	VERSOIX	601.16	
FRIBOURG	586.53		VETROZ	471.99	
GAMPEL	423.44		ZOLLHAUS		490.34
GAMSEN	417.39		ZWEISIMMEN		450.25
JONGNY	554.99				

Bases des réseaux gravimétriques fondamentaux et de 1er ordre utilisés pour l'étude.

Les valeurs sont relatives à 980'000 mgal. Les dénominations 1930, 1967 représentent les systèmes employés pour la valeur fondamentale (E.T.H. ZURICH)

TABLEAU 2

Bases implantées pour cette étude.

Localités	Gg	Localités	Gg
ANIERES	585.21	MORGEX	325.36
BIOGE	559.04	MOUDON	591.06
BONNEVILLE	534.42	NEUVECELLE	547.53
BRENTHONE	554.06	NIOUC	339.41
CERIAN	372.49	ORBE	623.91
CHAMPANGES	538.61	PAYERNE	625.35
CRODO	482.24	RIVES	416.60
DOUVAIN	590.49	RUE	554.44
ECHEVENNOZ	283.58	SAN LEONARDO	233.88
GDE RIVE	598.56	SARRE	399.35
GONDO	377.72	SCIEZ	598.62
GOPPENSTEIN	338.08	ST.GINGOLPH (F)	575.82
GRANGES	611.99	TSCHINGEREN	391.22
JUVIGNY	548.85	THONON	601.12
LES PRAZ	340.59	VARZO I	523.12
LUCENS	598.06	VARZO II	496.92
MAGLAND	478.19	VIEGE	419.53
MEILLERIE	584.55	VINZIER	496.92

Les valeurs sont rapportées à 980000 mgal et sont relatives à l'ancienne valeur de Potsdam (1930).

Ce travail chevauchant trois pays il a été nécessaire de multiplier le nombre de stations de base afin d'obtenir la meilleure homogénéité possible des mesures.

Sur les 408 points de mesures de cette études 9 sont issues d'un travail de J.J. WAGNER (1970) et 12 de celui de P. CORNICHE (1972).

2.2. REPERAGE DES STATIONS EN X ET Y

Chaque station devant être repérée en longitude et en latitude, nous avons choisi de partir des coordonnées kilométriques suisses, plus faciles à exprimer à partir des cartes, puis de transformer ces coordonnées en coordonnées géographiques.

Deux méthodes ont été employées pour obtenir X et Y. D'une part, à partir des points de triangulation de IIIe et IVe ordre en Suisse, d'autre part, pour les stations ne pouvant pas coïncider avec ces points ou se trouvant en France ou en Italie, par un pointage sur carte au 25'000e ou au 50'000e. La précision obtenue varie de $\pm 0,50$ m pour les points de triangulation et ± 15 m pour les points issus des cartes au 1/50'000e, ce qui n'entache les anomalies que d'une erreur maximale de 2/100 de mgal (voir formule internationale).

2.3. REPERAGE EN ALTITUDE

Les stations de notre étude peuvent être réparties en 4 groupes selon le mode de repérage en altitude qui leur a été appliqué.

- 1) Stations se trouvant sur des points de triangulation de IVe ordre : l'altitude est connue à quelques centimètres près.
- 2) Stations ne se trouvant pas trop éloignées, $D < 1000$ m., d'un itinéraire du nivellement de précision et dont l'altitude a été mesurée au niveau à lunette et à la latte : précision attendue 5 à 10 cm.
- 3) Stations placées dans la même situation que celles du groupe 2) mais dont l'altitude de base est prise sur un point de triangulation de IVe ordre : précision attendue 10 à 20 cm.
- 4) Stations ne pouvant pas être rattachées aux groupes 1) à 3) et ayant fait l'objet d'un nivellement barométrique : précision (voir discussion)

Nivellement barométrique

Pour ce travail, nous avons utilisé un altimètre géodésique Thommen type 3B4 n° 84282 couplé avec un thermomètre à thermotransistor donnant le 1/10 de degré et atteignant sa position d'équilibre en quelques secondes.

Ce type d'altimètre permet une lecture à 0,5 m. près, garantie avec une précision de 2 m. pour des différences d'altitudes n'excédant pas 250 m.

Afin d'obtenir des altitudes avec la meilleure précision possible, les mesures ont été faites de la manière suivante :

Soit A et B deux points de nivellement ou de triangulation de IVe ordre tels que $H_A < H_S < H_B$ et que $H_S - H_A ; H_B - H_S \leq 250$ m. et P_1, P_2, P_3 , des points cotés sur cartes.

Pour chaque station, nous avons fait des cycles de mesures $H_A \rightarrow P_1 \rightarrow P \rightarrow H_S \rightarrow P \rightarrow P_1 \rightarrow H_A$ $H_B \rightarrow P_K \rightarrow P \rightarrow H_S \rightarrow P \rightarrow H_B \rightarrow H_A \rightarrow H_S$ $H_B \rightarrow H_S \rightarrow H_A$

Ces cycles ont été exécutés le plus rapidement possible pour limiter les effets des brusques variations de pression barométrique d'origine météorologique, chaque cycle étant corrigé de l'influence des écarts de la température à la température normale de la façon suivante :

Altitude	θ_{th}	θ réel
H_A	$15 - 0.0065 \cdot H_A$	θ_A
H_S	$15 - 0.0065 \cdot H_B$	θ_B
<hr/> ΔH	<hr/> Moyenne th	<hr/> M. réelle
Cor	= $\Delta\theta_m \cdot \Delta H \cdot 4$ (Loi empirique)	
H_{vrai}	= H mesuré + Cor.	

Pour évaluer la qualité du nivellement barométrique, nous avons effectué des tests entre des points d'altitudes connues.

Ces contrôles montrent que, lorsque la différence d'altitude est inférieure à 250 m, l'erreur ne dépasse pas 1 m (meilleure précision 0,1 m).

Déterminons la conséquence de cette imprécision d'altitude sur les anomalies.

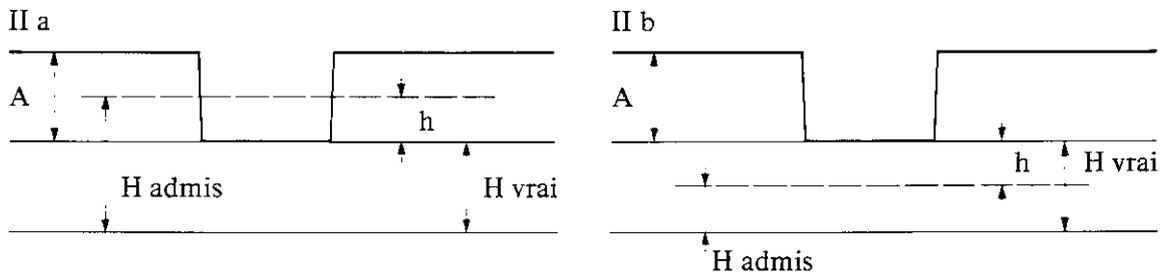
L'anomalie étant définie comme la différence entre la valeur de g mesuré et $g(x,y,h)$ du modèle, (voir chapitre 3), il suffit de considérer l'écart sur le modèle pour situer l'erreur commise.

Admettons que l'erreur d'altitude (h) vaille 1 m.

$$\begin{aligned} g &= -0.3086 \cdot h = 0.0419 \cdot 2.67 \cdot h \\ &= -0.386 + 0.0419 \cdot 2.67 = 0.183 \text{ mgal} \end{aligned}$$

Si, dans ce modèle, nous tenons compte de l'effet des irrégularités topographiques au-delà de 20 m (ces dernières étant sans influence puisque prises relativement à la station), l'effet de cet écart d'altitude est assimilable à celui d'une couronne d'épaisseur 1 et de rayons $R_{\min} = 20$ m, $R_{\max} =$ distance maximum des "corrections" topographiques (admettons 160 km).

Deux cas extrêmes peuvent se présenter, en accord avec les figures IIa et IIb.



$$\begin{aligned} G_{th \text{ admis}} &= G\phi - H \cdot 0,3086 - h \cdot 0,3086 + H \cdot 0,0419 \cdot \delta \\ &+ h \cdot 0,0419 \cdot \delta - K \cdot 2\pi \left[R + (A + h) - \sqrt{(A + h)^2 + R^2} \right] \\ &- \left[20 + (A - h) - \sqrt{(A + h)^2 + 20^2} \right] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} G_{th \text{ vrai}} &= G\phi - H \cdot 0,3086 + H \cdot 0,0419 \cdot \delta \\ &- K \cdot 2\pi \left[R + A - \sqrt{A^2 + R^2} - (20 + A) \right. \\ &\left. - \sqrt{A^2 + 20^2} \right] \end{aligned}$$

Posons

$$\begin{aligned} K \cdot 2\pi \cdot f(A - h) \cdot \delta &= \left[20 + (A - h) - \sqrt{20^2 + (A + h)^2} \right] \cdot 2\pi K \\ &= F(A - h) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} G_{th \text{ v}} &= G_p - H \cdot (0,3086 - 0,4195) - \left[0,0419 \cdot \delta \cdot A \right. \\ &\left. - F(A) \right] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Rightarrow \left[\Delta G \right] &= \left[G_{th \text{ a}} - G_{th \text{ v}} \right] = h \cdot 0,3086 + \\ &h \cdot 0,0419 + \underbrace{\left[0,0419 - F(A) \right]}_{Z_1} - \underbrace{\left[0,0419 (A - h) \cdot \delta - F(A - h) \right]}_{Z_2} \end{aligned}$$

les expressions Z_1 et Z_2 ne représentant rien d'autre que les corrections topographiques pour une altitude de A et de A-h, nous voyons donc que l'écart introduit correspond à une couronne de rayon intérieur $r = 20$ de rayon extérieur R , d'épaisseur h mais de signe +

Si nous prenons $h = 1$ m, $\delta = 2,67$, par exemple

l'erreur vaudra

$$- 0,3086 + 0,0419 \cdot \delta \cdot h + 0,016 = - 0,1814$$

Dans le cas de l'altitude sous-estimée l'erreur sera de même valeur mais de signe contraire et, en prenant les valeurs inverses, on aura l'erreur dans le cas d'une topographie en creux.

2.4. LEVE GRAVIMETRIQUE

Le levé gravimétrique a été exécuté avec un soin tout particulier, non pas pour augmenter la précision de l'étude qui, nous venons de le voir, est limitée par la précision du nivellement, mais dans l'espoir que lorsque des documents altimétriques plus précis seront disponibles, ces mesures puissent servir, à une interprétation plus fine.

L'appareil employé est un gravimètre Worden type Master, n° 805, thermostatisé.

Tous les cycles ont été fermés dans un temps inférieur à 2 heures et toutes les valeurs obtenues ont été corrigées de l'influence luni-solaire. Les résultats présentant, après cette opération, une dérive nulle ou négative ont été éliminés et les mesures correspondantes refaites.

CHAPITRE III – MODELES GRAVIMETRIQUES

(rappels théoriques)

3.1. ELABORATION DES MODELES

L'interprétation des mesures de pesanteur se fait toujours par rapport à un modèle. On choisit de définir une anomalie comme la différence d'une valeur modèle à une valeur mesurée. L'interprétation se fait alors sur les "anomalies".

Il apparaît que la méthode est entièrement assujettie au modèle et que le degré de perfection de celui-ci détermine l'efficacité de celle-là.

Sans nous appesantir sur la conception des différents modèles, nous allons énumérer ceux que nous emploierons en partant du plus simple.

Modèle air-libre (FAYE)

$$G_1(x,y,h) = \gamma_0(x,y) - K_1(x,y) \cdot h$$

γ_0 = valeur théorique de G en (x,y) pour h = 0 déterminé à partir de la formule internationale de la pesanteur.

$K_1(x,y) \cdot h$ = effet de l'éloignement du point à l'ellipsoïde.

Modèle de Bouguer

$$G_2(x,y,h) = \gamma_0(x,y) - K_1(x,y) \cdot h + K_2 \cdot h$$

$K_2 \cdot h$ = effet d'une "couche de matière" s'étendant de l'ellipsoïde au point considéré.

K_2 peut prendre deux allures, soit que l'on conçoive la couche comme plane et d'extension infinie, soit comme une calotte sphérique de rayon R.

$$G_2(x,y,h) = G_1(x,y,h) + K_2 \cdot h$$

Modèle de Bouguer avec effet de la topographie

$$G_3(x,y,h) = \gamma_0(x,y) - K_1(x,y) \cdot h + K_2 \cdot h + \sum_{\zeta} f(h, H_i, \Delta S_i, r_i^2)$$

$f(h, H_i, \Delta S_i, r_i^2)$ = Effet des irrégularités topographiques de hauteur H_i , de surface de base ΔS et d'éloignement r du point P. (x,y)

$$G_3(x,y,h) = G_2(x,y,h) + \sum_{\zeta} f(h, H_i, \Delta S_i, r_i^2)$$

Modèle topo-isostatique (AIRY)

$$G_4(x,y,h) = \gamma_0(x,y) - K_1(x,y) \cdot h + K_2 \cdot h + \left[\sum_{\zeta} f(h, H_i, \Delta S_i, r_i^2) \right. \\ \left. + F(h, H_i, \Delta S_i, r_i^2, T, \delta c, \delta m) \right]$$

$F(h, H_i, \Delta S_i, r_i^2, T, \delta c, \delta m)$ = Effet de l'enfoncement de la croûte dans le manteau, selon le schéma de AIRY-HAISKANEN.

Dans les modèles où intervient la densité des roches de surface celle-ci est supposée constante. Le pas suivant dans le perfectionnement des modèles serait de tenir compte des variations de densité horizontales et verticales de la zone étudiée. Cependant, hormis le cas de grosses structures bien individualisées et de densité connue, on risque d'introduire des éléments subjectifs dans les modèles lors du choix des densités et des limites entre celles-ci.

Lors d'une étude devant déboucher sur la mise en évidence de structures profondes, les "erreurs" introduites par un mauvais choix de la densité des roches de surface pourront être "éliminées" par décompositions des anomalies en effet régional et résiduel.

Dans les modèles que nous venons d'énumérer, la valeur de $\gamma_o(x,y)$ est connue grâce à des études géodésiques et dépend des paramètres géométriques de la terre.

Deux formules, dites de pesanteur normale, sont en concurrence.

Ellipsoïde 1930 :

$$a = 6378\,388,000 \text{ mètres}$$

$$f = 1/297,00$$

$$\gamma_e = 978.049,00 \text{ mgals}$$

$$\gamma_o = 978049,00 (1 + 0,0052884 \sin^2 \phi - 0.0000059 \sin^2 2\phi)$$

Ellipsoïde 1967 : (WOOLARD)

$$a = 6378\,388,160$$

$$f = 1/298,25$$

$$\gamma_e = 978.031,8 \text{ mgals}$$

$$\gamma_o = 978031,8 (1 + 0,0053024 \sin^2 \phi - 0.0000058 \sin^2 2\phi)$$

Ces deux formules différant notablement, nous avons calculé, pour notre zone, la différence de pesanteur introduite dans les modèles par l'emploi d'une formule plutôt que l'autre, en prenant comme valeurs de base Zürich s'y référant.

Cette différence est reportée pour chaque station dont la colonne DEL du tableau des mesures.

3.2. EFFET DU RELIEF

Dans l'élaboration des modèles de Bouguer avec effet du relief et topo-isostatiques, la technique employée pour le calcul de l'effet des irrégularités influe considérablement la précision du modèle. C'est pourquoi, afin de donner une idée de la précision des résultats, nous allons décrire les méthodes employées.

Corrections proches

Les "corrections" proches 0 – 2,6 km ont été obtenues grâce à la méthode désormais classique des secteurs de couronnes. Les valeurs des rayons et le nombre des compartiments, reportés dans le tableau III, ont été choisis en fonction des documents topographiques. En effet, il est bien connu que, pour augmenter la précision, il faut diminuer la largeur des

zones et augmenter le nombre des compartiments. Mais encore fait-il pouvoir lire les altitudes sur la carte et, pour cela il est nécessaire que, dans ou à proximité immédiate de chaque compartiment, passe **au moins** une courbe de niveau.

Les rayons des couronnes et le nombre des compartiments ont été choisis de façon telle que les lectures puissent être faites sur les plus mauvais documents à notre disposition, en tenant compte de cette remarque.

ZONES	Rmin	Rmax	N	DOCUMENT SOURCES
A	0	2	4	TERRAIN
B1	2	20	4	TERRAIN
EK1	20	100	6	TERRAIN OU CARTES AU 1/5000, 1/10000, 1/25000
EK2	100	300	12	IDEM SAUF TERRAIN
EK3	300	600	12	CARTES AU 1/10000 OU 1/25000
EK4	600	1000	12	CARTES AU 1/25000 OU 1/50000
EK5	1000	1400	24	IDEM
EK6	1400	1900	24	IDEM
EK7	1900	2500	24	IDEM

Tableau III

Pour 32 de nos stations, cette même méthode, des couronnes et les mêmes paramètres ont été employées mais les altitudes ont été tirées d'une digitalisation du relief par grille de 50 x 50 m. Les calculs de l'effet sur G et l'estimation des altitudes ont directement été exécutés à partir d'une bande magnétique (OLIVIER, R. 1968)

Corrections à moyennes et grandes distances

Les corrections à moyennes et longues distances ont été exécutées à l'aide d'un programme dû à D. PLOUFF, modifié par R. OLIVIER et J.-J. WAGNER. Ce programme permet de calculer l'effet d'un relief discrétisé selon une maille carrée de 1' x 1' pour les moyennes distances (2,6 à 21 km) et de 3' x 3' pour les grandes distances (21 à 166 km).

Cette discrétisation a été faite en partie à la main à partir de cartes au 1/50'000 et 1/100'000 suisses, françaises et italiennes, et en partie à partir d'une bande magnétique, obligeamment prêtée par le Service de la Recherche Opérationnelle, contenant la topographie suisse en blocs de 250 x 250 m. et en coordonnées rectangulaires.

Remarques sur les corrections à courtes et moyennes distances

Le calcul de l'effet du relief par la méthode classique des secteurs de couronnes n'est pas très souple et peut, de plus, introduire des erreurs très importantes.

Considérons une coupe de terrain selon la figure 3.1.A

Les traits verticaux représentent les limites des couronnes et les traits horizontaux l'altitude moyenne utilisée pour le calcul. On voit que, au point de vue gravimétrique, le comblement des creux et l'arasement des bosses ne peuvent pas avoir le même effet que le secteur de couronne dont le toit serait la surface topographique.

Beaucoup d'auteurs se sont penchés sur ce problème mais tous ou presque ont dirigé leurs recherches dans le sens d'une augmentation de la rapidité du calcul et non dans celui d'une augmentation de la précision.

Les méthodes de discrétisation du relief bien que très rapide pour le calcul exigent un grand nombre de mesures pour que l'on puisse s'en servir lors des corrections proches. Elles sont de ce fait coûteuses et peu souples.

SANDBERG (1958) le premier a conçu une approche dans le sens de notre remarque mais bien que sa solution soit exacte la méthode a bien peu de chance d'être couramment employée car les conditions de terrain s'y prêtent rarement.

KANE (1962) va aussi dans le même sens. Il divise la topographie en prismes dont le toit est incliné, mais le plan formant le toit passe toujours par la station.

Il apparaît clairement que là aussi les conditions à remplir par le terrain sont rarement rencontrées dans la pratique.

Au vu de ces quelques remarques il nous a paru bon de développer une méthode permettant de mieux approcher les conditions réelles pour les corrections topographiques proches et à moyenne distance.

Cette méthode consiste à adapter le diamètre des couronnes de façon telle qu'elles correspondent à des ruptures de pente et que le toit de la couronne soit formé d'un plan suivant le mieux possible la topographie en accord avec la figure 3.1.B.

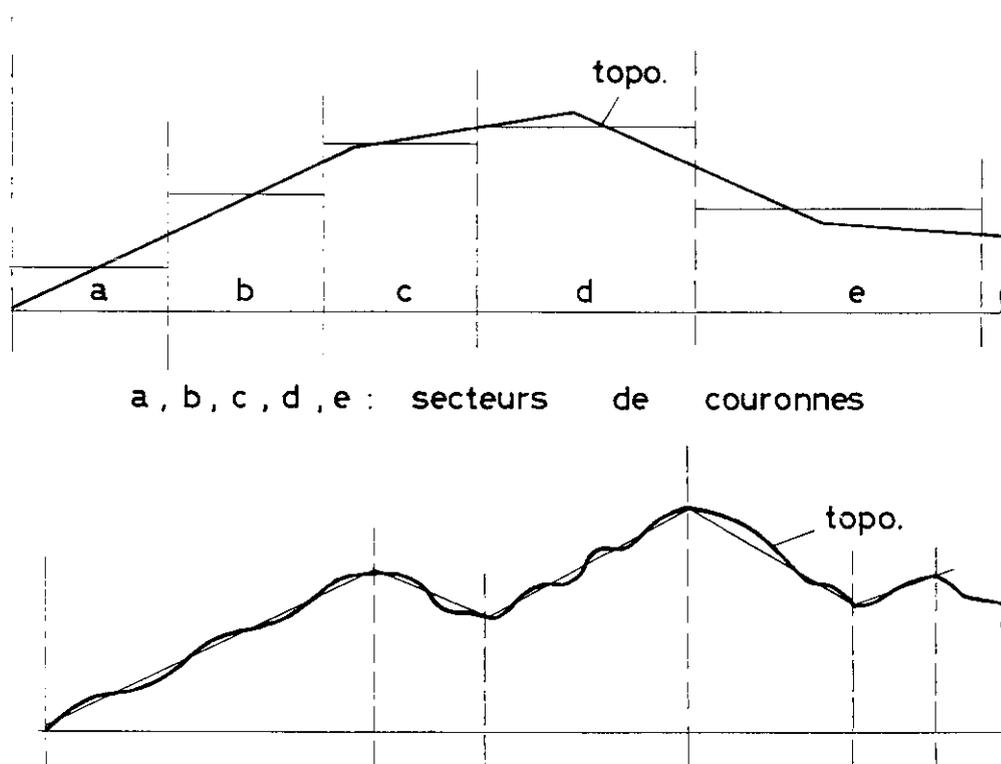
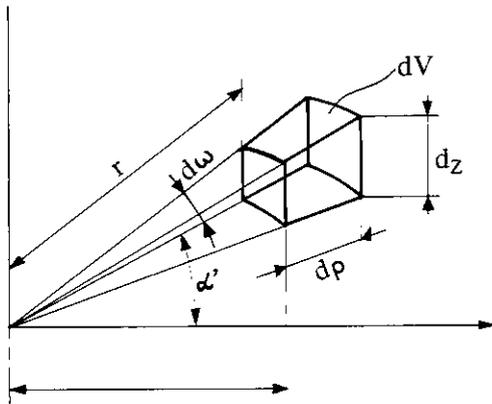
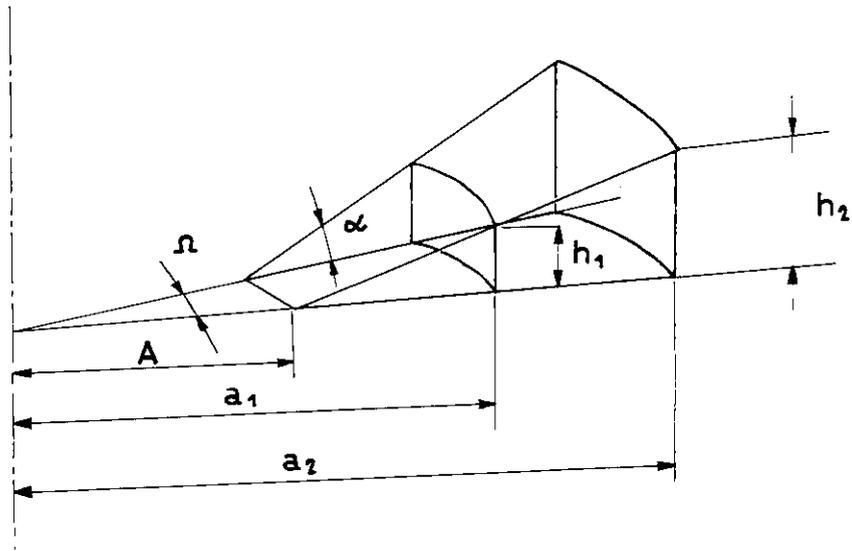


Fig. 3.1.

Calcul de l'attraction d'un secteur de couronne de base plane et horizontale et de toit déterminé par un plan incliné



$$dV = \rho \cdot d\rho \cdot d\omega \cdot dz$$

$$dm = \delta \cdot \rho \cdot d\rho \cdot d\omega \cdot dz$$

$$dg_z = dg_t \cdot \sin \alpha'$$

$$= f \cdot \frac{dm}{r^3} \cdot \sin \alpha'$$

$$= \frac{f \cdot dm \cdot z}{r^3}$$

$$dg_z = \frac{f \cdot \delta \cdot \rho \cdot z \cdot d\rho \cdot d\omega \cdot dz}{(\rho^2 + z^2)^{3/2}}$$

$$\text{d'où } g_z = \iiint \frac{\rho \cdot z \cdot f \cdot \delta \cdot d\rho \cdot d\omega \cdot dz}{(\rho^2 + z^2)^{3/2}}$$

Si l'équation du toit de la structure est de la forme

$Z = f(\rho, \omega)$ on aura.

$$g_z = \int_0^{\theta} \int_0^{a_1} \int_0^{z(\rho, \omega)} \frac{\rho \cdot z \cdot f \cdot \delta \cdot d\rho \cdot d\omega \cdot dz}{(\rho^2 + z^2)^{3/2}}$$

Cas particulier : Le toit est un plan dont z ne dépend que de ρ

Posons $z(a_1) = h_1$; $z(a_2) = h_2$

$$z = h_1 + (\rho - a_1) \cdot \operatorname{tg} \alpha = (\rho - A) \cdot K$$

$$\text{avec } K = \operatorname{tg} \alpha = \frac{h_2 - h_1}{a_2 - a_1}$$

$$\rho \cos \omega = \rho \cdot \cos \omega$$

Limites d'intégration

$$\rho : a_1 \longrightarrow a_2$$

$$Z : 0 \longrightarrow (\rho \cos \omega - A) \cdot K$$

$$\omega : -\frac{\Omega}{2} \longrightarrow +\frac{\Omega}{2}$$

Finalement :

$$G_Z = 2 \cdot f \cdot \delta \cdot \int_0^{\frac{\Omega}{2}} \int_0^{a_2} \int_0^{K \cdot (\rho \cos \omega - A)} \frac{z \cdot \rho \cdot dz \cdot d\rho \cdot d\omega}{(z^2 + \rho^2)^{3/2}}$$

Intégration selon Z

$$\int_0^{K(\rho \cos \omega - A)} \frac{Z \cdot dz}{(Z^2 + \rho^2)^{3/2}} = \left. -\frac{1}{(Z^2 + \rho^2)^{1/2}} \right|_0^{K(\rho \cos \omega - A)}$$

$$= \frac{1}{\rho} \frac{1}{\sqrt{\rho^2 + \rho^2 \cdot K^2 \cos^2 \omega - \rho \cdot 2AK^2 \cos \omega + A^2 K^2}}$$

Intégration selon ρ

$$\int_{a_1}^{a_2} \rho \left[\frac{1}{\rho} - \sqrt{\frac{1}{\rho^2}} \right] d\rho = \int_{a_1}^{a_2} d\rho - \underbrace{\int_{a_1}^{a_2} \frac{1}{\rho} d\rho}_A$$

$$\underbrace{\int_{a_1}^{a_2} \sqrt{\frac{\rho \cdot d\rho}{\rho^2}}}_B$$

$$A = a_2 - a_1$$

B = intégrale du type

$$\int \frac{A^* x + B}{\sqrt{ax^2 + bx + c}} dx$$

$$\begin{aligned} \text{avec} \quad a &= (1 - K^2 \cos^2 \omega) \\ b &= -2 A K^2 \cos \omega \\ c &= A^2 K^2 \\ A^* &= 1, \quad B^* = 0 \end{aligned}$$

que l'on résout par décomposition

$$\begin{aligned} \int \frac{A^*x + B}{\sqrt{ax^2 + bx + c}} dx &= \int \frac{\frac{A^*}{2a} (2ax + b) + B^* \frac{A^*b}{2a}}{\sqrt{ax^2 + bx + c}} dx \\ &= \underbrace{\frac{A^*}{2a} \int \frac{2ax + b}{\sqrt{ax^2 + bx + c}} dx}_{I_1} + \underbrace{\left(B^* - \frac{A^*b}{2a} \right) \int \frac{dx}{\sqrt{ax^2 + bx + c}}}_{I_2} \end{aligned}$$

$$I_1 : \text{ Posons } ax^2 + bx + c = t \\ dt = (2ax + b) dx$$

$$\text{alors } I_1 \text{ devient } \int \frac{dt}{t} \text{ avec pour solution}$$

$$2 \sqrt{t} \text{ et par conséquent } I_1 = 2 (ax^2 + bx + c)^{1/2}$$

$$I_2 : \text{ Posons } B^* - \frac{A^*b}{2a} = C^* \text{ et remarquons}$$

$$\text{que } ax^2 + bx + c = \left[x^2 + \frac{2bx}{2a} + \left(\frac{b}{2a} \right)^2 + \frac{c}{a} - \left(\frac{b}{2a} \right)^2 \right] a$$

$$\text{en groupant les termes } = a \left[\left(x + \frac{b}{2a} \right)^2 + R^2 \right]$$

$$I_2 \text{ devient } \frac{C^*}{\sqrt{a}} \int \frac{dx}{\sqrt{x + \frac{b}{2a} + R^2}}$$

$$\text{Posons } x + \frac{b}{2a} = t \Rightarrow dx = dt$$

$$\Rightarrow I_2 = \frac{C^*}{\sqrt{a}} \int \frac{dt}{\sqrt{t^2 + R^2}} = \frac{C^*}{\sqrt{a}} \cdot \ln \left(t + \sqrt{t^2 + R^2} \right)$$

+ C t e

En revenant à la variable initiale

$$I_2 = \frac{C^*}{\sqrt{a}} \cdot \ln \left[x + \frac{b}{2a} + \sqrt{\left(x + \frac{b}{2a}\right)^2 + \left(\frac{c}{a} - \frac{b^2}{4a^2}\right)} \right] + C_2$$

En développant sous la racine et en groupant des termes

$$= \frac{C^*}{\sqrt{a}} \cdot \ln \frac{1}{\sqrt{a}} \left[\frac{ax + \frac{b}{2}}{\sqrt{a}} + \sqrt{ax^2 + bx + c} \right] + C_2$$

ou $\frac{C^*}{\sqrt{a}} \cdot \ln C_3 \cdot \left[\dots \dots \dots \right]$

nous obtenons alors

$$B = \frac{1}{2(1 + K^2 \cos^2 \omega)} \int \frac{2(1 + K^2 \cos^2 \rho) \rho - 2AK \cos \omega}{\sqrt{\rho^2(1 + K^2 \cos^2 \omega) - 2AK\rho \cos \omega + A^2K^2}} \cdot d\rho$$

$$+ \frac{2AK \cos \omega}{2(1 + K^2 \cos^2 \omega)} \int \frac{d\rho}{\sqrt{\rho^2(1 + K^2 \cos^2 \omega) - 2AK\rho \cos \omega + A^2K^2}}$$

Résolution du premier terme

$$pT = \frac{1}{2(1 + K^2 \cos^2 \omega)} \left. 2 \sqrt{\rho^2(1 + K^2 \cos^2 \omega) - 2AK^2 \rho \cos \omega + A^2K^2} \right|_{a_1}^{a_2}$$

$$= \frac{1}{(1 + K^2 \cos^2 \omega)} \left[\sqrt{P(a_2, \cos \omega)} - \sqrt{P(a_1, \cos \omega)} \right]$$

avec $P(a_j, \cos \omega) = a_j^2(1 + K^2 \cos^2 \omega) - 2AK^2 a_j \cos \omega + A^2K^2$

Résolution du second terme

$$sT = \left(\frac{AK^2 \cos \omega}{1 + K^2 \cos^2 \omega} \right) \frac{1}{\sqrt{1 + K^2 \cos^2 \omega}} \ln \frac{1}{\sqrt{1 + K^2 \cos^2 \omega}} \left. \left\{ \frac{\rho(1 + K^2 \cos^2 \omega) - AK^2 \cos \omega}{\sqrt{1 + K^2 \cos^2 \omega}} \sqrt{\rho^2(1 + K^2 \cos^2 \omega) - 2AK\rho \cos \omega + A^2K^2} \right\} \right|_{a_1}^{a_2}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{AK^2 \cos \omega}{(1 + K^2 \cos^2 \omega)} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 + K^2 \cos^2 \omega}} \cdot \ln \frac{1}{\sqrt{1 + K^2 \cos^2 \omega}} \left[\right. \\
&\quad \frac{a_2 (1 + K^2 \cos^2 \omega) - AK^2 \cos \omega}{\sqrt{1 + K^2 \cos^2 \omega}} + \sqrt{P(a_2, \cos \omega)} - \\
&\quad \left. \frac{a_1 (1 + K^2 \cos^2 \omega) - AK^2 \cos \omega}{\sqrt{1 + K^2 \cos^2 \omega}} \sqrt{P(a_1, \cos \omega)} \right]
\end{aligned}$$

Toutes ces expressions doivent être intégrées selon ω de $-\Omega/2$ à $+\Omega/2$. Ce travail a été fait numériquement par ordinateur à l'aide d'une sous-routine d'intégration, INTEGRA, que l'on appelle chaque fois que le calcul est nécessaire lors des corrections.

