Zeitschrift: Eclogae Geologicae Helvetiae

Herausgeber: Schweizerische Geologische Gesellschaft

Band: 96 (2003)

Heft: 3

Artikel: Modélisation gravimétrique 2.5D et cartes des isohypses au 1:100'000 du substratum rocheux de la Vallée du Rhône entre Villeneuve et Brig (Suisse)

Autor: Rosselli, Alberto / Olivier, Raymond

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-169029

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 13.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

0012-9402/03/030399-25
DOI 10.1007/s00015-003-1088-z
Birkhäuser Verlag, Basel, 2003

Eclogae geol. Helv. 96 (2003) 399–423

Modélisation gravimétrique 2.5D et cartes des isohypses au 1:100'000 du substratum rocheux de la Vallée du Rhône entre Villeneuve et Brig (Suisse)

ALBERTO ROSSELLI[1] & RAYMOND OLIVIER[2]

Mots clés: Gravimétrie, modélisation gravimétrique 2.5D, vallée du Rhône, hydrogéologie
Key words: Gravity, 2.5D gravity modeling, Rhone valley, hydrogeology

RESUME

La morphologie du substratum des vallées alpines est un élément important des études liées à la recherche géologique structurale, à la géologie glaciaire, à la géothermie, à la géotechnique, à l'hydrogéologie et à la géophysique appliquée. L'étude gravimétrique de la Vallée du Rhône apporte de nouveaux éléments utiles à la recherche et à la compréhension globale des phénomènes géologiques quaternaires dans cette région alpine. L'objectif principal de cette étude est de fournir une interprétation gravimétrique quantitative globale, calée sur des observations de sismique réflexion, de la forme du substratum rocheux de la Vallée du Rhône entre Villeneuve et Brig. La modélisation gravimétrique 2D et 2.5D a été appliquée à partir de 60 profils espacés régulièrement (2 km) et perpendiculaires à l'axe de la vallée entre Villeneuve et Brig. Le résultat de cette modélisation se présente sous forme de 5 cartes des isohypses du substratum rocheux à l'échelle du 1/100'000. Dans l'axe de la vallée, les profondeurs les plus importantes atteignent les 925 m dans le bas Chablais, 550 m à St-Maurice, 890 m à Martigny et encore 830 m à Ardon. Le profil longitudinal de la vallée nous permet de formaliser les informations qu'un tel type d'analyse détaillée peut apporter sur le plan hydrogéologique et de l'environnement dans le cadre d'une étude de grande étendue (volume des sédiments). Au sens strictement géophysique, cette étude met en évidence le fantastique pouvoir de régionalisation qu'une étude gravimétrique de détail apporte à l'analyse des résultats géophysiques et par conséquent à l'amélioration de l'interprétation géologique.

ABSTRACT

The determination of the bedrock shape and depth in alpine valleys is an important parameter in studies related to geological mapping, glacial geology, geothermal research, geotechnics, hydrogeology and applied geophysics. The gravimetric study of the Rhone Valley provides new significant contributions to geological research and a better understanding of Quaternary geological phenomena in these areas. The main objective of this study is to provide a global quantitative gravimetric interpretation, adjusted on seismic reflection observations, of the bedrock shape of the Rhone Valley between Villeneuve and Brig. 2D and 2.5D gravity modeling are applied on 60 profiles regularly spaced (2 km) and perpendicular to the valley's axis between Villeneuve and Brig. The result of this modeling is presented in the form of 5 bedrock maps at the scale of 1/100' 000. In the axis of the valley the most significant depths reaches 925 m in low Chablais, 550 m at St Maurice, 890 m at Martigny and still 830 m at Ardon. The longitudinal profile of the valley allows us to formalize information that such kind of detailed gravity study can bring from the hydrogeological and environmental point of view within the framework of a study of great extent (sediment volume). From a strictly geophysical point of view this study emphasizes the excellent aptitude of regionalization of information which a detailed gravity study can provide to analysis of the geophysical results and consequently to the improvement of geological interpretation.

Introduction

La détermination de la morphologie du substratum de la Vallée du Rhône (Fig.1) attire depuis des nombreuses années l'intérêt des géologues pour des études liées à la recherche fondamentale, à la géologie glaciaire, à la géothermie ou à l'hydrogéologie. Au cours de ces dernières années, la géophysique a fortement contribué à ces recherches et plusieurs études ont fourni localement des renseignements utiles sur les profondeurs du substratum. Parmi de nombreuses études, citons en premier lieu l'étude Géothermoval, programme de prospection et de mise en valeur des ressources géothermiques du Valais réalisé par le Centre de recherches scientifiques fondamentales et appliquées de Sion (CRSFA) dans les années 80. Ce programme, conjointement au Programme National de Recherche 20 (PNR20), a conduit, entre autre, à la réalisation et à l'interprétation de 9 profils de sismique réflexion dans la région comprise entre St.-Maurice et Sion (Besson et al. 1992, 1993). D'autre part Finkh & Frey (1991) ont fourni l'interprétation de trois profils sismiques réflexion, l'un situé à proximité du lac Léman et les deux autres situés dans le Haut-Valais, dans la région de Turtmann.

[1] École Polytechnique de Montréal, Département des Génies C. G. M. 2900, boul. Édouard-Montpetit, H3T 1J4 Canada. E-mail: alberto.rosselli@tiscali.it
[2] Institut de Géophysique de l'Université de Lausanne, 1015 Lausanne, Suisse, Téléphone: 0041.21.692.44.01; Fax: 0041.21.692.44.05.
E-mail: raymond.olivier@ig.unil.ch

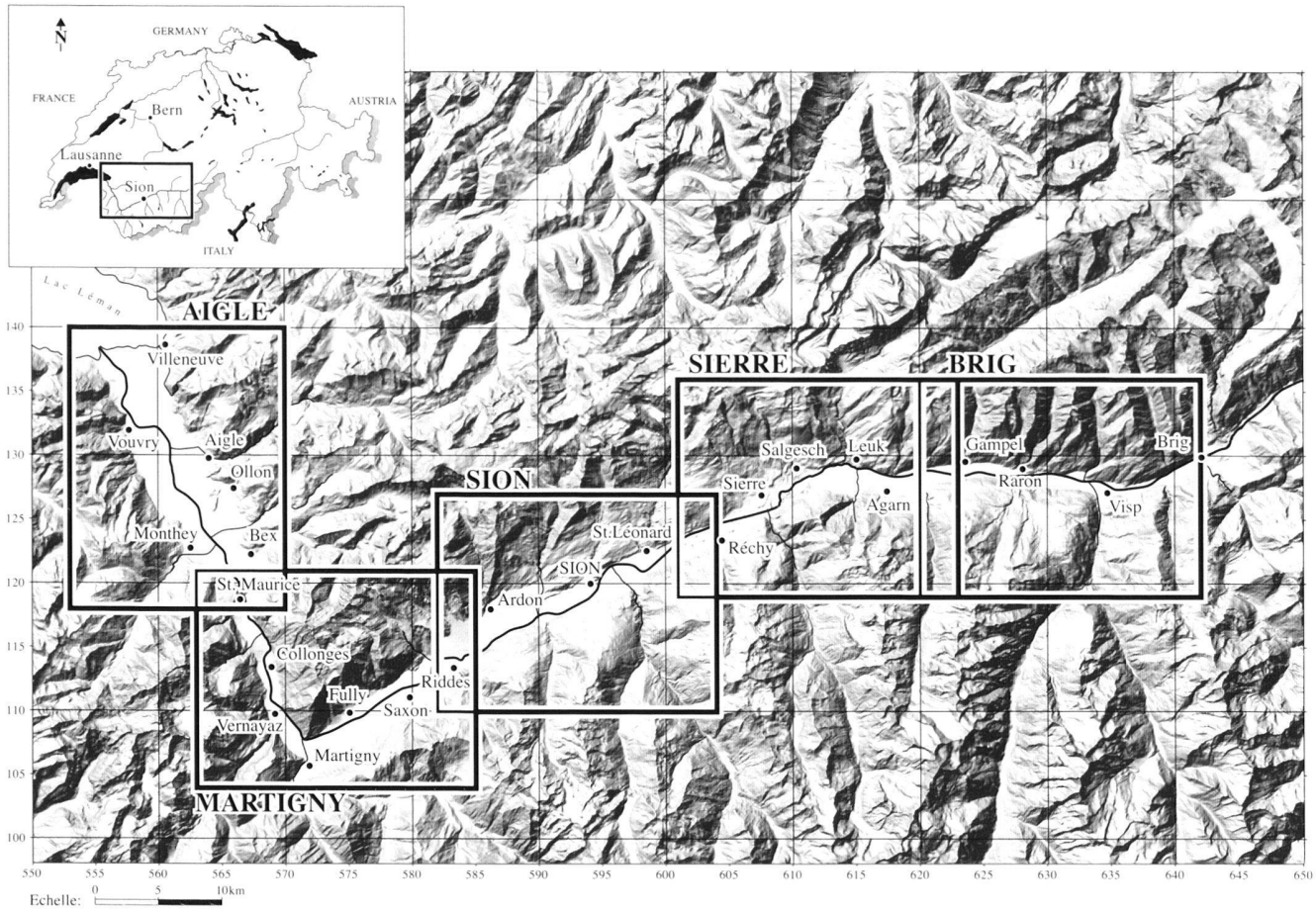


Fig. 1. Plan de situation géographique de l'étude avec le positionnement des 5 cartes du substratum rocheux de la vallée du Rhône obtenu à l'aide de la gravimétrie: **AIGLE, MARTYGNY, SION, SIERRE et BRIG**. Le fond géographique est celui de la carte numérique MNT25 de l'OFT, reproduit avec l'autorisation de l'Office fédéral de topographie (BA 4780)

D'autres études géophysiques se sont succédé au cours des années. Nous rappelons brièvement ici les travaux de thèse de Gonet (1965) et Wagner (1970), les travaux de diplôme de Marchant & Besson (1986), Monin (1999), Carrel (2000) et de Gass (2000), les travaux de Bernauer & Geiger (1986), Finger & Weidmann (1988), Pugin (1988), Gex (1990), Kissling & Schwendener (1990), Finckh & Klingelé (1991) et finalement les travaux de recherche de la Commission Géophysique Suisse dans le cadre de l'Atlas gravimétrique au 1/100'000 de la Suisse (Rosselli et al 1999, Olivier et al. 2002). Dans la plupart des travaux mentionnés, il s'agit d'études locales qui ont proposé des interprétations sur des régions très limitées.

En ce qui concerne des études de plus grande étendue, seuls les travaux de Gonet (1965), Wagner (1970) et Pugin (1988) ont fourni une interprétation régionale et des cartes des isohypses du substratum entre le Léman et St-Maurice. Le seul exemple d'interprétation du substratum rocheux le long de toute la vallée reste donc celui fait par Besson et al. (1992) par interpolation à partir de 7 coupes de sismique réflexion et de deux forages disponibles (Fig. 2).

La méthode gravimétrique est une excellente méthode géophysique de modélisation géologique car elle permet à partir d'un modèle géologique simplifié du sous-sol d'obtenir par le calcul sa réponse gravifique qui conduira par ajustements successifs au modèle géométrique le plus proche de l'état actuel de nos connaissances. La mesure de la pesanteur à l'aide des gravimètres actuels, le positionnement satellitaire par GPS (Global Positioning System) et les corrections topographiques en terrain très montagneux ne posent plus de problèmes techniques (Fig. 3). Toutefois, il nous faut tempérer notre enthousiasme en précisant qu'il n'est pas possible d'obtenir des résultats d'interprétation gravimétrique quantitative satisfaisants si nous ne disposons pas conjointement d'informations concrètes de profondeurs et de densités des formations géologiques en présence, car nos données gravifiques doivent être calées ou ajustées sur quelques éléments quantitatifs ponctuels. Dans la vallée du Rhône, nous allons voir que nous disposons de 11

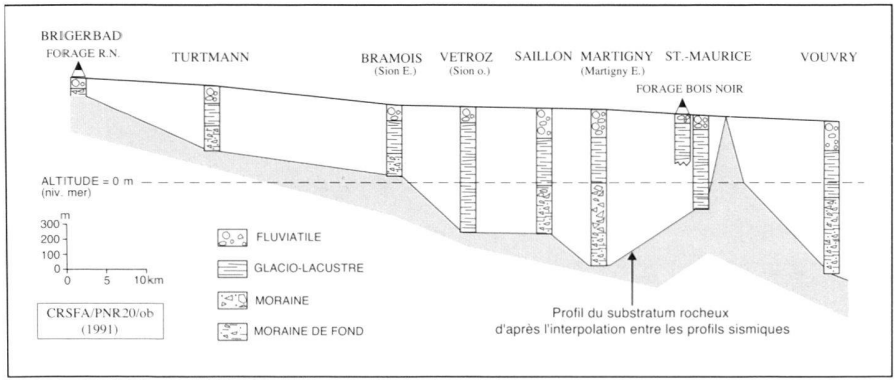


Fig. 2. Profil longitudinal du toit du substratum de la Vallée du Rhône entre Brigerbad et Vouvry, établi sur la base des coupes de sismique réflexion. D'après Besson et al. (1992).

Fig. 3. Situation typique d'un gravimètre (Lacoste&Romberg, type G, n°479, IGL) dans un relief alpin, ici la région d'Altdorf depuis Schorren (alt. 2046 m) dans vallée de la Reuss (photo B. Dumont)

Tab. 1. Comparaison entre les profondeurs estimées par la sismique réflexion et les profondeurs obtenues grâce à la modélisation gravimétrique dans la Vallée du Rhône. L'erreur globale est de l'ordre de ± 10%.

Code profil sismique	Localisation géographique	Source référence sismique	Prof. sismique (m)	n° profil gravi. calé	Prof. gravi. (m)	Ecart sism.-gravi. (m)	%
P1	Roche	Finger et al.	800	V04	790	10	1,0%
P2	Barges	Finger et al.	800	V08	780	20	2,0%
P3	Collombey	Finger et al.	600	V14	525	75	7,5%
P4	St.-Maurice	Finger et al.	550	V24	550	0	0,0%
S1	Vouvry	Finckh et al.	900	V24	925	–25	–2,5%
S2	Branson	Besson et al.	900	M06	890	10	1,0%
S3	Saillon	Besson et al.	710	M14	790	–80	–8,0%
S4	Vetroz	Besson et al.	870	M24	790	80	8,0%
S5	Bramois	Besson et al.	560	S08	500	60	6,0%
S6	Agarn	Besson et al.	400	B06	370	30	3,0%
S7	Turtmann	Besson et al.	400	B10	415	–15	–1,5%

points de calage de sismique réflexion (Table 1), ce qui nous permet justement d'entreprendre cette démarche de modélisation gravimétrique.

Plusieurs motifs d'intérêt sont à la base de la présente étude de modélisation gravimétrique 2.5D de la Vallée du Rhône: en premier lieu, formaliser les informations qu'un tel type d'analyse détaillée peut apporter sur le plan hydrogéologique et de l'environnement sur une étude de grande étendue. D'autre part, au sens strictement géophysique, nous voulions mettre en valeur l'aspect de la régionalisation que la gravimétrie peut apporter au niveau de l'interprétation géologique.

Localisation géographique et situation géologique

En Suisse, la plus grande partie de la Vallée du Rhône se trouve dans les cantons de Vaud et du Valais, plus particulièrement entre le lac Léman et Brig (Fig. 1), où la vallée se présente sous la forme d'une une plaine, fertile et urbanisée. La région prise en considération pour cette étude couvre une surface totale d'environ 5'000 km^2 et dans laquelle le Rhône coule sur une longueur totale d'environ 130 km. L'altitude de la vallée varie de 373 m à Villeneuve jusqu'à 673 m à Brig, soit 300 m de dénivelé, c'est à dire une pente moyenne de 2.3 m par kilomètre.

Une description complète de la géologie de la Vallée du Rhône nécessiterait beaucoup plus d'espace et de temps et irait au-delà des buts de ce travail. En guise de cadre géologique général et d'une façon très simplifiée, nous pouvons dire que la région de l'étude est caractérisée par la présence de la

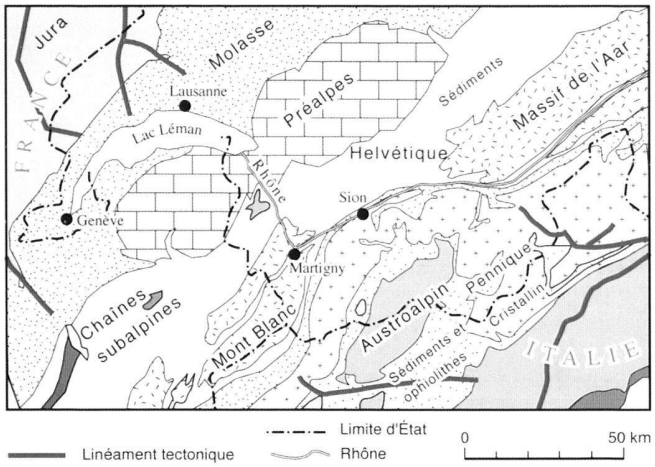


Fig. 4. Esquisse tectonique de la Vallée du Rhône (Extrait de l'esquisse géologique de la Suisse, Landeshydrologie und Geologie, BUWAL). La vallée du Rhône entre Brig et Martigny suit l'axe de la ligne tectonique du Rhône–Simplon. Cette ligne définit la séparation entre le domaine géologique constitué par les unités Helvétiques, Ultra-Helvétiques, Autochtones et Parautochtones au nord et le domaine géologique Pennique et Austroalpin au sud.

ligne tectonique du Rhône–Simplon. Cette ligne, qui coupe la vallée du Rhône au nord de Brig et qui suit son axe jusqu'à Martigny, définit la séparation entre le domaine géologique constitué par les unités Helvétiques, Ultra-Helvétiques, Autochtones et Parautochtones au nord et le domaine géologique Pennique et Austroalpin au sud (Fig. 4). Dans la zone de Martigny, la ligne se ramifie en un essaim de petits décrochements avant de disparaître dans la zone de Chamonix (Spicher 1972, 1980; Escher et al. 1988, Steck et al. 2000).