La façon de procéder pour utiliser notre méthode est la suivante :

Sur une table de coordonnées, couplée à un ordinateur, on place la carte topographique d'échelle choisie sur laquelle est tracé l'emplacement des stations. On repère en X, Y un des angles de la carte. A l'emplacement de la station choisie on pose un transparent comportant une série de rayons et un cercle marquant la limite extérieure des corrections topographiques. Le nombre des rayons peut être quelconque mais doit être choisi en fonction de la topographie et de la précision désirée. On se déplace successivement sur tous les rayons en partant du centre et vers l'extérieur, avec le réticule de la table, en notant les altitudes de chaque rupture de pente. L'ordinateur enregistre pour chaque point noté les coordonnées X, Y, Z. A la fin de chaque station la sous-routine INTEGRA calcule l'effet gravimétrique sur la station S des secteurs de couronne dont le toit a une pente de $\frac{Z_i - (Z_{i+1})}{R_i - (R_{i+1})}$.

Les valeurs R_i sont directement calculées des coordonnées X, Y enregistrées à partir du réticule.

CHAPITRE IV – MESURES ET CORRECTIONS

4.1. RESUME EXPLICATIF

Les résultats des mesures et les calculs sont compilés au tableau IV. Nous y avons fait figurer le plus grand nombre de données possibles afin qu'une réinterprétation puisse être faite sans avoir recours à des recherches fastidieuses.

Le tableau IV contient de gauche à droite :

NO	numéro de la station correspondant à la disposition de la planche I.
X Y	coordonnées kilométriques suisses (origine Berne 200'000/600'000) permettant un repérage facile sur le terrain ou sur cartes.
LAT LONG	coordonnées géographiques en latitude et longitude en degrés minutes et secondes. L'origine des latitudes est le méridien de Greenwich.
ALT	altitude en mètre par rapport au niveau de la mer. Toutes les stations ont été ajustées au repère National Suisse d'altitude (Pierre du Niton Genève 373.6 m)
GM	valeur mesurée de g en milligals, toutes corrections instrumentales faites.
FA	valeur de l'anomalie à l'air libre en milligals.
BST	valeur de l'anomalie de Bouguer sans correction topographique, en milligals.
BAT	valeur de l'anomalie de Bouguer avec corrections topographiques jusqu'à 166 km, densité 2.67.
AIRY	valeur de l'anomalie topo-isostatique selon le modèle de AIRY-HEISKANEN $R_m = 166 \text{ km} - \delta_c = 2.67 - \delta_m = 3.27$.
DELTA	écart entre les valeurs de g théorique (sur l'ellipsoïde) selon les deux formules de 1930 et 1967; avec les valeurs de G ZURICH s'y référant.
026	valeur de l'effet du relief de 0 à 2,6 km.

Les valeurs des colonnes GM à AIRY sont relatives à 980'000 mgal. Elles représentent les valeurs calculées avec la formule internationale de la pesanteur de 1930.

NO	X	Y	LAT	LONG	ALT	GH	FA	BST	BAT	AIRY	DEL	026
1	137875	653050	46 23 29	8 7 46	998.5	379.60	-67.22	-178.93	-152.19	-9.75	5.029	5.84
2	137325	653275	46 23 11	8 7 56	1245.8	341.34	-28.72	-168.09	-150.00	-8.73	5.027	4.25
3	137075	655060	46 23 3	8 9 19	1286.0	328.81	-28.62	-172.49	-144.25	-2.67	5.027	16.13
4	135025	657540	46 21 55	8 11 15	1408.0	301.87	-16.23	-173.75	-148.76	-8.12	5.022	13.04
5	135550	659485	46 22 12	8 12 46	1511.5	287.72	1.15	-167.95	-143.43	-3.31	5.024	13.17
6	137530	652250	46 23 20	8 7 8	1044.5	372.99	-59.41	-176.26	-152.49	-10.05	5.028	4.19
7	136490	650710	46 22 45	8 5 56	982.0	378.23	-72.58	-182.43	-152.63	-9.93	5.026	7.90
8	133500	646250	46 21 9	8 2 26	738.5	404.82	-118.73	-201.35	-158.83	-15.14	5.019	14.65
9	126637	634112	46 17 29	7 52 56	603.1	419.65	-121.67	-195.85	-166.00	-21.19	5.005	6.27
10	128550	639675	46 18 30	7 57 17	659.0	417.36	-126.75	-200.47	-166.05	-21.27	5.009	7.71
11	123863	633975	46 15 60	7 52 49	677.0	406.48	-128.30	-204.04	-165.02	-19.27	4.999	13.58
12	121138	633641	46 14 31	7 52 33	696.7	393.66	-132.83	-210.77	-162.32	-16.31	4.993	18.20
13	119760	632700	46 13 47	7 51 49	873.2	368.30	-102.61	-200.29	-162.89	-16.95	4.990	11.60
14	118550	634020	46 13 8	7 52 50	970.1	343.58	-96.43	-204.96	-160.81	-15.21	4.988	19.67
15	113774	636298	46 10 32	7 54 35	1307.1	273.87	-58.26	-204.49	-150.43	-6.19	4.978	27.31
16	111380	637700	46 9 15	7 55 39	1484.5	251.66	-23.77	-189.85	-146.81	-3.68	4.972	18.41
17	107665	638635	46 7 14	7 56 22	1565.5	247.16	0.05	-175.20	-139.70	2.21	4.964	11.49
18	105047	640180	46 5 49	7 57 33	1668.2	229.88	16.29	-170.34	-133.93	6.20	4.959	15.83
19	101500	640315	46 3 54	7 57 38	1876.3	200.51	54.02	-155.89	-122.28	16.27	4.951	16.76
20	116775	629850	46 12 11	7 49 35	1039.1	330.29	-87.01	-203.26	-158.46	-12.13	4.984	16.43
21	113325	627950	46 10 19	7 48 6	1129.0	305.77	-80.99	-207.30	-157.51	-10.74	4.977	16.36
22	109075	627220	46 8 2	7 47 31	1247.2	269.86	-76.98	-216.51	-156.26	-9.34	4.968	22.46
23	129110	623240	46 18 51	7 44 29	631.4	425.04	-128.11	-198.75	-167.33	-23.20	5.010	4.71
24	127690	629725	46 18 11	7 49 32	636.6	419.36	-131.17	-202.39	-172.31	-27.08	5.008	4.64
25	138180	624850	46 23 45	7 45 46	1377.2	308.42	-21.93	-176.00	-146.03	-6.37	5.030	11.16
26	138985	626075	46 24 11	7 46 43	1396.0	304.24	-20.96	-177.13	-146.66	-7.04	5.031	11.04
27	141130	629585	46 25 20	7 49 28	1531.9	281.14	-3.84	-175.22	-142.76	-3.46	5.036	12.45
28	133400	625485	46 21 10	7 46 15	1061.5	338.08	-85.81	-204.57	-154.87	-12.59	5.019	29.05
29	129350	616440	46 18 60	7 39 11	832.0	406.03	-85.43	-178.50	-154.01	-11.87	5.011	7.23
30	131136	614437	46 19 58	7 37 38	916.6	394.57	-72.23	-174.77	-147.75	-7.14	5.015	9.93
31	132595	613323	46 20 45	7 36 46	1142.0	355.75	-42.68	-170.44	-145.56	-6.40	5.018	10.08
32	135925	614225	46 22 33	7 37 28	1325.4	320.34	-24.19	-172.47	-143.25	-5.72	5.025	12.47
33	127730	619750	46 18 7	7 41 45	622.4	430.70	-124.12	-193.75	-163.91	-19.94	5.007	3.38
34	127730	612635	46 18 8	7 36 13	567.0	450.52	-121.41	-184.84	-156.43	-14.25	5.007	4.94
35	126500	609725	46 17 26	7 33 57	565.0	451.51	-120.04	-183.25	-152.03	-10.22	5.005	10.20

NO	X	Y	LAT	LONG	ALT	GM	FA	BST	BAT	AIRY	DEL	026
36	124600	608565	46 16 26	7 33 3	858.1	399.54	-80.02	-176.02	-152.59	-10.81	5.001	9.65
37	123864	609150	46 16 3	7 33 30	986.1	373.75	-65.71	-176.03	-153.75	-11.65	4.999	9.46
38	118958	611036	46 13 24	7 34 57	1171.5	321.23	-57.03	-188.09	-157.99	-13.57	4.989	12.36
39	114805	612129	46 11 9	7 35 48	1373.2	277.27	-35.38	-189.00	-161.44	-15.63	4.980	9.86
40	110869	614307	46 9 1	7 37 29	1576.1	229.42	-17.41	-193.74	-155.18	-8.28	4.972	19.06
41	108425	614825	46 7 42	7 37 53	1677.1	212.17	-1.51	-189.13	-156.48	-9.20	4.966	12.44
42	127875	607560	46 18 13	7 32 16	643.8	448.78	-99.57	-171.60	-151.16	-10.94	5.008	1.83
43	128450	606900	46 18 31	7 31 45	823.0	416.77	-76.75	-168.82	-149.75	-10.36	5.009	3.87
44	129440	606325	46 19 3	7 31 18	1070.8	372.09	-45.76	-165.55	-147.81	-9.56	5.011	5.21
45	128275	602890	46 18 26	7 28 38	1444.5	307.67	6.09	-155.51	-145.61	-8.79	5.009	2.13
46	121915	595275	46 14 60	7 22 42	718.2	437.25	-83.31	-163.66	-149.37	-11.53	4.995	2.36
47	124400	597200	46 16 20	7 24 12	932.2	397.79	-58.75	-163.63	-148.90	-11.83	5.000	3.91
48	128090	599150	46 18 20	7 25 43	1151.6	357.25	-34.57	-163.41	-145.27	-9.59	5.008	7.04
49	131175	599850	46 19 60	7 26 15	1766.5	245.41	40.84	-156.78	-141.00	-8.22	5.015	7.90
50	118400	589610	46 13 6	7 18 18	487.5	472.20	-116.69	-171.23	-153.61	-16.30	4.988	0.20
51	115225	584625	46 11 22	7 14 25	437.5	458.10	-128.21	-182.75	-161.81	-25.30	4.981	1.41
52	108600	576400	46 7 47	7 8 3	459.6	460.11	-129.41	-180.83	-159.05	-22.97	4.967	1.83
53	112400	580575	46 9 50	7 11 17	465.5	460.01	-130.79	-182.86	-160.29	-24.28	4.975	0.94
54	123250	603350	46 15 43	7 28 59	507.4	463.39	-123.30	-180.07	-156.39	-15.29	4.998	2.23
55	121875	598475	46 14 58	7 25 11	500.5	466.68	-121.03	-177.02	-157.22	-17.52	4.995	1.45
56	119210	595550	46 13 32	7 22 55	496.8	464.29	-122.40	-177.98	-155.35	-15.57	4.989	4.36
57	117880	596791	46 12 49	7 23 53	952.1	379.76	-65.34	-171.86	-156.45	-16.15	4.987	4.77
58	111780	600375	46 9 31	7 26 40	932.8	342.38	-85.21	-196.28	-156.18	-11.58	4.973	17.56
59	109640	602310	46 8 22	7 28 10	1221.8	301.61	-53.38	-190.06	-152.12	-6.42	4.969	16.83
60	115100	597265	46 11 19	7 24 15	1207.5	322.42	-41.61	-176.70	-154.81	-13.33	4.981	12.39
61	111940	596485	46 9 37	7 23 39	1297.0	299.12	-34.73	-179.82	-156.61	-14.05	4.974	10.95
62	107922	596425	46 7 26	7 23 36	1553.6	244.77	-6.63	-180.43	-152.52	-8.60	4.965	13.77
63	104550	597200	46 5 37	7 24 12	1792.8	196.08	21.24	-179.33	-150.24	-5.08	4.958	15.50
64	129450	644150	46 18 58	8 0 46	869.3	398.42	-81.49	-178.74	-156.81	-13.08	5.011	2.23
65	127133	645101	46 17 43	8 1 30	1320.8	311.65	-27.04	-174.81	-154.01	-11.37	5.006	8.97
66	127475	648150	46 17 54	8 3 52	1406.9	290.19	-22.19	-179.59	-148.94	-7.18	5.007	17.36
67	121800	645475	46 14 50	8 1 45	1994.6	192.40	65.97	-157.17	-147.38	-6.68	4.994	3.56
68	120516	644712	46 14 9	8 1 9	1912.6	203.69	52.99	-160.98	-148.40	-7.49	4.992	5.60
69	118200	646450	46 12 54	8 2 30	1627.2	244.61	7.73	-174.31	-152.41	-12.11	4.967	9.29
70	115491	648343	46 11 25	8 3 57	1398.6	283.60	-21.62	-178.08	-149.69	-10.59	4.981	11.76

NO	X	Y	LAT	LONG	ALT	GN	FA	BST	BAT	AIRY	DEL	026
71	114050	648875	46 10 39	8 4 21	1289.5	294.79	-43.23	-187.38	-149.11	-10.57	4.978	19.00
72	103210	578848	46 4 53	7 9 58	747.5	399.76	-96.55	-180.17	-157.55	-17.34	4.955	5.43
73	101724	583965	46 4 5	7 13 56	876.4	363.05	-92.28	-190.33	-158.80	-15.68	4.952	7.09
74	100425	586100	46 3 23	7 15 36	1000.0	332.07	-84.07	-195.94	-155.30	-10.94	4.949	13.45
75	98276	588600	46 2 14	7 17 32	1355.1	268.46	-36.36	-187.96	-147.35	-1.87	4.945	18.04
76	96688	591555	46 1 22	7 19 50	1578.0	225.36	-9.38	-185.92	-139.17	7.31	4.941	24.73
77	103083	576150	46 4 48	7 7 52	691.4	404.20	-109.31	-186.66	-155.59	-16.59	4.955	14.51
78	100810	577632	46 3 35	7 9 2	783.6	393.48	-89.73	-177.40	-147.25	-6.39	4.950	11.58
79	98333	577325	46 2 15	7 8 48	872.0	361.42	-92.50	-190.06	-160.21	-18.36	4.945	10.11
80	95019	579203	46 0 27	7 10 16	1249.1	293.00	-41.86	-181.60	-160.13	-16.63	4.938	7.21
81	89100	582125	45 57 16	7 12 32	1616.4	219.14	2.42	-178.41	-154.23	-8.38	4.925	8.97
82	83110	581175	45 54 2	7 11 49	1936.7	166.79	53.78	-162.88	-146.02	0.24	4.912	8.48
83	104850	570975	46 5 45	7 3 51	482.7	458.76	-120.57	-174.57	-147.32	-11.90	4.959	6.35
84	102931	568908	46 4 44	7 2 15	827.5	389.09	-82.31	-174.88	-145.32	-10.41	4.955	13.09
85	100450	565800	46 3 21	6 59 51	1313.0	303.85	-15.65	-162.54	-139.24	-5.37	4.949	12.24
86	120350	560275	46 14 5	6 55 28	722.0	461.05	-56.96	-137.73	-120.20	-2.87	4.991	6.80
87	116550	557600	46 12 1	6 53 25	936.5	423.65	-25.07	-129.84	-111.42	6.60	4.983	6.71
88	113725	555625	46 10 29	6 51 54	1091.7	390.40	-8.12	-130.25	-109.59	8.88	4.977	9.32
89	121140	557600	46 14 30	6 53 23	1244.5	380.07	22.68	-116.55	-103.21	11.14	4.993	8.89
90	121725	554575	46 14 48	6 51 2	1377.7	367.02	50.27	-103.85	-96.11	15.53	4.994	4.54
91	127976	563029	46 18 12	6 57 35	386.2	543.56	-84.28	-127.49	-118.02	-3.97	5.008	0.11
92	123418	565883	46 15 45	6 59 49	421.5	530.46	-82.86	-130.02	-118.68	0.68	4.998	0.23
93	122980	568565	46 15 32	7 1 55	475.9	505.67	-90.46	-143.70	-123.74	-2.24	4.997	5.35
94	123375	571425	46 15 45	7 4 8	853.1	428.55	-51.51	-146.95	-128.10	-5.36	4.998	7.57
95	130075	566100	46 19 21	6 59 58	622.2	505.78	-50.95	-120.56	-102.87	11.70	5.012	8.87
96	132675	569400	46 20 46	7 2 31	857.0	458.91	-27.48	-123.36	-107.09	7.89	5.018	7.67
97	134300	570550	46 21 38	7 3 25	1013.1	432.11	-7.44	-120.77	-110.48	4.08	5.021	3.73
98	137699	573556	46 23 29	7 5 45	1408.7	364.00	43.77	-113.83	-106.89	7.16	5.029	4.47
99	133780	575796	46 21 22	7 7 30	1113.0	405.64	-2.67	-127.19	-112.83	5.72	5.020	7.02
100	133200	579750	46 21 4	7 10 35	1315.9	361.42	16.18	-131.03	-118.45	2.94	5.019	4.66
101	134250	583550	46 21 38	7 13 33	1437.0	326.65	17.92	-142.84	-127.09	-4.05	5.021	8.38
102	137525	586850	46 23 25	7 16 7	1172.1	387.07	-6.07	-137.20	-122.72	0.64	5.028	5.06
103	141925	587040	46 25 47	7 16 15	1098.0	406.95	-12.63	-135.47	-120.13	0.54	5.038	9.10
104	145800	588150	46 27 53	7 17 7	1048.0	434.03	-4.12	-121.37	-113.05	5.70	5.046	2.71
105	149675	585650	46 29 26	7 15 10	1006.5	448.41	-4.88	-117.48	-109.08	6.10	5.052	3.23

NO	X	Y	LAT	LONG	ALT	Gn	FA	BST	BAT	AIRY	DEL	026
106	147948	580735	46 29 2	7 11 19	979.9	454.44	-6.46	-116.08	-106.90	5.58	5.050	3.24
107	108104	575051	46 7 31	7 7 0	458.6	459.38	-130.04	-181.35	-161.80	-26.17	4.966	0.23
108	107074	573252	46 6 57	7 5 37	458.7	459.77	-128.78	-180.09	-161.33	-26.04	4.963	0.28
109	105095	571395	46 5 53	7 4 11	478.7	460.23	-120.53	-174.09	-152.17	-16.66	4.959	1.66
110	108000	570382	46 7 27	7 3 23	455.7	464.63	-125.58	-176.57	-155.00	-22.01	4.965	1.49
111	110333	569229	46 8 42	7 2 29	451.0	464.43	-129.12	-179.58	-153.41	-22.67	4.970	2.47
112	112633	569016	46 9 56	7 2 18	449.1	465.92	-130.09	-180.33	-151.50	-22.47	4.975	3.31
113	114195	568095	46 10 47	7 1 31	468.1	471.77	-119.64	-172.00	-145.75	-18.48	4.978	1.77
114	117191	567147	46 12 24	7 0 50	415.0	489.98	-120.24	-166.67	-142.63	-17.95	4.985	2.20
115	120465	567044	46 14 10	7 0 44	517.2	498.61	-83.33	-141.19	-127.23	-5.05	4.992	0.34
116	176581	539102	46 44 20	6 38 34	525.7	609.83	-14.23	-73.04	-72.68	2.65	5.111	0.39
117	164834	538522	46 37 60	6 38 12	637.2	580.43	0.31	-70.98	-71.12	7.10	5.086	0.11
118	164232	533516	46 37 38	6 34 17	571.2	600.19	0.23	-63.67	-63.71	13.17	5.084	0.12
119	168431	536445	46 39 55	6 36 32	634.3	585.01	1.09	-69.87	-70.03	6.62	5.093	0.10
120	171207	538808	46 41 26	6 38 22	649.1	581.75	0.13	-72.49	-72.62	3.97	5.099	0.17
121	161120	541918	46 36 0	6 40 53	804.8	537.16	11.74	-78.29	-78.28	2.34	5.078	0.15
122	167528	545738	46 39 29	6 43 50	789.3	540.70	5.28	-83.03	-82.83	-2.92	5.092	0.39
123	171630	546173	46 41 42	6 44 9	760.3	549.50	1.80	-83.26	-83.05	-4.40	5.100	0.45
124	168513	521992	46 39 52	6 25 13	905.3	538.61	38.40	-62.88	-59.72	13.55	5.093	2.49
125	167257	518090	46 39 10	6 22 10	1181.8	486.53	72.71	-59.51	-57.25	15.31	5.090	0.57
126	171431	519465	46 41 26	6 23 12	996.3	526.32	51.85	-59.61	-57.27	14.92	5.099	1.89
127	169254	514872	46 40 13	6 19 37	1018.6	522.91	57.14	-56.82	-55.57	16.00	5.095	0.81
128	166136	510598	46 38 32	6 16 18	1050.5	519.44	66.04	-51.48	-50.45	20.65	5.088	0.41
129	162438	508302	46 36 31	6 14 33	1010.7	524.81	62.16	-50.91	-49.26	21.91	5.080	0.64
130	159195	505671	46 34 43	6 12 32	1117.3	502.16	75.12	-49.88	-47.61	23.32	5.073	1.55
131	156595	508907	46 33 21	6 15 5	1437.4	432.68	106.49	-54.32	-49.18	22.83	5.068	1.61
132	156060	501890	46 32 60	6 9 36	1073.3	504.50	66.47	-53.60	-49.63	20.69	5.066	3.16
133	176034	529456	46 43 59	6 30 59	524.8	618.72	-5.09	-63.80	-62.66	10.83	5.109	0.26
134	177191	525400	46 44 35	6 27 48	793.9	568.45	26.79	-62.03	-59.18	13.17	5.112	1.90
135	176207	522170	46 44 2	6 25 16	914.2	544.61	40.90	-61.37	-58.54	13.30	5.110	2.35
136	181052	530168	46 46 42	6 31 30	622.4	603.87	6.10	-63.53	-61.40	11.10	5.120	0.40
137	178336	534756	46 45 16	6 35 8	435.4	632.95	-20.36	-69.07	-68.35	5.68	5.115	0.02
138	172979	532677	46 42 21	6 33 33	442.9	627.88	-18.76	-68.31	-67.80	6.97	5.103	0.02
139	133635	501746	46 20 55	6 9 47	481.4	594.61	-7.94	-61.79	-60.99	12.68	5.018	0.07
140	130318	502752	46 19 6	6 10 36	416.9	601.18	-18.54	-65.18	-64.65	10.02	5.011	0.07

NO	X	Y	LAT	LONG	ALT	GH	FA	DST	JAT	AIRY	DEL	026
141	140701	505193	46 24 44	6 12 23	495.1	598.40	-5.65	-61.04	-59.49	14.22	5.033	0.14
142	138069	506782	46 23 20	6 13 39	420.6	609.11	-15.81	-62.87	-61.99	12.72	5.028	0.05
143	138054	505742	46 23 19	6 12 51	433.5	599.56	-21.36	-63.85	-68.34	5.52	5.028	0.07
144	138023	501821	46 23 16	6 9 47	513.6	594.99	-1.14	-58.59	-56.66	16.37	5.028	0.09
145	147531	517136	46 28 33	6 21 38	439.0	614.61	-12.48	-61.59	-60.51	15.51	5.049	0.29
146	142254	511574	46 25 37	6 17 21	396.7	618.05	-17.70	-62.88	-61.00	14.44	5.037	0.11
147	153745	512906	46 31 50	6 18 15	833.9	547.85	37.68	-55.61	-54.12	19.62	5.062	0.08
148	152215	515754	46 31 2	6 20 30	677.8	572.61	15.48	-60.35	-59.52	15.23	5.058	0.23
149	149529	519956	46 29 37	6 23 49	496.8	603.66	-7.20	-62.78	-62.28	14.13	5.053	0.25
150	149884	514793	46 29 46	6 19 46	635.0	568.00	18.08	-59.68	-59.26	15.64	5.053	0.06
151	148070	512312	46 28 46	6 17 51	840.6	535.69	32.20	-61.84	-61.14	13.33	5.049	0.13
152	153793	523713	46 31 56	6 26 42	530.0	599.79	-4.32	-63.61	-63.34	13.22	5.062	0.19
153	150956	526886	46 30 26	6 29 13	390.4	621.75	-23.17	-66.85	-66.45	11.77	5.056	0.13
154	153404	528198	46 31 46	6 30 13	474.5	607.16	-13.81	-66.89	-66.72	11.27	5.061	0.23
155	148111	524140	46 28 53	6 27 6	416.4	614.98	-19.58	-66.17	-65.48	12.58	5.050	0.49
156	150885	520445	46 30 21	6 24 11	537.2	596.11	-3.39	-63.48	-63.29	12.96	5.056	0.02
157	151021	522938	46 30 26	6 26 8	467.0	611.38	-9.92	-62.16	-61.89	15.06	5.056	0.06
158	158827	516953	46 34 37	6 21 22	761.5	558.92	28.41	-59.02	-56.35	17.57	5.073	0.73
159	153257	521672	46 34 20	6 25 4	670.5	573.46	15.11	-59.90	-59.49	15.64	5.071	0.08
160	161986	527760	46 36 23	6 29 48	576.6	600.38	3.96	-60.54	-60.51	15.38	5.080	0.04
161	162997	521167	46 36 53	6 24 37	673.8	584.13	16.96	-58.42	-57.34	16.84	5.081	0.68
162	155205	515817	46 32 39	6 20 31	714.4	571.26	23.00	-56.93	-55.37	18.31	5.065	0.07
163	154223	520127	46 32 9	6 23 54	670.4	574.34	13.25	-61.75	-61.45	14.05	5.063	0.08
164	157157	521480	46 33 44	6 24 55	681.0	575.69	15.47	-60.71	-60.36	14.92	5.069	0.08
165	156761	529417	46 33 35	6 31 8	464.4	613.56	-13.26	-65.21	-65.00	12.53	5.068	0.14
166	155846	526364	46 33 4	6 28 45	513.1	604.95	-6.07	-63.47	-63.39	13.47	5.066	0.04
167	163069	525056	46 36 57	6 27 40	607.3	596.55	8.76	-59.18	-58.81	16.23	5.082	0.16
168	168468	527282	46 39 53	6 29 21	583.6	602.46	2.95	-62.34	-61.78	12.73	5.093	0.26
169	165593	527653	46 38 20	6 29 40	603.9	596.54	5.62	-61.94	-61.01	14.13	5.087	0.85
170	146877	507364	46 28 5	6 14 0	742.1	557.91	25.05	-57.97	-56.25	17.11	5.047	0.46
171	152546	509843	46 31 10	6 15 52	982.9	518.70	55.52	-54.44	-52.92	20.19	5.059	0.23
172	148177	555108	46 29 5	6 51 18	680.8	539.11	-14.16	-90.33	-86.55	7.67	5.051	2.85
173	150968	557907	46 30 36	6 53 23	794.9	516.41	-3.93	-92.86	-89.69	4.75	5.057	2.00
174	153429	559163	46 31 56	6 54 26	823.0	514.05	0.37	-91.70	-90.09	3.73	5.062	0.38
175	151754	554642	46 31 1	6 50 54	772.5	526.46	-1.41	-87.84	-87.25	4.54	5.058	0.32

NO	X	Y	LAT	LONG	ALT	Gh	FA	BST	BAF	AIRY	DEL	026
176	163188	564937	46 37 13	6 58 57	827.9	515.06	-5.05	-97.67	-97.03	-5.39	5.083	0.14
177	165610	561945	46 38 31	6 56 33	803.8	525.43	-4.07	-93.99	-93.88	-5.43	5.088	0.09
178	162685	558125	46 36 55	6 53 34	891.0	507.44	7.25	-92.43	-92.07	-4.17	5.082	0.28
179	159439	561050	46 35 11	6 55 53	849.2	509.64	-0.84	-95.84	-94.72	-3.22	5.075	0.34
180	177771	546450	46 45 1	6 44 19	651.7	580.53	-5.67	-78.58	-78.48	-1.73	5.114	0.34
181	183289	546607	46 47 60	6 44 24	433.6	643.48	-14.50	-63.01	-62.42	12.76	5.125	0.12
182	181805	543154	46 47 11	6 41 42	556.9	608.51	-10.19	-72.49	-71.94	2.89	5.122	0.50
183	180095	539727	46 46 14	6 39 1	437.8	632.55	-21.49	-70.47	-69.77	4.84	5.118	0.25
184	177411	561200	46 44 53	6 55 54	690.4	565.89	-8.17	-85.40	-85.31	-3.61	5.113	0.27
185	180234	557603	46 46 24	6 53 4	496.2	611.93	-24.33	-79.84	-79.53	-0.38	5.119	0.23
186	179634	552892	46 46 5	6 49 22	681.2	573.35	-5.34	-81.55	-81.47	-3.61	5.118	0.34
187	174475	550110	46 43 15	6 47 13	715.0	558.34	-5.68	-85.67	-85.47	-6.51	5.107	0.53
188	169890	551287	46 40 47	6 48 10	601.8	574.78	-20.46	-87.79	-86.86	-5.59	5.097	0.95
189	173247	554775	46 42 37	6 50 53	487.4	599.55	-33.74	-88.27	-87.05	-5.79	5.104	0.58
190	184860	557190	46 48 53	6 52 43	479.0	618.49	-26.82	-80.41	-80.33	-3.19	5.129	0.14
191	183190	551315	46 47 58	6 48 6	607.0	595.53	-8.89	-76.80	-76.45	-0.22	5.125	0.47
192	187965	554952	46 50 33	6 50 56	478.1	629.15	-18.94	-72.43	-72.36	3.12	5.135	0.09
193	163320	552440	46 37 15	6 49 7	611.0	566.77	-20.31	-88.67	-87.81	-3.14	5.083	0.61
194	158675	552754	46 34 44	6 49 23	631.1	559.43	-17.68	-88.29	-87.84	-0.80	5.073	0.10
195	155500	553310	46 33 2	6 49 51	636.0	555.35	-17.68	-88.83	-88.20	0.72	5.066	0.06
196	154739	546097	46 32 35	6 44 12	816.7	526.95	10.35	-81.02	-81.24	3.89	5.065	0.06
197	160696	547878	46 35 48	6 45 33	723.4	544.67	-5.57	-86.49	-86.49	-2.99	5.077	0.15
198	185277	565462	46 49 9	6 59 13	500.2	613.81	-25.34	-81.30	-80.79	-1.48	5.130	0.57
199	186363	570941	46 49 45	7 3 31	623.3	590.18	-11.89	-81.62	-81.70	-1.21	5.132	0.23
200	182251	561900	46 47 30	6 56 26	499.1	611.43	-25.59	-81.43	-81.06	-1.41	5.123	0.32
201	170991	560388	46 41 22	6 55 18	701.4	553.14	-12.24	-90.71	-90.56	-5.80	5.099	0.27
202	168550	556170	46 40 5	6 52 0	818.0	527.54	0.07	-91.44	-91.22	-7.30	5.094	0.29
203	182810	574020	46 47 50	7 5 57	663.9	573.34	-13.33	-87.60	-87.71	-4.03	5.125	0.10
204	182340	568895	46 47 34	7 1 56	615.0	584.92	-16.44	-85.24	-85.28	-3.27	5.124	0.17
205	178669	569793	46 45 35	7 2 39	735.9	553.84	-7.24	-89.56	-89.25	-4.78	5.116	0.49
206	173970	564995	46 43 2	6 58 54	670.2	562.24	-15.28	-90.26	-89.98	-4.80	5.106	0.21
207	174234	571824	46 43 12	7 4 16	732.1	546.23	-12.43	-94.33	-93.91	-5.67	5.106	0.27
208	188592	580246	46 50 58	7 10 50	596.0	593.01	-19.32	-86.00	-86.08	-3.71	5.137	0.14
209	193161	583651	46 53 26	7 13 30	554.4	609.81	-19.07	-81.09	-81.13	-0.44	5.147	0.23
210	194996	578702	46 54 25	7 9 36	555.2	612.73	-17.38	-79.49	-79.71	-1.47	5.151	0.12