Du point de vue gravimétrique cet ensemble complexe d'unités géologiques, comprenant des nappes d'origine sédimentaire, métamorphique et cristalline, est bien caractérisé par la masse volumique moyenne de l'écorce terrestre, conventionnellement adoptée à 2.67 g/cm^3 (Harkness 1891). C'est la densité que nous avons choisie pour l'élaboration du modèle de l'Anomalie de Bouguer. A ce sujet, il est intéressant de noter que la moyenne calculée à partir d'un ensemble de densité des formations représentatives de notre zone d'étude tiré du catalogue des propriétés physique des roches des Alpes suisses (Wagner et al. 1999) est identique à celle conventionnellement adoptée pour l'écorce terrestre.

Le remplissage quaternaire de la vallée, bien que constitué d'une imbrication complexe de sédiments de différentes natures, peut être décrit, de façon très générale, comme une succession, à partir de la surface, de sédiments d'origine fluviatile suivis par une couche intermédiaire de sédiments glacio-lacustres et d'une couche de dépôts glaciaires au contact avec le substratum.

D'autres éléments viennent se rajouter localement à cette séquence stratigraphique, ce sont les apports, parfois très importants, de matériaux provenant des vallées latérales ou d'éboulements.

Les densités des ces sédiments quaternaires peuvent varier en général entre 1.8 et 2.4 (Wagner 1970, Kissling & Schwendener 1990, Parriaux 1994) en fonction de leurs différentes compositions, **provenances et profondeurs**.

Acquisition et traitement des données gravimétriques

Afin de nous limiter à de brefs rappels, nous ferons au cours de ce travail souvent référence à la publication n° 34 de la Commission Géophysique Suisse «Les anomalies gravifiques de la vallée du Rhône entre Villeneuve et Brig» (Rosselli et al. 1999) en ce qui concerne l'acquisition des données gravimétriques, l'élaboration des résultats des Anomalies de Bouguer (AB) et des anomalies gravifiques régionales et résiduelles.

En guise de rappel, soulignons ici que dans le cadre de cette étude, nous avons considéré 104 différentes campagnes gravimétriques, soit plus de 13'000 stations gravimétriques sur une superficie d'environ 20'000 km^2 qui se sont succédé depuis 1960 jusqu'à nos jours dans le cadre de thèses, de diplômes, de camps de terrain de l'Institut de Géophysique de Lausanne (IGL), ainsi que des travaux de recherche de la Commission Géophysique Suisse dans le cadre de l'Atlas gravimétrique au 1/100'000 de la Suisse (Olivier et al. 2002).

L'acquisition gravimétrique, qui a eu lieu à partir du début des années '60 et qui est encore en cours, s'est accompagnée d'une importante évolution du matériel (gravimétrique et topographique) et des techniques de traitement des données. Si les mesures des années '60 ont été faites à l'aide d'un gravimètre Worden (précision effective: 0.03 à 0.05 mGal, avec une importante dérive instrumentale) et une correction topographique calculée manuellement à l'aide de tables et de cartes topographiques, les stations plus récentes, dès 1973, ont été mesurées uniquement grâce à des gravimètres Lacoste & Romberg (précision effective: 0.02 à 0.03 mGal, avec une dérive instrumentale réduite) et une correction topographique réalisée entièrement par ordinateur à l'aide de modèles numériques d'altitude (MNA50 d'IGL, MNT25 de l'OFT et les modèles d'altitude moyenne C et D de l'IGL), (Olivier 1974, 1983)). Si une homogénéisation des données au niveau de la précision des instruments utilisés est évidement impossible, toutes les stations ont été recalculées avec les mêmes paramètres, c'est-à-dire le g théorique selon l'ellipsoïde 1967 et la correction topographique jusqu'à 166.6 km à partir du modèle numérique de terrain (MNT25) de l'Office Fédéral de Topographie (OFT).

L'Anomalie de Bouguer

Dans le but de faire ressortir la composante gravifique du remplissage sédimentaire de la Vallée du Rhône, une Anomalie de Bouguer a été donc calculée pour chaque station en utilisant une densité de réduction ρ = 2.67 g/cm^3 et en tenant compte de toutes les corrections standard:

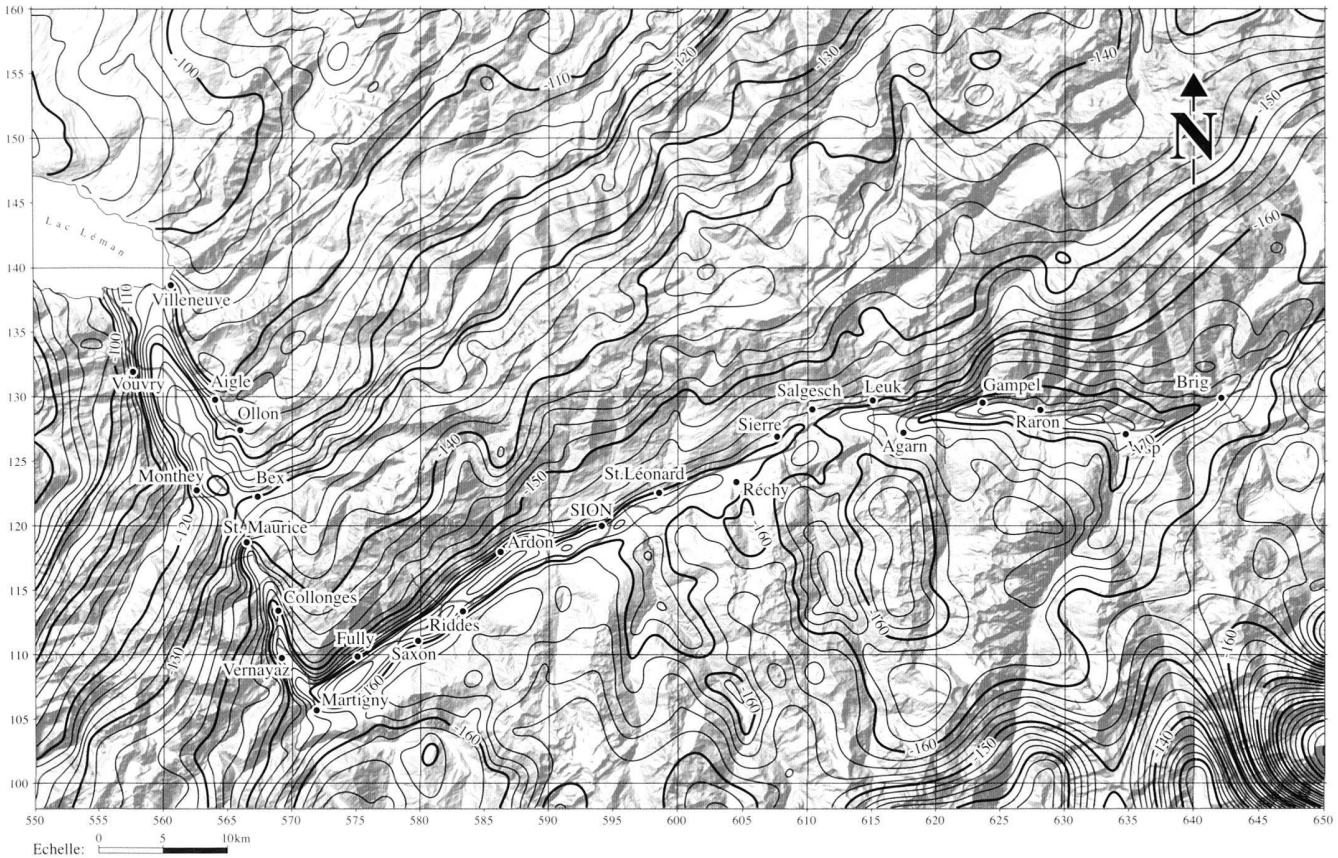


Fig. 5. Carte de l'Anomalie de Bouguer de la Vallée du Rhône entre Villeneuve et Brig: densité = 2.67 g/cm^3, correction topographique (CT) jusqu'à 167 km – (d'après Rosselli et al. 1999). Nous observons la tendance gravifique régionale due à l'enracinement alpin ainsi que l'évidente anomalie créée par le remplissage quaternaire de la vallée. La carte a été calculée à l'aide de la méthode du minimum de courbure avec une maille de 200 mètres. Le choix de la maille est fonction de l'espacement des stations dans la plaine du Rhône. L'espacement des isolignes est de 2 mGal. Pour plus de détail nous renvoyons à la lecture des cartes à l'échelle 1: 50'000 de l'article précité.

Anomalie de Bouguer (AB) = $g_{\text{mesuré}} - (g_{\text{ellipsoïde}} - \Delta g_{\text{air libre}} + \Delta g_{\text{plateau}} - \Delta g_{\text{topographie}})$

avec

$g_{\text{ellipsoïde}}$ = $978031.846\,(1 + 0.005278895 \sin^2\phi + 0.000023462 \sin^4\phi)$ *(mGal)* [Syst. de réf. géodésique 1967]

$\Delta g_{\text{air libre}}$ = $0.3086 * z$ *(mGal)* (valeur moyenne)

$\Delta g_{\text{plateau}}$ = $0.0419 * z * \rho$ *(mGal)*

$\Delta g_{\text{topographie}}$ = a) $G * \rho * j\,\{r_2 - r_1 + (r_1^2 + \Delta h^2)^{1/2} - (r_2^2 + \Delta h^2)^{1/2}\}$ *(mGal)* [formule de Hammer, de 0 à 2500 m]

b) $G * \rho * S\,\{1/d - 1/(d^2 + \Delta h^2)^{1/2}\}$ *(mGal)* [formule de la «Ligne de Masse» de 2.5 à 167 km]

où ϕ et z sont respectivement la latitude et l'altitude de la station, ρ est la densité, r_1 et r_2 sont les rayons des couronnes, d est la distance de l'élément de surface S, j est le coefficient angulaire des secteurs de couronnes et Δh sont les écarts d'altitude. La correction Plateau est complétée par la correction de calotte dite de Bullard.

En ce qui concerne la correction topographique, nous rappelons ici qu'il s'agit d'un élément très important dans le contexte d'applications gravimétriques dans les Alpes, où elle peut atteindre des valeurs de plus de 25 mGal.

Dans le cadre de cette étude, les corrections topographiques locales autour de la station (moins de 20 m) ont été directement évaluées sur le terrain et calculées par la méthode des prismes verticaux droits de couronne (Hammer 1939). L'effet topographique de 20 à 2500 m a été calculé avec la formule de la Ligne de Masse sur la base de modèles numériques d'altitude (MNA50-IGL et MNT25-OFT) selon un découpage en 69 couronnes et 7533 secteurs. Finalement, l'effet topographique lointain jusqu'à 166.6 km a été calculé avec la formule standard de la Ligne de Masse appliquée aux modèles d'altitudes moyennes C et D de l'IGL selon le découpage du Service Géologique des Etats-Unis. La configuration de couronnes

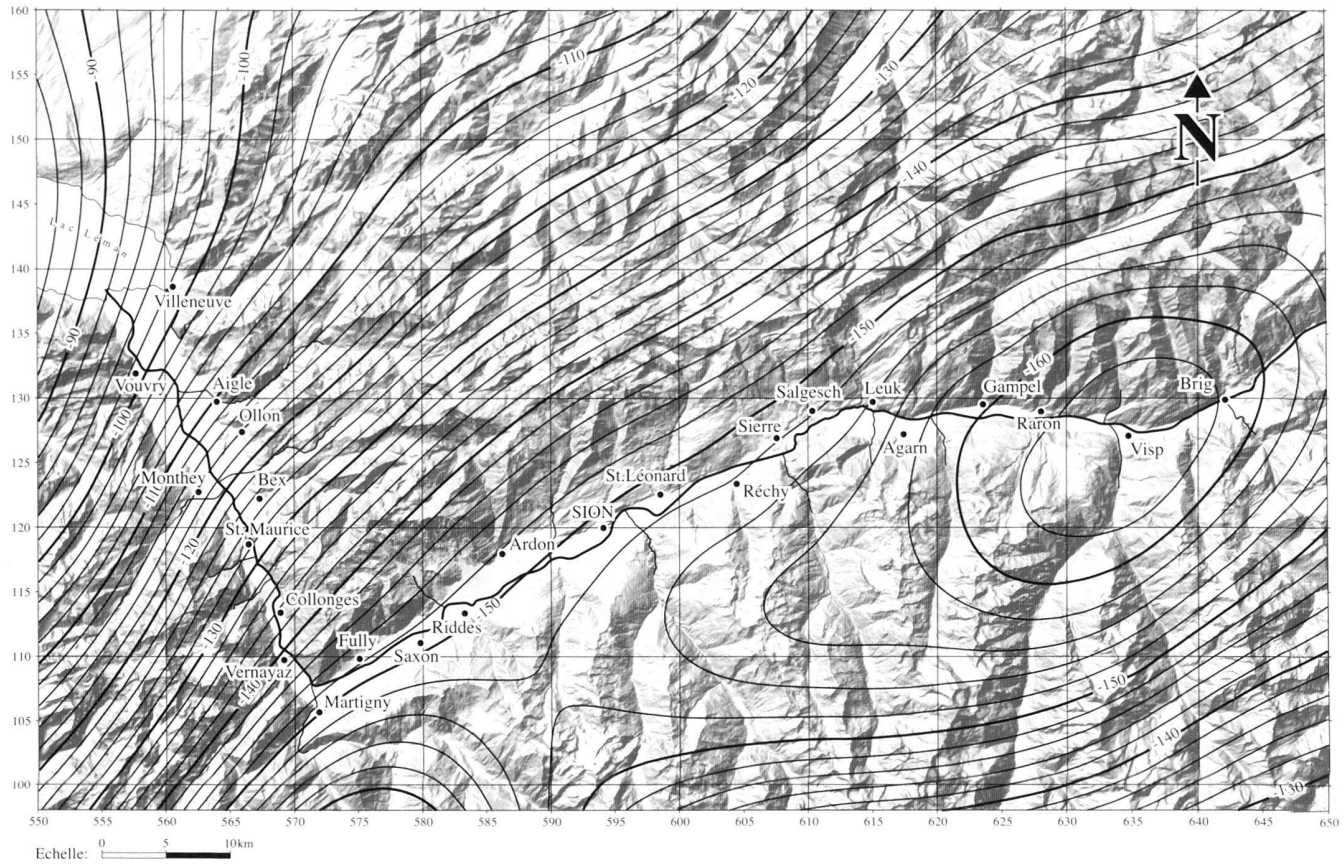


Fig. 6. Carte de l'Anomalie régionale de la Vallée du Rhône entre Villeneuve et Brig – densité = 2.67 g/cm^3, C.T. jusqu'à 167 km – (d'après Rosselli et al. 1999). Nous observons le gradient gravifique régional qui s'accentue en direction NW-SE. Après l'intersection avec la Vallée du Rhône la tendance est inversée et nous observons une augmentation en direction SE. Il s'agit, au niveau local, de la culmination gravimétrique négative due à l'enracinement des Alpes. En ce qui concerne la méthode de calcul nous renvoyons le lecteur au texte. L'espacement des isolignes est de 2 mGal.

est la suivante: de 2.5 km à 21 km, 23 couronnes et 1556 secteurs; de 21 km à 167 km, 30 couronnes et 3270 secteurs. Ce découpage respecte la résolution de la maille des MNA et des modèles C et D utilisés ainsi que de l'effet de la distance (Plouff 1966, 1976; Olivier 1974, Klingelé & Olivier 1980, Olivier 1983).

Les valeurs ainsi obtenues pour chaque station ont été utilisées pour construire une carte de l'Anomalie de Bouguer de la Vallée du Rhône entre Villeneuve et Brig (Fig. 5).