NO	X	Y	LAT	LONG	ALT	GM	FA	BST	BAT	AIRY	DEL	026
211	192320	576080	46 52 58	7 7 33	549.0	612.33	-17.51	-78.93	-79.10	-0.20	5.145	0.15
212	188777	543973	46 50 57	6 42 18	480.3	634.99	-13.01	-66.74	-63.93	9.27	5.137	0.79
213	187358	539700	46 50 9	6 38 57	503.3	630.63	-9.09	-65.39	-62.23	10.59	5.134	0.88
214	194388	548775	46 53 60	6 46 2	500.9	636.55	-9.67	-65.71	-62.10	10.42	5.149	1.20
215	201547	556833	46 57 54	6 52 20	434.6	654.42	-18.12	-66.74	-65.21	6.55	5.164	0.23
216	203151	552145	46 58 44	6 48 38	762.0	593.56	20.79	-64.46	-60.72	9.90	5.168	2.51
217	198685	553175	46 56 20	6 49 28	490.0	642.04	-11.06	-65.88	-64.15	7.88	5.158	0.24
218	211893	559218	47 3 29	6 54 10	801.8	596.04	28.42	-61.28	-58.66	10.50	5.186	1.64
219	212988	563400	47 4 6	6 57 28	736.3	608.32	19.58	-62.79	-60.92	8.40	5.189	0.76
220	209173	560241	47 2 1	6 54 59	642.2	611.74	12.50	-64.94	-63.38	6.67	5.181	0.69
221	205527	560312	47 0 3	6 55 4	643.6	619.01	7.72	-64.28	-62.03	9.01	5.173	1.44
222	206013	555860	47 0 18	6 51 33	796.3	589.74	25.21	-63.88	-62.40	7.92	5.174	0.33
223	219585	553650	47 7 37	6 49 43	1047.2	565.57	67.48	-49.67	-48.55	17.51	5.203	0.77
224	213125	554150	47 4 8	6 50 9	1079.8	545.53	62.73	-58.07	-56.32	11.74	5.189	1.21
225	208157	549903	47 1 26	6 46 50	1010.4	551.58	51.42	-61.62	-59.90	9.00	5.178	1.24
226	207779	544982	47 1 12	6 42 57	1068.6	545.87	64.01	-55.53	-54.89	13.36	5.177	0.39
227	212215	545690	47 3 36	6 43 29	955.2	574.04	53.59	-53.27	-52.11	15.05	5.187	1.09
228	214427	550376	47 4 49	6 47 10	1016.6	559.50	56.17	-57.56	-56.80	10.40	5.192	0.55
229	193905	539662	46 53 43	6 38 52	1194.3	504.81	72.98	-60.63	-57.75	13.14	5.148	0.76
230	198558	536442	46 51 52	6 36 21	1200.5	499.20	72.07	-62.23	-58.04	13.13	5.140	1.38
231	195304	535781	46 54 25	6 35 48	737.8	596.29	22.53	-60.01	-57.09	13.09	5.151	1.00
232	198965	542680	46 56 26	6 41 12	730.0	598.74	19.55	-62.12	-57.41	13.00	5.159	2.71
233	200663	545455	46 57 22	6 43 22	729.0	597.95	17.06	-64.50	-58.77	11.01	5.162	3.92
234	204071	547521	46 59 13	6 44 53	1007.5	547.08	49.35	-63.36	-61.76	7.90	5.169	1.07
235	90980	640750	45 58 13	7 57 55	1314.3	303.74	-7.64	-154.68	-117.12	17.23	4.929	10.80
236	190345	526880	46 51 41	6 28 50	1045.3	536.21	61.45	-55.49	-54.88	14.62	5.140	0.35
237	195002	526199	46 54 12	6 28 15	927.9	565.51	50.75	-53.05	-51.58	16.62	5.150	1.25
238	200332	531200	46 57 7	6 32 8	1059.4	547.16	68.61	-49.90	-49.03	18.72	5.161	0.79
239	202518	534143	46 58 18	6 34 26	1055.1	550.75	69.08	-48.96	-48.64	19.12	5.166	0.21
240	203904	538401	46 59 5	6 37 47	1050.6	550.29	66.07	-51.46	-50.74	17.48	5.169	0.59
241	199540	535750	46 56 43	6 35 44	1122.1	531.45	72.85	-52.68	-51.70	17.16	5.160	0.39
242	162788	607700	46 37 3	7 32 24	961.7	456.91	-2.66	-129.25	-113.31	2.34	5.082	9.15
243	158788	604150	46 34 54	7 29 37	1173.9	412.05	2.20	-129.12	-115.49	1.78	5.074	8.02
244	168188	611325	46 39 58	7 35 15	658.8	521.77	-54.65	-128.35	-113.97	-1.37	5.094	5.92
245	155440	612575	46 33 5	7 36 13	957.5	432.16	-41.74	-148.86	-125.40	-1.02	5.066	11.52

NO	X	Y	LAT	LONG	ALT	GM	FA	BST	BAT	AIRY	DEL	026
246	150113	610925	46 30 13	7 34 55	1158.3	387.61	-20.01	-149.59	-132.16	-4.62	5.055	6.65
247	163313	619000	46 37 19	7 41 16	709.0	499.34	-57.62	-136.94	-123.38	-2.64	5.083	2.85
248	154950	617105	46 32 49	7 39 45	874.6	438.51	-60.57	-158.41	-133.87	-6.09	5.065	9.59
249	151700	618213	46 31 3	7 40 37	1022.0	398.94	-52.01	-166.35	-134.39	-4.57	5.058	14.83
250	158800	616275	46 34 54	7 39 7	778.8	475.80	-55.97	-143.09	-128.75	-5.28	5.074	1.72
251	151525	589750	46 30 58	7 18 22	1278.6	402.28	30.64	-112.40	-107.55	7.72	5.058	2.63
252	155075	595638	46 32 54	7 22 58	940.4	465.84	-13.05	-118.26	-107.90	8.34	5.066	3.03
253	150375	597600	46 30 21	7 24 30	999.3	432.96	-23.94	-135.74	-119.82	1.09	5.056	7.43
254	146100	600088	46 28 3	7 26 27	1048.0	410.53	-27.88	-145.12	-129.65	-4.34	5.047	4.96
255	160175	595100	46 35 39	7 22 32	858.2	488.46	-19.94	-115.95	-102.74	9.10	5.077	5.44
256	164975	597615	46 38 14	7 24 30	807.3	499.52	-28.48	-118.79	-104.34	4.68	5.087	5.98
257	167450	602015	46 39 34	7 27 57	749.0	511.10	-36.90	-120.69	-106.04	2.91	5.092	5.69
258	167275	606600	46 39 29	7 31 33	740.8	509.31	-41.07	-123.95	-108.50	2.72	5.092	7.39
259	162143	580320	46 36 42	7 10 58	871.0	490.06	-15.96	-113.40	-101.63	0.11	5.081	7.80
260	160963	584618	46 36 4	7 14 20	921.7	476.91	-12.51	-115.63	-99.91	5.32	5.078	9.78
261	162115	588757	46 36 41	7 17 34	1045.5	457.62	5.46	-111.50	-100.59	5.99	5.081	6.37
262	162635	575072	46 36 57	7 6 51	728.4	522.77	-27.64	-109.13	-102.61	-4.36	5.082	3.43
263	168163	572113	46 39 55	7 4 31	708.4	541.75	-19.30	-98.55	-97.18	-4.62	5.093	0.30
264	162150	570450	46 36 40	7 3 14	780.2	516.97	-17.04	-104.32	-102.87	-7.18	5.081	0.17
265	171590	576175	46 41 47	7 7 41	702.3	542.83	-22.90	-101.47	-97.65	-5.31	5.101	1.93
266	169700	565715	46 40 44	6 59 29	912.2	492.88	-6.50	-108.55	-103.95	-15.96	5.097	4.49
267	155221	572521	46 32 56	7 4 53	722.1	516.67	-29.66	-110.44	-101.54	0.36	5.066	2.57
268	150795	570362	46 30 33	7 3 12	777.8	505.46	-20.08	-107.10	-97.88	5.54	5.056	2.98
269	177348	588548	46 44 55	7 17 23	853.4	520.28	-3.52	-98.99	-97.43	-3.55	5.113	0.50
270	185508	582544	46 49 18	7 12 39	753.1	550.16	-11.19	-95.45	-95.14	-9.96	5.130	0.30
271	182395	586752	46 47 38	7 15 58	659.1	578.60	-9.25	-82.98	-82.08	7.11	5.124	0.23
272	176615	579643	46 44 50	7 10 23	755.6	540.61	-12.75	-97.29	-96.24	-5.90	5.111	0.28
273	173850	590112	46 43 1	7 18 37	871.6	505.30	-10.05	-107.55	-100.71	-3.18	5.106	4.00
274	146614	570235	46 28 17	7 3 7	862.6	483.71	-12.27	-108.77	-98.23	7.87	5.048	5.43
275	145119	575354	46 27 30	7 7 7	992.0	452.73	-2.12	-113.10	-104.30	6.43	5.044	4.04
276	141135	574530	46 25 20	7 6 30	1386.1	378.02	48.02	-107.05	-103.66	8.80	5.036	1.37
277	87250	573613	45 56 15	7 5 58	1591.6	212.35	-10.49	-188.55	-164.83	-21.18	4.921	7.64
278	90985	575100	45 58 16	7 7 6	1330.2	262.26	-44.29	-193.10	-164.74	-21.40	4.929	10.68
279	95015	575688	46 0 27	7 7 32	1048.7	317.55	-79.14	-196.46	-163.69	-21.31	4.938	13.28
280	105425	626500	46 6 4	7 46 56	1406.4	256.61	-37.94	-195.28	-146.96	-0.18	4.960	13.49

NO	X	Y	LAT	LONG	ALT	GH	FA	UST	BAT	AIRY	DEL	026
281	101625	626060	46 4 1	7 46 35	1437.3	257.77	-24.36	-185.16	-137.46	9.18	4.952	15.65
282	107735	603542	46 7 20	7 29 7	1394.3	271.80	-28.61	-184.59	-155.95	-9.51	4.965	10.14
283	103730	605421	46 5 11	7 30 35	1431.7	260.58	-25.03	-185.20	-154.88	-6.86	4.956	7.97
284	100400	604000	46 3 23	7 29 29	1844.0	190.88	35.21	-171.09	-144.55	3.15	4.949	12.19
285	96875	603375	46 1 29	7 28 59	1962.9	171.88	55.76	-163.84	-137.80	10.07	4.942	10.22
286	117225	506112	46 12 20	6 13 23	428.9	572.10	-33.75	-81.73	-81.30	-1.70	4.985	0.01
287	121140	509085	46 14 12	6 15 39	463.0	570.59	-27.54	-79.34	-78.30	1.24	4.992	0.04
288	125160	507075	46 16 22	6 14 2	426.7	586.70	-25.89	-73.62	-73.35	4.44	5.001	0.06
289	121309	505246	46 14 16	6 12 40	474.7	571.10	-23.51	-76.62	-75.98	2.00	4.992	0.53
290	121450	499513	46 14 18	6 8 12	454.4	581.99	-18.92	-69.76	-69.47	5.64	4.992	0.19
291	125672	500383	46 16 35	6 8 49	413.3	536.31	-20.72	-66.96	-66.59	8.02	5.001	0.05
292	130252	498917	46 19 2	6 7 37	468.8	594.60	-9.00	-61.45	-60.68	12.49	5.011	0.06
293	135113	498425	46 21 39	6 7 10	572.8	580.74	5.29	-58.79	-55.68	16.54	5.021	1.10
294	127038	495739	46 17 16	6 5 11	479.9	590.63	-6.90	-60.58	-59.84	12.59	5.004	0.04
295	131108	494400	46 19 27	6 4 5	557.8	580.60	3.89	-58.51	-56.46	14.81	5.013	0.11
296	182884	535613	46 47 43	6 35 46	480.0	628.81	-14.43	-68.13	-66.80	6.36	5.124	0.14
297	184117	531983	46 48 22	6 32 54	603.7	607.23	1.19	-66.35	-61.58	10.59	5.127	2.58
298	186967	527991	46 43 53	6 29 44	1151.8	509.58	70.41	-58.44	-55.27	15.21	5.133	2.09
299	160040	535974	46 35 23	6 36 14	608.7	585.26	0.25	-67.84	-67.33	10.82	5.076	0.09
300	137170	559540	46 23 9	6 54 49	374.3	563.65	-75.31	-117.18	-108.51	-3.65	5.027	0.20
301	150846	548620	46 30 30	6 46 12	674.4	549.65	-7.72	-83.17	-83.36	5.13	5.056	0.06
302	142665	560945	46 26 8	6 55 53	805.8	494.33	-15.93	-106.08	-94.11	7.77	5.039	8.00
303	144961	558892	46 27 22	6 54 16	604.4	544.08	-30.18	-97.80	-90.46	8.52	5.044	3.40
304	145040	495688	46 26 59	6 4 54	1210.0	471.66	84.84	-50.53	-48.40	21.30	5.042	0.83
305	145647	498338	46 27 21	6 6 58	1204.5	470.54	81.49	-53.26	-50.76	19.79	5.044	0.99
306	143085	502250	46 25 60	6 10 3	836.1	533.04	32.33	-61.21	-56.24	16.10	5.038	3.23
307	135128	556542	46 22 3	6 52 29	380.5	567.35	-68.02	-110.59	-97.21	6.85	5.023	3.92
308	131654	558238	46 20 10	6 53 50	379.1	558.19	-74.80	-117.21	-103.57	4.27	5.016	3.20
309	75125	580400	45 49 43	7 11 14	1495.1	233.88	-8.92	-176.18	-153.11	-5.37	4.895	11.54
310	73050	584650	45 48 36	7 14 32	1235.6	283.58	-37.63	-175.86	-151.63	-3.25	4.891	9.84
311	70200	588900	45 47 4	7 17 49	1000.8	337.93	-53.43	-165.39	-146.47	1.64	4.885	5.01
312	73925	590700	45 49 5	7 19 12	900.1	348.91	-76.55	-177.25	-140.79	7.90	4.893	14.44
313	76750	595100	45 50 37	7 22 35	1160.3	312.04	-35.42	-165.23	-124.79	23.44	4.899	17.05
314	80125	598650	45 52 26	7 25 20	1609.4	242.68	31.07	-148.98	-119.12	28.53	4.906	13.58
315	82675	602700	45 53 49	7 28 28	1835.4	203.31	59.37	-145.96	-115.37	31.91	4.911	16.39

NO	X	Y	LAT	LONG	ALT	GM	FA	BST	BAT	AIRY	DEL	U26
316	65200	586425	45 44 22	7 15 55	605.8	399.38	-109.81	-177.59	-149.25	-0.78	4.874	4.43
317	66475	590575	45 45 4	7 19 6	697.5	391.64	-90.30	-168.33	-147.41	0.18	4.877	3.39
318	63675	573450	45 43 32	7 5 55	806.9	332.88	-112.98	-203.25	-160.98	-11.98	4.871	16.32
319	67040	569075	45 45 20	7 2 32	911.9	325.36	-90.81	-192.83	-163.87	-15.75	4.878	4.89
320	74375	563200	45 49 16	6 57 53	1413.3	241.34	-26.03	-184.14	-154.99	-11.39	4.893	8.63
321	77430	567100	45 50 58	7 0 58	1636.8	195.23	-5.72	-188.83	-157.91	-13.92	4.900	13.42
322	69000	564500	45 46 23	6 58 60	1110.2	290.15	-66.40	-190.60	-159.77	-13.86	4.882	10.74
323	65700	595950	45 44 39	7 23 15	549.9	417.52	-109.34	-170.86	-143.47	2.51	4.875	2.07
324	65200	601900	45 44 23	7 27 50	536.4	424.29	-106.33	-166.34	-136.26	7.07	4.874	5.10
325	65750	606925	45 44 41	7 31 43	516.8	434.45	-102.67	-160.48	-133.37	7.77	4.875	2.82
326	65850	613360	45 44 43	7 36 40	508.0	447.27	-92.63	-149.46	-122.29	15.23	4.876	4.18
327	71575	611875	45 47 49	7 35 32	933.4	373.25	-40.03	-144.45	-115.36	26.03	4.888	10.50
328	75425	612450	45 49 54	7 35 59	1109.0	334.08	-28.13	-152.20	-112.17	30.89	4.896	19.08
329	79375	613700	45 52 1	7 36 58	1321.3	294.86	-5.04	-152.86	-116.54	27.71	4.904	14.63
330	86500	614425	45 55 52	7 37 32	1985.4	183.92	83.18	-138.93	-117.76	27.92	4.920	6.40
331	97575	663600	46 1 41	8 15 40	242.3	614.84	-32.56	-59.66	-37.51	81.14	4.943	5.60
332	116305	664300	46 11 47	8 16 22	454.4	476.81	-120.33	-171.16	-128.33	3.01	4.982	21.39
333	111400	667350	46 9 7	8 18 41	304.6	552.51	-86.85	-120.92	-102.81	23.31	4.972	0.87
334	105950	666330	46 6 11	8 17 51	250.4	584.03	-67.64	-95.65	-74.31	48.52	4.960	4.85
335	102700	663950	46 4 26	8 15 59	248.5	583.04	-66.60	-94.40	-73.35	49.00	4.953	4.08
336	100040	657775	46 3 2	8 11 10	573.7	491.52	-55.65	-119.84	-86.57	39.03	4.948	15.87
337	101600	652075	46 3 54	8 6 45	909.8	406.29	-38.47	-140.25	-104.17	27.03	4.951	13.25
338	99750	654480	46 2 54	8 8 37	684.5	449.52	-63.25	-139.83	-99.89	28.39	4.947	17.90
339	115225	668200	46 11 11	8 19 23	370.4	520.66	-101.49	-142.93	-109.48	18.79	4.980	14.65
340	119350	668475	46 13 24	8 19 38	519.6	482.81	-96.64	-154.77	-126.01	4.77	4.989	8.90
341	124150	668900	46 15 59	8 20 0	781.3	428.80	-73.78	-161.19	-134.77	-1.52	4.999	8.67
342	128075	671400	46 18 6	8 21 59	750.3	412.08	-103.23	-167.17	-137.86	-3.37	5.007	22.19
343	131500	673710	46 19 56	8 23 49	884.8	388.80	-87.76	-186.74	-137.49	-2.24	5.015	22.75
344	133265	676070	46 20 52	8 25 40	1218.2	341.22	-33.86	-170.14	-138.28	-3.47	5.018	16.25
345	95175	657600	46 0 25	8 10 60	464.3	538.04	-38.95	-90.89	-57.53	64.89	4.938	13.88
346	93350	654350	45 59 27	8 8 28	539.7	503.04	-49.22	-109.60	-72.91	51.36	4.934	12.89
347	90015	644980	45 57 41	8 1 11	1018.0	373.01	-29.00	-142.89	-97.46	33.02	4.927	21.02
348	91500	649950	45 58 28	8 5 3	721.6	446.38	-48.28	-129.00	-87.59	39.54	4.930	15.25
349	88000	557325	45 56 36	6 53 21	1062.0	332.55	-54.26	-173.07	-143.17	-7.37	4.923	5.43
350	136820	532140	46 22 50	6 33 27	686.1	538.75	-3.50	-80.26	-78.18	8.09	5.026	1.79

NO	X	Y	LAT	LONG	ALT	GHI	FA	BST	BAT	AIRY	DEL	026
351	139460	538940	46 24 18	6 38 44	401.1	592.42	-39.98	-84.85	-80.44	8.46	5.032	1.18
352	138100	550475	46 23 37	6 47 44	385.5	574.44	-61.76	-104.89	-88.94	8.56	5.029	6.39
353	139850	643300	46 24 36	8 0 10	373.9	587.33	-53.91	-95.74	-82.26	9.17	5.033	7.81
354	130350	540950	46 19 24	6 40 22	784.9	505.49	-1.10	-88.91	-80.11	15.89	5.012	4.26
355	126000	543425	46 17 3	6 42 20	908.8	468.81	3.97	-97.70	-84.18	16.61	5.003	8.91
356	127260	548300	46 17 46	6 46 7	973.9	449.80	3.99	-104.96	-88.66	14.70	5.006	10.43
357	125375	552950	46 16 46	6 49 45	1105.6	422.70	19.03	-104.65	-92.99	15.03	5.002	7.01
358	130680	534810	46 19 32	6 35 35	532.8	559.20	-25.40	-85.01	-73.90	17.78	5.013	6.27
359	126570	536470	46 17 20	6 36 54	669.9	516.06	-22.91	-97.86	-82.04	13.48	5.004	9.96
360	121450	538800	46 14 35	6 38 46	779.4	490.61	-10.43	-97.63	-84.73	15.96	4.993	6.67
361	117425	541075	46 12 25	6 40 34	868.6	466.41	-3.86	-101.03	-89.09	16.05	4.985	5.73
362	112625	540875	46 9 49	6 40 26	1155.3	406.02	28.12	-101.12	-94.93	13.03	4.975	3.90
363	118425	547415	46 12 59	6 45 29	1196.6	396.83	26.92	-106.94	-91.85	17.13	4.987	10.91
364	134000	537830	46 21 21	6 37 54	881.4	497.05	17.31	-81.30	-78.22	13.17	5.020	2.24
365	134275	541175	46 21 31	6 40 31	933.1	484.49	20.45	-83.94	-78.35	14.46	5.021	3.13
366	137950	542800	46 23 30	6 41 45	915.5	483.39	11.53	-90.89	-86.20	5.88	5.029	3.81
367	128425	522650	46 18 14	6 26 8	548.0	559.50	-18.46	-79.77	-78.05	7.08	5.008	0.19
368	132730	524515	46 20 35	6 27 32	479.8	580.50	-22.02	-75.70	-74.42	9.70	5.017	0.28
369	132650	529325	46 20 34	6 31 17	638.6	546.90	-6.60	-78.04	-76.23	10.71	5.017	0.77
370	129700	526525	46 18 57	6 29 8	632.6	543.40	-9.53	-80.30	-77.53	9.29	5.011	1.07
371	124750	518625	46 16 14	6 23 2	542.5	556.06	-20.58	-81.27	-79.26	5.13	5.000	0.31
372	132670	516785	46 20 29	6 21 31	382.0	604.47	-28.10	-70.84	-70.15	9.97	5.017	0.06
373	129100	518590	46 18 35	6 22 57	503.5	573.91	-18.29	-74.62	-73.53	8.93	5.009	0.48
374	117875	511610	46 12 28	6 17 39	533.6	548.99	-24.73	-84.43	-82.33	-0.06	4.985	0.57
375	122040	514250	46 14 44	6 19 39	590.0	591.91	-20.16	-81.69	-79.00	3.84	4.994	1.34
376	126340	513850	46 17 3	6 19 13	559.8	558.90	-13.63	-76.26	-75.59	5.31	5.003	0.37
377	130235	512100	46 19 8	6 17 53	423.1	594.31	-23.55	-70.88	-70.55	8.13	5.011	0.02
378	114330	512580	46 10 34	6 18 27	483.0	551.97	-34.50	-88.54	-86.69	-1.67	4.978	0.46
379	117725	519730	46 12 27	6 24 0	733.3	505.40	-6.67	-88.70	-86.60	1.90	4.985	0.54
380	120500	523850	46 13 58	6 27 8	825.8	494.65	8.83	-83.55	-79.75	10.23	4.991	2.12
381	112375	517775	46 9 33	6 22 30	631.5	516.93	-22.19	-92.84	-90.19	-0.48	4.974	1.38
382	122975	527735	46 15 7	6 30 8	1080.5	448.68	39.74	-81.14	-76.51	14.97	4.996	3.46
383	126750	529750	46 17 23	6 31 40	831.3	504.03	14.78	-78.22	-73.64	16.94	5.005	2.61
384	125090	523925	46 16 27	6 27 9	985.0	465.32	24.91	-85.29	-79.21	8.26	5.001	4.51
385	110400	524200	46 8 31	6 27 31	609.1	515.10	-29.40	-97.54	-89.23	6.70	4.970	4.87

NO	X	Y	LAT	LONG	ALT	Gn	FA	BST	BAT	AIRY	DEL	026
386	118185	527700	46 12 45	6 30 9	894.5	473.51	10.73	-89.34	-82.34	11.79	4.986	4.75
387	114550	527650	46 10 47	6 30 9	831.1	479.38	-0.01	-92.99	-86.87	9.38	4.978	2.89
388	109141	529572	46 7 53	6 31 42	632.7	499.87	-36.37	-107.16	-95.31	5.87	4.967	6.22
389	105523	538724	46 5 59	6 38 50	645.4	482.04	-47.43	-119.63	-106.92	4.31	4.959	4.85
390	106369	535053	46 6 25	6 35 58	631.3	493.30	-41.18	-111.80	-102.98	4.57	4.961	2.21
391	103556	545168	46 4 57	6 43 50	709.0	457.88	-50.42	-129.73	-114.72	3.15	4.955	2.91
392	100957	549928	46 3 34	6 47 33	807.5	414.55	-61.27	-151.61	-121.33	2.02	4.950	12.29
393	103050	553810	46 4 43	6 50 33	959.4	382.55	-48.12	-155.45	-122.27	2.46	4.954	11.51
394	109538	514840	46 7 59	6 20 15	458.5	547.65	-42.52	-93.82	-91.48	-2.60	4.967	0.72
395	104299	519628	46 5 12	6 24 1	448.5	534.42	-54.64	-104.81	-97.43	-2.02	4.956	2.93
396	102144	525825	46 4 5	6 28 51	458.4	519.71	-64.61	-115.89	-102.78	-0.77	4.952	5.21
397	100798	532538	46 3 24	6 34 4	481.8	509.74	-66.33	-120.23	-108.83	0.76	4.949	3.46
398	96494	536791	46 1 6	6 37 24	503.3	478.19	-87.79	-144.09	-118.41	-3.27	4.940	10.02
399	83709	540874	45 54 13	6 40 40	574.6	447.00	-86.63	-150.91	-135.13	-9.63	4.913	2.05
400	86088	547432	45 55 32	6 45 43	810.9	398.69	-64.00	-154.71	-132.62	-2.94	4.918	5.88
401	83570	552750	45 54 12	6 49 51	999.7	340.59	-61.82	-173.66	-141.20	-6.45	4.913	7.45
402	94840	560110	46 0 19	6 55 29	1460.4	274.19	4.76	-158.62	-136.01	-2.63	4.937	11.11
403	91540	559820	45 58 32	6 55 16	1208.0	304.76	-39.88	-175.03	-143.05	-7.66	4.930	10.70
404	186577	561989	46 49 50	6 56 29	448.0	618.08	-38.22	-58.34	-88.34	-10.62	5.133	0.02
405	191174	561838	46 52 19	6 56 20	456.5	622.48	-34.92	-85.99	-86.06	-10.25	5.142	0.09
406	196362	567250	46 55 8	7 0 34	519.9	617.59	-24.48	-82.64	-82.14	-7.18	5.153	0.74
407	201517	569398	46 57 55	7 2 15	431.7	639.57	-33.90	-82.20	-82.22	-8.73	5.164	0.03
408	192139	569023	46 52 51	7 1 59	440.6	624.95	-38.17	-87.46	-87.44	-10.33	5.144	0.09

CHAPITRE V – REPRESENTATION GRAPHIQUE DES MODELES

5.1. INTRODUCTION

Nous avons choisi pour la clarté de l'exposé de présenter chaque modèle avec les méthodes d'élaboration et les commentaires s'y référant sous forme d'un paragraphe indépendant.

5.2. MODELE A L'AIR LIBRE

Ce modèle bien que ne pouvant pas servir seul pour l'interprétation présente quelques points remarquables. Les isanomales positives s'alignent parallèlement à l'allongement de la chaîne du Jura et se terminent avec lui. On pourrait déjà penser au vu de ceci qu'une compensation isostatique, du type Airy, est peu probable sur cette zone.

Les courbes -20 à -50 forment un gradient violent au dos des Préalpes et sont décalées du Nord au Sud de part et d'autre de la vallée du Rhône. Elles préfigurent un accident important mis en évidence par les cartes d'anomalies de Bouguer.

La carte présentée a été tracée manuellement, elle a de ce fait subi un adoucissement non négligeable.

5.3. MODELE DE BOUGUER SANS CORRECTION TOPOGRAPHIQUE

Cette carte comme la précédente a été tracée et adoucie à la main.

On y remarque une disposition régulière des isanomales, du Jura à la culmination des Alpes.

Le gradient mis en évidence sur le modèle Air libre a disparu de même que le décalage associé.

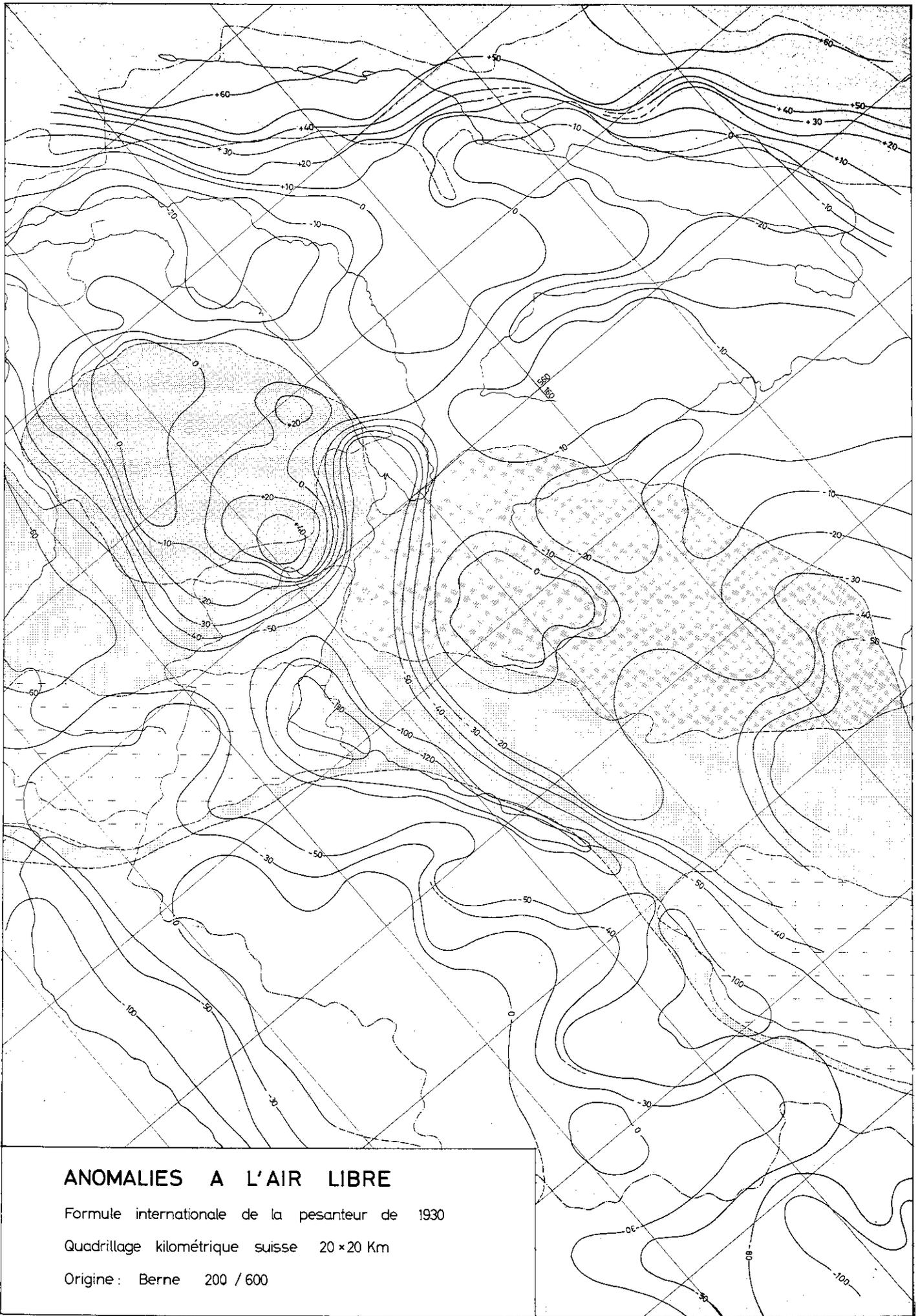
On voit apparaître, dans la partie Sud-Est, un gradient anormal très violent préfiguration de l'effet du corps lourd d'Ivrea.

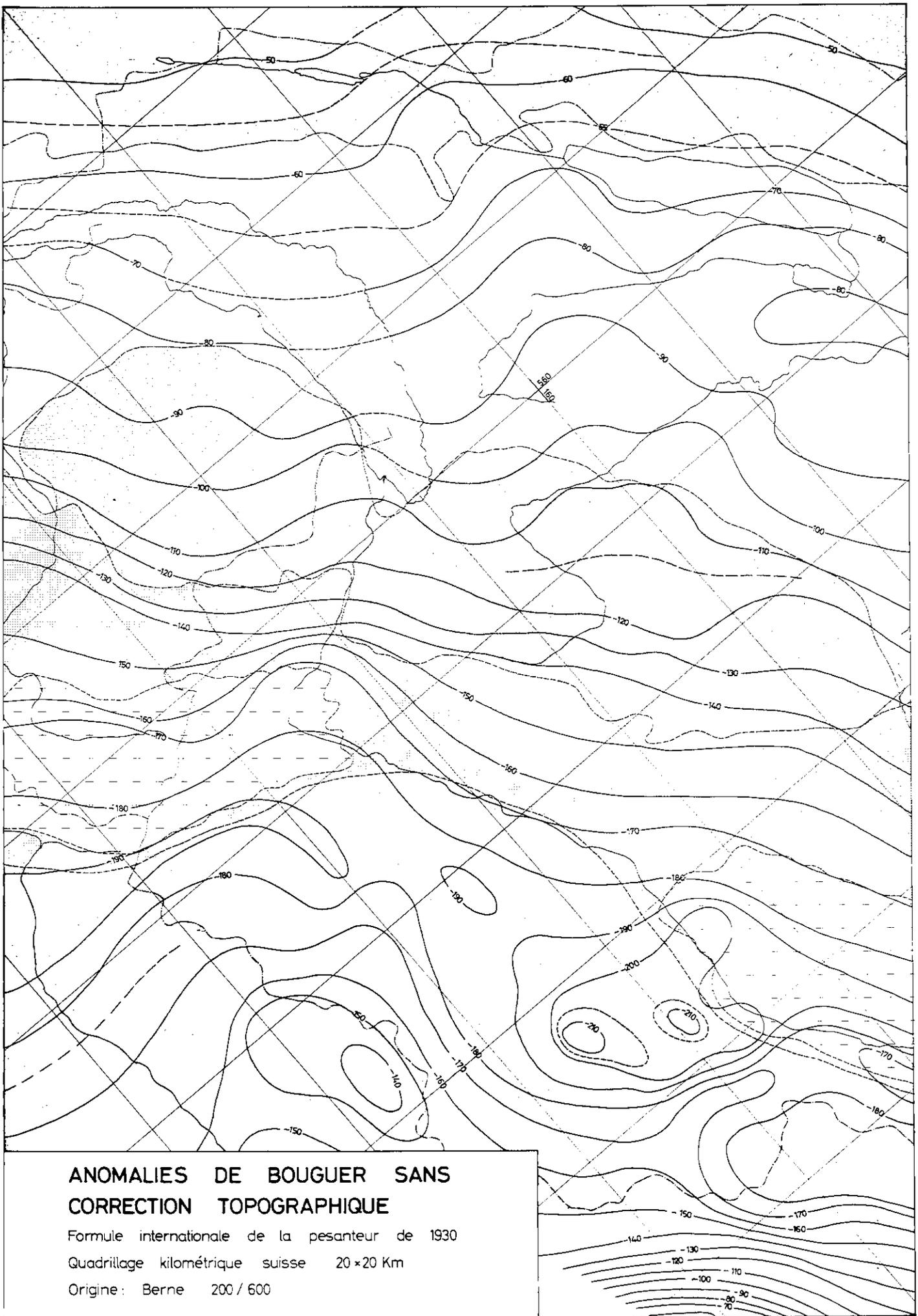
5.4. MODELE DE BOUGUER AVEC CORRECTIONS TOPOGRAPHIQUES

Cette carte est issue d'un tracé mécanique effectué par un "plotter" couplé à un ordinateur I.B.M. 1130. Elle n'a pas été adoucie.