La carte a été dressée à l'aide du logiciel SURFER(TM) en utilisant la méthode d'interpolation du minimum de courbure avec une maille de 200 mètres (Briggs 1974). Dans le choix de la maille, nous avons tenu compte principalement de l'espacement moyen des stations dans la vallée, dans le but d'obtenir le maximum de détail dans cette région. Ceci nous a conduit à une certaine sur-interprétation gravimétrique sur les versants, là où la densité des stations est beaucoup plus faible que dans la vallée.

L'erreur quadratique moyenne globale de l'Anomalie de Bouguer est estimée à ± 0.35 mGal, valeur relativement élevée par rapport aux standards actuels mais qui doit être considérée en fonction, comme nous avons déjà dit, de l'énorme évolution du matériel et des méthodes de traitement des données depuis les années '60.

La simple analyse visuelle de la carte de l'Anomalie de Bouguer permet de mettre en évidence la composante gravifique due au remplissage sédimentaire de la vallée.

Notre zone d'étude est également couverte par l'Atlas Gravimétrique de la Suisse au 1/100'000 dont la parution complète a été terminée en 2002 et plus spécialement sur les cartes suivantes: Col du Pillon (n° 41), Val de Bagnes (n° 46) et Oberwallis (n° 42), (Dumont et al. 2000, 2002). Une grande partie des données gravimétriques de l'Anomalie de Bouguer de notre zone sera disponible, au cours de l'année 2003, sur le CD de la «Base de Données Géophysiques» de la Commission Géophysique Suisse (Klingelé & Dumont 2003), sous la forme suivante: par stations de mesures et selon 22 grilles numériques de l'Anomalie de Bouguer (Densité: 2.67; CT jusqu'à 167 km)

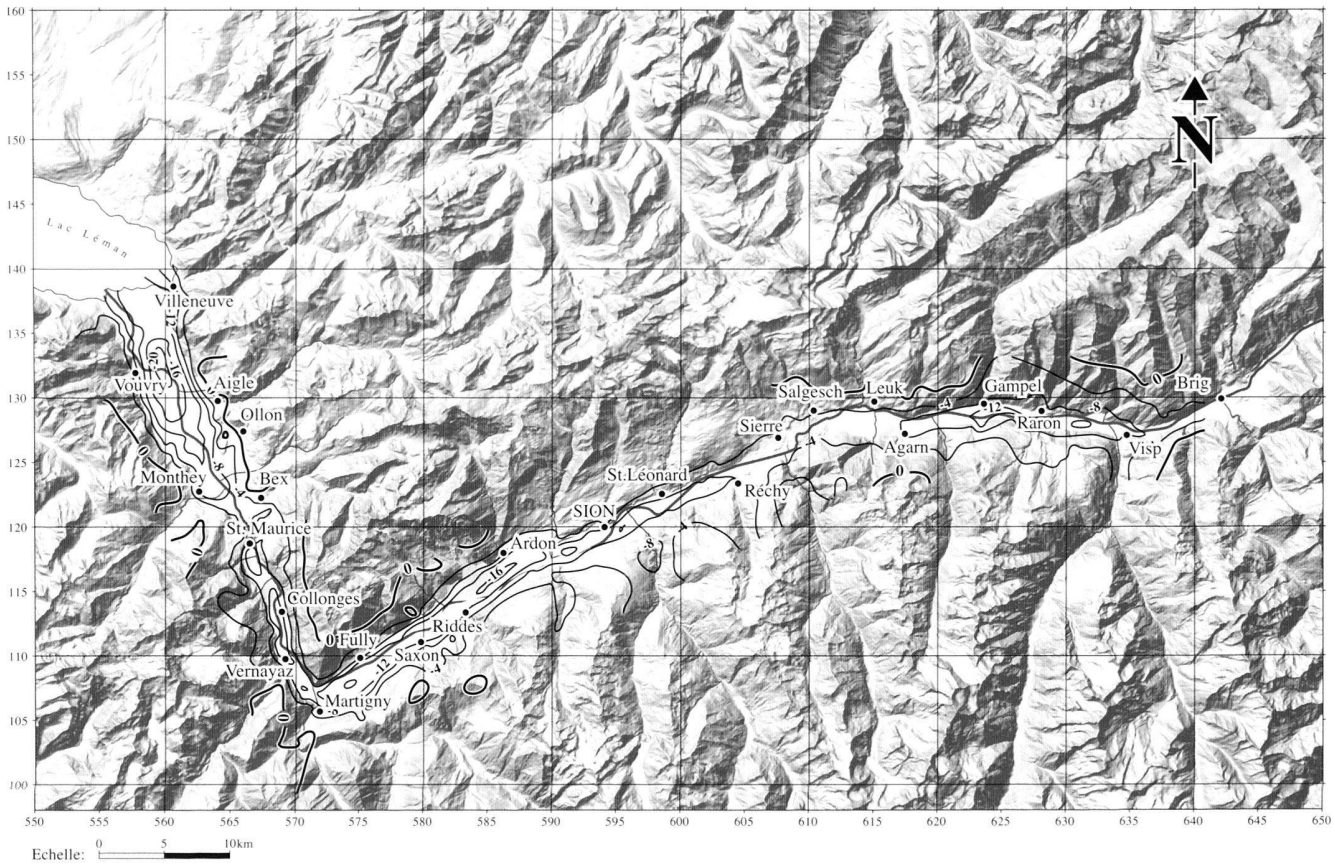


Fig. 7. Carte de l'anomalie résiduelle de la Vallée du Rhône entre Villeneuve et Brig – densité = 2.67 g/cm^3, C.T. jusqu'à 167 km –. La carte met en évidence l'anomalie gravifique négative due au remplissage quaternaire de la vallée. Nous observons, dans la région au nord-ouest d'Aigle, une anomalie résiduelle négative de plus de 18 mGal. Dans les régions de St-Maurice, Martigny et Ardon des anomalies négatives de l'ordre d'environ 16 mGal sont observables. Pour plus de détails voir les cartes à l'échelle 1:50'000 dans Rosselli et al. (1999).

L'anomalie régionale et l'anomalie résiduelle

Lorsque nous voulons passer d'une interprétation purement qualitative, qui peut être faite à partir d'une carte de l'Anomalie de Bouguer, à une interprétation quantitative, nous sommes obligés de nous affranchir de tous les effets qui ne sont pas en relation avec l'objectif de l'étude, ce qui signifie, dans la majorité des cas, en séparer les effets gravifiques dus aux structures géologiques profondes des effets plus superficiels.

Nous avons donc établi une tendance gravifique régionale (Fig. 6) représentative des structures géologiques profondes, que nous avons ensuite soustraite de l'anomalie de Bouguer dans le but d'isoler l'anomalie gravifique due au remplissage sédimentaire de la vallée.

La détermination de l'anomalie régionale constitue un point très délicat, qui peut être la source d'erreurs et de fausses interprétations si on ne considère pas forcément son effet généralisant. Afin de mieux la définir, il est nécessaire de disposer d'autres sources de renseignements qui puissent permettre d'ajuster la surface de tendance par rapport à nos objectifs.

L'existence dans cette portion de la vallée du Rhône de plusieurs lignes sismiques, exécutées dans le cadre de différentes études tels que le PNR20 ou les campagnes de recherche pétrolière, nous a fourni les éléments nécessaires au calage de l'anomalie régionale. Nous avons pu introduire 11 points de calage (Table 2) basés sur les profondeurs du fond rocheux déterminées à partir de sections de sismique réflexion **S1** (Finckh & Frey 1991) et **S2** à **S7** (Besson et al. 1992) ou de l'interprétation des lignes sismiques pétrolières **P1** à **P4** (Finger & Weidmann 1988).

Les points de calage gravifique ont été calculés à l'aide de la formule de la correction plateau

($\Delta g = 0.0419 * \Delta\rho * \Delta h$) en considérant une extension latérale infinie et une profondeur Δh tirée des interprétations sismiques (**P1 à P4**) ou des profils de sismique réflexion (**S1 à S7**). Deux contrastes de densité ($\Delta\rho$), **0.5 et 0.6** g/cm^3, correspondant respectivement à des densités moyennes du remplis-

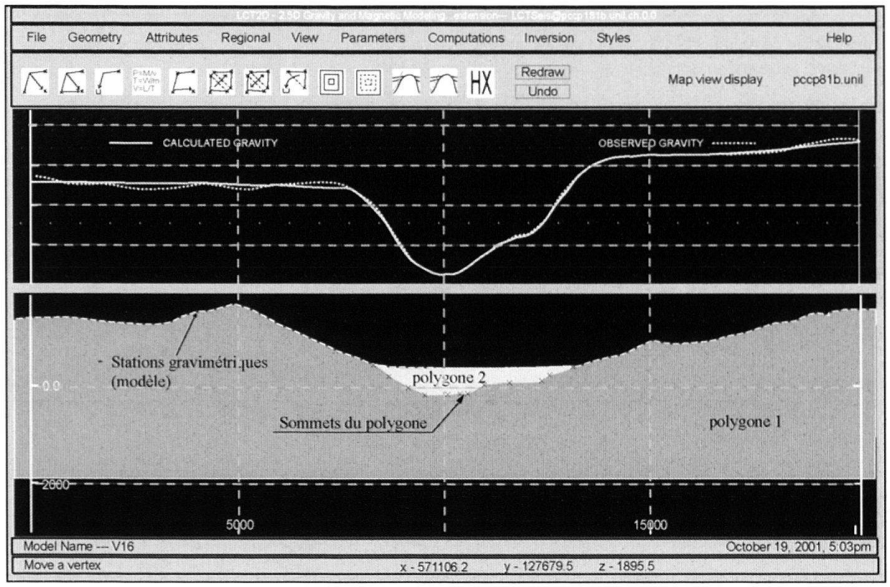


Fig. 8. Modélisation gravimétrique 2D à l'aide du logiciel LCT2Mod(TM). La modélisation se fait par modification itérative du modèle jusqu'à obtenir la meilleure correspondance entre l'anomalie mesurée (Observed gravity) et l'anomalie calculée (Calculated gravity). L'anomalie mesurée peut être représentée soit par l'anomalie résiduelle soit par l'anomalie de Bouguer. Le modèle est constitué par des couches successives formées par des polygones auxquels des densités sont attribuées. Dans notre exemple, le modèle est représenté par 2 couches: polygone 1 et polygone 2.

Tab. 2. Découpage de la vallée en 4 secteurs en fonction de l'azimut de son axe, ce qui a permis d'orienter les 69 profils transversaux.

Secteurs	Délimitation géographique	Longueur (km)	Nombre de profils	Azimut de l'axe (degrés)
1	Villeneuve – Martigny	40	21	156°
2	Martigny – Sion	30	16	55°
3	Sion – Sierre	30	16	65°
4	Sierre – Brig	30	16	89°
	Total:	130	69	

sage quaternaire de **2.07 et 2.17** g/cm^3, ont servi au calcul des points de calage. Il va sans dire que cette approximation doit être adaptée à la géométrie locale de chacun des points car l'extension latérale n'est pas forcément infinie.

Pour établir une surface de tendance à grand rayon de courbure telle qu'une anomalie gravifique régionale, il faut considérer une superficie d'application extrêmement large. En effet, nous avons considéré toutes les stations gravimétriques inscrites dans une zone rectangulaire contenant la vallée du Rhône avec une marge externe de

20 km, c'est-à-dire une zone de plus de 12'300 km^2 contenant plus de 13'000 stations gravimétriques. A partir de cette sélection de stations, nous avons exclu toutes les stations gravimétriques subissant directement l'influence de la vallée du Rhône, soit environ 4000 stations, afin que la surface de tendance ne soit pas affectée par la présence du remplissage quaternaire de la vallée.

A partir des stations sélectionnées, nous avons calculé analytiquement, à l'aide du logiciel SURFER™, une surface de tendance à l'aide de la méthode du minimum de courbure avec une maille de 5000 mètres. Nous avons ensuite appliqué un lissage par matrice carrée de 4ème ordre (Matrix smooth) afin d'adoucir les courbes calées sur les 11 points de calage en veillant à ce que cette surface soit située entre les deux points de calage.

La surface de tendance régionale a été ensuite adoucie en veillant à sa cohérence spatiale sur toute la vallée du Rhône (Fig. 6). Le large négatif qui apparaît est celui créé par l'enracinement de la chaîne alpine dans le Manteau.

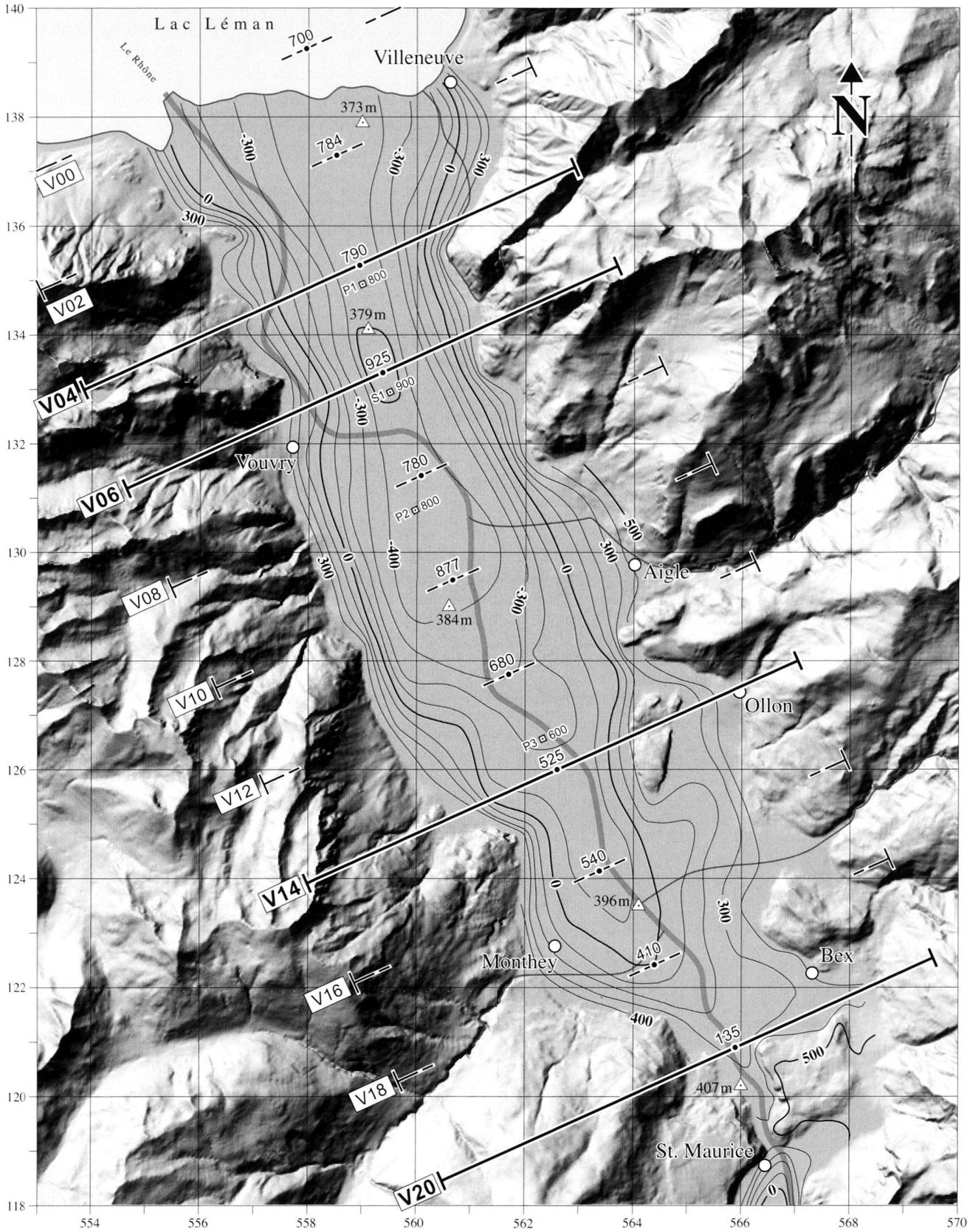
La carte de l'anomalie résiduelle a été obtenue tout simplement par soustraction de l'anomalie régionale à l'Anomalie de Bouguer (Fig. 7). Les anomalies résiduelles locales les plus importantes sont de l'ordre de

-20 mGal dans la région d'Aigle, -16 mGal à St-Maurice, Martigny et Ardon, -12 mGal à Gampel.

D'une manière globale, sur l'ensemble de la vallée, l'axe gravifique suit le centre de la vallée du Rhône et plusieurs anomalies importantes, voire même très importantes, se développent tout au long de ce tracé. Les amplitudes les plus élevées se situent entre -16 et -18 mGal, respectivement à la hauteur de Villeneuve et de Martigny, ce qui représente, en première analyse, des épaisseurs de remplissage entre 700 et 900 m, soit largement en dessous du niveau actuel de la mer.