WAGNER (1970) donne un exposé complet et détaillé de la méthode employée pour l'exécution de la grille et du traçage.

Ce modèle présente toute une série de points importants que nous qualifierons en termes gravimétriques d'axes, soit positifs soit négatifs, ou plus simplement d'accident lorsque le caractère ne sera pas nettement tranché.





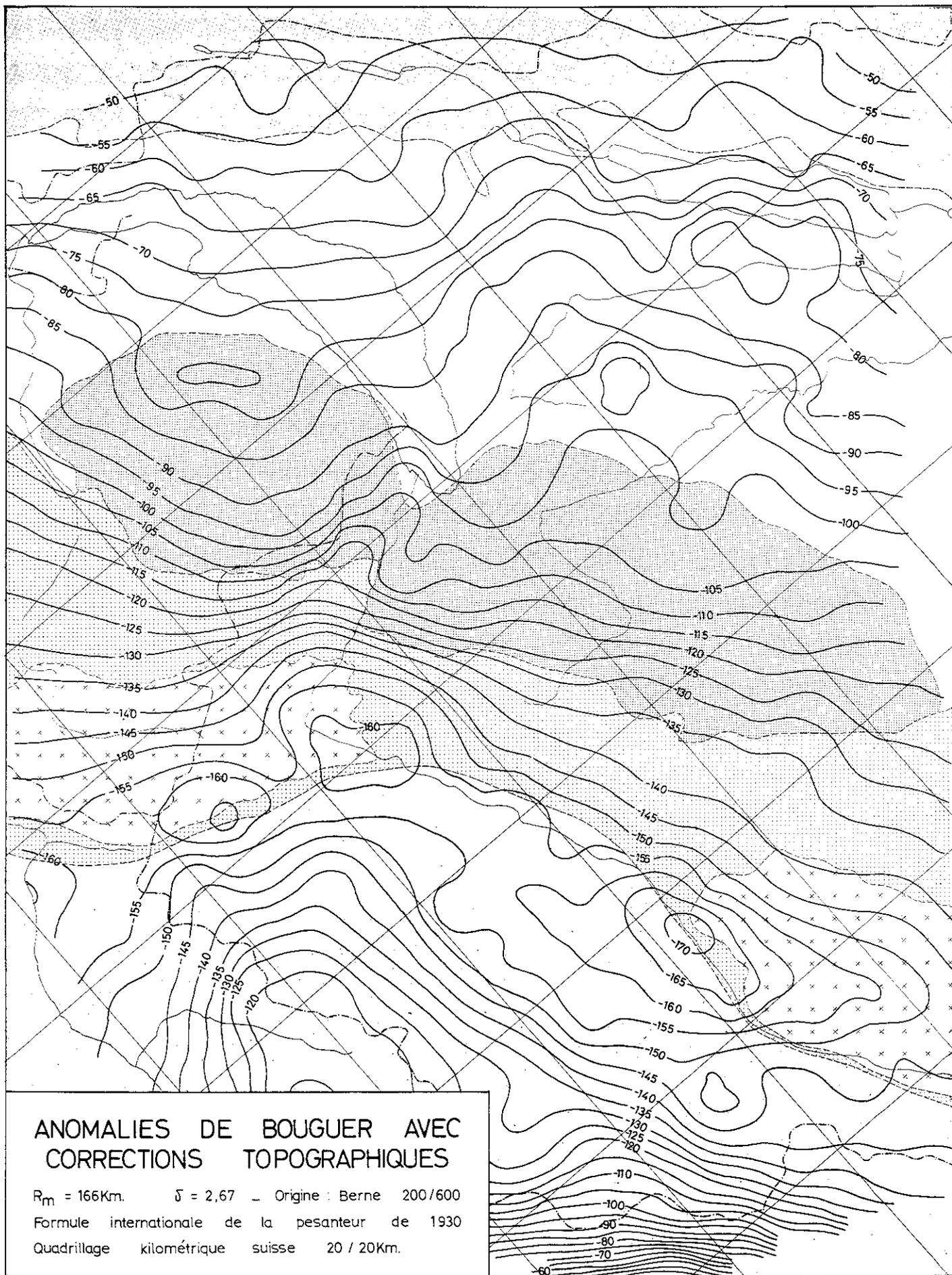


Planche VI

Nous tenterons, dans la mesure du possible, de formuler des hypothèses stratigraphiques ou tectoniques pour expliquer ces anomalies.

Il va sans dire que nous ne décrirons pas tous les axes apparaissant sur nos cartes mais seulement les plus importants.

Axe négatif entre Mormont et Yverdon

Cet axe bien marqué passe entre deux "cornes" du Jura pénétrant dans le plateau molassique.

Trois hypothèses assez séduisantes se présentent pour l'expliquer.

La première serait de faire de cet axe négatif la conséquence d'un compartiment effondré limité au Sud et au Nord par les deux cornes calcaires du Jura citées précédemment. Ce compartiment effondré serait rempli d'un matériau plus léger que les calcaires encaissant.

La seconde hypothèse, plus difficile à justifier car les arguments d'ordre morphologique manquent, serait de mettre en parallèle cet axe négatif avec un bourrage de matière salifère triasique, bourrage lui-même relié à l'accident de Vaultion.

La troisième consisterait à voir dans cet axe négatif l'indice de la présence d'un synclinal carbonifère orienté Est-Ouest. Ceci suppose un contraste de densité bien marqué entre le matériel du synclinal et le socle encaissant, fait qui n'a malheureusement pas été démontré jusqu'à maintenant.

On peut aisément suivre cet axe au travers du plateau jusqu'aux environs de Moudon où il s'arrête brusquement. Il est assez clairement relayé à l'Est par un autre axe, qui lui est parallèle, passant dans la région de Bulle et s'enfonçant sous les Préalpes jusqu'à la hauteur de la Dent de Ruth.

Si nous considérons ces deux axes comme un tout; l'hypothèse d'une faille orientée NE-SW et ayant joué postérieurement à la formation du compartiment s'impose immédiatement.

Des études magnétiques de détail effectuées dans le bassin lémanique par l'Institut de Géophysique de l'Université de Lausanne permettent de supposer que cette faille se poursuit en tout cas jusque dans la région de Lausanne.

Axes positifs Le Brassus-Cossonay et Grandson-Henniez

Ces deux axes peuvent être facilement expliqués si l'hypothèse de l'effondrement est retenue pour l'axe négatif précédent.

Ils seraient l'expression de deux lèvres lourdes bordant la dépression légère.

Bien que dans le cas du premier axe cité cette vue soit un peu osée.

L'axe positif prend naissance beaucoup plus au Nord bien au-dessous du Jura et sa direction n'est pas la même que celle du négatif.

Par prudence nous ajouterons à notre hypothèse que cet axe se situe probablement dans un autre plan (plus profond) et que s'il fait partie du phénomène il en est une expression plus générale.

Axe positif Sud-Lémanique

On ne peut pas parler d'axe au sens strict mais plutôt, au vu de sa structure et étalée, d'un dôme positif.

Il se situe au milieu du lobe Ouest des Préalpes et perpendiculairement à la structure générale de celles-ci.

Les hypothèses que nous avons retenues pour expliquer sa présence sont soit un bombement du socle cristallin post-tectonique, car il est difficile d'admettre la mise en place des Préalpes sur une culmination, soit par un amincissement relatif de la couche molassique à cet endroit.

Une combinaison des deux causes n'est pas à rejeter.

Axe négatif Villeneuve-St Maurice

On remarque à l'extrémité Est du Léman un puissant axe négatif chevauchant le cours du Rhône et se terminant à St Maurice.

Cet axe provient pour la plus grande part du contraste de densité entre les dépôts quaternaires et les roches consolidées encaissantes.

En effet, entre St Maurice et le Léman, le Rhône a comblé une vallée large et profonde avec des sédiments argilo-sableux encore fortement imbibés d'eau et dont la densité doit être voisine de 2.0.

On comprend donc facilement l'existence de cet axe et cela d'autant plus que cette vallée est disposée perpendiculairement aux structures générales ce qui a pour effet de renforcer les anomalies.

Le terme "plus grande part" a été employé à dessein car l'anomalie a une morphologie qui ne s'ajuste pas au mieux avec l'allure générale de la vallée du Rhône.

On remarque que si la vallée est dans l'ensemble rectiligne, la crête anormale forme, elle, un arc de cercle à grand rayon de courbure; une extrémité étant située au milieu du Léman, l'autre à l'Est de Monthey.

La direction prise par la branche Nord de la crête anormale nous ferait penser que l'accident associé (faille marquée par un chenal) se prolonge au travers du Léman et pourrait être raccordé, avec un peu d'imagination, au grand décrochement de St Cergues.

Accident Martigny-Lausanne

Si l'on trace sommairement deux régionales planes de part et d'autre du cours du Rhône entre le Léman et Martigny on discerne deux phénomènes intéressants.

Premièrement : un décalage important entre les isanomales de la rive droite du Rhône et leurs homologues de la rive gauche. Tout se passe comme si deux grands blocs avaient été soit déplacés horizontalement l'un par rapport à l'autre, ou encore que l'un des compartiments soit abaissé.

Ce décrochement des isanomales peut être suivi, mais avec moins de netteté jusqu'au Jura dans la région du Mormont.

Secondement : un resserrement des courbes dans la zone de fort décrochement avec un départ en éventail vers le SW et le NE.

Il est à remarquer, d'une façon générale, que le "top" d'une anomalie du modèle de Bouguer n'est pas nécessairement au droit de l'accident qui l'a produit, il existe souvent un décalage dû à des structures parasites.

En tenant compte de cette remarque il nous semble justifié, pour des raisons morphologiques, de faire passer cet accident par la vallée du Rhône.

Axe positif de Martigny

Ce petit axe positif chevauche grossièrement une zone comprenant la mine de Fer du Mt Chemin, la mine de Plomb et Zinc des Trappistes et la mine d'Arsenic de Salanfe.

Bien que les directions des filons minéralisés ne correspondent pas à celles de l'anomalie on peut imaginer que l'axe positif marque la direction et la localisation d'une intrusion plus importante ayant servi de réservoir aux minéralisations susmentionnées.

Axe positif du Gd Combin

Cet axe bien que paraissant très important ne représente pas, à notre sens, la valeur réelle de l'anomalie.

Dans cette zone les isanomales générales prises sur une carte à plus grande échelle (Coron 1959) montrent un changement de la direction générale.

Cette déviation ainsi que le fait que nous nous trouvons près d'une limite de l'étude (effet de "bord" lors de l'élaboration de la grille), renforce notablement les valeurs anormales.

Cet axe positif faisant suite au gradient du versant oriental; il nous a paru naturel de l'expliquer par la présence d'un corps lourd du type corps d'Ivrea soit même par un apophyse de ce dernier.

Décrochement Morat-Fribourg

Nous retrouvons dans cet accident l'homologue, en beaucoup moins accentué, de l'accident Martigny-Lausanne.

Il pourrait former la limite Est d'un vaste compartiment effondré ou soulevé formé par deux lignes issues des bords des massifs centraux et se prolongeant en direction du Jura, perpendiculairement aux structures générales des Alpes.

Cuvette négative de la Broye

Cette cuvette marque une surépaisseur de sédiments quaternaires légers dans la vallée inférieure de la Broye.

Elle se situe entre des affleurements connus de molasse. On pourrait penser qu'elle faisait partie intégrante du lac de Neuchâtel et qu'elle a été comblée au cours des temps.

Maxima anomaux

Le modèle de Bouguer que nous présentons comporte trois maxima anomaux, deux à -160 mgal et un à -165 mgal. Il est remarquable de constater d'une part que ces maxima ne correspondent pas aux maxima d'altitude et d'autre part qu'ils se trouvent tous les trois au contact entre le domaine Pennique et les massifs cristallins externes de l'Aar-Gothard et du massif du Mt Blanc.

Malheureusement aucune hypothèse même ardue ne permet d'expliquer ce fait.

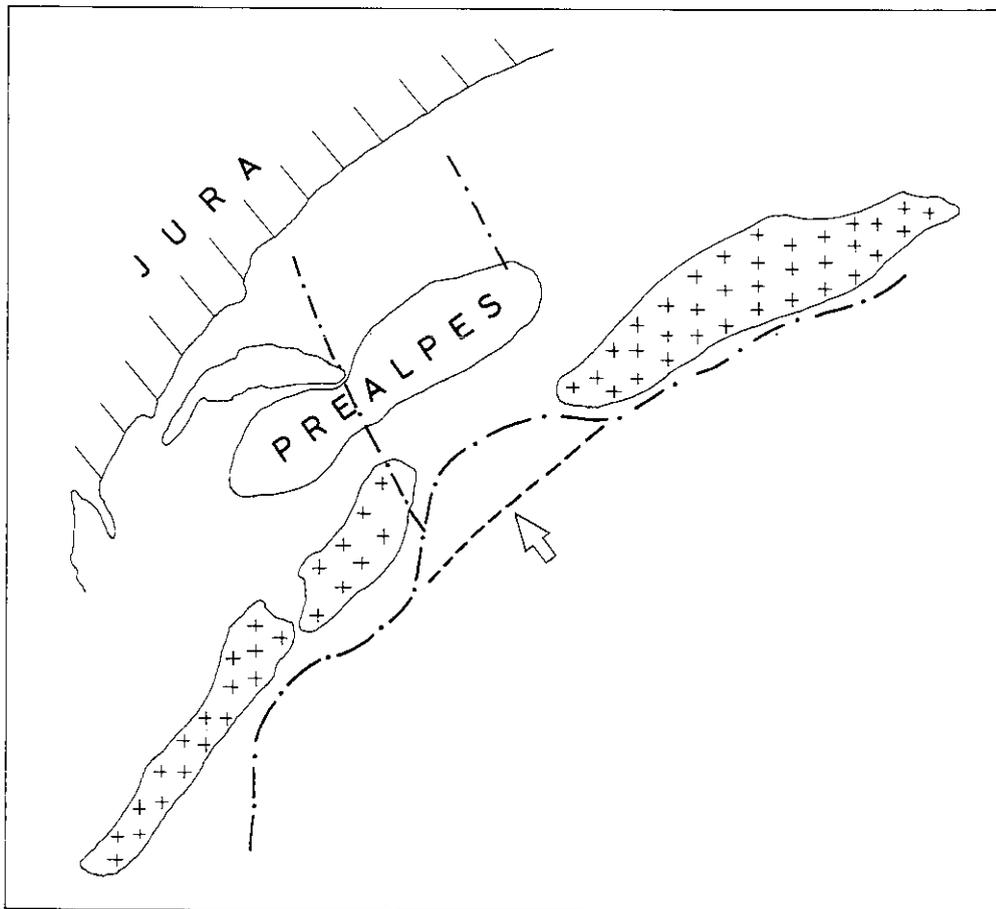
Gradient du versant oriental

Le gradient déjà mis en évidence par le modèle de Bouguer sans correction topographique ressort ici encore plus violemment; il correspond très certainement à l'effet du talus du corps d'Ivrea (FUCHS, MULLER, PETERSCHMIDT, ROTHE, STEIN, STROBACH, LABROUSTE, CHOUDURY, FERRIER – 1963)

Les axes et accidents cités dans ce paragraphe sont reportés sur un fond topographique à la planche IX.

L'examen de la carte des anomalies de Bouguer nous a suggéré quelques considérations sur un mécanisme probable de mise en place des Préalpes. Ces considérations sont avant tout basées sur des arguments géométriques.

Considérons le schéma suivant dont les données géologiques sont dues à LEMOINE et DEBELMAS (1964)



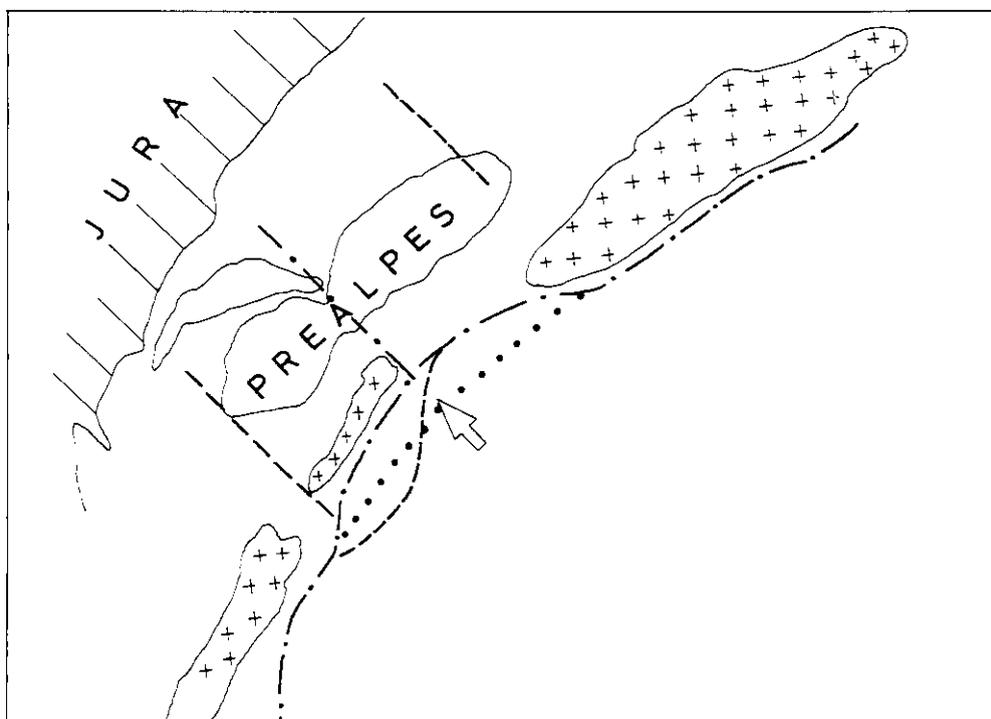
La ligne en trait mixte marque la limite frontale du domaine pennique.

Cette limite présente un avancement très important entre les massifs de l'Aar-Gothard et du Mt Blanc-Aiguilles rouges.

Sans trop nous avancer nous pouvons aisément concevoir que cette masse s'est "engouffrée" dans un chenal dépressionnaire et que, probablement, il en a été de même pour le lobe Est des Préalpes.

Ce chenal paraît provenir de mouvements relatifs entre des blocs délimités latéralement par des zones de faiblesses elles-mêmes perpendiculaires à la direction alpine.

Dans cette optique, il est par contre malaisé d'expliquer la mise en place du lobe Ouest. Mais si nous modifions légèrement notre croquis en supprimant la masse granitique du Mt Blanc (voir ci-dessous)



nous voyons que la ligne pennique frontale a subi au droit du massif des Aiguilles rouges un recul assez important par rapport à une ligne frontale idéale (pointillé)

L'explication de la présence du lobe Ouest des Préalpes serait la même que celle du lobe Est si l'on continue le front pennique actuel au travers du synclinal de Chamonix selon la ligne en croix de notre croquis.

Le chenal dont nous avons parlé précédemment s'étendrait alors jusqu'au cours de l'Arve actuel.

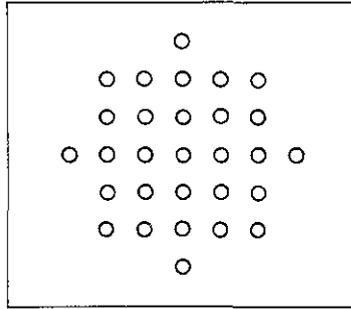
La position en retrait de la ligne pennique frontale s'expliquerait par la montée du massif granitique du Mt Blanc associé probablement à une légère rotation et une translation des blocs; mouvements qui ressortent sous la forme de notre accident gravimétrique de Martigny-Léman.

5.5. MODELE TOPO-ISOSTATIQUE DE AIRY-HEISKANEN

Ce modèle a été calculé à partir du modèle de Bouguer avec corrections topographiques. La méthode employée pour le traçage des courbes est la même mais on a procédé à un adoucissement du tracé.

L'adoucissement est obtenu en ajustant par moindres carrés une surface du second degré sur un certain nombre de points de la grille entourant le point à adoucir.

Dans notre cas les points pris en considération sont en nombre de 24 et sont disposés selon le schéma suivant (I.B.M. application programme 1967)



Les paramètres utilisés sont les suivants:

densité de la croûte	2.67
densité du manteau	3.27
épaisseur de la croûte	30 km
Rayon maximum des corrections	166 km.

L'effet des racines compensatoires a été calculé par la méthode des lignes de masse, HEISKANEN(1953) pour des prismes de l'xl' en tenant compte de la convergence des méridiens, de la courbure terrestre et de l'élévation de la station sur l'ellipsoïde. On a négligé l'effet de la convergence des verticales, estimé comme peut important.

L'effet topo-isostatique de la zone O₂ à 1 n'a pas été pris en considération pour le tracé car il varie de 4,5 à 6 mgal entre les points extrêmes de l'étude (HEISKANEN, NISKANEN, KORKEI – 1959)

Ce modèle permet de constater que d'une façon grossière l'équilibre isostatique selon le schéma de AIRY-HEISKANEN est réalisé sauf dans la zone d'influence du corps d'Ivrea.

Pour corroborer ces arguments nous avons cherché s'il y avait corrélation linéaire entre anomalies isostatiques et altitudes. Les résultats obtenus reportés sous forme de graphique à la planche VIII. sont les suivants :

Ordonnée à l'origine : 5.60 mgal
Pente : - 0.0033.
Coefficient de Pearson-Bravais : - 0.0865.

L'ordonnée à l'origine correspond en gros à la correction topo-isostatique moyenne que nous n'avons pas prise en considération.
La pente peut être considérée comme nulle.

Le coefficient de Pearson-Bravais donne une interaction négative presque nulle entre altitude et anomalie.

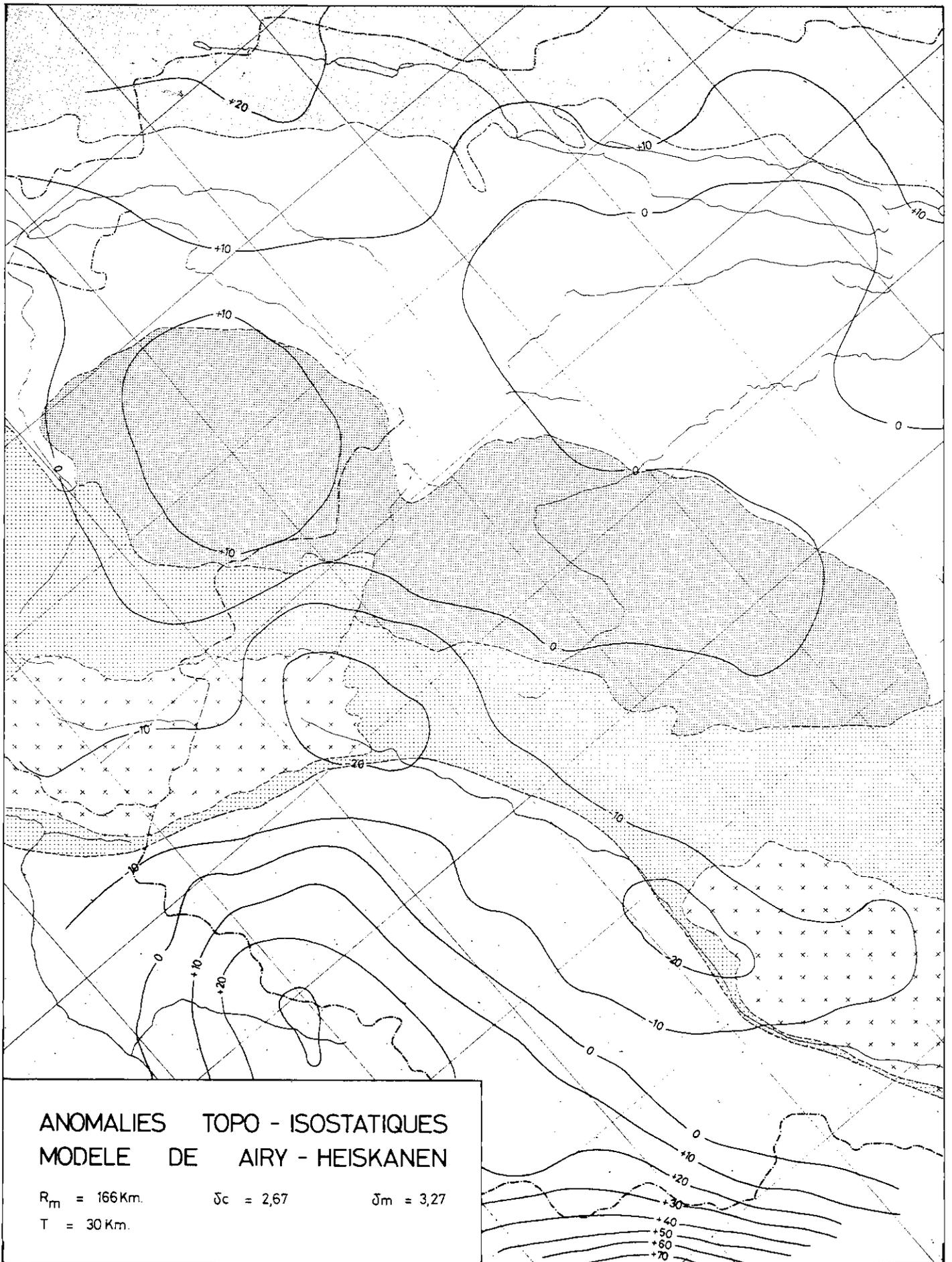
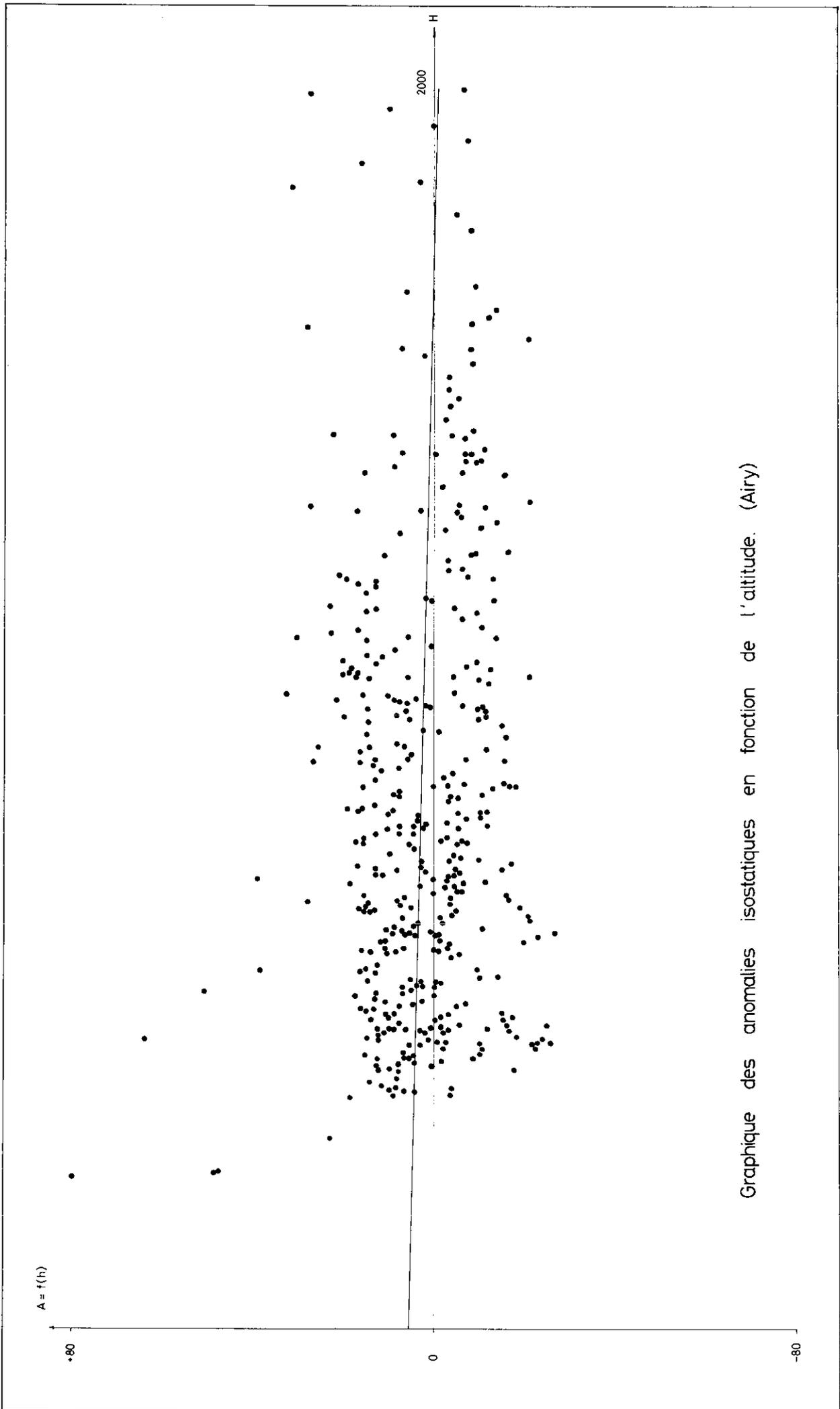
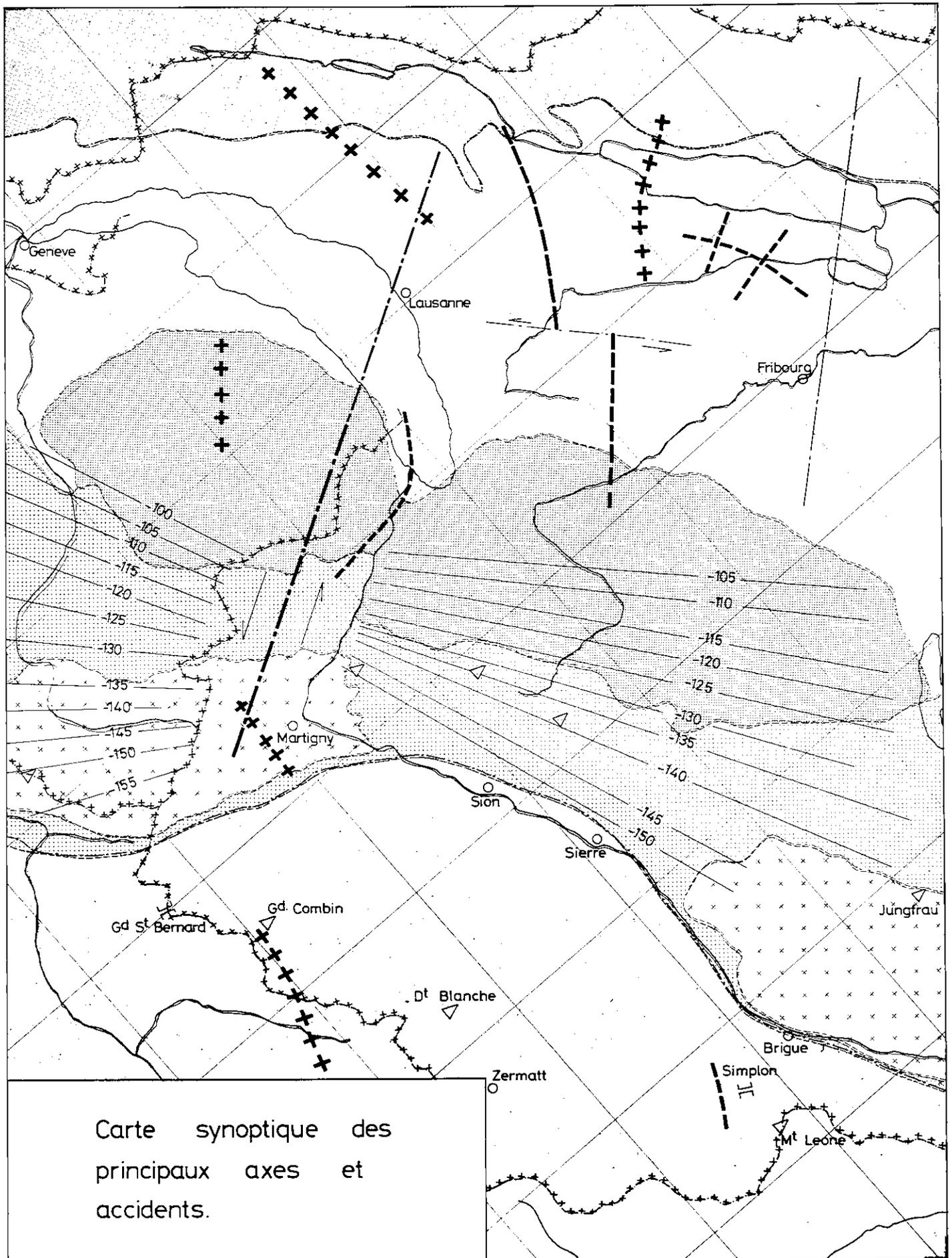


Planche VII



Graphique des anomalies isostatiques en fonction de l'altitude. (Airy)



Carte synoptique des
principaux axes et
accidents.