Nous remarquons en outre qu'en plusieurs endroits, l'anomalie gravifique résiduelle présente une forte atténua-

Fig. 9. Carte du substratum rocheux **d'AIGLE** au 1/100'000 de Villeneuve à St. Maurice avec la position de tous les profils gravimétriques modélisés, en gras les profils **V04, V06, V14** et **V20** présentés dans la figure 10, les profils sismiques **P1, P2** et **P3** ainsi que la section sismique **S1**. Les Δ donnent l'altitude de la vallée. Les points dans l'axe de la vallée et sur les profils gravimétriques sont les profondeurs maximales du remplissage quaternaire. L'équidistance des courbes des altitudes de la carte du substratum rocheux est de 100 m. Le relief topographique est tiré du MNT25 de l'OFT, autorisation BA 4780.


Lac Léman
Le Rhône
Villeneuve
700
373m
784
790
P1 800
379m
925
S1 900
780
P2 800
877
384m
680
P3 600
525
540
396m
410
135
407m
Vouvry
Aigle
Ollon
Monthey
Bex
St. Maurice
N
V00
V02
V04
V06
V08
V10
V12
V14
V16
V18
V20
140
138
136
134
132
130
128
126
124
122
120
118
554
556
558
560
562
564
566
568
570

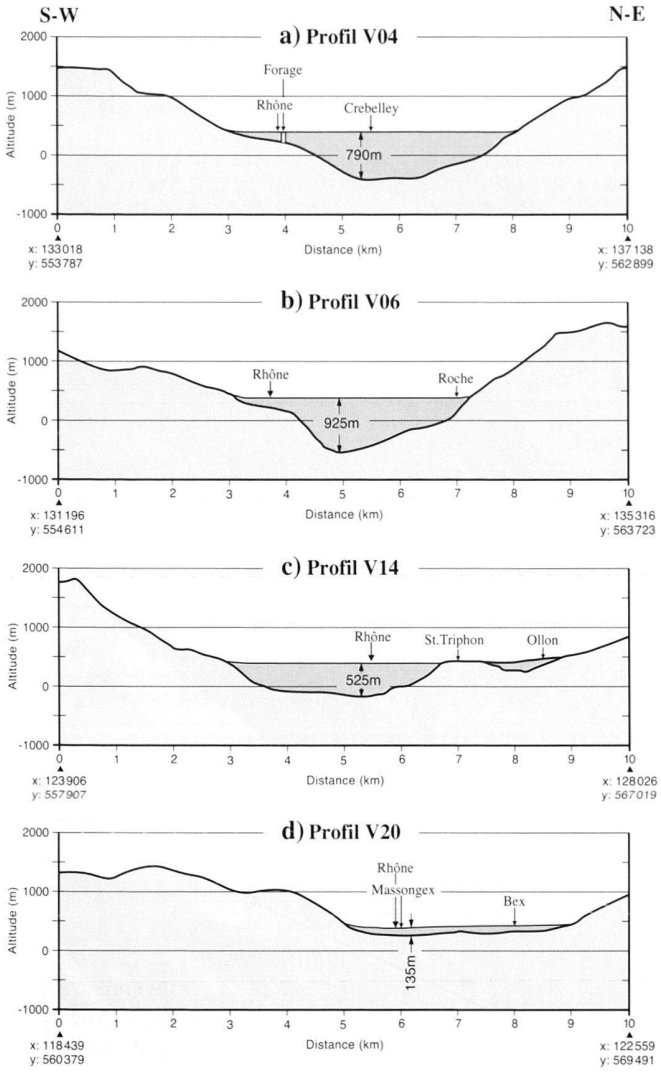


Fig. 10. a – d Modélisation gravimétrique 2D. Le logiciel utilisé est LCT2Mod(TM).

Densité du remplissage: 2.00 g/cm^3, densité du modèle de l'AB: 2.67 g/cm^3.

a) Profil **V04**. Ce profil est situé à la hauteur du petit village de Crebelley, à proximité du Lac Léman. Nous observons une ici une profondeur de 790 m, en accord avec l'interprétation sismique **P1** fournie par Finger & Weidmann (1988). La vallée présente ici un profil typiquement en U, avec une largeur en surface d'environ 4 km.

b) Profil **V06**. Le profil est situé dans la région de Roche – Vouvry, 2 km au sud-est du précèdent. Nous observons ici la profondeur maximale de la Vallée du Rhône, soit –925 mètres, c'est à dire environ 550 m au-dessous du niveau actuel de la mer. Cette profondeur est confirmée par l'interprétation sismique **S1** de Finkh & Frey (1991) ainsi que par l'interprétation gravimétrique de Finckh et Klingelé (1991).

c) Profil **V14**. Le profil est situé dans la région des collines de St.-Triphon, où la vallée atteint une profondeur de 525 m. Un sillon secondaire d'une profondeur de 170 m se marque à l'est de collines de St-Triphon.

d) Profil **V20**. Le substratum rocheux de la vallée remonte régulièrement en direction du seuil rocheux de St-Maurice. La modélisation du profil **V20** fournit une profondeur maximale de 125 m. Il s'agit ici d'une région extrêmement difficile à modéliser à cause des importants effets 3D. Afin d'améliorer notre interprétation nous avons appliqué ici les paramètres de modélisation 2.5D (Rosselli & Olivier 2002).

tion, qui peut avoir différentes explications. Dans certains cas, l'atténuation de l'anomalie résiduelle laisse supposer des variations locales du remplissage, probablement liées aux apports par les rivières des vallées latérales ou provenant d'éboulements des versants. Dans d'autres cas, l'atténuation de l'anomalie résiduelle laisse supposer une remontée du fond rocheux car des apports latéraux ne peuvent pas être justifiés.

Modélisation gravimétrique 2.5D de la Vallée du Rhône

L'interprétation des cartes ou des profils de l'anomalie résiduelle nous permet d'obtenir des informations préliminaires sur la forme et la profondeur du substratum de la vallée (Rosselli et al. 1999). Ces résultats nous ont donné des ordres de grandeur des profondeurs du substratum de la vallée, mais il ne s'agit que d'approximations qui ne prennent pas en compte sa complexité géologique.

Afin de fournir une interprétation plus précise de la profondeur et de la forme du substratum et de répondre correctement aux problèmes de l'interprétation quantitative des données gravimétriques, il est nécessaire de faire appel au processus de modélisation gravimétrique. Dans le cadre de cette étude nous avons opté pour une modélisation gravimétrique bidimensionnelle le long de profils perpendiculaires à l'axe de la vallée. Pour une discussion approfondie à propos des différentes options possibles (2D, 2.5D, 3D) dans la modélisation gravimétrique et dans le cas spécifique de la Vallée du Rhône, nous renvoyons le lecteur au travail de Rosselli (2001).

A partir des documents topographiques numériques (MNT25) et gravimétriques (anomalie résiduelle), nous avons tracé des profils perpendiculaires à l'axe de la vallée selon un espacement de 2 km. Nous avons estimé qu'une extension latérale maximale de 10 km de part et autre de la vallée était largement suffisante afin de prendre en considération les effets gravifiques dus au remplissage quaternaire. Nous avons donc découpé la vallée en 4 secteurs, selon les différentes directions de son axe (Table 2) et nous avons établi un total de 69 profils perpendiculaires à l'axe de la vallée couvrant toute la Vallée du Rhône entre Villeneuve et Brig.

Chaque profil ainsi généré a été utilisé pour créer une section structurale associée aux profils respectifs de l'anomalie résiduelle (anomalie mesurée).

Les profils, centrés sur l'axe de la vallée, ont été modélisés avec une extension latérale de 10 km de part et d'autre de l'axe de la vallée afin de prendre en compte la tendance gravifique régionale. Nous rappelons en outre que les résidus gravifiques dus aux variations lithologiques latérales et non directement liées à l'effet du remplissage n'ont pas été modélisés. Ceci explique pourquoi les anomalies calculées et mesurées peuvent présenter aux extrémités un décalage de l'ordre de 1 à 2 mGal. Dans les cas où ces écarts étaient trop importants les profils ont été modélisés en introduisant artificiellement des polygones qui nous ont permis d'améliorer le calage latéral des

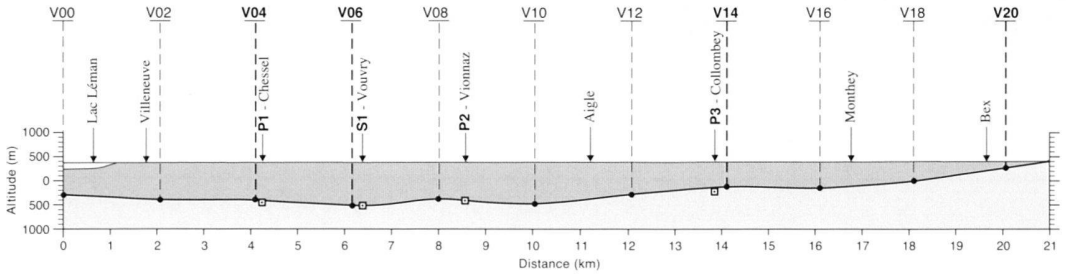


Fig. 11. Profil longitudinal du contact substratum – remplissage quaternaire de la Vallée du Rhône. Feuille **AIGLE**. Le profil est obtenu par interpolation entre les profils gravimétriques modélisés (**V00 à V20**).
La présence d'informations venant de l'interprétation sismique (**P1, P et, P3**: Finger & Weidmann 1988 – **S1**: Finckh & Frey 1991) permet de caler la modélisation gravimétrique.

anomalies. Après avoir vérifié la cohérence du modèle obtenu, ces polygones ont été supprimés pour ne pas induire le lecteur par une lecture incorrecte. Nous limiterons donc notre interprétation géologique à la détermination de l'interface substratum rocheux - remplissage quaternaire.

Nous avons utilisé le logiciel de modélisation gravimétrique LCT 2MOD version 3.7 (LCT 1996) pour créer un modèle géométrique et pour calculer la réponse gravifique de chaque profil (Fig. 8). Il s'agit d'un logiciel de modélisation géophysique, conçu spécialement pour la prospection pétrolière, qui permet de calculer la réponse gravifique et/ou magnétique d'un modèle géologique du sous-sol dont les différentes formations sont représentées par leurs formes géométriques et par leurs densités et/ou par leurs susceptibilités magnétiques.

Le modèle géométrique est défini par des polygones qui représentent les différentes formations géologiques. Le calcul de l'anomalie gravifique et/ou magnétique se fait uniquement à partir d'une section sur la base de l'algorithme de Talwani et Hubbert (Hubbert 1948, Talwani & Landismann 1959, Talwani & Ewing 1960). Le logiciel LCT2MOD permet de prendre en compte également les paramètres 2.5D (c'est-à-dire de définir l'extension longitudinale de part et autre du profil) grâce aux algorithmes de calcul basés sur les modèles de Pedersen (1979) et de Rasmussen & Pedersen (1979).

La géométrie du modèle est modifiée itérativement jusqu'à obtenir la meilleure correspondance entre l'anomalie mesurée (anomalie résiduelle) et l'anomalie calculée du modèle. La réponse est calculée en temps réel permettant ainsi un contrôle immédiat de la cohérence géologique du modèle. Des observations géologiques, des informations de forage et des données de sismique réflexion ont été employées pour contraindre le modèle.

L'incertitude sur les résultats gravifiques

Une brève discussion à propos des erreurs s'impose avant de passer à l'analyse spatiale des résultats obtenus grâce à la modélisation gravimétrique.

Les résultats que nous présentons sont évidements affectés par une imprécision due à la somme de toutes les erreurs accumulées au cours du processus de calcul, de l'acquisition à la modélisation.

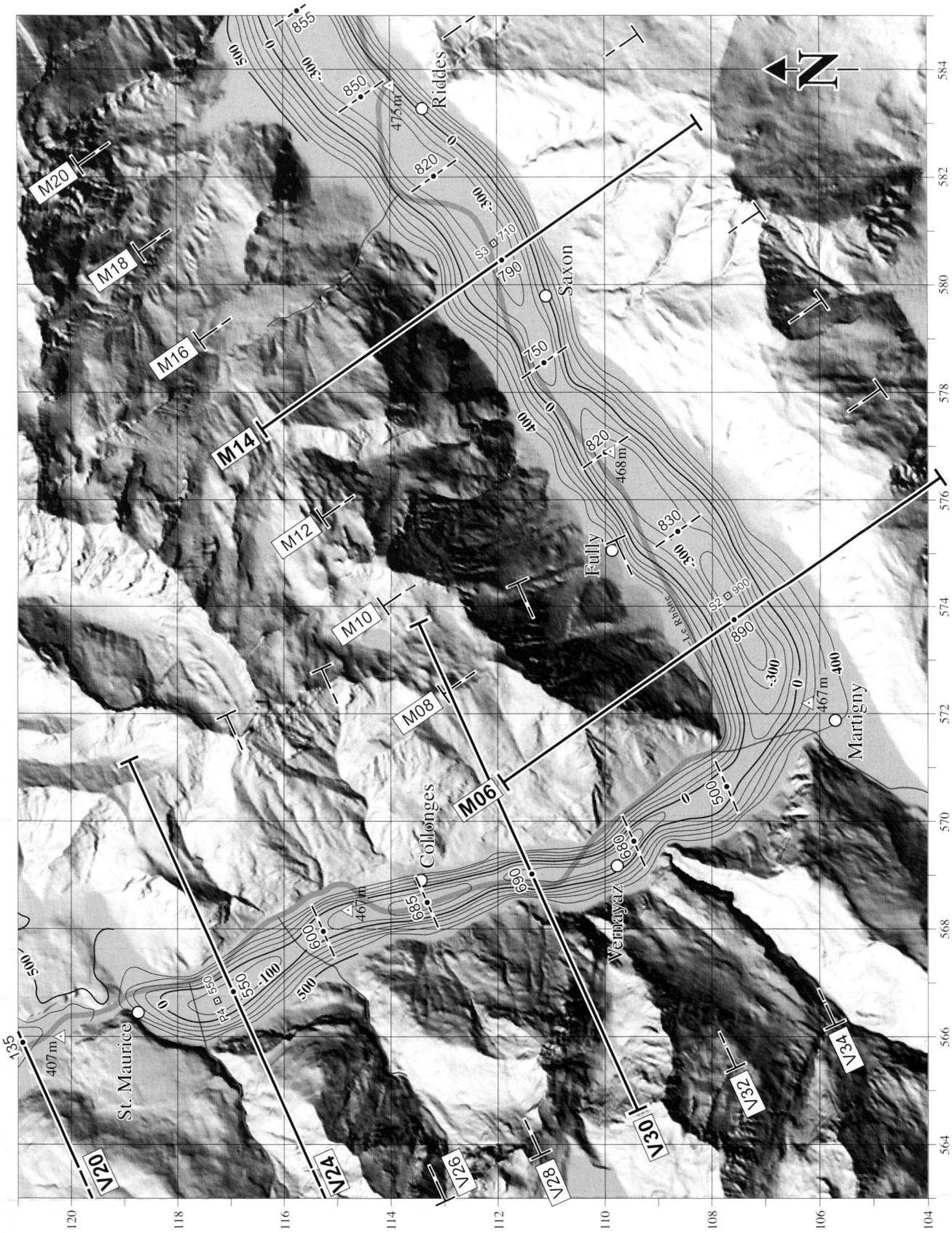
Ainsi nous pouvons énumérer les différentes sources d'erreurs comme suit:

- Anomalie de Bouguer (mesure de la valeur de g, corrections topographiques, altitude, interpolation, densité du modèle de l'A.B., etc. ...);
- Anomalie régionale (calage, échelle, etc. ...);
- Caractérisation géologique (choix de la complexité du modèle, détermination des densités, etc. ...);
- Modélisation gravimétrique (effets 2D, 2.5D, 3D, précision de l'algorithme, etc. ...).

Si en ce qui concerne la détermination de l'Anomalie de Bouguer nous avons estimé l'erreur quadratique moyenne à ± 0.35 mGal, la détermination des autres imprécisions s'avère plus difficile. Concernant l'anomalie régionale, la seule comparaison possible vient du calage sur des informations fournies par d'autres méthodes. Dans le cas de cette étude, nous disposions essentiellement des informations fournies par la sismique réflexion, qui sont, elles-mêmes, affectées par une erreur estimée généralement autour de ± 10%. D'autres informations utiles au calage peuvent venir des forages, mais nous avons vu que dans le cadre de la Vallée du Rhône les rares forages existants qui atteignent le substratum sont placés sur les bords de la vallée et donc difficilement utilisables pour le calage. En ce qui concerne les autres sources d'erreurs, la caractérisation géologique et la modélisation gravimétrique, il est très difficile de fournir une valeur représentative de l'imprécision. La seule possibilité d'évaluer cette imprécision ne peut être faite que par comparaison des résultats obtenus avec les informations sur les profondeurs fournies par d'autres méthodes.

Finalement, nous pensons que compte tenu de toutes ces considérations, l'erreur finale sur les profondeurs obtenues grâce à la modélisation gravimétrique est de l'ordre de ± 10%.

Cependant, nous aimerions distinguer l'erreur sur la profondeur de l'erreur sur la forme du substratum. Nous avons



Riddes
Saxon
Fully
Martigny
Collonges
Vernayaz
St. Maurice
Le Rhône
M20
M18
M16
M14
M12
M10
M08
M06
V20
V24
V26
V28
V30
V32
V34
N

observé que de petites ondulations du substratum peuvent améliorer la corrélation entre les courbes de l'anomalie gravifique calculée et de l'anomalie mesurée, mais il est très difficile d'attribuer à ces variations géométriques une signification géologique. De même que des faibles variations de densité à l'intérieur du corps sédimentaire peuvent facilement «remplacer» les variations de la forme du substratum sans affecter la profondeur. Nous invitons donc le lecteur à en tenir compte lors de toutes considérations à propos de la forme du substratum. Par rapport aux profondeurs fournies par la sismique réflexion, nous estimons qu'une densité globale et homogène du remplissage quaternaire qui varie entre 2.00 et 2.10 g/cm^3 semble respecter parfaitement les exigences de calage de la modélisation gravimétrique. Les travaux d'interprétation des lignes sismiques pétrolières **P1** à **P4** (Finger & Weidmann 1988), l'interprétation de la ligne sismique réflexion Roche-Vouvry **S1** (Finckh & Frey 1991) et les profils sismiques de réflexion **S2** à **S7** (Besson et al. 1992) de l'étude Géothermoval et du programme national du FNRS PNR20 ont permis de calibrer la modélisation gravimétrique dans cette région. Nous avons constaté qu'une densité moyenne du remplissage quaternaire de 2.00 g/cm^3 permettait un calibrage correct. Localement notre choix pourrait provoquer des erreurs plus ou moins importantes, mais nous estimons sur la base de tous les profils modélisés en correspondance de profils sismiques (Table 2) que l'erreur globale ne doit pas dépasser ± 10%.

Présentation des résultats

En partant de la figure 1 où nous avons présenté le découpage des 5 cartes suivantes: **AIGLE, MARTIGNY, SION, SIERRE et BRIG** à l'échelle du 1/100'000, nous allons remonter le cours du Rhône et décrire les résultats de la cartographie du substratum rocheux de la vallée du Rhône feuille à feuille.

Feuille AIGLE

Dès le bord du Lac Léman et en remontant la vallée en direction de Martigny (Fig. 9), nous sommes immédiatement confrontés aux profondeurs maximales rencontrées dans cette étude. Nous observons une profondeur maximale de plus de 900 m située sur le profil **V06** (Fig. 10b). Finckh & Klingelé

Fig. 12. Carte du substratum rocheux **de MARTIGNY** au 1/100'000 de St Maurice à Chamoson avec la position de tous les profils gravimétriques modélisés, en gras les profils **V24** et **V30,** puis **M06** et **M14** présentés dans la figure 13, le profil sismique **P4** ainsi que les sections sismiques **S2** et **S3**. Les Δ donnent l'altitude de la vallée. Les points dans l'axe de la vallée et sur les profils gravimétriques sont les profondeurs maximales du remplissage quaternaire. L'équidistance des courbes des altitudes de la carte du substratum rocheux est de 100 m. Le relief topographique est tiré du MNT25 de l'OFT, autorisation BA 4780.

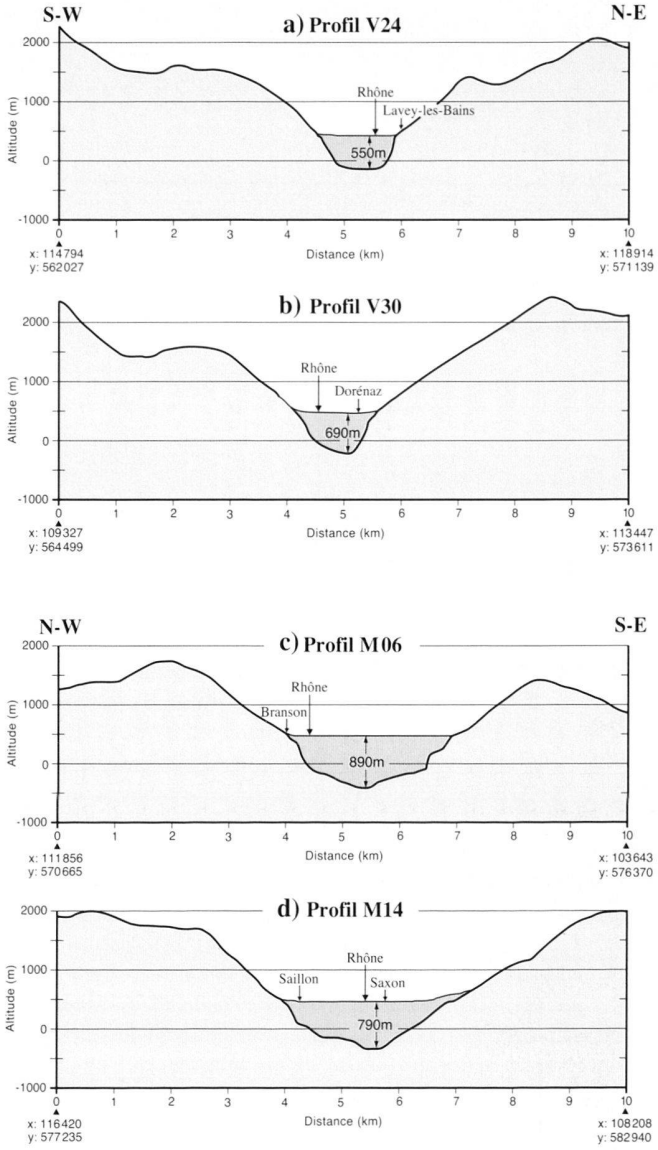


Fig. 13. a – d Modélisation gravimétrique 2D. Le logiciel utilisé est LCT2Mod(TM).
Densité du remplissage: 2.00 g/cm^3, densité du modèle de l'AB: 2.67 g/cm^3.

a) Profil **V24**. La vallée, après le seuil rocheux de St.-Maurice, devient plus étroite (environ 1.2 km) et représente un profil typiquement en V. Le profil **V24**, situé dans la région de Lavey-les-bains fournit une profondeur de 550 m, confirmée par l'interprétation sismique **P4** (Besson et al. 1993)

b) Profil **V30**. La modélisation de ce profil, situé à la hauteur du village de Dorénaz, a fourni une profondeur de 690 m.

c) Profil **M06**. Ce profil, situé à proximité de la ville de Martigny, à la hauteur du village de Branson, a fourni une profondeur de 890 m. La présence d'un profil sismique (**S2**) confirme la validité de l'interprétation. Il s'agit d' une des profondeurs les plus importantes de toute la vallée, bien au dessous (–400 m) du niveau actuel de la mer. La vallée reprend ici un profil en U avec une largeur en surface d'environ 3 km.

d) Profil **M14**. La remontée du substratum de la vallée se poursuit avec des légères ondulations, tout en gardant des profondeurs remarquables. La modélisation du profil **M14**, situé à la hauteur du village de Saillon a fourni une profondeur de 790 m, en accord avec les renseignements fournis par le profil sismique **S3** (Besson et al. 1993).

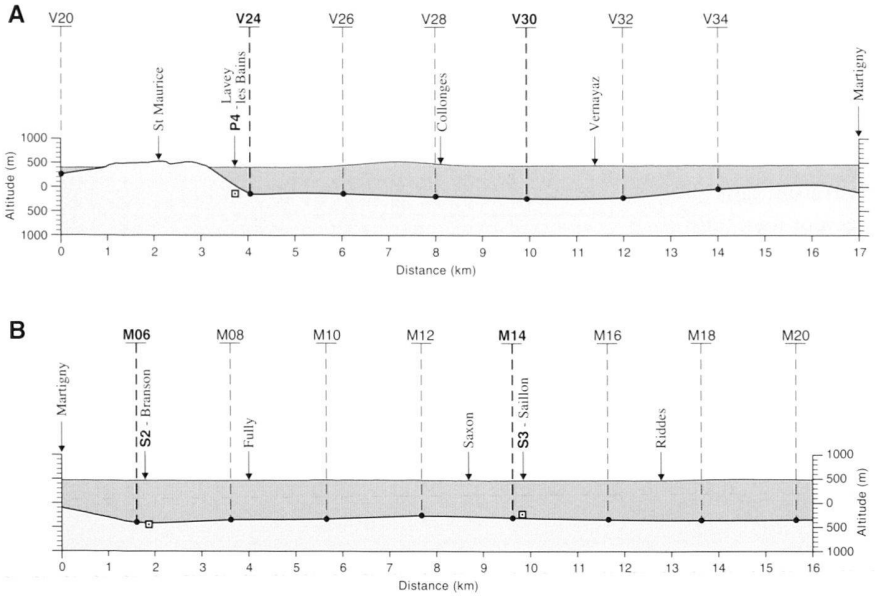


Fig. 14. Profil longitudinal du contact substratum – remplissage quaternaire de la Vallée du Rhône. Feuille **MARTIGNY**. Le profil est en deux parties A et B à cause du coude de la vallée du Rhône, il est obtenu par interpolation entre tous les profils gravimétriques modélisés (**V20 à V34** puis de **M06 à M20**). La présence d'informations venant de l'interprétation sismique (**P4**: Finger & Weidmann 1988 – **S2 et S3**: Besson & al. 1993) permet de caler la modélisation gravimétrique.

(1984) ont obtenu par modélisation gravimétrique des profondeurs du même ordre de grandeur à proximité de la ligne sismique Roche-Vouvry (**S1**) en appliquant des densités du remplissage quaternaire basées sur l'analyse de vitesses sismiques. En direction du lac, le substratum rocheux remonte à des profondeurs peu inférieures aux 700 mètres en correspondance du profil **V00**. Ce résultat est étayé par les informations fournies par les travaux d'interprétation des lignes sismique réflexion (Vernet et al. 1974) ainsi que par les sondages AMT (Gex 1990). Un forage mécanique qui a touché le substratum à 130 m de profondeur (Büchi 1988) est également à signaler à côté du village de Chessel en correspondance du profil **V04** (Fig. 10a). Gonet (1965) avait proposé pour cette région des profondeurs maximales de l'ordre de 400 mètres, soit une différence négative d'environ 50%. En remontant la vallée nous rejoignons la région comprise entre Aigle et Monthey. Cette région a depuis longtemps stimulé l'imagination des géologues, spécialement en ce qui concerne l'origine de collines de St. Triphon (Jeannet 1912, 1913, 1918; Lugeon & Gagnebin 1941; Badoux 1962) mais aussi en relation avec le projet de créer un site de dépôt final de déchets radioactifs (CEDRA 1988, 1991, 1993). Cette région a fait également l'objet au cours des années d'études gravimétriques dans le cadre de travaux de thèse de Gonet (1965) ou de diplôme de Carrel (2000).

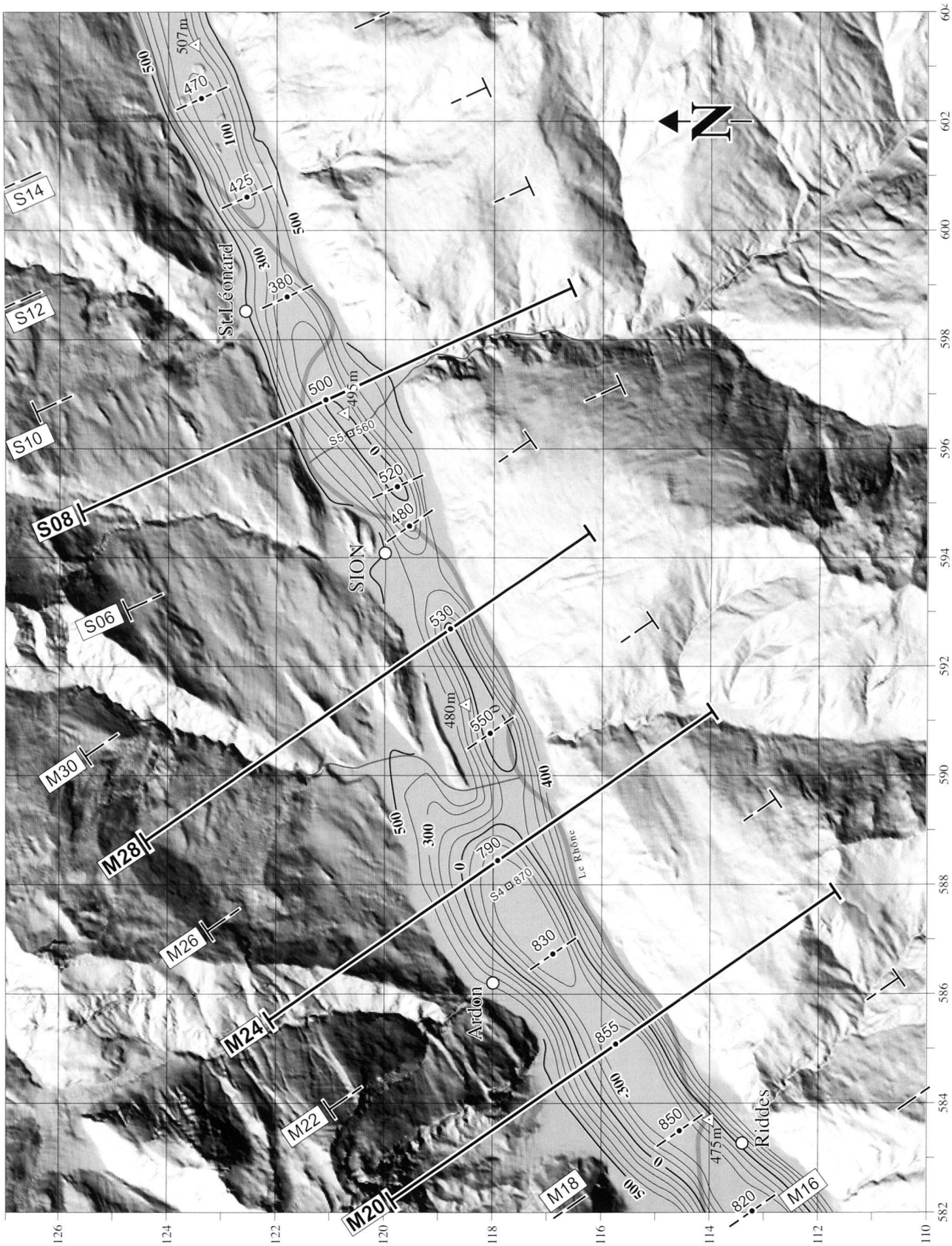
Le fond rocheux de la vallée présente dans cette région une morphologie caractéristique en U. Sur la ligne Ollon – Collombey, à la hauteur du profil **V14** (Fig. 10c), le plancher de cette auge atteint une profondeur de 525 m. Un sillon secondaire d'une profondeur de 170 m se marque à l'est de collines de St-Triphon.

Plus en amont, la région entre Bex et St-Maurice, à la hauteur du profil **V20** (Fig. 10d), est très difficile à interpréter du point de vue gravimétrique à cause de la faible épaisseur des sédiments mais aussi en raison de l'évident resserrement de la vallée et de son caractère typiquement 3D. Une discussion plus approfondie de cet aspect particulier de la modélisation avec une référence direct au cas de St.-Maurice a été développée dans Rosselli (2001) auquel nous renvoyons le lecteur pour plus de détails. Wagner (1970), puis Marchant & Besson (1986) ont montré par interprétation gravimétrique l'existence d'un paléo-cours du Rhône contournant à l'est les collines de Chiètres. Dans le même cadre, plusieurs campagnes de sismique réflexion ont été menées dans cette région dans le cadre des travaux de diplôme de l'Institut de Géophysique de Lausanne (Monin 1999, Gass 2000) ainsi que dans le cadre des recherchés liées à la prospection hydrogéologique (GEOEXPERT 1991). Les résultats confirment les difficultés d'interprétation et suggèrent la nécessité d'études plus approfondies qui tiennent compte du caractère tridimensionnel de l'interprétation des données géophysiques.

Feuille MARTIGNY

Immédiatement au sud du seuil rocheux de St.-Maurice **(Fig. 12),** la profondeur du substratum atteint à nouveau les 550 m à

Fig. 15. Carte du substratum rocheux de **SION** au 1/100'000 de Riddes à Réchy avec la position de tous les profils gravimétriques élaborés, en gras les profils **M20**, **M24**, **M28** et **S08** présentés dans la figure 16, les sections sismique **S4** et **S5**. Les Δ donnent l'altitude de la vallée. Les points dans l'axe de la vallée et sur les profils gravimétriques sont les profondeurs maximales du remplissage quaternaire. L'équidistance des courbes des altitudes de la carte du substratum rocheux est de 100 m. Le relief topographique est tiré du MNT25 de l'OFT, autorisation BA 4780.