Planche IX

Nous pouvons donc affirmer sur la base du modèle et de cette analyse de corrélation que les paramètres utilisés rendent bien compte, pour cette zone, du schéma d'équilibre de la croûte terrestre.

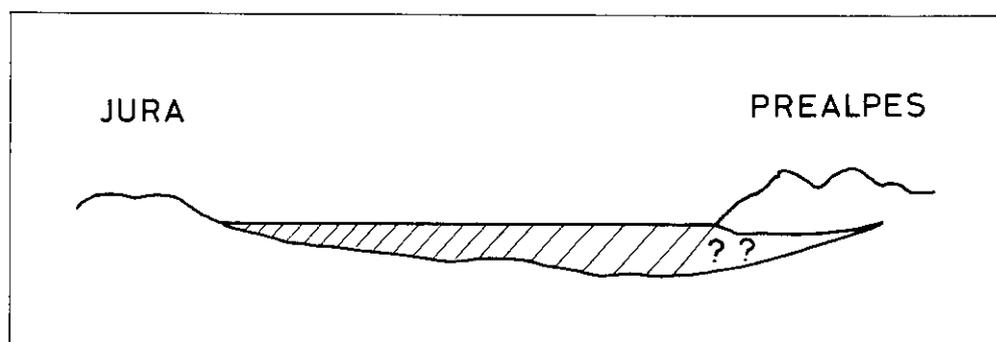
5.6. MODELES DU PLATEAU MOLASSIQUE

Un des buts de notre travail, est d'évaluer l'effet gravifique régional du plateau molassique. Cette tentative se justifie par le fait, qu'à notre sens, il est préférable de tirer une tendance régionale, d'une région à partir de données géologiques plutôt que par une fonction mathématique qui aussi compliquée qu'elle soit ne peut qu'épouser très imparfaitement la réalité.

Si nous revenons à notre remarque du chapitre II, au sujet des modèles à densité variable nous constatons immédiatement que sur la zone étudiée nous nous trouvons devant le cas typique d'une aire contenant une structure bien individualisée par ses limites géographiques et surtout par son contraste de densité. Il s'agit du bassin molassique.

On pourrait le représenter schématiquement comme une structure allongée parallèlement à la chaîne des Alpes et ayant une section trapézoïdale voire triangulaire avec la pointe tournée contre le Jura voir figure 5.1.

Figure 5.1.— Coupe schématique transversale entre Jura et Préalpes.

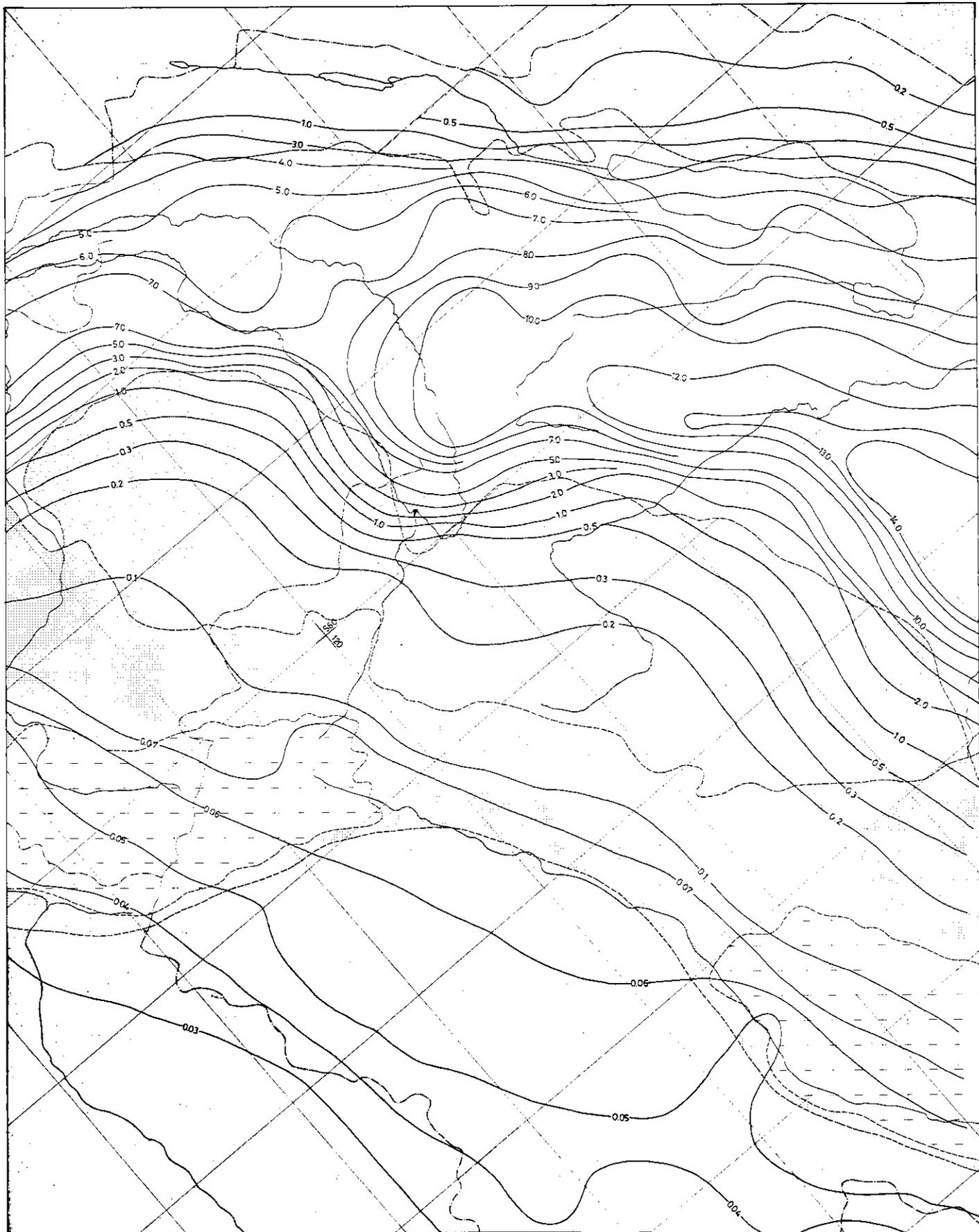


Cette grande masse bien individualisée et dont le contraste de densité avec le modèle de Bouguer employé est d'au moins 0,2, va par son importance masquer les phénomènes profonds et introduire, à notre sens, une distorsion des anomalies dues au socle ou aux Alpes proprement dites.

Afin d'étayer cette hypothèse et pour évaluer l'importance des anomalies provoquées par cette structure, avant d'éventuellement créer des modèles plus complets, nous avons commencé par calculer l'effet d'une structure "bidimensionnelle" d'extension limitée et de section droite correspondant aux esquisses des notices explicatives de la carte géologique suisse au 1/200'000e.

A cet effet nous avons développé un procédé de calcul par ordinateur pour des corps de forme quelconque à génératrices horizontales limités ou infinis dans la direction de l'allongement. Ce programme permet de calculer l'effet gravimétrique d'un ensemble de strates, pouvant aller jusqu'à 10, de densité quelconque.

Une représentation du profil adopté et de l'anomalie associée calculée par cette méthode est représentée à la planche X.



EFFET DU PLATEAU MOLASSIQUE

Modèle I à VI $\Delta\delta$ variable

Quadrillage kilométrique suisse 20 20 Km.

Origine : Berne 200 / 600

La valeur de cette anomalie est suffisamment importante pour que l'on s'attache plus attentivement à éliminer l'effet parasite du plateau molassique.

Une analyse tridimensionnelle nous a paru la plus justifiée parce que la plus complète.

Pour cela nous avons mis au point un programme en langage FORTRAN permettant de calculer la composante verticale de l'attraction d'un corps tridimensionnel de forme quelconque sur un point de l'espace.

Ce programme emploie la formule exacte du calcul de l'attraction d'un prisme vertical de section quadrilatère. (NAGY 1966).

tableau

$$G_z = K \delta \left[x \ln(y+r) + y \ln(x+r) - z \arcsin \frac{z^2 + y^2 + y \cdot r}{(x+r) \sqrt{y^2 + z^2}} \right]$$

$$\begin{array}{ccc} z^2 & y^2 & x^2 \\ | & | & | \\ z_1 & y_1 & x_1 \end{array}$$

$$r = (x^2 + y^2 + z^2)^{1/2}$$

Pour les calculs proches et une formule de ligne de masse pour les calculs de l'effet lointain. Il tient compte de la courbure terrestre à partir de 5 km déjà. De plus nous lui avons adjoint pour les études des paragraphes suivants une sousroutine simulant la compaction des sédiments.

Une série de tests effectués préalablement sur des corps de formes géométriques simples et facilement calculables nous permet d'espérer une précision inférieure à quelques %.

La structure représentant le plateau molassique a été approximée par une série de prismes verticaux de section carrée dont les altitudes, du mur et du toit, ont été prises comme la moyenne des altitudes lues à l'intérieur d'un carré de 1 km de côté.

Les documents de base pour ces données sont la carte topographique suisse au 1/100'000e et une carte des isobathes du toit du secondaire, que nous donnons à la planche XI.

Cette carte a été tracée à partir de documents sismiques aimablement mis à notre disposition par l'Institut de Géophysique de l'Université de Lausanne; elle montre le découpage des modèles employés et les limites admises pour le plateau molassique.

La planche numéro XII représente l'effet de cette structure de densité uniforme égale à 0.20 (2.67-2.47)

Cependant, admettre une densité constante pour la molasse représente un modèle à notre sens trop simple et qui ne peut donner qu'une valeur **maximum** de la correction à apporter au modèle de Bouguer. Nous avons donc poussé plus loin notre travail et tenté de faire un modèle à densité variable; celui-ci est exposé dans le paragraphe suivant.



5.6.1. VARIATION DE LA DENSITE DE LA MOLASSE EN FONCTION DE LA PROFONDEUR

L'élaboration d'un modèle du plateau molassique à densité variable comme perfectionnement des modèles gravimétriques classiques ne doit pas nous faire perdre de vue que la gravimétrie à grande échelle est une technique d'exploration générale et qu'il serait vain d'entrer dans des détails dont les contributions seraient noyées dans le "bruit de fond". C'est pourquoi nous avons retenu certaines hypothèses simplificatrices qui apparaîtront au cours de l'exposé.

Nous avons admis que l'augmentation de densité était due seulement à la compaction (tassement dû à la surcharge de la couche susjacente) bien que l'on puisse penser qu'un tassement différentiel horizontal ait été provoqué par la poussée de la chaîne alpine. L'augmentation de densité sera donc pour nous une fonction de la profondeur seulement.

On sait que la vitesse des ondes sismiques varie, entre autres, avec la densité des roches. Si nous connaissons la distribution des vitesses en profondeur, et en faisant certaines hypothèses, nous pourrions reconstituer la loi des densités.

Nous nous sommes servis des statistiques des vitesses connues dans l'est de la Suisse (LOHR. J. 1976) pour bâtir notre modèle à densité variables. Les valeurs admises sont des valeurs moyennes et sont les suivantes :

Vitesse de surface : 2200 m/sec.

H. ROTH LISBERGER (1957)

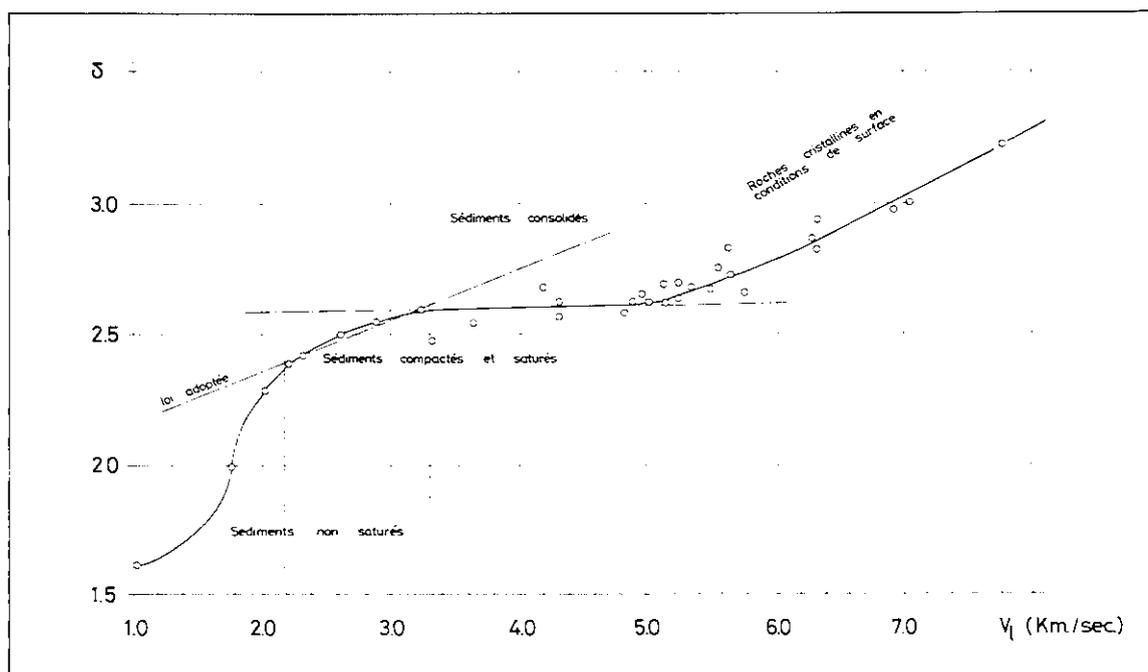
V max : 5000 m/sec.

(LOHR 1967)

Entre ces deux points nous avons supposé une loi linéaire

$$V_p = 0.742 h + 2200 \quad 1.$$

Selon WOLLARD (1959) auquel nous avons emprunté le graphique ci-après



il apparaît qu'au-delà de 3300 m/sec. environ, la densité de la roche se stabilise autour de 2.57 alors qu'entre 1800 et 3300 la loi est de la forme

$$\delta = K_1 + K_2 \sqrt{V}$$

Pour notre part, sur le segment qui nous préoccupe, nous avons admis la loi linéaire suivante :

$$\delta = 0,0001 \cdot V + 2,25 \quad 2$$

de 1 et 2 nous pouvons passer à la loi qui s'exprime par

$$\delta = 7,42 \cdot 10^{-5} \cdot V + 2,47 \quad 3$$

pour

$$2200 \text{ m.s}^{-1} \leq V \leq 3300 \text{ m.s}^{-1}$$

En revenant aux données initiales nous voyons que ce "passage" de vitesse se situe à une profondeur de 1400 m. environ.

Nous avons donc admis, pour le calcul du modèle, deux couches bien distinctes, la première s'étendant de la surface jusqu'à une profondeur de 1400 m., variant en densité suivant la loi III; la seconde, de -1400 m. au mur, de densité constante égale à 2.57.

Il nous est rapidement apparu que le calcul d'un modèle à densité variable continue se heurtait à des difficultés considérables.

Pour simplifier le calcul nous avons simulé la variation de densité de la façon suivante :

Chaque colonne de 1 x 1 km de côté et de densité variant selon la loi III, a été remplacée par une colonne de mêmes dimensions mais de densité constante et telle que l'effet de ces deux colonnes soit identique.

Pour cela, nous avons calculé la composante verticale de l'attraction de prismes de 1 x 1 km, d'épaisseur h, dont la densité variait par paliers de 2 m., la profondeur caractéristique étant prise au milieu de chaque tranche de 2 m.

$$\Delta g = \sum_{i=1}^n (7,42 \cdot 10^{-5} \cdot \frac{h_i - h_{i-1}}{2} + 2,47) \cdot G \cdot f(A, h_i, h_{i-1})$$

Dans ce cas, f (a, h_i, h_{i-1}) est la formule donnant l'attraction d'un prisme de côté A, d'épaisseur h_{i-1}-h_i, de densité unitaire, sur un point placé au-dessus de son toit à une distance h_i.

Ce calcul de l'effet d'une colonne de X mètres à δ variable nous permet de calculer la densité équivalente

En répétant cette opération pour des colonnes dont l'épaisseur croissait de 50 m. en 50 m. nous avons obtenu une courbe δ équivalente = f (h)

Ces résultats sont reportés sur la planche XIII. A partir de cette courbe et par itération nous avons pu approximer la fonction représentée graphiquement par une loi du type

$$\delta = K_1 + K_2 \cdot h^{K_3}$$

la loi adoptée est la suivante :

$$\delta(h) = 0,0039 \left(\frac{h}{100} - 1 \right)^{0,79} + 2,4736$$

la loi de densité admise peut aisément être contrôlée en employant la relation d'Archie qui met en relation la porosité d'une roche et sa résistivité électrique.

$$\rho_r = a \cdot \rho_l \cdot \Phi^m$$

ρ_r = résistivité de la roche.

ρ_l = résistivité du fluide d'imbibition.

Φ = porosité.

a et m = facteurs numériques expérimentaux.

Cette loi se simplifie si la porosité de la roche est comprise entre 10 et 30%.

Elle devient alors

$$\rho_r = \rho_l \Phi^{-2}$$

De la définition de la porosité nous tirons

$$\delta_r = \delta_l \cdot \Phi - \delta_g (1 - \Phi)$$

nous savons, par l'expérience

$$(\rho = \text{cte} \sqrt{AB})$$

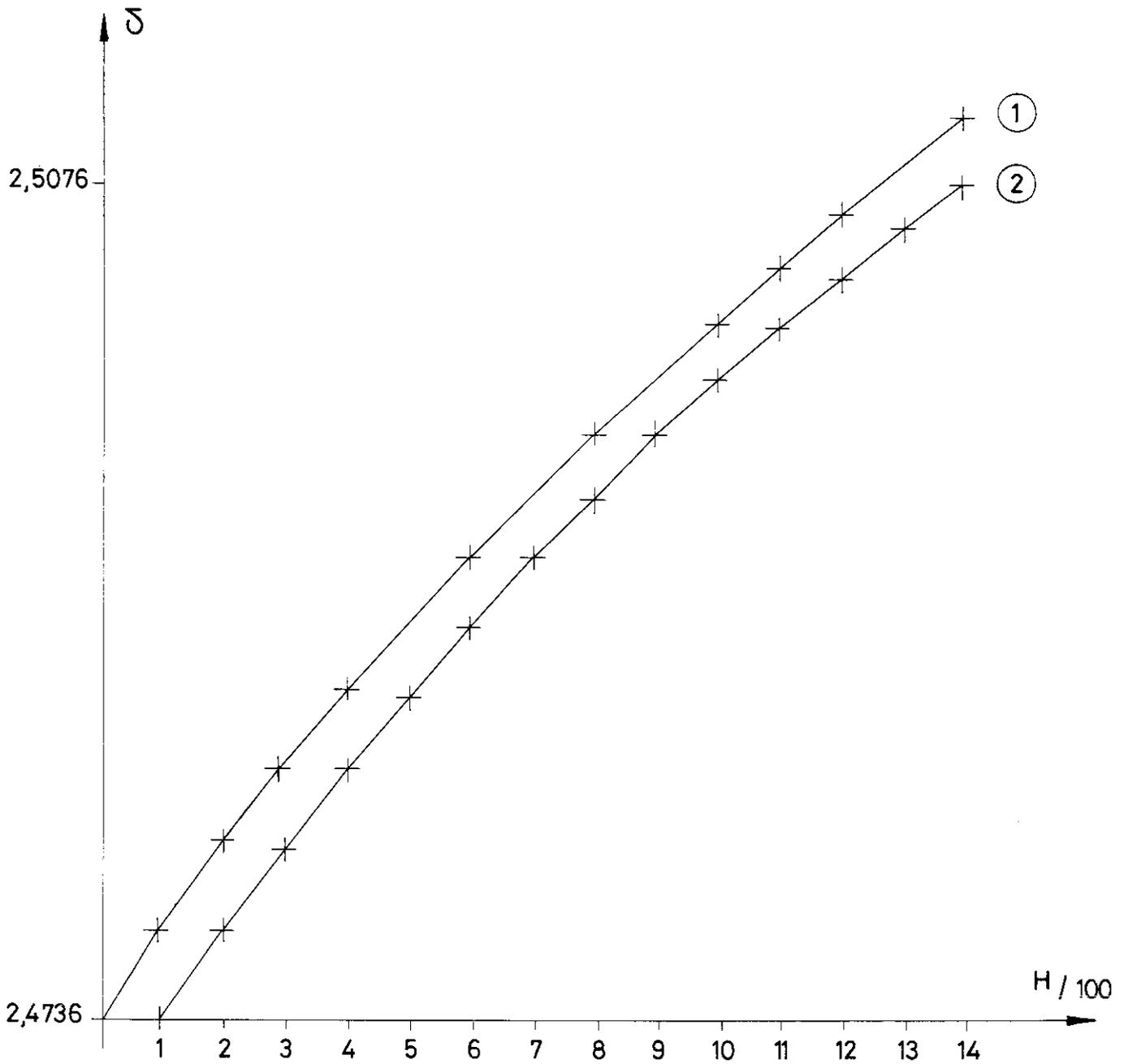
que la résistivité de la molasse chattienne, qui prédomine dans la région nous intéressant, ne varie pas avec la profondeur et cela pour profondeurs d'investigation allant au moins jusqu'à 1000 m.

La roche se compactant la résistivité devrait diminuer car la quantité relative d'eau d'imbibition, assurant la conductivité, diminue. S'il n'en est pas le cas c'est que l'augmentation de température, due au gradient géothermique, abaisse la résistivité de cette eau et que ce phénomène se répercute sur ρ_a .

Nous pouvons donc poser :

$$\rho_{r.s.} = \rho_{l.s.} \cdot \Phi_s^{-2} = \rho_{l.p.} \cdot \Phi_p^{-2} = \frac{\rho_{l.s.}}{K} \Phi_p^{-2}$$

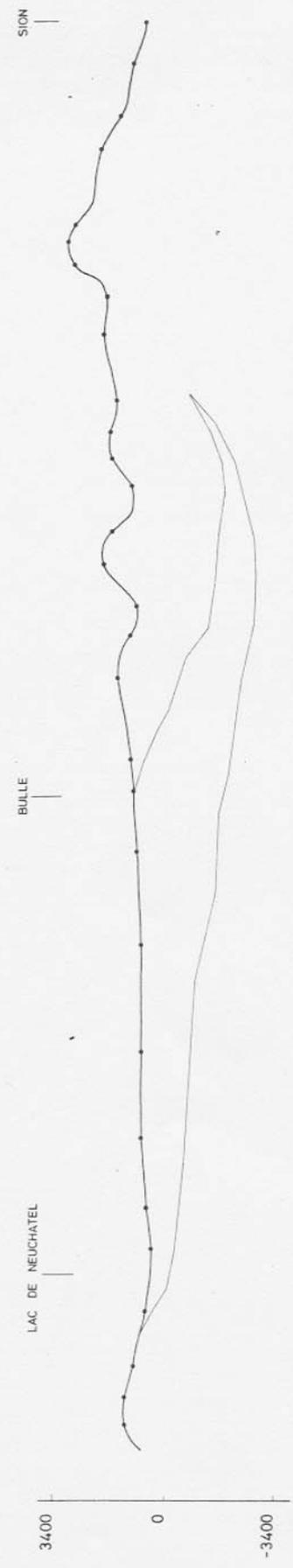
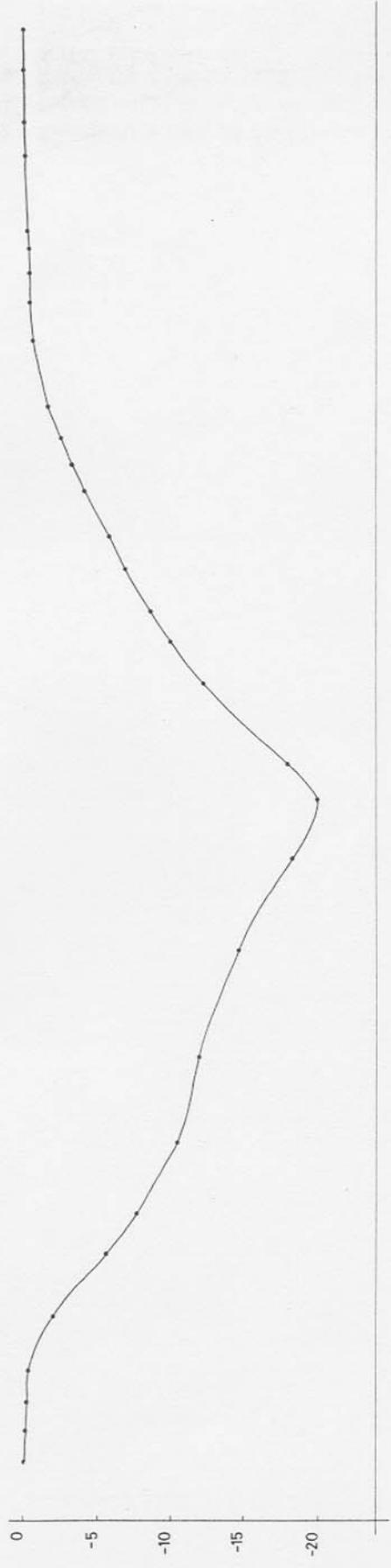
L'indice s est relatif à la surface, l'indice P à la profondeur



① "Fit., par $0,0039 \left(\frac{h}{100}\right)^{0,79} + 2,4736$

② Courbe expérimentale

Loi adoptée : $\delta = 0,0039 \left(\frac{h}{100} - 1\right)^{0,79} + 2,4736$



PROFIL DU PLATEAU MOLASSIQUE ET ANOMALIE ASSOCIEE - Méthode des structures à deux dimensions

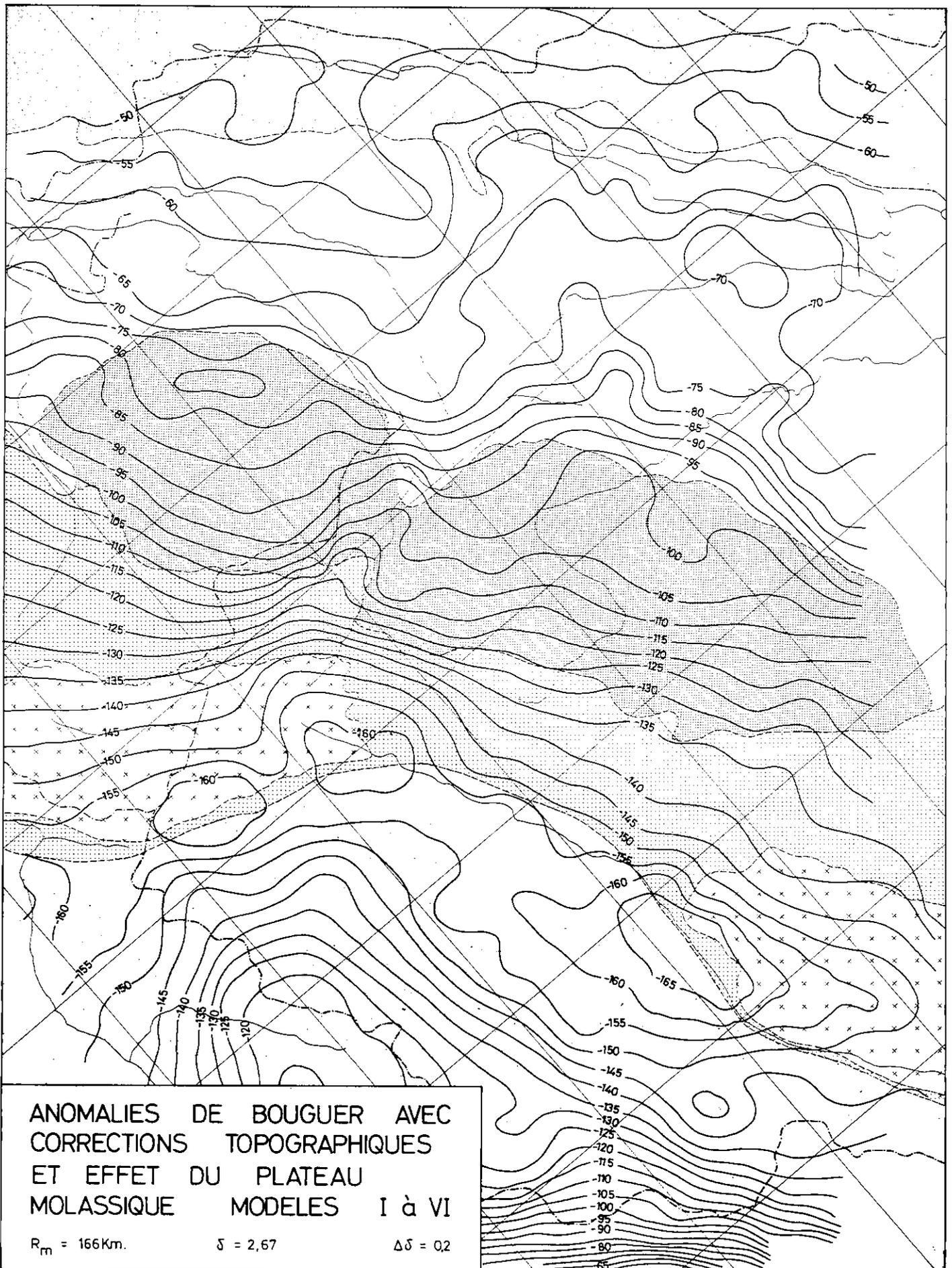


Planche XV

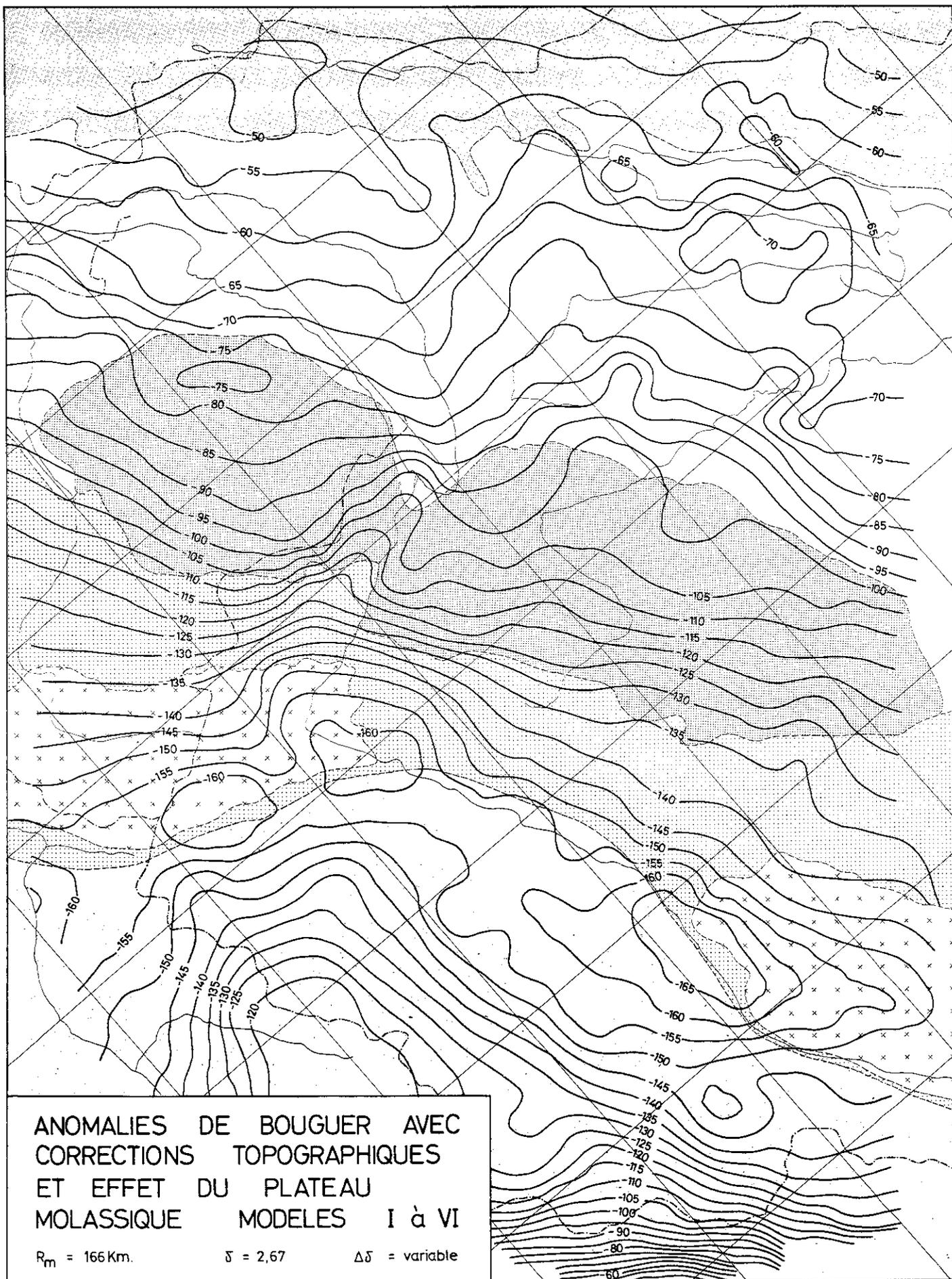


Planche XVI

Nous remarquons premièrement un renforcement notoire des axes, surtout celui du Brassus-Cossonay, avec l'apparition nouvelle de quelques autres, secondement une rotation assez générale des accidents vers l'Est, l'exception étant la culmination positive des Préalpes de l'Ouest qui s'amincit et effectue un quart de tour.