S14
S12
S10
S08
S06
M30
M28
M26
M24
M22
M20
M18
M16
St-Léonard
SION
Ardon
Riddes
Le Rhône
507 m
495 m
480 m
475 m
S5 560
S4 870
470
425
380
500
520
480
530
550
790
830
855
850
820
100
300
400
0
N
582
584
586
588
590
592
594
596
598
600
602
110
112
114
116
118
120
122
124
126

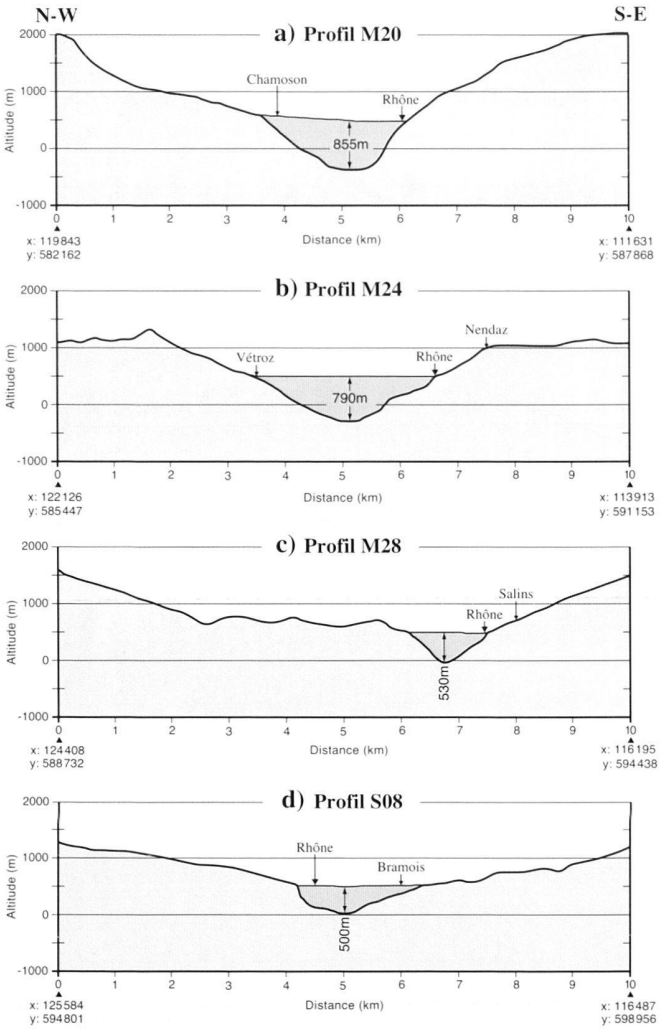


Fig. 16. a – d Modélisation gravimétrique 2D. Le logiciel utilisé est LCT2Mod(TM).

Densité du remplissage: 2.00 g/cm^3, densité du modèle de l'AB: 2.67 g/cm^3.

a) Profil **M20**. Ce profil est situé à la hauteur du village de Chamoson et de son important cône de déjection. La présence de ces apports latéraux constitue une possible source d'erreurs dans l'interprétation gravimétrique, leurs densités pouvant différer de celles de la vallée principale. La profondeur du substratum atteint ici les 855 m.

b) Profil **M24**. La modélisation de ce profil, situé à la hauteur du village de Vétroz a fourni une profondeur de 790 m. La présence du profil sismique **S4** (Besson et al. 1993) confirme la validité de l'interprétation. La vallée maintient ici son profil en U, avec une largeur en surface d'environ 3 km.

c) Profil **M28**. La modélisation de ce profil, situé peu au sud-ouest de Sion, à la hauteur du village de Salins a fourni une profondeur de 530 m. Le substratum se trouve dans cette portion de vallée à la hauteur du niveau actuel de la mer.

d) Profil **S08**. Ce profil, situé à quelques kilomètres au nord-est de Sion, à la hauteur du village de Bramois, fournit une profondeur de 500 m. La présence du profil sismique **S5** (Besson et al. 1993) confirme la validité de l'interprétation.

la hauteur du profil **V24** (Fig. 13a). Dans cette région, la présence de deux lignes sismiques, une perpendiculaire à la vallée **P4** et l'autre parallèle à son axe (Besson et al. 1993), confirment les profondeurs obtenues par la modélisation gravimétrique 2.5D. Nous remarquons que la vallée, tout en conservant des profondeurs de l'ordre de 500 à 600 m, devient beaucoup plus étroite, ce qui lui confère un profil plus typiquement en V.

La vallée atteint une profondeur d'environ 700 m à la hauteur de Dorénaz, sur le profil **V30** (Fig. 13b). Nous remarquons que le long des profils V28, V30 et V32 les profondeurs ne varient pratiquement pas, tandis qu'au niveau du profil V34, c'est-à-dire juste avant le coude de Martigny, l'épaisseur des sédiments n'est plus que de 500 m, confirmation d'une nette remontée en relation avec le coude de la vallée.

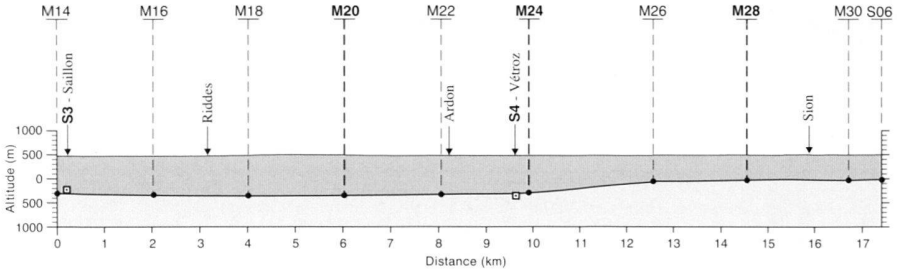
La section longitudinale de la vallée (Fig. 14) met en évidence la remontée du substratum en direction de Martigny, et, après le coude de la vallée, un approfondissement notable. Cette remontée du substratum, bien que confirmée par aucun profil, est tout à fait évidente du point de vue gravimétrique grâce à l'interprétation, même approximative, de la carte de l'anomalie résiduelle (Fig. 7). Après le coude, le substratum atteint à nouveau des grandes profondeurs, du même ordre de grandeur que celles rencontrées à proximité du lac Léman. Au niveau du profil **M06** (Fig. 13c) la profondeur est d'environ 890 m, en cohérence avec les résultats fournis par l'interprétation d'une ligne sismique réflexion **S2** qui donne une profondeur de 920 m (Besson et al. 1993). Nous sommes probablement là devant un phénomène manifeste de surcreusement glaciaire causé par le ralentissement du glacier provoqué par le coude de la vallée. En remontant la vallée en direction du NE, l'épaisseur des sédiments diminue légèrement pour atteindre 830 m du profil **M08** jusqu'au 750 m du profil M12 à la hauteur du village de Gottefrey. La partie de la vallée comprise entre Saxon et Vétroz est caractérisée par des profondeurs variables entre les 790 m du profil M14 et les 850 m du profil M18. Dans cette région, la présence d'une ligne de sismique réflexion **S3**, à la hauteur de Saillon (Besson et al. 1993), est en bon accord avec les résultats de la modélisation gravimétrique, où la profondeur obtenue de 710 mètres est inférieure d'environ 10% par rapport à la profondeur de 790 m obtenues par la modélisation gravimétrique le long du profil **M14** (Fig. 13d).

A partir des 15 profils gravimétriques **V20** à **V34** (A) et **M06** à **M20** (B), nous avons visualisé, sous la forme de 2 profils en long indépendants à cause du changement de direction de la vallée, la variation longitudinale du fond rocheux de la vallée du Rhône (Fig. 14) avec les profondeurs de calage des profils (**P4**) et section (**S2** et **S3**) sismique réflexion. L'échelle verticale des altitudes est identique à celle des distances.

Feuille SION

La feuille de SION (Fig. 15) présente dans la région de Vétroz un léger changement de l'axe de la vallée en s'orientant un peu plus vers l'est, avec une nette diminution de la profondeur de 855 m au profil **M20** (Fig. 16a) à 380 m sur le profil **S10**.

Dans cette région, la ligne de sismique réflexion **S4** (Besson et al. 1993, Pugin et al. 1997) est en accord avec les résul-



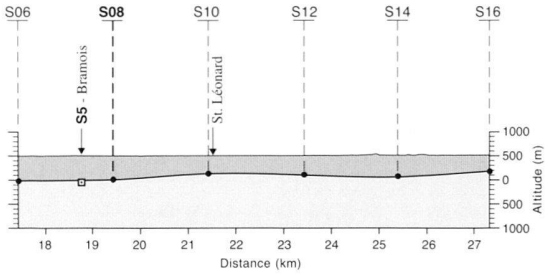


Fig. 17. Profil longitudinal du contact substratum – remplissage quaternaire de la Vallée du Rhône. Feuille **SION**. Le profil longitudinal est obtenu par interpolation entre les profils gravimétriques modélisés (**M14 à S06**) et (**S06 à S16**). La présence d'informations venant de l'interprétation sismique (**S4** et **S5** – Besson et al. 1993)) permet de caler la modélisation gravimétrique.

tats de la modélisation gravimétrique. Dans ce cas, la sismique fournit une profondeur de 870 m, soit environ 10% en plus des 790 m donnés par la gravimétrie le long du profil **M24** (Fig. 16 b).

Le profil **M28** (Fig. 16c), situé à la hauteur de Sion, nous indique une profondeur du substratum de 530 m. La ligne sismique **S5** (Besson et al. 1993) au niveau du profil **S08** (Fig. 16d) fournit une profondeur de 560 m, soit 10% en plus que celle fournie par la gravimétrie le long du profil.

Tout comme dans les régions de Saillon – Saxon et de Vétroz, nous pouvons expliquer ces écarts avec des variations locales de densité à l'intérieur du remplissage sédimentaire liées à des probables apports latéraux et/ou avec une imparfaite adaptation de l'anomalie régionale dans cette région.

Nous avons constaté que dans cette région l'application d'une densité de 2.1 g/cm^3 pour le remplissage quaternaire permettait un meilleur calibrage sur les données sismiques.

A partir des 15 profils gravimétriques **M14** à **S16**, nous avons visualisé sous la forme d'un profil en long la variation longitudinale du fond rocheux de la vallée du Rhône (Fig. 17) avec les profondeurs de calage des sections sismique réflexion (**S4** et **S5**). L'échelle verticale des altitudes est identique à celle des distances.

Feuille SIERRE

La région de SIERRE (Fig. 18) est caractérisée par des profondeurs du substratum rocheux variables entre 280 m au profil **S18** (Fig. 19a) et 300 m au profil **S22** (Fig. 19b), avec de légères fluctuations le long des profils **S14** à **S24**. Le profil **S26** se situe à proximité du net changement de direction de l'axe de la vallée qui prend décidément une orientation est–ouest. Nous remarquons que dans cette région des variations de densité en relation avec d'importants apports latéraux, tels que l'éboulement de Sierre et le cône de l'Illgraben, pourraient être la cause de l'augmentation de l'anomalie que nous avons attribuée exclusivement à une variation de profondeur du substratum.

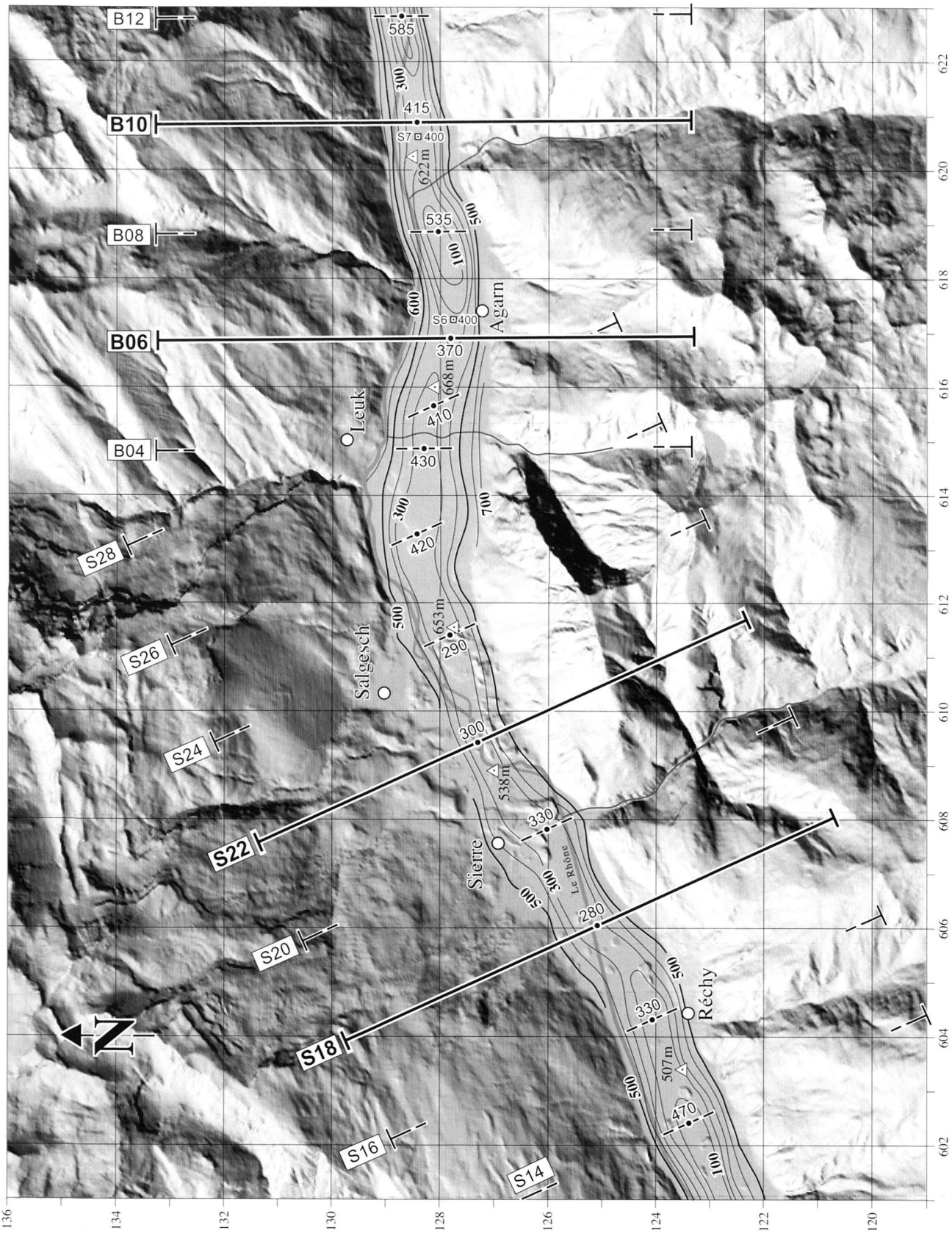
Plus à l'est, la région de Rarogne est caractérisée par des profondeurs du substratum rocheux variables entre les 370 m du profil **B06** (Fig. 19c) et le 585 m du profil **B12**, avec d'évidentes fluctuations du substratum le long de toute cette portion de vallée. Le profil sismique réflexion **S6** d'Agarn (Finckh & Frey 1991), situé à proximité du profil **B06** fournit une profondeur de 400 m, comparable aux 370 m établie par modélisation gravimétrique le long du profil **B06**. Le profil sismique réflexion **S7** de Turtmann (Finckh & Frey 1991) situé entre les profils **B08** et **B10** fournit une profondeur de 400 m en cohérence avec les valeurs obtenues par modélisation gravimétrique du profil **B10** (Fig. 19d).

A partir des 14 profils gravimétriques **S14** à **B14**, nous avons visualisé sous la forme d'un profil en long la variation longitudinale du fond rocheux de la vallée du Rhône (Fig. 20) avec les profondeurs de calage des sections sismique réflexion **S6** et **S7** (Finckh & Frey 1991). L'échelle verticale des altitudes est identique à celle des distances.

Feuille BRIG

La feuille de BRIG (Fig. 21) présente à la hauteur du profil **B14** (Fig. 22a) un surcreusement du substratum qui se marque avec une profondeur de 615 m.

Nous observons que le profil longitudinal (Fig. 23) de cette partie de la vallée ne dispose pas d'un nombre élevé d'informations venant de la modélisation gravimétrique. Les profils


B12
B10
B08
B06
B04
S28
S26
S24
S22
S20
S18
S16
S14
N
585
300
415
S7 400
622 m
535
500
100
600
S6 400
Agarn
370
668 m
410
Leuk
430
300
420
700
500
653 m
290
Salgesch
300
538 m
330
Sierre
500
300
Le Rhône
280
500
330
Réchy
507 m
470
500
100
622
620
618
616
614
612
610
608
606
604
602
136
134
132
130
128
126
124
122
120

B26 et B28 ont fourni des résultats que nous avons jugés incohérents et nous avons décidé de ne pas les considérer lors de notre discussion. La raison probable des difficultés rencontrées est probablement liée aux problèmes de détermination de l'anomalie régionale dans cette région.

Nous avons obtenu des profondeurs qui varient entre les 470 m du profil **B20** (Fig. 22b), les 330 m du profil **B24** (Fig. 22c) et les 270 m du profil **B30** (Fig. 22d).

Entre Viège et Brigue, des études plus approfondies pourraient amener des informations supplémentaires et aider à la solution des problèmes que la modélisation gravimétrique a rencontrés.

A partir des 10 profils gravimétriques **B08** à **B30**, nous avons visualisé sous la forme d'un profil en long la variation longitudinale du fond rocheux de la vallée du Rhône (Fig. 23) avec la profondeur de calage de section sismique réflexion **S7** (Finckh & Frey 1991). L'échelle verticale des altitudes est identique à celle des distances.

La carte du substratum

Grâce aux résultats fournis par la modélisation gravimétrique des 69 profils uniformément distribués le long de toute la Vallée du Rhône, nous avons pu construire les 5 cartes des isohypses de la base des sédiments du Quaternaire entre Villeneuve et Brig. **Ce** sont les feuilles **AIGLE, MARTIGNY, SION, SIERRE** et **BRIG** qui ont été présentées pour plus de commodité avec les profils modélisés; ce sont respectivement les figures 11, 14, 17, 20 et 23. Le lecteur pourra facilement reconstruire une carte unique de toute la vallée du Rhône à l'échelle du 1/100'000.

En outre, il est à rappeler que ces mesures gravimétriques disponibles permettent de cartographier en détail des ensembles cartographiques très importants, non seulement pour la recherche géologique au sens strict du terme, mais aussi pour de nombreuses autres applications environnementales liées à:

- **l'hydrologie**, par la cartograghie des chenaux graveleux, des éboulis, cônes de déjection, etc.
- **la géothermie**, par la mise en évidence des éléments structuraux
- **la micro-zonation sismique**, par l'estimation des masses de sédiments meubles
- **la glaciologie**, par la détermination des épaisseurs de glace des glaciers et par là de leur fonte

Fig. 18. Carte du substratum rocheux **de SIERRE** au 1/100'000 de Grône à Turtmann. avec la position de tous les profils gravimétriques modélisés, en gras les profils **S18**, **S22**, **B06** et **B10** présentés dans la figure 19, ainsi que la section sismique **S6** et **S7**. Les Δ donnent l'altitude de la vallée. Les points dans l'axe de la vallée et sur les profils gravimétriques sont les profondeurs maximales du remplissage quaternaire. L'équidistance des courbes des altitudes de la carte du substratum rocheux est de 100 m. Le relief topographique est tiré du MNT25 de l'OFT, autorisation BA 4780.

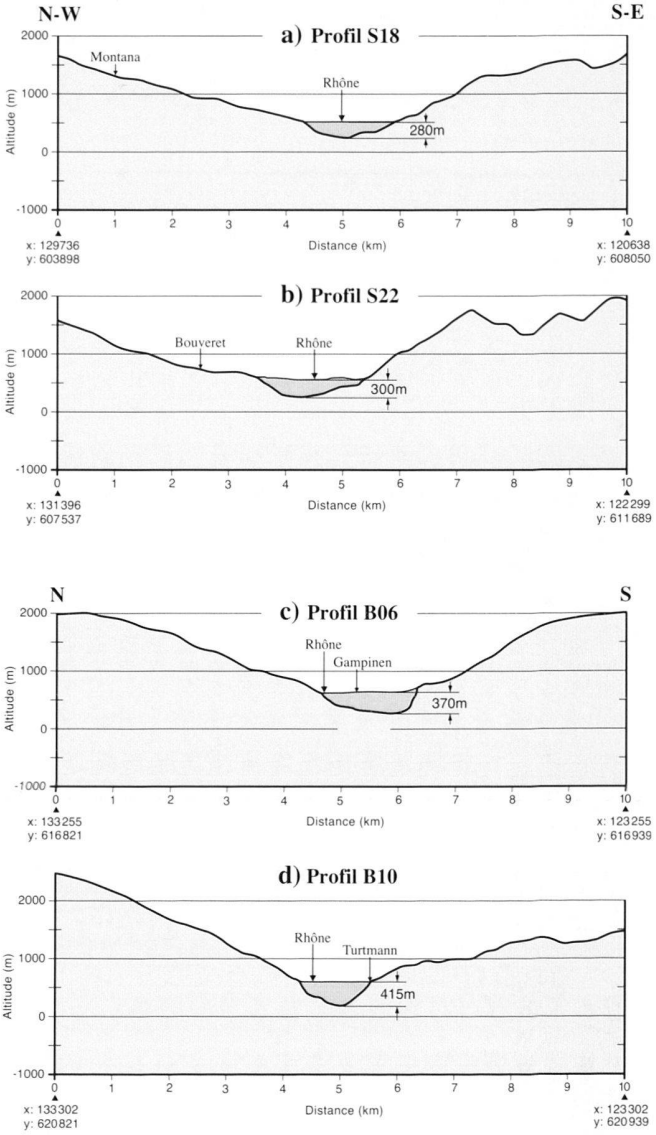


Fig. 19. a – d Modélisation gravimétrique 2D. Le logiciel utilisé est LCT2Mod(TM).

Densité du remplissage: 2.00 g/cm^3, densité du modèle de l'AB: 2.67 g/cm^3.

a) Profil **S18**. Ce profil est situé peu au sud-est de la ville de Sierre. Nous avons obtenu ici une profondeur de 280 mètres, c'est-à-dire une des profondeurs les plus faibles rencontrées dans la vallée.

b) Profil **S22**. La modélisation de ce profil nous a fourni une profondeur de 300 m. Nous sommes ici dans la région un peu en amont de la ville de Sierre caractérisée par la présence des collines de Finges et par l'imposant cône de déjection de l'Illgraben. Ces éléments peuvent contribuer à des variations de densité du remplissage quaternaire, ce qui rend la modélisation de cette partie de vallée plus difficile et l'interprétation des résultats très complexe.

c) Profil **B06**. La profondeur du substratum augmente et atteint les 370 m à la hauteur du village d'Agarn. L'interprétation gravimétrique est corroborée par la présence d'un profil sismique peu en amont le **S6** (Finckh & Frey 1991) et qui fournit une profondeur de 400 m.

d) Profil **B10**. La modélisation de ce profil, situé à la hauteur du village de Turtmann fournit une profondeur de 415 m. L'interprétation gravimétrique est corroborée par la présence d'un profil sismique un peu en aval du **S7** (Finckh & Frey, 1991) et qui fournit une profondeur de 400 m.

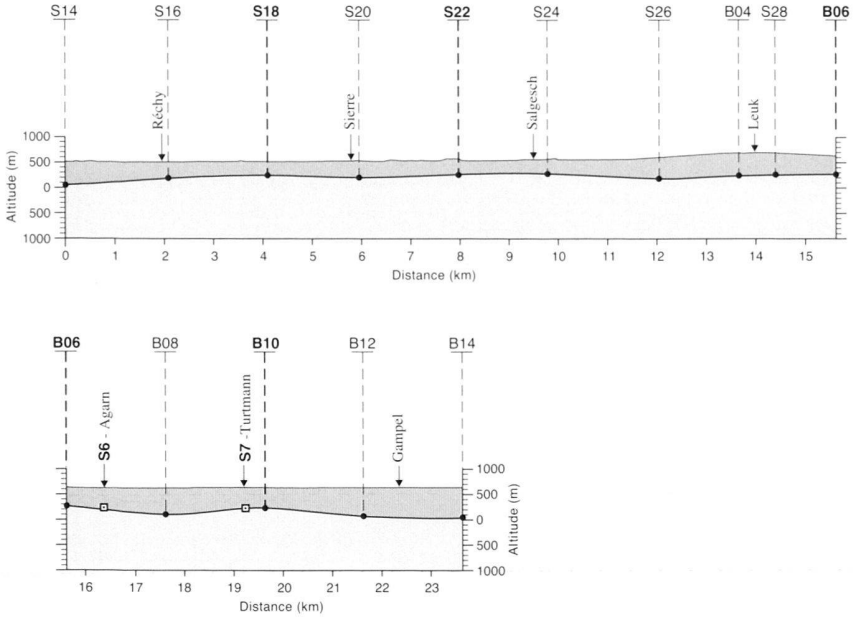


Fig. 20. Profil longitudinal du contact substratum – remplissage quaternaire de la Vallée du Rhône. Feuille **SIERRE**. Le profil longitudinal est obtenu par interpolation entre les profils gravimétriques modélisés (**S10** à **S28**) et (**B06** à **B14**) La présence d'informations venant de l'interprétation sismique **S6** et **S7** (Finckh & Frey, 1991) permet de caler la modélisation gravimétrique.

Tab. 3. Estimation de la masse des sédiments de la Vallée du Rhône. Afin de donner une fourchette de valeurs possibles, nous avons calculé la masse en utilisant des volumes et des densités différentes. En grisé, le volume réellement calculé à partir des résultats de notre modélisation gravimétrique 2.5D.

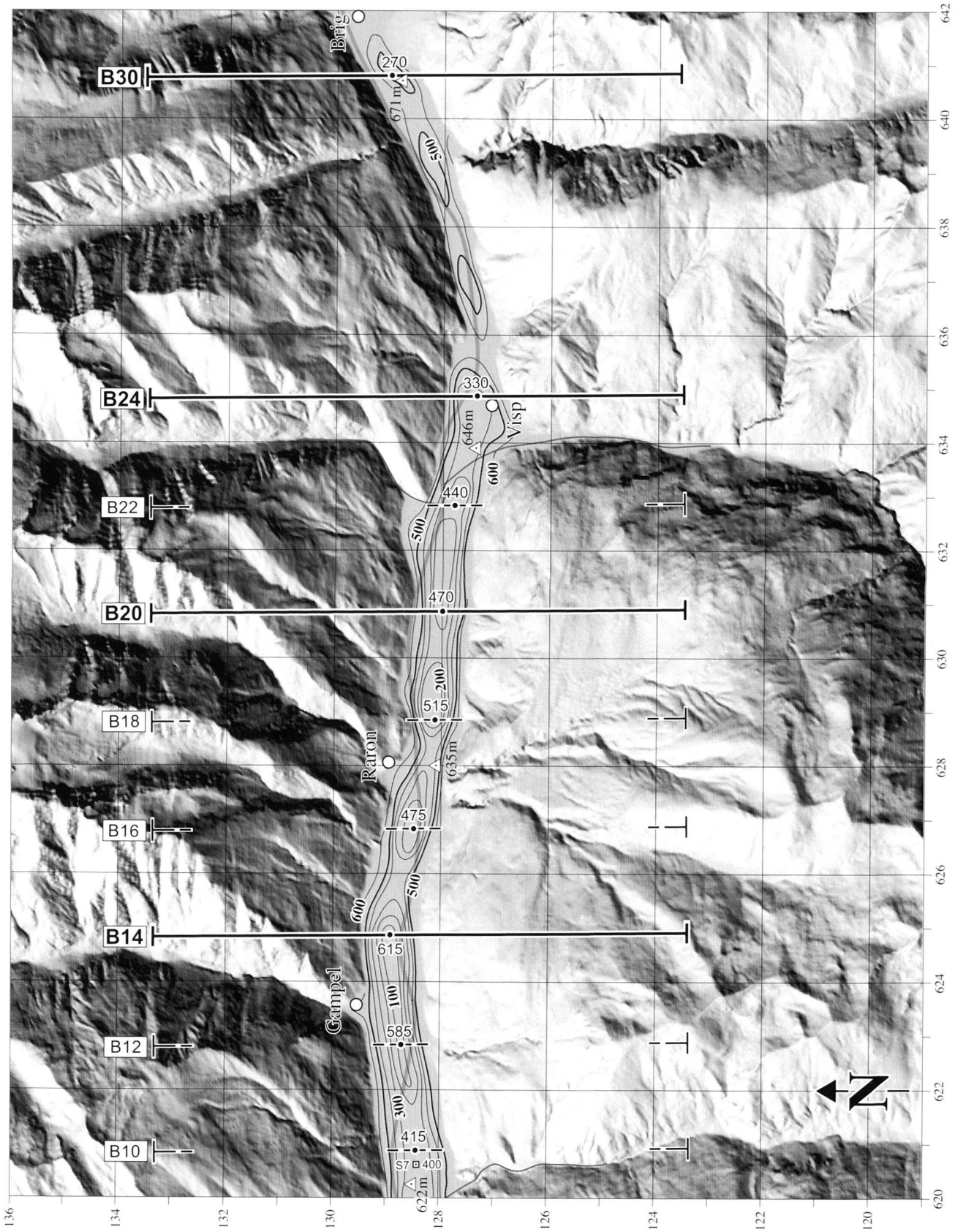
Volume estimé (km^3)	Densité des sédiments du remplissage quaternaire (g/cm^3)		
	2,00	2,10	2,20
80	160,00	168,00	176,00
88,76	177,52	186,40	195,27
100	200,00	210,00	220,00

Les masses sont exprimées en milliard de tonnes

Nous présentons ici quelques brèves considérations préliminaires basées sur l'analyse de la carte du substratum en partant du Lac Léman en direction de Brig:

1. Dans le Chablais, nous observons une forme typiquement en U, avec d'évidentes ondulations du substratum pour atteindre une altitude minimale de **–500 m** (Fig. 9), soit une profondeur de plus de 900 m..
2. Aucun accident majeur ne peut être identifié jusqu'à la hauteur de la remontée de Bex (Fig. 10).
3. Entre Bex et St-Maurice, le substratum devient affleurant (collines de Chiètres) pour atteindre à nouveau des profondeurs de l'ordre de 500 mètres à la hauteur de St-Maurice (Fig. 12)
4. Dès St-Maurice, la vallée change d'aspect et devient beaucoup plus étroite avec une forme typiquement en V (Fig. 12).
5. Le fond rocheux remonte doucement en direction de Martigny, avec des légères ondulations (Fig. 12).
6. A Martigny, en relation avec le coude, le fond atteint à nouveau de grandes profondeurs de l'ordre de 900 m (surcreusement glaciaire) et puis la vallée reprend une forme plus en U (Fig. 12).
7. La remontée en direction de Sion se fait par légères ondulations jusqu'à la hauteur de Vétroz (Fig. 15).
8. Dans cette région, une nette remontée se marque avec le décrochement de la vallée. L'altitude moyenne du substratum passe d'environ **–400 m** du secteur Martigny à Vétroz (profondeurs d'environs 700 à 800 m) à **–100 m** (profondeurs d'environ 400 à 500 m) du secteur Vétroz – Sierre (Fig. 12, 15 et 18).
9. A Sierre, en relation avec le changement de direction de l'axe de la vallée, l'altitude moyenne du substratum atteint les **100 m** c'est-à-dire environ 500 – 600 m de profondeur (Fig. 18).
10. Nous remarquons dans la région de Leuk, la présence de l'important cône de déjection de l'Illgraben qui pourrait masquer, du point de vue gravimétrique, la forme et la profondeur réelle du substratum (Fig. 18).

Fig. 21. Carte du substratum rocheux de **BRIG** au 1/100'000 de Turtmann à Brig avec la position de tous les profils gravimétriques élaborés, en gras les profils **B14**, **B20**, **B24** et **B30** présentés dans la figure 22, ainsi que la section sismique **S7**. Les Δ donnent l'altitude de la vallée. Les points dans l'axe de la vallée et sur les profils gravimétriques sont les profondeurs maximales du remplissage quaternaire. L'équidistance des courbes des altitudes de la carte du substratum rocheux est de 100 m. Le relief topographique est tiré du MNT25 de l'OFT, autorisation BA 4780.


B30
B24
B22
B20
B18
B16
B14
B12
B10
Brig
Visp
Raron
Gampel
270
671 m
330
646m
440
470
515
635m
475
615
585
415
S7
400
622m
500
600
200
100
300
N
642
640
638
636
634
632
630
628
626
624
622
620
136
134
132
130
128
126
124
122
120

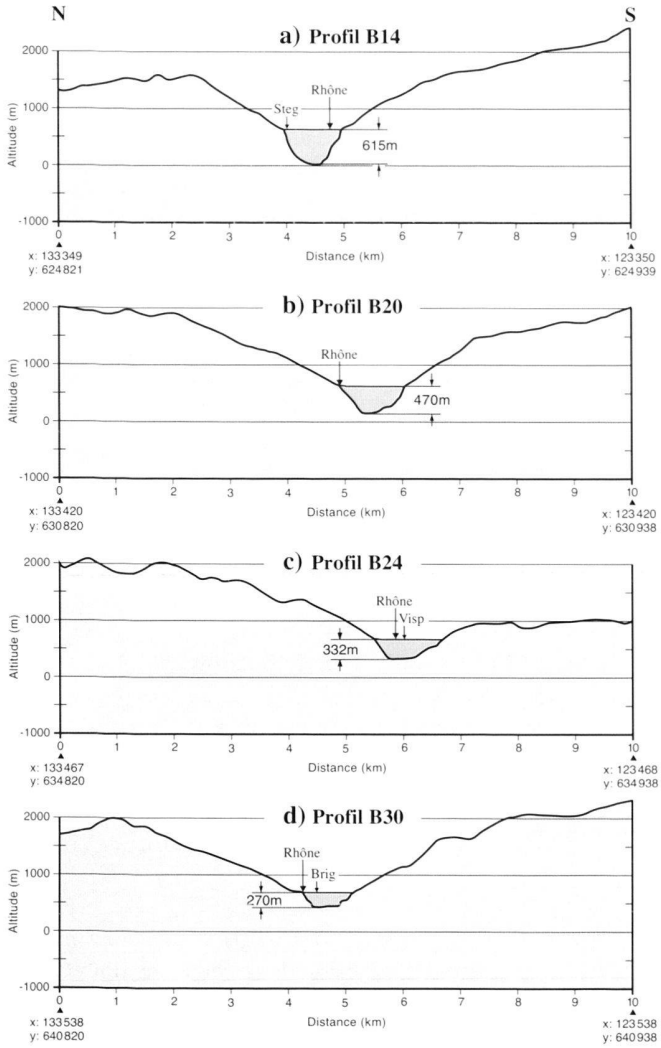


Fig. 22. a – d Modélisation gravimétrique 2D. Le logiciel utilisé est LCT2Mod(TM).