L'axe positif Grandson-Henniez a complètement disparu, probablement estompé par l'intensité nouvelle de l'axe négatif Mormont-Moudon.

Ce dernier, avec ces modèles, prend toute son importance et on le voit, avec le modèle à densité variable, devenir suffisamment effilé pour que l'hypothèse de l'effondrement devienne la plus séduisante.

Les axes nouvellement apparus sont au nombre de cinq.

L'axe négatif des Voirons situé sur la molasse subalpine.

L'axe positif de Nyon prolonge le décrochement de St Cergues, il commence bien marqué puis perd de sa netteté à mesure qu'il pénètre dans le lac. Ce décrochement s'accompagne donc, peut-être, d'un rejet vertical.

L'axe positif de Concise correspondant assez nettement avec une avancée du Jura en direction du lac.

L'axe positif entre Sarine et Sense.

Ces axes, au vue de leurs faibles dimensions, doivent probablement leur origine à des variations du niveau du toit ou même, à la rigueur, du mur du secondaire.

L'axe positif de Lausanne que, malgré ses faibles dimensions, nous rattacherons à un phénomène beaucoup plus profond, à savoir une intrusion basique ou ultrabasique mise en évidence par les études magnétique (Anomalie du Jorat de Mercanton et Vanner 1947)

Le point le plus remarquable, engendré par ces modèles, est le gradient anomal du front des Préalpes.

Le contraste de densité entre le modèle de Bouguer à 2.67 et le plateau molassique étant une réalité indéniable ce gradient ne peut provenir que de l'interruption brusque de la structure, dans ces modèles.

Un modèle supposant une continuation, accompagnée d'un amincissement progressif, de la lame molassique sous les Préalpes étalerait ce gradient conformément à l'allure générale des isanomales et serait par conséquent plus proche de la réalité.

Afin de vérifier le bien-fondé de cette hypothèse nous avons, par le procédé décrit au paragraphe 5.5., calculé des modèles complémentaires. (VII à X)

Les altitudes du toit et du mur, les effets de cette structure complémentaire ainsi que les modèles de Bouguer modifiés, sont reportés sur les planches XVII à XXII.

L'effet escompté, c'est-à-dire l'étalement du gradient frontal des Préalpes, se produit ici d'une façon remarquable. Il apporte ainsi un argument physique à la théorie, basée sur des données géologiques, de l'existence d'une lame molassique sous les Préalpes.

Il n'est malheureusement pas dans nos possibilités de fixer l'épaisseur et l'extension de cette couche. Mis à part l'apport important que nous venons de citer, les modèles I à X modifient peu les résultats obtenus avec ceux de I à VI.

On notera cependant l'apparition d'un axe positif symétrique à celui de Nyon sur la rive

gauche du Léman ainsi que de légères oscillations de la position des accidents, ou axes, d'un modèle à l'autre.

De tous les faits que nous venons d'exposer nous pouvons tirer deux conclusions principales :

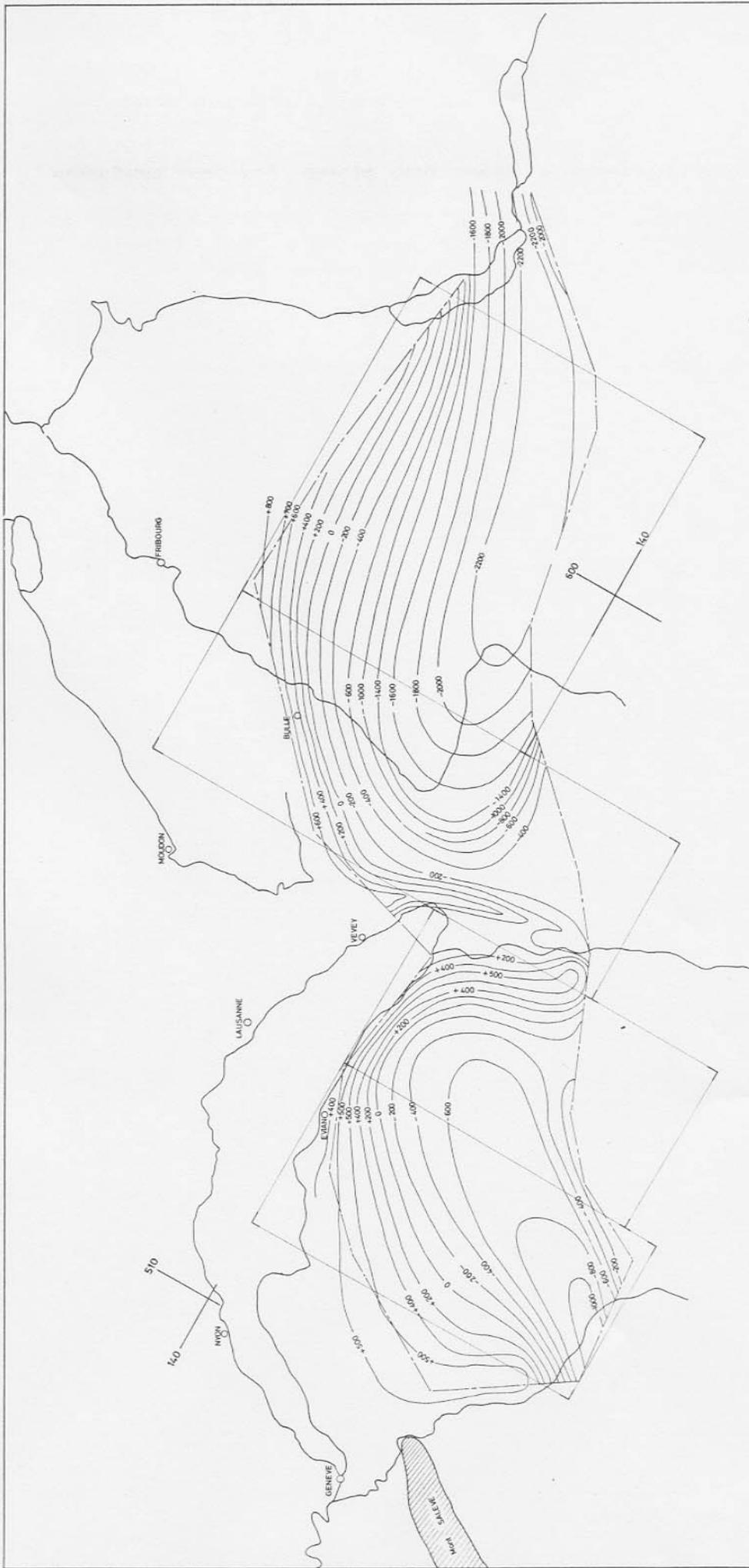
Premièrement : la simulation du bassin molassique conduit à déterminer une "régionale" qui, soustraite au modèle de Bouguer, permet de fixer avec plus de précision les directions et les emplacements des axes.

Secondement : la continuation de la couche molassique, sous les Préalpes selon le schéma classiquement admis, est du point de vue gravimétrique non seulement possible mais le schéma adopté semble le meilleur.

Les déplacements des accidents ainsi que les variations de leur amplitude sont reportés sur la planche XXIII.

Une interprétation quantitative transversale ne nous a pas semblé nécessaire, beaucoup de travaux ayant déjà été faits dans cette optique, tant plus à l'Est qu'à l'Ouest de notre zone.

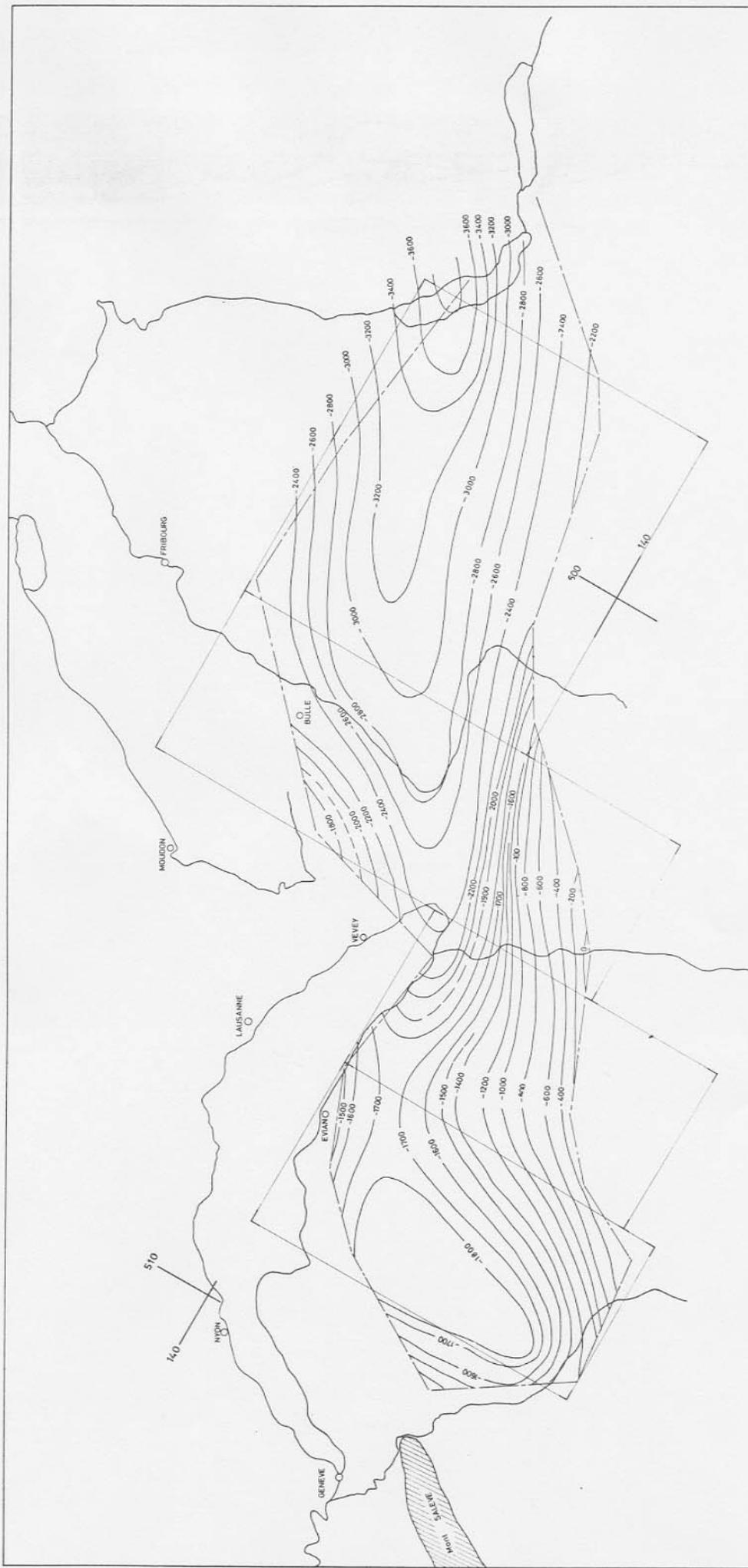
Un modèle que nous estimons particulièrement satisfaisant et pouvant s'adapter aux conditions géologiques de notre étude est celui donnée par MORELLI (1963) à partir de données sismiques et gravimétriques.



**PLATEAU MOLASSIQUE MODELES VII à X
TOIT DU TERTIAIRE**

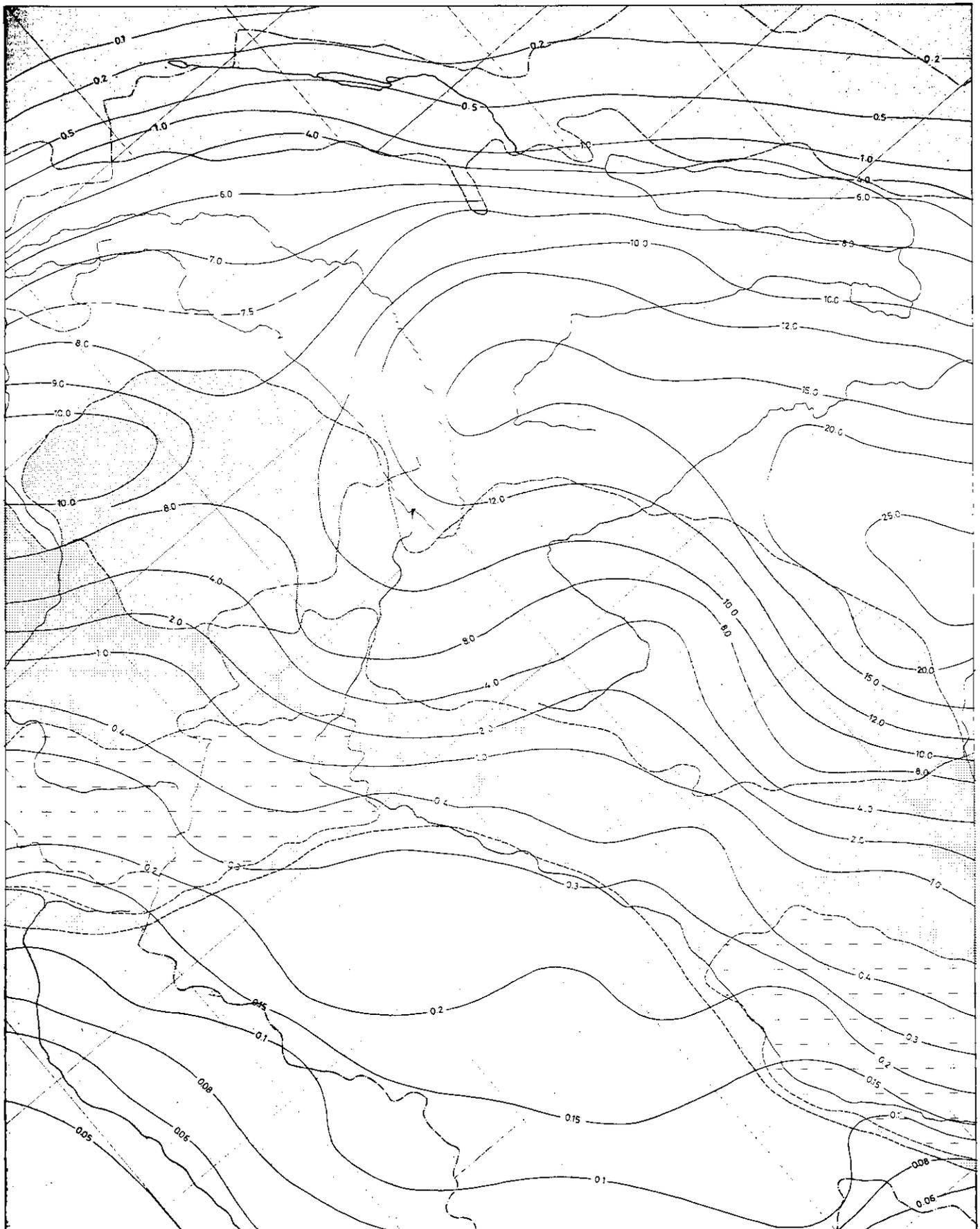
Coordonnées kilométriques suisses

Origine : Berne 200 / 600



PLATEAU MOLASSIQUE MODELES VII à X
MUR DU TERTIAIRE

Coordonnées kilométriques suisses
 Origine : Berne 200 / 600



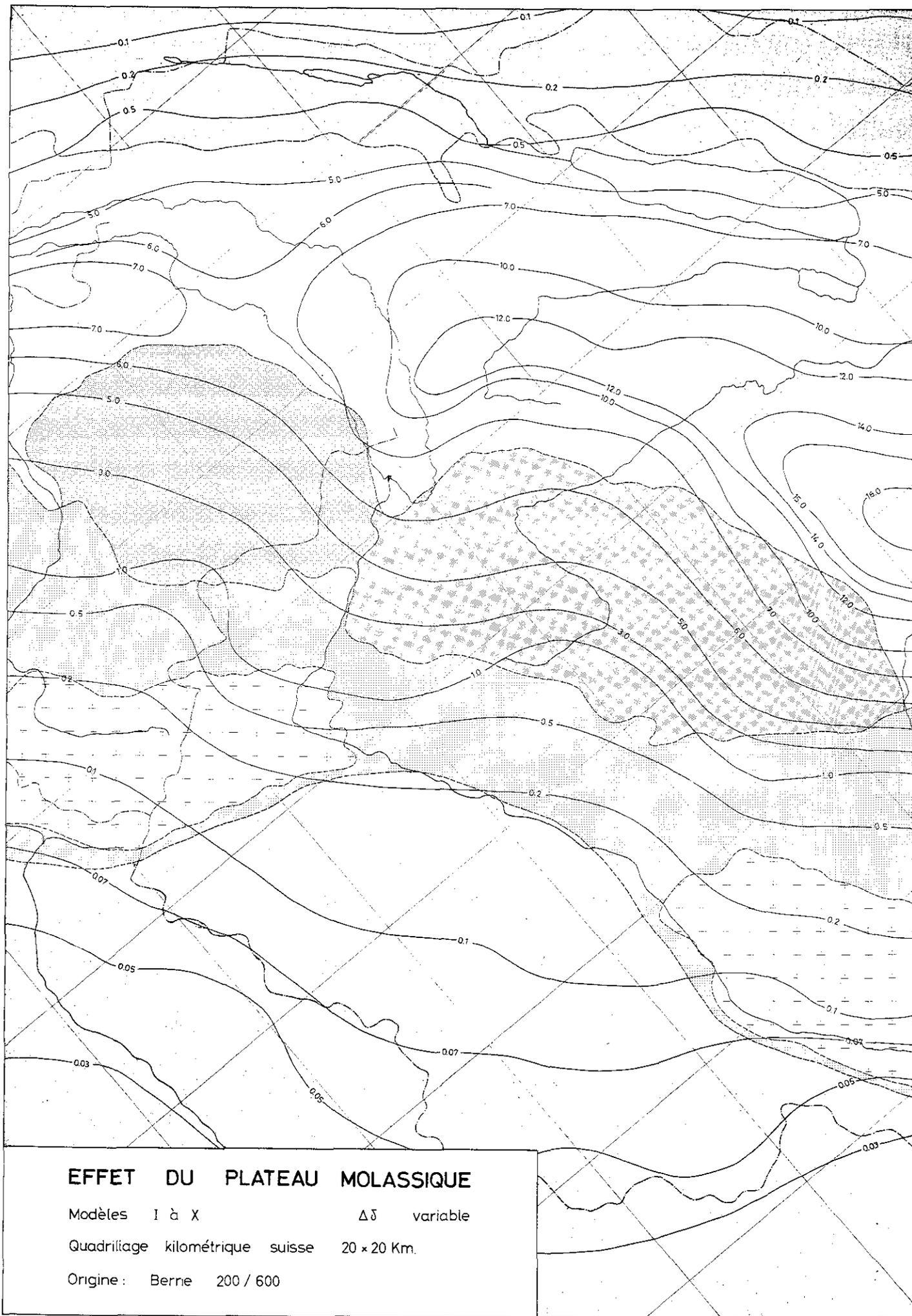
EFFET DU PLATEAU MOLASSIQUE

Modèles I à X

$\Delta\sigma = 0,2$

Quadrillage kilométrique suisse 20 x 20 Km.

Origine : Berne 200 / 600

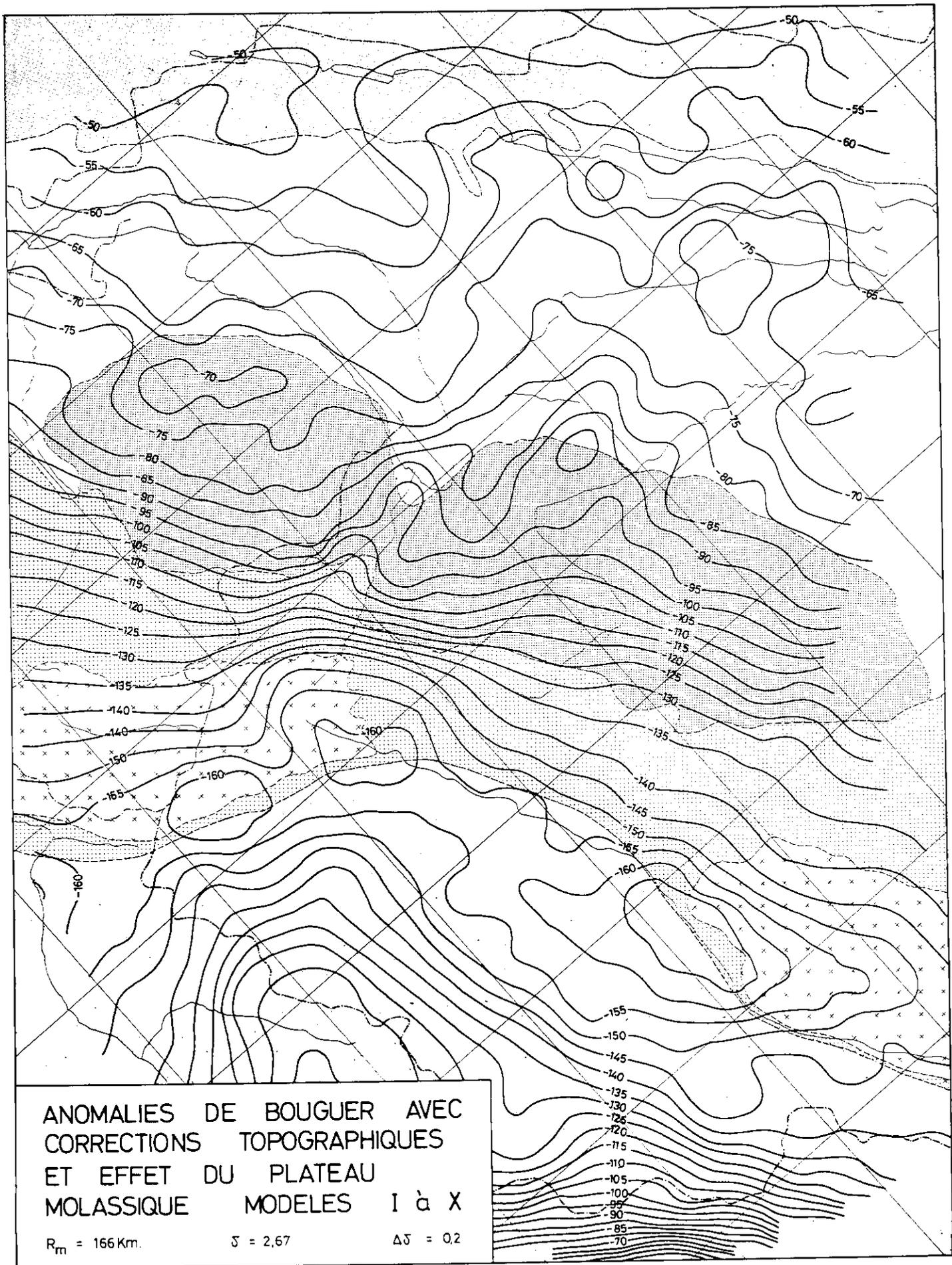


EFFET DU PLATEAU MOLASSIQUE

Modèles I à X $\Delta\delta$ variable

Quadrillage kilométrique suisse 20 x 20 Km.

Origine: Berne 200 / 600



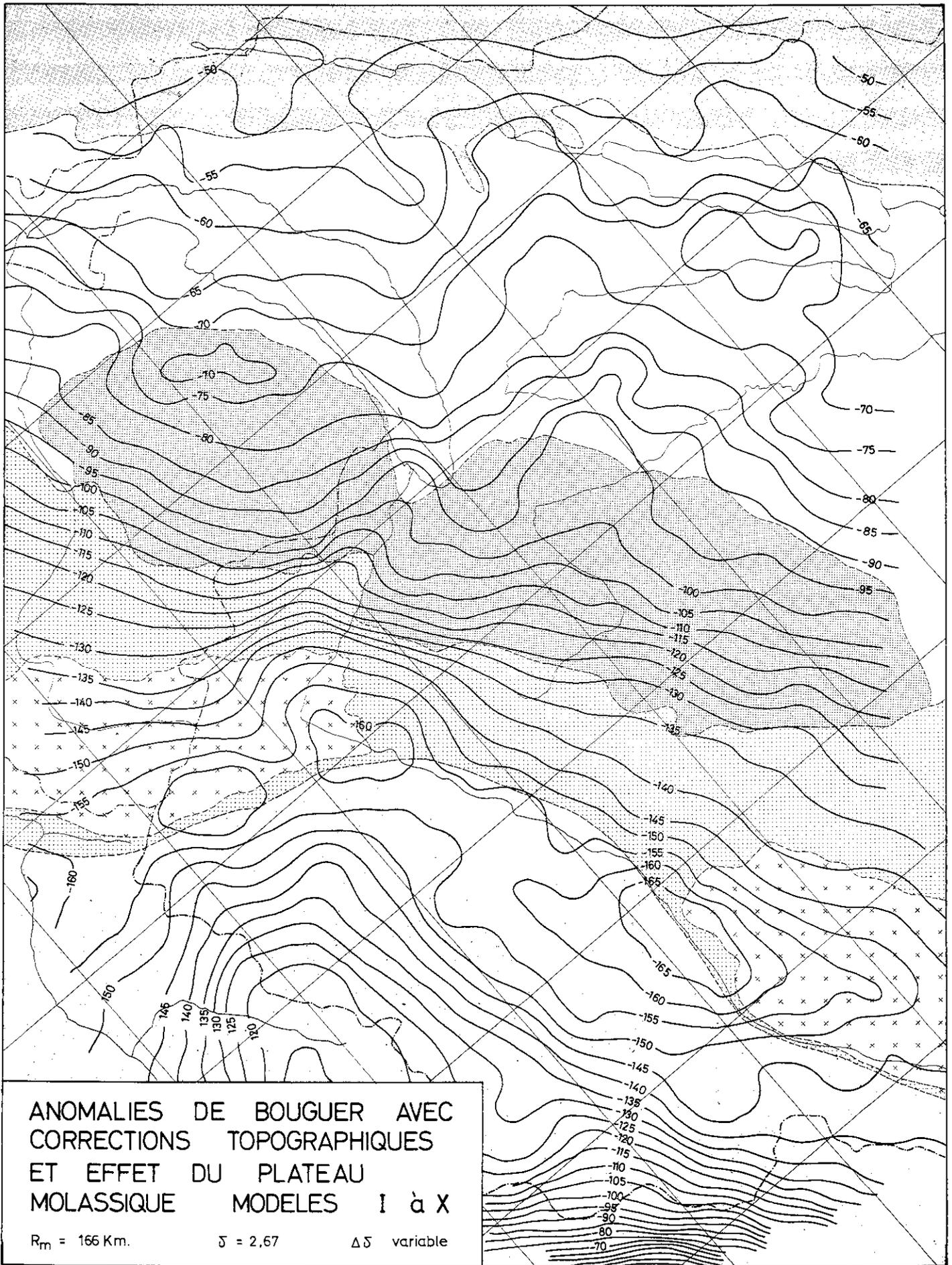
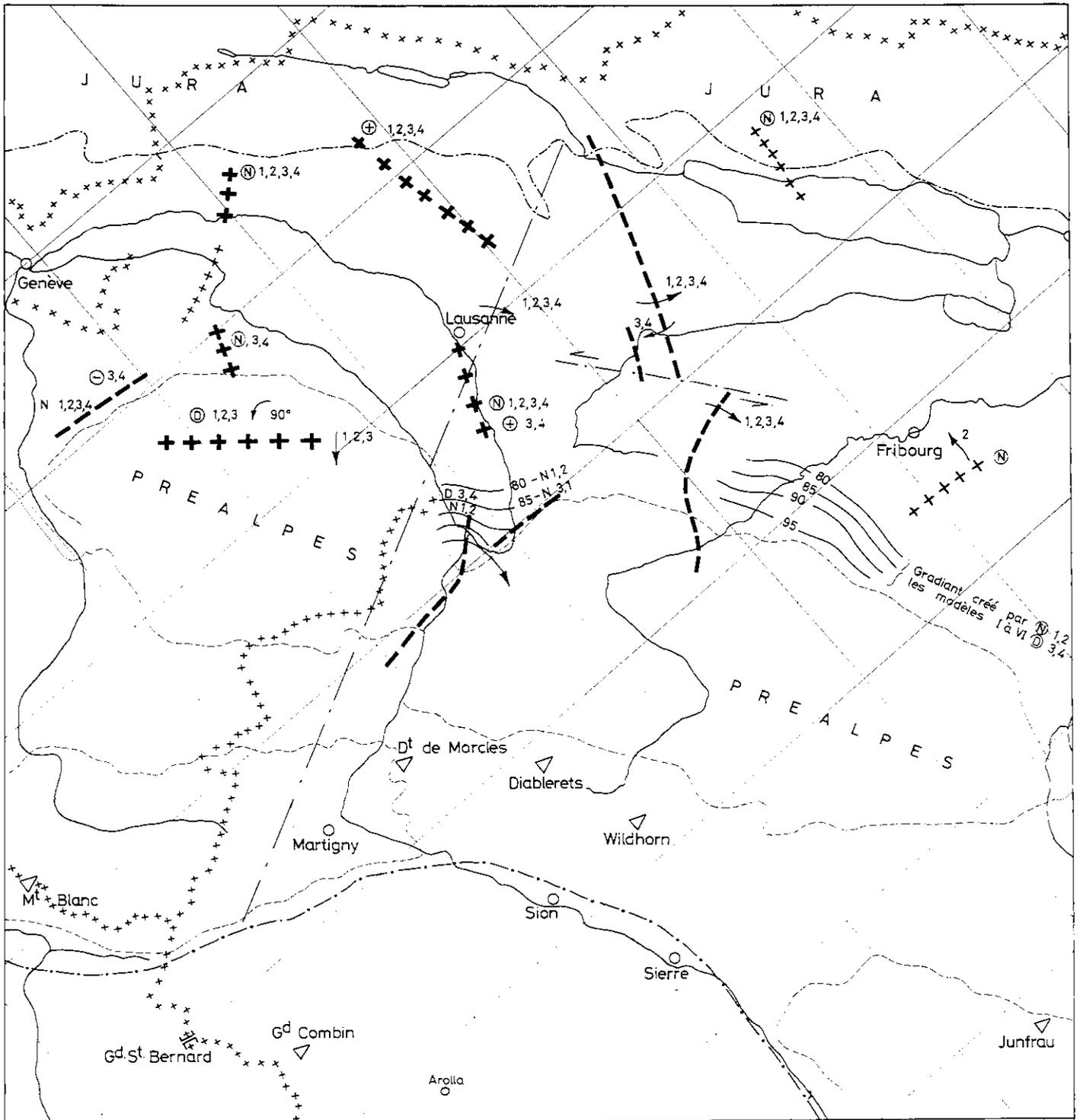


Planche XXII



Carte synoptique de l'effet des modèles molassiques sur les principaux axes et accidents.

LEGENDE :

- Ⓝ Axes ou accidents révélés respectivement
- Ⓧ Diminués par les modèles du plateau molassique
- + - Signes affectant l'amplitude
- ↻ Effet des modèles sur les axes et accidents
- 1,2,3,4 Référence du modèle provoquant le mouvement
- 1. I - VI $\delta = 0,2$
- 2. I - VI $\delta = \text{variable}$
- 3. I - X $\delta = 0,2$
- 4. I - X $\delta = \text{variable}$

CHAPITRE VI – LES REGIONALES PAR FILTRAGE

6.1. CONSIDERATIONS THEORIQUES

Nous avons parlé brièvement dans le chapitre précédent de la notion de régionalité, nous allons y revenir plus en détail dans ce chapitre. Cette discussion nous servira d'introduction aux notions de filtrage.

La carte de Bouguer obtenue pour une région donnée reflète l'effet de toutes les structures disposées sous et autour des stations de mesures. Supposons que l'on désire mettre en évidence des hétérogénéités situées à faible profondeur comme des sillons quaternaires légers par exemple.

Les méthodes qualitatives que l'on pourra employer pour estimer les profondeurs ou les volumes de ces hétérogénéités devront utiliser comme point de départ une anomalie supposée provoquée **seulement** par la structure intéressante.

Le problème qui se pose donc est d'isoler horizontalement et surtout verticalement, l'anomalie du bruit (erreurs de mesures, erreurs de grilles, structures très superficielles, etc.) et des effets géologiques plus profonds.

L'isolement des anomalies se fait généralement sur un critère de "largeur" : les anomalies larges et étendues, ou à grand rayon de courbure, sont supposées d'origine profonde et régionale, les anomalies étroites, sont supposées avoir une origine superficielle.

Plusieurs voies sont ouvertes au gravimétricien.

Il pourra ou calculer une tendance régionale par ajustement d'une surface sur les points expérimentaux ou, comme nous l'avons fait dans les chapitres précédents, chercher une régionale d'origine géologique.

L'ajustement d'une surface, outre le caractère très subjectif du choix de ses caractéristiques, ne peut s'appliquer avec bonheur que sur des étendues relativement restreintes (nécessité d'employer des surfaces de faible degré pour minimiser les temps de calcul)

La régionale d'origine géologique (voir chapitre II) n'est valable que si la zone étudiée présente des structures ayant une certaine constance dans l'espace et dans leurs propriétés physiques.

Une troisième solution, sur laquelle il faut insister, est celle du filtrage spatial.

Les anomalies obtenues en surface sont formées de la somme des signaux anomaux produits par toutes les structures intéressantes ou non, comme un signal télégraphique ou électrique est formé d'ondes utiles et de parasites.

Pour le gravimétricien qui s'intéresse à un type particulier de structure, les anomalies provoquées par l'ensemble complémentaire des autres structures, peuvent être considérées comme des parasites.

La comparaison entre signaux électriques et signaux gravimétriques ne s'arrête pas là. Il est possible de filtrer les signaux électriques c'est-à-dire éliminer les parasites par des moyens physiques.

Il est de même possible de filtrer, mais par des moyens mathématiques, les signaux gravimétriques.

DEAN (1958) donne une démonstration élégante du passage des équations différentielles générales d'un circuit électrique au cas d'une fonction spatiale unidimensionnelle et à son intégrale de convolution; puis au système plus général à deux variables indépendantes.

Cette démonstration met en évidence qu'un signal transformé, filtré, e_2 est le résultat du produit d'une fonction $Y(\omega)$ et du signal d'entrée e_1 . $Y(\omega)$ représente la transformée de Fourier de la fonction filtrante ou fonction de pondération. On l'appelle fonction de transfert du filtre.

On peut aussi écrire

$$e_2(x) = \int_{-\infty}^{+\infty} e_1(x - \delta) \cdot W(\delta) \cdot d\delta$$

ou bien

$$e_2(x) = \sum_n W(n \cdot \Delta d) \cdot e_1(x - n \Delta d) \cdot n \Delta d$$

dans le cas d'une fonction discrète ou δ est remplacé par $n \cdot \Delta d$

$W(\delta)$ est la réponse du filtre à une impulsion de Dirac. Cette impulsion dont la forme peut être quelconque doit répondre à la condition suivante :

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \delta(x) \cdot dx = 1$$

Si une fonction d'entrée est considérée comme une succession d'impulsion de Dirac la réponse du filtre peut être obtenue par intégration en utilisant le principe de superposition.

L'expression 1 devient dans le cas de deux variables indépendantes.

$$e_2(x,y) = \Delta p \cdot \Delta q \cdot \sum_m \sum_n e_1(x - m \Delta p, y - n \Delta q) \cdot W(m,n)$$

La fonction de pondération $W(m,n)$ se présente comme une matrice de coefficients qui agit sur chaque point du canevas e_1 de la façon suivante.

Soit N le nombre de coefficients du filtre

$M = \sqrt{N}$ représente le côté du filtre tel que $M = 2n + 1$

$$e_2(I, J) = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^M e_1(I + K - i, J + K - j) \cdot C(i, j)$$

$$K = \frac{M + 1}{2}$$

On voit qu'un canevas de $M_1 \times N_1$ valeurs est réduit à $(M_1 - N + 1) \times (N_1 - N + 1)$ ce qui diminue considérablement la grandeur des filtres utilisables.

La longueur d'onde de coupure, c'est-à-dire la longueur d'onde formant limite entre le passage du signal ou son rejet est donnée, dans les filtres digitaux, en unités de grille.

On différencie trois types de filtres :

Les passe-haut rejetant les signaux de grande longueur d'onde; ils donnent l'équivalent d'une résiduelle.

Les passe-bas rejetant les signaux haute fréquence ou de petite longueur d'onde. Ils sont l'équivalent d'une fonction régionalisante.

Les passe-bandes qui ne laissent passer que les signaux situés dans un intervalle de fréquence préétabli.

Les points expérimentaux de notre étude étant assez largement espacés, il serait nécessaire de faire trop d'interpolation entre les valeurs pour obtenir une grille à maille fine, on filterait alors surtout des erreurs d'interpolation.

C'est pourquoi, nous avons choisi de ne considérer que les filtres passe-bas.

C'est à DEAN (1958) que l'on doit principalement des études pour le calcul des fonctions de pondérations.

ZURFLUEH (1967) se basant sur ces études et sur celles de DARBY ET DAVIES (1967) a calculé un filtre passe-bas de 8 unités de grille comme fréquence de coupure.

Il est possible à partir de ces données et, selon le théorème des transformées de Fourier suivant, de calculer d'autres filtres par interpolation.

Si $F(u)$ est transformée de Fourier de $f(x)$ alors $f(ax)$ a pour transformée $\frac{1}{|a|} F(\frac{u}{a})$

BRACEWELL (1965)

LAVIN P. DEVANNE J. (1970) ont développé un algorithme pour le calcul des filtres passe-bas en partant de la fréquence de coupure désirée et de la largeur de la bande de coupures K_C . Ils donnent de plus une formule empirique pour la détermination du nombre de coefficients à partir de K_C et de la précision désirée.

$$W(r) = \frac{a \cdot J_1(2\pi ar)}{r} \cdot \frac{J_0(\pi r \Delta K)}{1 - \frac{2\pi r \Delta K}{\alpha}}$$

$$W(0) = \pi \cdot a^2$$

$$W\left(\frac{\alpha}{2\pi \Delta K}\right) = \frac{\pi \cdot a \cdot \Delta K}{2} \cdot J_1\left(\frac{\alpha a}{\Delta K}\right) \cdot J_1\left(\frac{\alpha}{2}\right)$$

K_C = fréquence de coupure

ΔK = largeur de la bande de coupure

$$K_t = K_C + \Delta K ; a = \frac{K_C + K_t}{2}$$

$$\alpha = 4.8096$$

$$NP = \frac{1}{\Delta K} \left(\frac{16,5}{\epsilon} \right)^{1/3}$$

ϵ = erreur en %

FULLER (1967) donne une analyse des principales formules de dérivées en tant que filtre ainsi que toute une série d'opérateurs de prolongation du champ, passe-bas, passe-haut, passe-bande, filtres directionnels.

Il faut noter que les filtres employés dans les méthodes gravimétriques sont toujours des filtres linéaires c'est-à-dire vérifiant les relations suivantes :

$$\overline{X_1 + X_2} = \overline{X_1} + \overline{X_2} ; \overline{\alpha X} = \alpha \overline{X}$$

Ils sont en temps différé; ils utilisent des informations antérieures et postérieures à t ou x et sont par nécessité à mémoire finie.

Si l'ambiguïté voire la subjectivité du choix de la régionale a disparu avec les méthodes de filtrage on se trouve devant un problème nouveau.

Quels sont les critères qui permettent de choisir les longueurs d'onde à éliminer ou à conserver.

Pour opérer ce choix, il est judicieux de recourir à une analyse spectrale de la région étudiée.

Soit une fonction $f(x)$ d'une variable réelle x . si $f(x)$ est absolument intégrable c'est-à-dire si

$$\int_{-\infty}^{+\infty} |f(x)| dx < \infty$$

alors les intégrales

$$F(y) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(x) \cdot e^{-2\pi i x y} dx$$

$$f(x) = \int_{-\infty}^{+\infty} F(y) \cdot e^{2\pi i x y} dy$$

existent

et l'on dit que $F(y)$ est la transformée de Fourier de $f(x)$ de même que $f(x)$ est la transformée inverse de $F(y)$

$F(y)$ est généralement complexe c'est-à-dire que

$$F(y) = R(y) + i I(y) = A(y) \cdot e^{i \theta(y)}$$

$A(y)$ est appelé spectre de Fourier de $f(x)$;

$A^2(y)$ est le spectre d'énergie il représente la "quantité" respective de chaque onde sinusoïdale représentant le signal $f(x)$

Si de plus on définit la fonction d'autocorrélation

$$Q(\mathcal{T}) = \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{+T/2} f(x) \cdot f(x + \mathcal{T}) \cdot d\mathcal{T}$$

on peut démontrer que le spectre de puissance d'une fonction est égal à la transformée de Fourier de sa fonction d'autocorrélation.

C'est cette propriété qui est généralement utilisée en analyse numérique et que nous avons employée sur notre zone mais en deux dimensions pour déterminer les différents pics intéressants (ELSER J., PRESTON F., 1967)

Avant d'effectuer l'analyse spectrale proprement dite, nous avons dû transformer les coordonnées afin de faire coïncider l'axe des Y avec l'allongement de l'étude.

Les résultats de cette analyse sont reportés dans le tableau V.

Nous voyons premièrement que les courtes longueurs d'ondes ($< 10 U$) sont absentes dans le sens perpendiculaire à la chaîne ce qui suffirait pour justifier la notion de corps allongé.

Secondement on peut observer globalement une forte importance des grandes longueurs d'ondes (jusqu'à $\cong 15 U$) suivie d'un creux puis l'apparition d'un pic entre $4 U$ et $6 U$ et à nouveau du bruit au sens large du terme.

Le pas de la maille étant de 2 km les anomalies moyennes types ont une "longueur d'onde" comprise entre 8 et 12 km .

Le graphique de la planche XXIV illustre ce phénomène.

L'effet régional dont la mise en évidence, est le but recherché dans ce chapitre se situe en première approximation à partir de $12 U$ voir $20 U$.

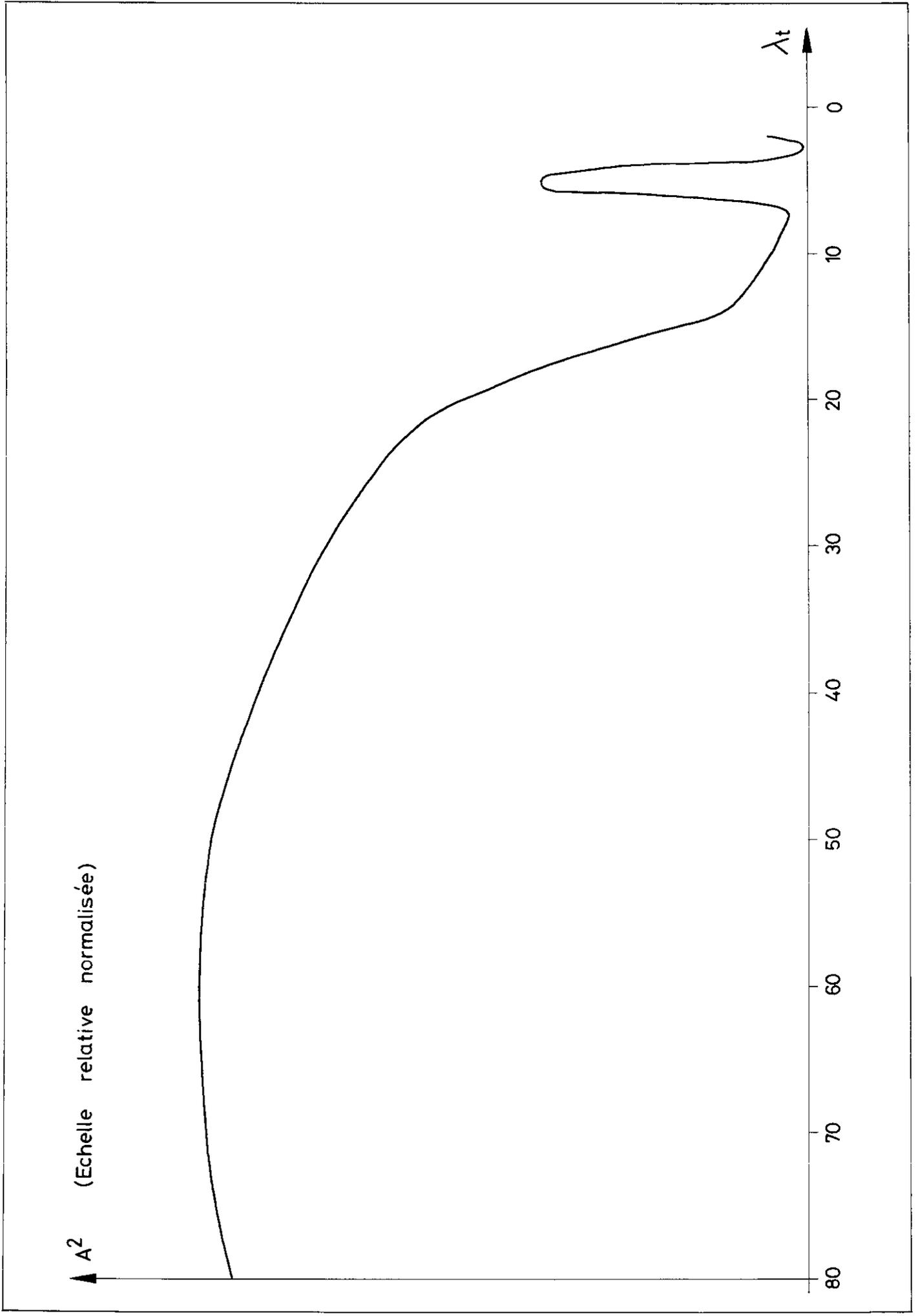
Malheureusement, des filtres ayant une fréquence de coupure si basse "mangent" une part importante des bords de la carte (9 respectivement 30 espaces de grille par côte)
Pour cette raison nous avons adopté $8 U$ comme limite de coupure de base.

Nous comparerons dans les pages suivantes toute une série de modèles issus de notre zone et obtenus grâce à des filtrages par différents procédés.

Cette comparaison qui ne serait être exhaustive nous permettra de mieux situer l'importance et l'échelonnement vertical des anomalies mises en évidence dans les chapitres précédents de même que de déterminer le filtre le meilleur nécessaire pour des études ultérieures.

λ_{xM} \ λ_{yM}	80	53.3	21.2	13.7	10.2
80	223	113	2	3	0
53.3	239	121	2	4	1
21.2	147	75	2	3	1
13.7	29	15	0	1	0
10.2	14	7	0	1	0
8.1	8	4	0	0	0
6.7	5	3	1	0	0
5.8	22	26	8	1	1
5.2	56	74	23	2	2
4.5	58	78	24	1	1
4.0	44	60	19	3	1
3.7	33	46	15	5	1
3.4	9	13	5	4	0
3.1	0	1	2	1	0
2.9	1	1	1	1	0
2.7	1	2	1	1	0
2.5	2	3	2	0	0
2.4	1	2	2	0	0
2.3	2	3	2	0	0
2.2	3	6	6	1	0
2.0	3	9	9	2	0

λ_{xM} : λ_{yM} : Longueur d'onde, en unité de grille dans la direction X, respectivement Y.



6.2. COMMENTAIRES SUR LES CARTES FILTRÉES

Le but étant de faire ressortir l'effet du filtrage, nous avons volontairement dépouillé les cartes de leurs repères géographiques, afin d'alléger la représentation graphique.

Les cartes filtrées des pages suivantes présentent toutes surtout au N.E. une zone fortement perturbée.

Ces perturbations sont dues au fait qu'il a été nécessaire d'employer une grille extrapolée en dehors de la zone de mesure afin d'obtenir une aire rectangulaire.

Les filtres 4U et 5U n'apportent pas de changement spectaculaire à la carte de Bouguer tout au plus notera-t-on un adoucissement relatif des isanomales dans la partie supérieure de l'étude et l'apparition par effet soustractif de quelques petits axes sur la zone à forte intensité.

Le filtre 6U, bien qu'étant tronqué, donne déjà une régionale acceptable ce qui semble normal si l'on considère le résultat de l'analyse spectrale du paragraphe 6.1.

Les deux filtres 8U sont presque équivalents bien que celui calculé par l'algorithme de LAVIN et DEVANE soit légèrement directionnel (N.S.) On obtient, à partir de cette fréquence de coupure, véritablement une régionale ne masquant pas les phénomènes de grande échelle.

Le filtre 10U de LAVIN et DEVANE est quasiment l'équivalent du 8U de ZURFLUEH. L'effet directionnel du filtre 8U est ici compensé par une augmentation du nombre des coefficients.

Les cartes filtrées mettent en évidence les accidents ayant une cause profonde (effet régional). Ces accidents "majeurs" sont le décrochement Martigny-Léman, l'axe négatif Mormont-Dent de Ruth, l'axe négatif du Gd Combin, l'axe positif des Préalpes de l'Ouest, l'axe négatif "tournant" St Maurice-Léman.

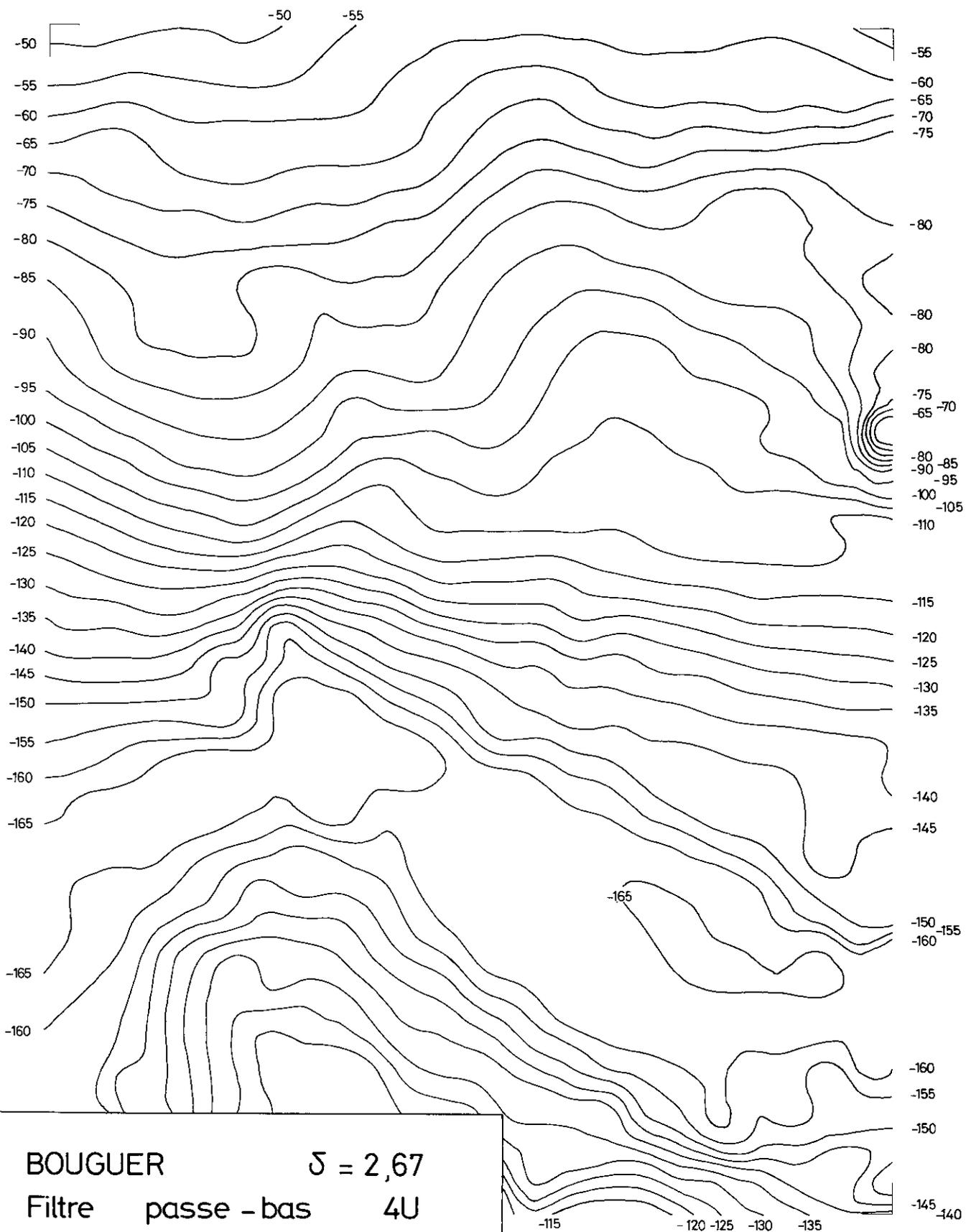
A titre de comparaison nous avons soumis la même carte de Bouguer à une "fonction adoucissante" à 25 termes (sorte de moyenne mobile pondérée en 1/R HOLLOWAY 1958). On remarquera que cette fonction, dans le cas de cette étude, donne une régionale satisfaisante.

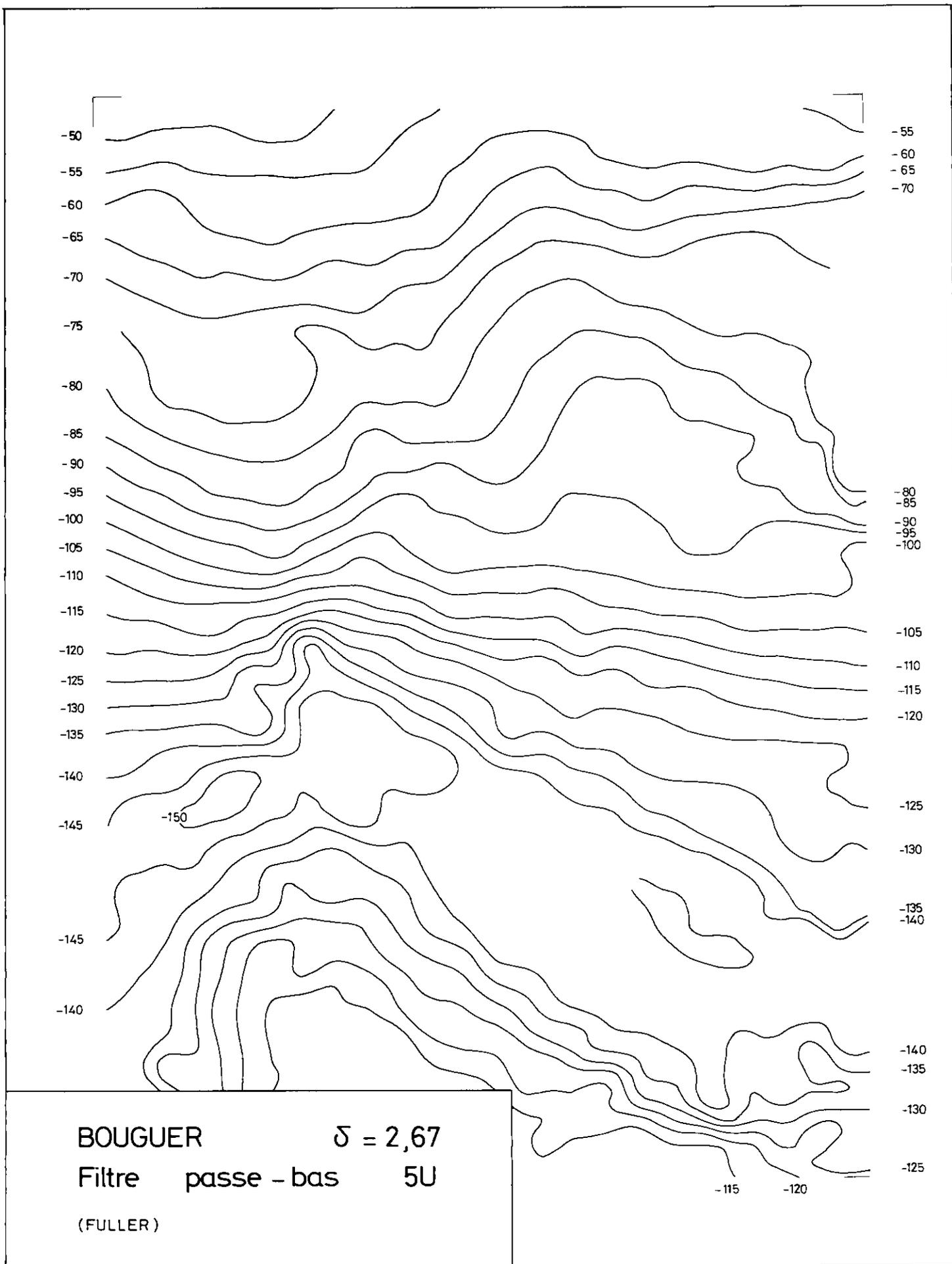
La faible différenciation entre filtres séparés par une seule maille en longueur d'onde de coupure provient du fait que ledit front de coupure ne peut être infiniment étroit. Il affecte généralement ± 2 mailles.

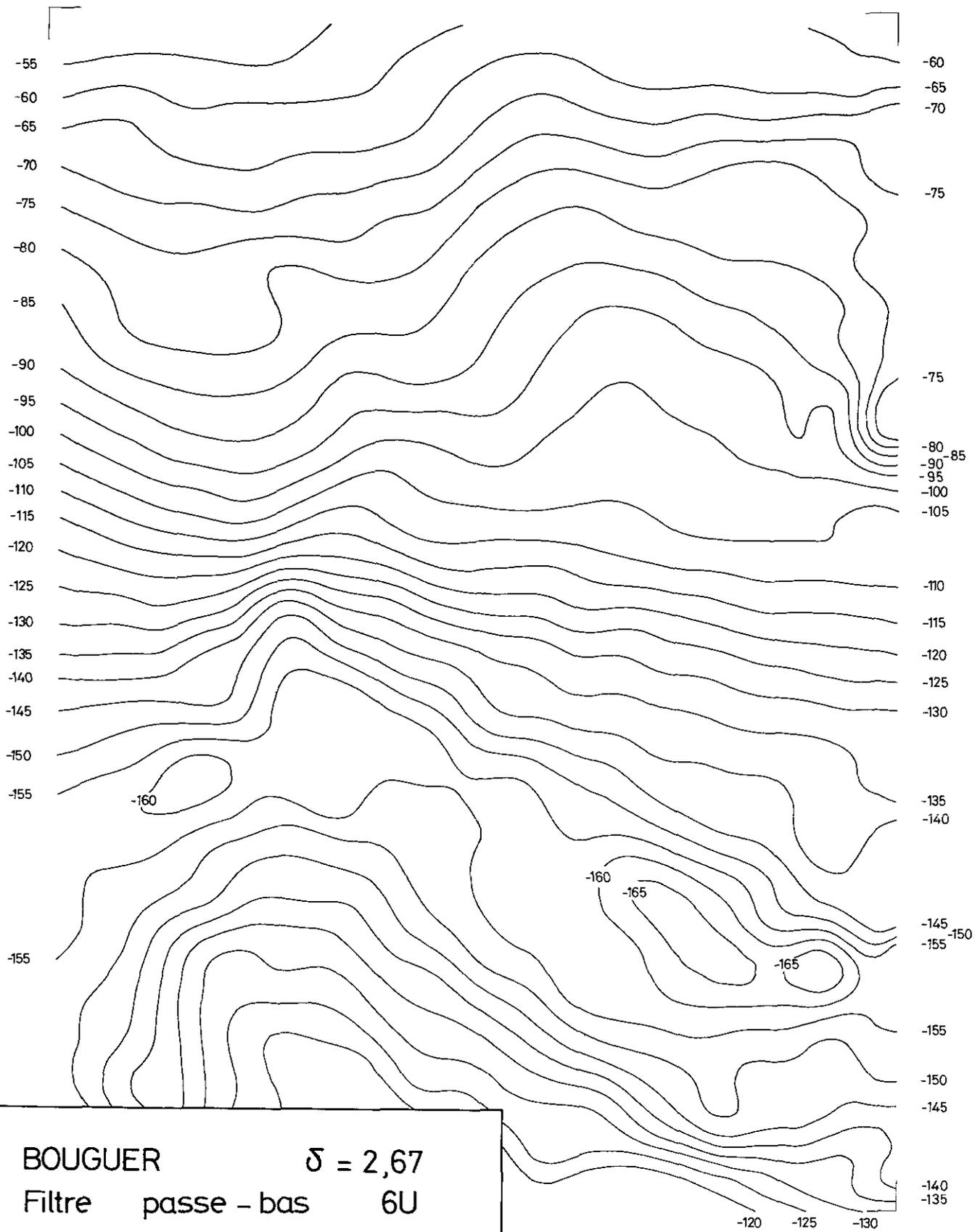
Le filtre 8U de ZURFLUEH nous paraissant le mieux adapté pour notre étude nous nous en sommes servis sur les modèles de Bouguer tenant compte de l'effet du plateau molassique.

L'examen de ces cartes nous permet de retrouver les points principaux soulevés au chapitre V et une conclusion importante de cette étude bien que très simple s'impose alors :

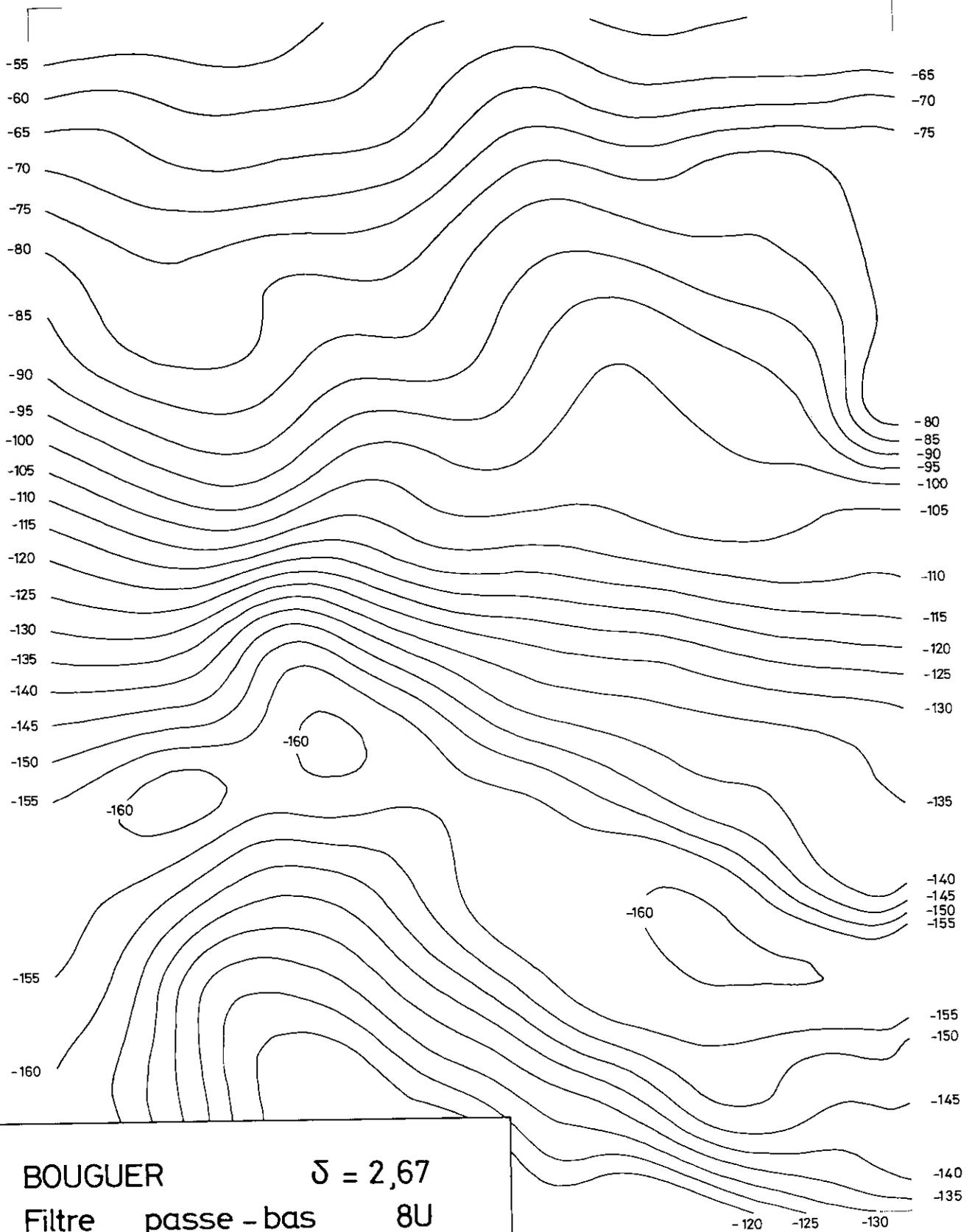
Si la méthode de filtrage démontre sans ambiguïté sa puissance elle n'en fait pas moins bon ménage avec une régionalisation issue de données géologiques.

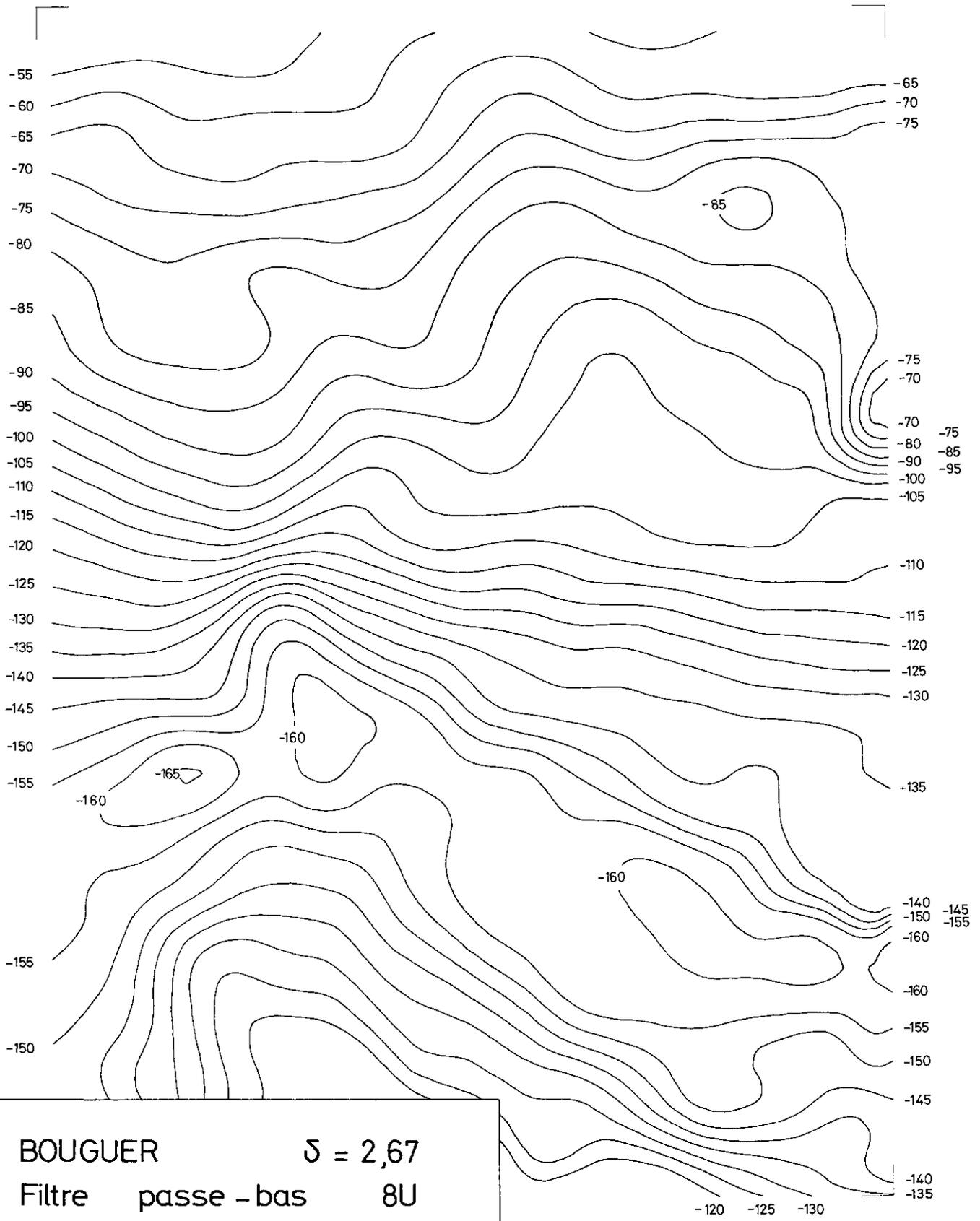




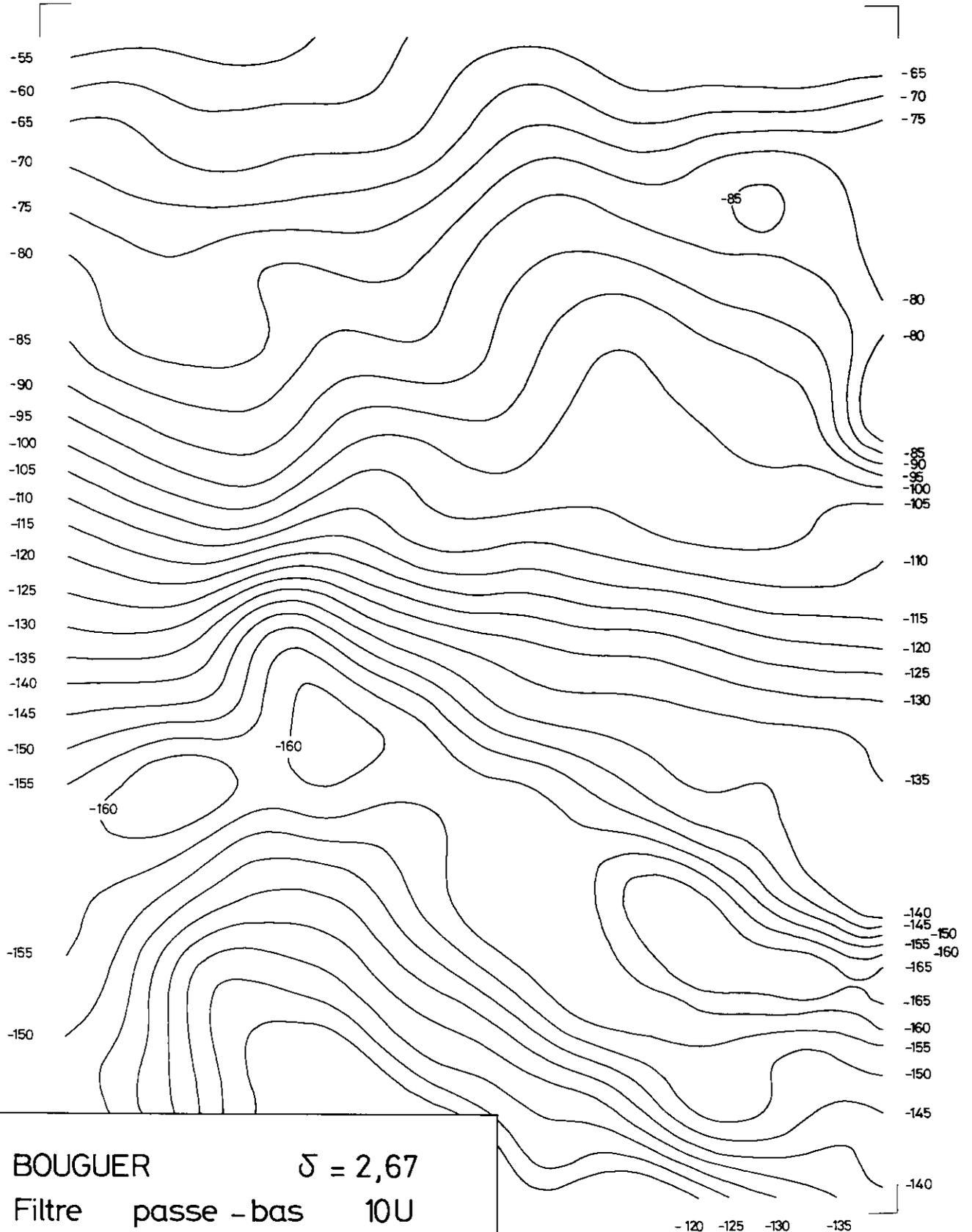


BOUGUER $\delta = 2,67$
 Filtre passe - bas 6U
 (LAVIN - DEVANE)

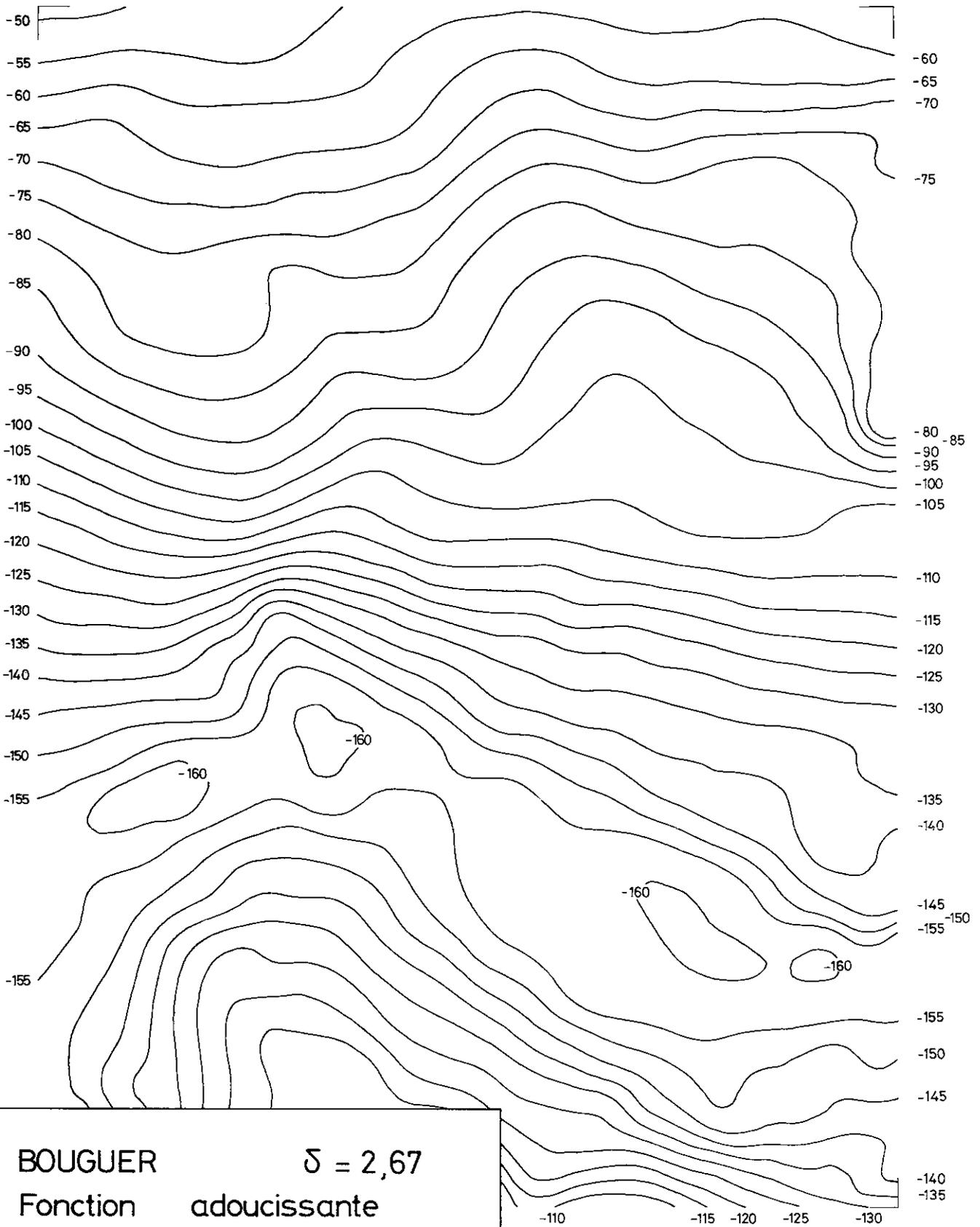




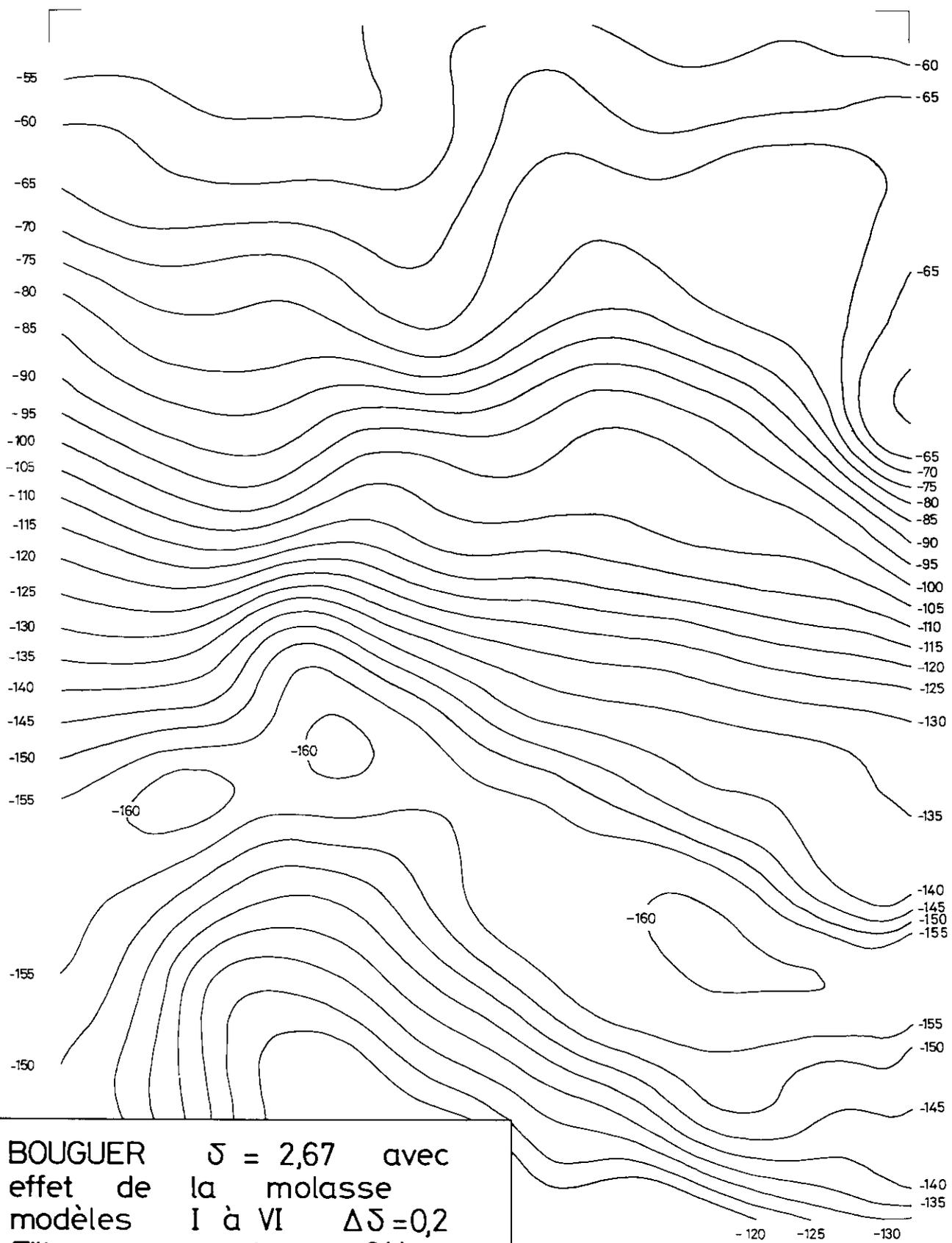
BOUGUER $\delta = 2,67$
 Filtre passe - bas 8U
 (LAVIN - DEVANE)



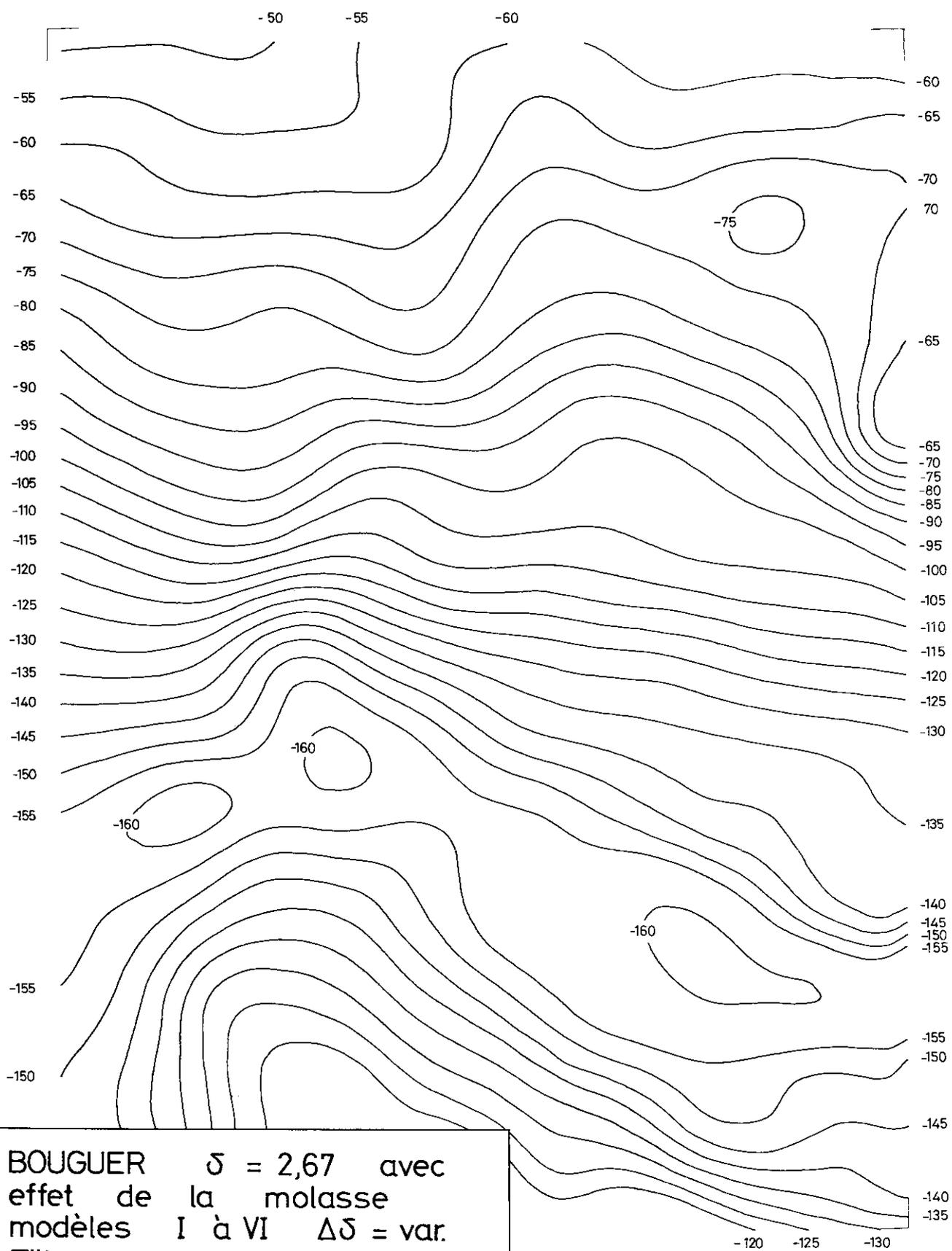
BOUGUER $\delta = 2,67$
 Filtre passe - bas 10U
 (LAVIN - DEVANE)



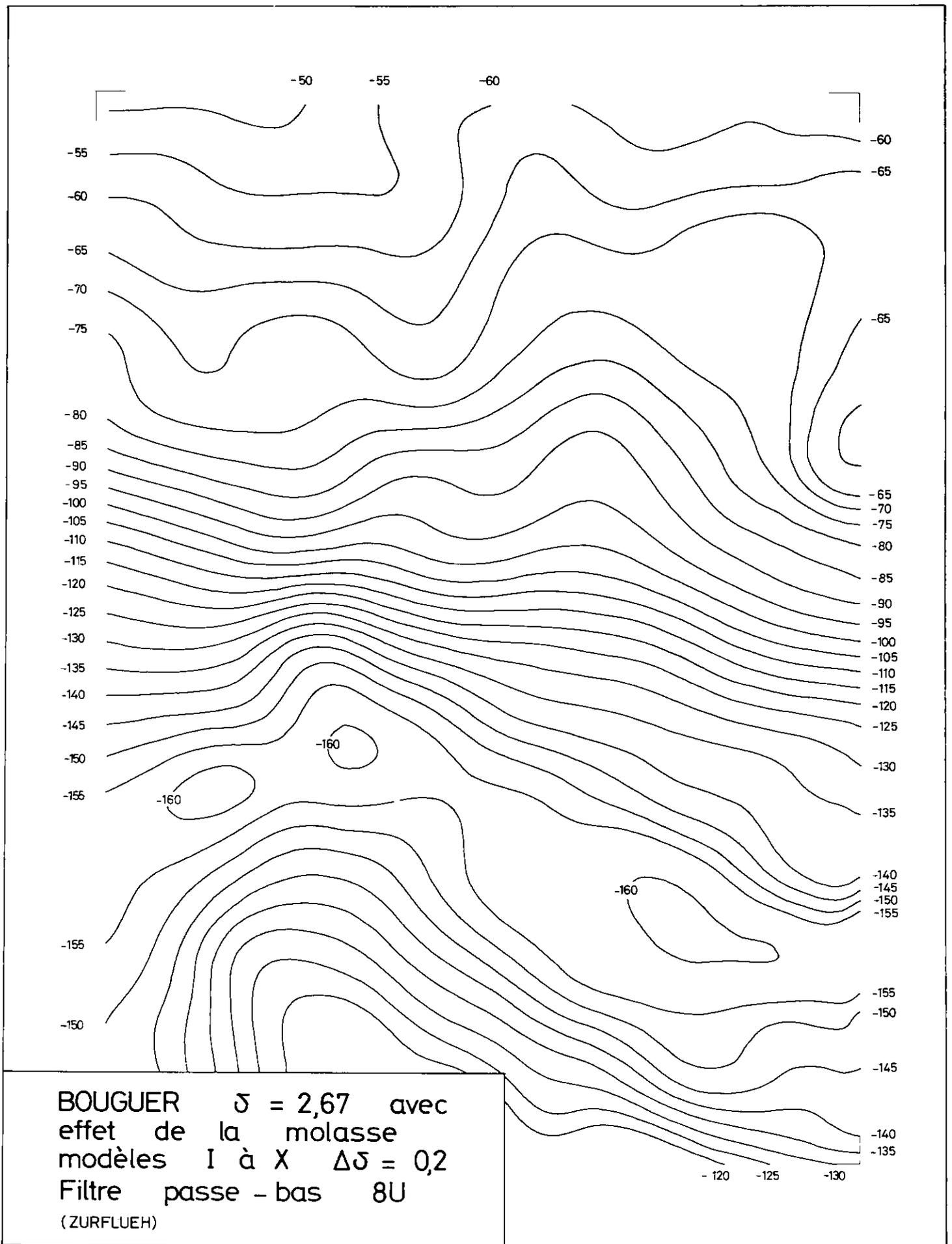
BOUGUER $\delta = 2,67$
 Fonction adoucissante
 A 25 termes (HOLLOWAY)

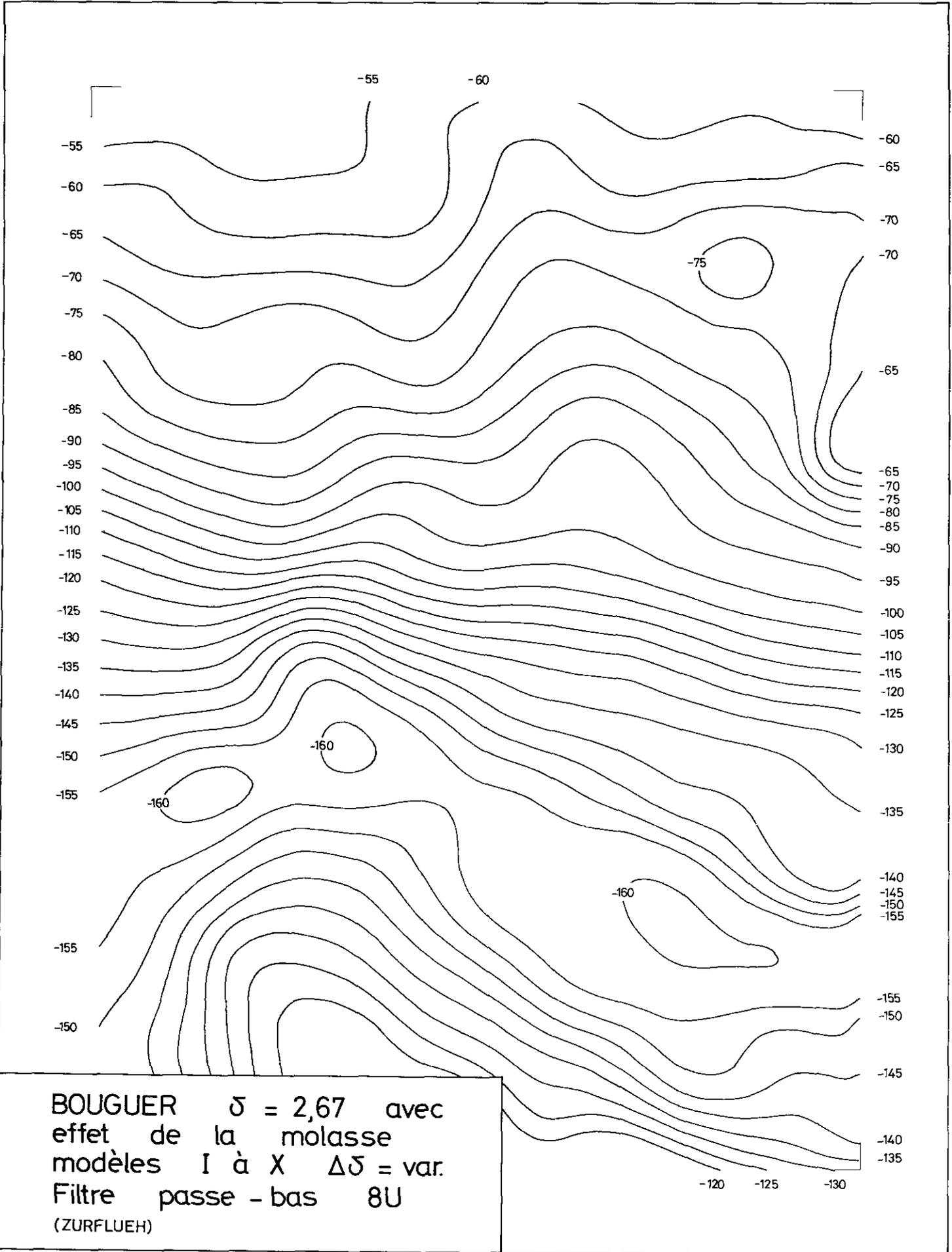


BOUGUER $\delta = 2,67$ avec
 effet de la molasse
 modèles I à VI $\Delta\delta = 0,2$
 Filtre passe bas 8U
 (ZURFLUEH)



BOUGUER $\delta = 2,67$ avec
 effet de la molasse
 modèles I à VI $\Delta\delta = \text{var.}$
 Filtre passe - bas 8U
 (ZURFLUEH)





BIBLIOGRAPHIE

- ABRAMOWITZ, M., STEGUN, I.A. (1965) : Handbook of mathematical functions with formulas, graphs and mathematical tables. National Bureau of Standards Applied Mathematics Serie 55. U.S. Gov. Printing Office – 1046 p.
- ANDERS, E.B. (1964) : Digital filters – NASA C.R. – 136 O.I.S. Washington Dept. of Commerce, 132 p.
- BRACEWELL, R. (1965) : The Fourier Transform and its applications. New-York, McGraw-Hill Book Co., 381 p.
- BYERLY, P.E. (1965) : Short Note. Convolution Filtering of gravity and magnetic maps. Geophys. vol. 30, n° 2, pp. 281-283.
- CLOSS, H., LABROUSTE, Y. (1963) : Recherches séismologiques dans les Alpes occidentales au moyen des grandes Explosions – en 1956 – 1958 et 1960 – année géophysique internationale, participation française. Série I2 – Fascicule 2.
- COMMISSION GEODESIQUE SUISSE (1959) : Gravimetermessungen in den Jahren 1953 bis 1957. Astronomisch-geodätische Arbeiten in der Schweiz. Serv. Topogr. Fédéral, Wabern-Bern.
- CORON, S. (1959) : Grandes variations de pesanteur dans la région des Alpes occidentales. C.R. Acad., t. 248, p. 3193-3195.
- DEAN, W.C. (1958) : Frequency analysis for gravity and magnetic interpretation. Geophysics. New-York vol. 23, n° 1, pp. 97-127.
- DEBELMAS, J., LEMOINE, M. (1964) : La Structure tectonique et l'Evolution Paleogéographique de la Chaîne Alpine d'après les Travaux Récents. Information scientifique n° 1, pp. 1-33.
- DARBY, E.K., DAVIES, E.B. (1967) : The analysis and Design of Two-Dimensional Filter for Two-Dimensional Data-Geophysical prospecting XV, pp. 383-406.
- ELSER, E.E., PRESTON, F.W. (1967) : FORTRAN IV Program for the GE 625 to compute the Power Spectrum of Geological Surface. Computer contribution n° 16. State geological Survey, University of Kansas.
- GOGUEL, J.A. (1964) : Universal Table for the Prediction of the Lunal-Solar Correction in Gravimetry-Geophysical Prospecting 2. 1964 – supl.
- HEISKANEN, W.A. (1953) : Isostatic reductions of gravity anomalies by high-speed computing machines. An. Acad. Scient. Fennicae, Helsinki, ser. A, sec. 3, n° 33, pp. 3-11.
- HOLLOWAY, J.L. (1958) : Smoothing and filtering of time series and space fields. Advances in Geophysics, vol. 4, pp. 351-389, New-York, Academic Press.
- HEISKANEN, W.A. & VEINING MEINESZ, F.A. (1958) : The Earth and its Gravity field. McGraw-Hill, New-York.
- HEISKANEN, W.A., NISKANEN, E., KARKI, P. (1959) : Topographic-isostatic Reduction Maps for Europe and North-Atlantic in the Hayford Zones 18-1 for the AIRY-HEISKANEN System, $T = 30$ km and $T = 20$ km. Publications of the Institute of the International Association of Geodesy, n° 31.
- I.B.M.(1967):1130 Numerical surface techniques and contour map plotting. Publication H 20-0357-0, 79p.
- KARKI, P. KIVIOJA, L., HEISKANEN, W.A. (1961): Topographic-isostatic Reduction maps for the World for the Hayford zones 18-1, AIRY-HEISKANEN system, $T = 30$ km. Publications of the Institute of the International Association of Geodesy, n° 35. Helsinki.

- KANE, M.F. (1962) : A comprehensive system of terrain correction using a digital computer. *Geophysics*, vol. 27, p. 455-462.
- LEVALLOIS, J.J. (1971) : *Traité de Géodésie*, vol. 3. Collection de l'Institut géographique national. Eyrolles-Paris – 435 p.
- LAVIN, P.M., DEVANE, J.F. (1970) : Direct Design of Two-Dimensional digital wavenumber filters. *Geophysics* vol. 35, n° 6, p. 1073-1078.
- LOHR, J. (1967) : Die Seismischen Geschwindigkeiten in der Ostschweiz. *Bull. Ver. Schweiz. Petrol.-Geol. U.-Ing.*, vol. 34, n° 85, p. 29-38.
- LOMBARD, Aug. (1967) : *Introductions Générales au Guide Géologique de la Suisse – Société Géologique Suisse.*
- MERCANTON, D.L., WANNER, E. (1943) : Die Magnetische Anomalie im Jorat, Kanton Waadt, *Annalen der Schweizerischen Meteorologischen zentralanstalt.*
- MEYER DE STADELHOFEN, C. (1971) : *Communication privée.*
- MORELLI, C. (1963) : Recherches séismologiques dans les Alpes occidentales au moyen des grandes Explosions – en 1956 – 1958 et 1960. *Année Géophysique Internationale, Participation Française. Série 12 – Fascicule 2.*
- NAGY, D. (1966) : The gravitational attraction of a right rectangular prisme. *Geophysics* vol. 31, n° 2, Avril, p. 362-271.
- OLIVIER, R. (1971) : Discrétisation du Relief de la Suisse Romande. *Bull. des laboratoires de Géologie, Minéralogie, Géophysique et du Musée Géologique de l'Université de Lausanne*, n° 187.
- PLOUFF, D. (1966) : Digital terrain corrections based on geographic coordinates. Paper presented at the 36 Meeting of the Society of Exploration Geophysicists.
- RADIX, J.C. (1970) : *Introduction au filtrage numérique Eyrolles – 240 p.*
- ROTHLISBERGER, H. (1957) : Zur seismischen und petrographischen Charakterisierung einiger Molassegesteine, einschliesslich der Beschreibung von Methoden der Korngrössenbestimmung im Festmaterial – *Beiträge zur Geologie der Schweiz – Geophysik – n° 1.*
- SANDBERG, C.H. (1958) : Terrain corrections for an inclined plane in gravity computations. *Geophysics*. 23, 701-7011 p.
- WAGNER, J.J. (1970) : *Elaboration d'une carte d'anomalie de Bouguer – Matériaux pour la Géologie de la Suisse. Série Géophysique n° 9.*
- WOOLLARD, G.P. (1969) : *Standardisation of Gravity Measurements in the Earth's Crust and Upper Mantle – America Geophysical Union – Washington – D.C. – p. 283-293.*
- WOOLLARD, G.P. (1959) : *Crustal Structure from Gravity and Seismic Measurements. Journal of Geophysical Research. Vol. 64, n° 10, p. 1521-1544.*
- ZURFLUEH, E.G. (1967) : Application of Two-Dimensional linear wavelength filtering. *Geophys.*, vol. 32, n° 6, pp. 1015-1035.