Densité du remplissage: 2.00 g/cm^3, densité du modèle de l'AB: 2.67 g/cm^3.

a) Profil **B14**. La modélisation de ce profil, situé à la hauteur du village de Steg, a fourni une profondeur de 615 m. Nous observons que cette partie de la vallée est caractérisée par un approfondissement notable comparé aux 300 m de la région de Sierre.

b) Profil **B20**. Le profil **B20**, situé entre les villages de Raron et Visp, fournit une profondeur de 470 m.

c) Profil **B24**. La modélisation du profil **B24**, situé à la hauteur du village de Visp, fournit une profondeur du substratum rocheux de 330 m.

d) Profil **B30**. Ce profil est situé peu au sud-est de la ville à la hauteur de la ville de Brig. Nous avons obtenu ici une profondeur de 270 m, c'est-à-dire une des profondeurs les plus faibles rencontrées dans la vallée.

11. A Gampel, l'approfondissement apparent du substratum pourrait être causé par un apport latéral du Lötschental (Fig. 21).
12. En direction de Brig, le fond de la vallée remonte toujours avec des petites ondulations et atteint des altitudes moyennes de **500 m**, ce qui représente une profondeurs d'environ 200 m.

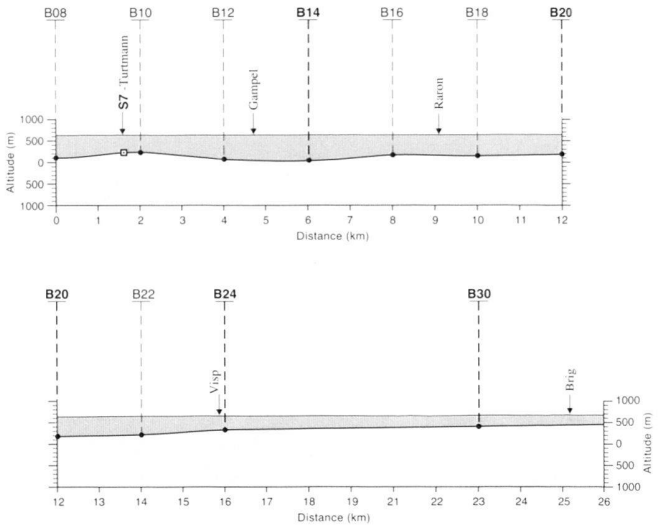


Fig. 23. Profil longitudinal du contact substratum – remplissage quaternaire de la Vallée du Rhône. Feuille **BRIG**. Le profil longitudinal est obtenu par interpolation entre les profils gravimétriques modélisés **B08** à **B20** et de **B20** à **B30**. La présence d'informations venant de l'interprétation sismique **S7** (Finckh & Frey 1991) permet de caler la modélisation gravimétrique.

Finalement, il est très intéressant de comparer le profil longitudinal du substratum obtenu par interpolation entre les profils sismiques (Besson et al. 1992) et le profil obtenu par modélisation gravimétrique des 59 profils (Fig. 11, 14, 17, 20 et 23). En effet, la figure 24 permet de mieux illustrer la complémentarité des deux techniques géophysiques utilisées dans notre travail, la sismique et la gravimétrie. Elle nous permet d'apprécier le détail que nous avons apporté au niveau de la connaissance globale du fond rocheux de la vallée et met en évidence l'aspect de régionalisation des informations dispersées qui caractérise l'application de la modélisation gravimétrique dans le contexte alpin. En d'autres mots, il s'agit ici d'une démonstration exemplaire de la régionalisation détaillée qu'offre la gravimétrie afin de relier des informations ponctuelles et éparses fournies par d'autres méthodes, en particulier dans notre cas la sismique réflexion. La complémentarité des deux méthodes est évidente (calage) car la gravimétrie seule ne peut pas apporter une profondeur absolue avec suffisamment de réalisme.

Disponibilité des cartes du substatum rocheux

Les cartes du sbustratum rocheux de la vallée du Rhône de Villeneuve à Brigue; Aigle (Fig. 9), Martigny (Fig. 12), Sion (Fig. 15), Sierre (Fig. 18) et Brig (Fig. 21) seront disponibles sous forme digitale en plusieurs formats: .pdf, .tiff et .ai dans la même présemtation que dans l'article à l'échelle du 1/100'000. En outre, il contiendra les 5 grilles numériques avec une maille de 200 m des altitudes du fond rocheux, les zones en dehors de la vallée seront vides.

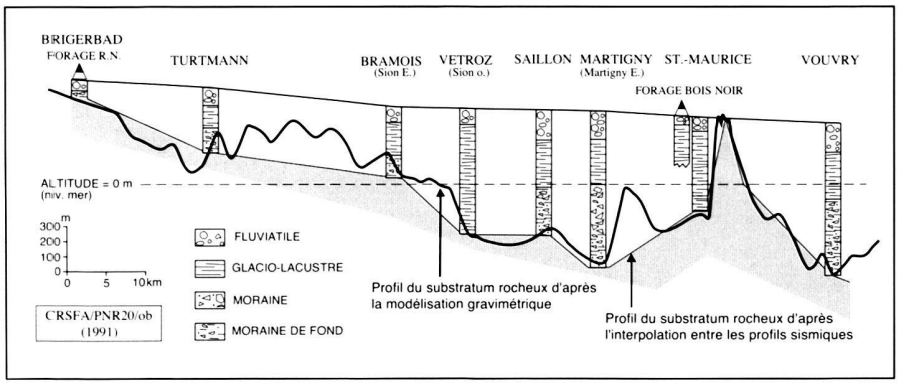


Fig. 24. Profil longitudinal comparatif du toit du substratum de la Vallée du Rhône entre Brigerbad et Vouvry. Entre le profil établi par Besson et al. (1992) sur la base de 7 coupes de sismique réflexion et un forage et le profil obtenu par la présente modélisation gravimétrique. Nous remarquons le détail qu'apporte la modélisation gravimétrique entre les profils sismiques et la complémentarité des deux méthodes géophysiques grâce au calage

Calcul du volume des sédiments

La connaissance de l'interface substratum-remplissage quaternaire nous permet d'évaluer le volume total et la masse des sédiments qui constituent le remplissage de la vallée. Nous avons estimé, par simple soustraction de la carte du substratum au MNT25 de l'OFT, un volume total de **88.76** milliards de m^3 des sédiments.

Cette valeur n'est, bien évidement, qu'indicative, car elle est affectée par la somme de toutes les incertitudes accumulées lors de ce travail, à partir des erreurs de mesure gravimétrique jusqu'à l'incertitude de la modélisation 2D. Néanmoins, il s'agit d'une valeur qui constitue un ordre de grandeur quantitatif unique et qui peut fournir la base pour des comparaisons d'études sur le taux d'érosion et de sédimentation dans les Alpes.

Le calcul du volume nous amène facilement à une estimation de la masse totale des sédiments quaternaires de remplissage de la Vallée du Rhône. Nous avons appliqué trois densités différentes afin de fournir une fourchette de valeurs (Table 3):

Conclusions

La modélisation gravimétrique de la Vallée du Rhône nous donne une image des variations du substratum rocheux tout au long de la vallée. Les profondeurs et la forme obtenue sont le résultat d'une modélisation gravimétrique 2D et 2.5D fondée sur une densité globale du remplissage de 2.00 g/cm^3 et une densité du modèle de l'Anomalie de Bouguer de 2.67 g/cm^3. Ces paramètres ont été appliqués à l'échelle régionale grâce au calage sur 11 profondeurs issues de sections de sismique réflexion (P1, S1, P2, P3, P4, S2, S3, S4, S5, S6 et S7).

A partir des résultats que nous avons obtenus, des études locales plus approfondies pourraient améliorer l'interprétation en prenant en compte plus de détails géologiques ainsi qu'un meilleur calage de l'anomalie régionale, ou encore par une meilleure prise en compte des densités du remplissage.

Nous avons vu dans la discussion des anomalies résiduelles que les causes pouvant provoquer les variations gravifiques sont de deux ordres:

1. Soit le remplissage n'est pas localement homogène et présente, de par ses apports latéraux, des variations de densité
2. Soit le fond rocheux présente des surcreusements provoqués par l'érosion glaciaire sélective, ou des remontées résultant de la tectonique.

Ce n'est que par une modélisation 3D appropriée de la vallée sur ces cibles particulières avec des informations précises de forages carottés (profondeurs et densités) qu'il serait possible de confronter ces hypothèses. Dans ces cas, l'étude détaillée des contrastes de densités des sédiments et formations en présence demeure un des points importants.

Nous espérons avoir fourni des nouveaux éléments quantitatifs utiles à la recherche hydrogéologique ou géologique en général.

En première analyse, ce travail fournit un outil incomparable d'analyse qualitative et quantitative tout au long des quelques 130 km de cette portion de la vallée du Rhône, permettant d'assurer la continuité du fond rocheux entre les différents profils de sismique réflexion.

La combinaison des méthodes gravimétrique et sismique donne ici la meilleure illustration de la régionalisation des informations ponctuelles (sismique) qu'apporte la gravimétrie et montre de façon exemplaire la complémentarité de ces deux méthodes géophysiques s'il en était encore besoin.

Remerciements

Ce travail est le résultat d'un investissement à longue haleine où plusieurs générations d'étudiants, de diplômants et de doctorants ont contribués à l'exécution de multiples campagnes gravimétriques successives de l'Institut de Géophysique de Lausanne avec la supervision informatique de Philippe Logean. C'est avec un grand plaisir que nous profitons de remercier chaleureusement tous ces collaborateurs qui par leur travail de précision ont permis l'édification de cette Base de Données Gravimétriques.
Nous tenons à remercier la Commission Géophysique Suisse par son président le professeur Emile Klingelé, pour nous avoir soutenus dans ce travail ainsi que le coordinateur de l'Atlas Gravimétrique de la Suisse au 1/100'000, Monsieur Bertrand Dumont dont la contribution a été remarquable.
Nous remercions très chaleureusement notre dessinateur Francis Perret pour l'excellente qualité du graphisme des figures et du soin qu'il apporte à la visibilité de nos résultats.

Nous aimerions remercier l'Office Fédéral de Topographie par son directeur E. Gubler pour l'utilisation du MNT25 de l'OFT.
Nos remerciements s'adressent également à Messieurs Pierre Keating, Eduard Kissling et Jürgen Remane pour leurs précieuses critiques lors de la révision du manuscrit, Pierre Gex pour ses suggestions constructives et Madame Pascale Zbinden pour la relecture attentive de notre texte.
Finalement nos remerciements vont à l'Institut de Géophysique de l'Université de Lausanne pour avoir financé, dans le cadre de ses recherches, de nombreuses campagnes qui ont permis de mettre au point maintes améliorations techniques d'acquisition du point de vue gravimétrique, topographique (GPS) et informatique.

BIBLIOGRAPHIE

BADOUX, H. 1962: La géologie des collines de St-Triphon, Bull. Soc. Vaud. Sci. Nat. 68, n°306, 35–48.

BERNAUER, I. & GEIGER, A. 1986: Lokale Schwerefeldbestimmungen und gravimetrische Modellrechnungen im Satelliten (GPS)-Testnetz «Turtmann» (Wallis). Geodätische-geophysikalische Arbeiten in der Schweiz 38, Schweiz. Geodät. Kommission, 106.

BESSON, O., ROUILLER J.-D., FREY, W. et MASSON, H. 1992: Campagne de sismique réflexion dans la Vallée du Rhône entre Sion et Martigny, Suisse. Bull. Géol. Univ. Lausanne, n° 317.

BESSON, O., MARCHANT, R., PUGIN, A. et ROUILLER, J.-D. 1993: Campagne de sismique réflexion dans la Vallée du Rhône entre Sion et St.-Maurice: perspectives d'exploitation géothermique des dépôts torrentiels sous-glaciaires, Bull. Centre Hydrogéol. Neuchâtel 12, 39–58.

BRIGGS, I. C. 1974: Machine contouring using minimum curvature. Geophysics 39, 39–48.

BUCHI, U.P. 1988: Die schweizerische Erdöl-und Erdgasfrage. Bull. Assoc. suisse Géol. Ing. Pétrole, 54, 127, 31–38.

CARREL, S. 2000: Modélisation gravimétrique des collines de St.-Triphon et de leurs environs (Chablais VD et VS). Diplôme de géophysique, Institut de Géophysique, Univ. de Lausanne (inédit).

CEDRA, 1988: Rapport sur l'état des recherches phase I, pour le site potentiel du Bois de la Glaive (commune d'Ollon, VD), Rapport technique 88–17.

CEDRA, 1991: Programme de recherche (Phase I) site potentiel du Bois de la Glaive (commune d'Ollon, VD), plan d'exécution BDG 91/92, Rapport technique 91–24.

CEDRA, 1993: Résultats des recherches effectuées sur le site potentiel du Bois de la Glaive (commune d'Ollon, VD), Rapport technique 93–29.

DUMONT, B., KLINGELE, E., LOGEAN, PH., OLIVIER, R., PERRET, F., RISNES, K. et ROSSET, PH. 2000: Carte du «Col du Pillon» n° 41, Atlas gravimétrique au 1/100'000 de la Suisse, Commission Suisse de Géophysique, Ed. Office Fédéral de Topographie, Berne.

DUMONT, B., KLINGELE, E., LOGEAN, PH., OLIVIER, R., PERRET, F. et ROSSET, PH. 2002: Carte du «Val de Bagnes» n° 46, Atlas gravimétrique au 1/100'000 de la Suisse, Commission Suisse de Géophysique, Ed. Office Fédéral de Topographie, Berne.

DUMONT, B., BARRIOS, L., KLINGELE, E., LOGEAN, PH., OLIVIER, R., PERRET, F., et ROSSET, PH. 2002: Carte de l' «Oberwallis» n° 42, Atlas gravimétrique au 1/100'000 de la Suisse, Commission Suisse de Géophysique, Ed. Office Fédéral de Topographie, Berne.

ESCHER, A., MASSON, H. et STECK, A. 1988: Coupes géologiques des Alpes occidentales suisses. Mém. Géologie (Lausanne), n° 2.

FINCKH, P. & FREY, W. 1991: Seismic reflection profiling in the Swiss Rhone valley. Part 1: Seismic reflection field work, seismic processing and seismic results of the Roche-Vouvry and Turtmann and Agarn lines. Eclogae geol. Helv. 84/2, 345– 357.

FINCKH, P. & KLINGELE, E. 1991: Seismic reflection profiling in the Swiss Rhone valley. Part 2: Gravimetric and geological interpretation of the Roche-Vouvry line. Eclogae geol. Helv. 84/2, 359 – 368.

FINGER, W. & WEIDMANN, M. 1988: Quelques données géologiques nouvelles sur la Vallée du Rhône entre Sierre et le Léman. Bull. Géol. Univ. Lausanne, n° 296.

GASS, S. 2000: Étude d'un paléocours du Rhône entre Le Châtel et Bex, par la sismique réflexion haute résolution et autres méthodes géophysiques. Diplôme de géophysique, Institut de Géophysique, Univ. de Lausanne (inédit).

GEOEXPERT, 1991: Commune de Bex: cartographie sismique pour la recherche d'acquifers. (inédit).

GEX, P. 1990: Étude par la méthode audio-magnétotellurique de la basse vallée du Rhône. Bull. Assoc. Suisse Géol. Ing. Pétrole 55, 129, 51–64.

GONET, O. P. 1965: Étude gravimétrique de la plaine du Rhône (Région St-Maurice – Lac Léman). Matér. Géol. Suisse, Sér. Géophys. n° 6, 50 p.

JEANNET, A. 1912–1913–1918: Monographie géologique des Tours d'Aï et des régions avoisinantes, Mat. Carte géol. Suisse (NS) 34.

HAMMER, S. 1939: Terrain corrections for gravimeter stations, Geophysics 4, 184–194.

HARKNESS, W. 1891: Solar Parallax and its Related Constants, including the figure and density of the earth, Washington, Government Printing Office.

HUBBERT, M.K. 1948: A line integral method of computing gravimetric effects of two-dimensional masses. Geophysics 13, 215–25.

KISSLING, E. & SCHWENDENER, H. 1990: The quaternary sedimentary fill of some Alpine valleys by gravity modelling. Eclogae geol. Helv. 83/2, 311 – 321.

KLINGELE, E. & DUMONT, B. (à paraître): Le CD de la «Base de Données Géophysiques» de la Commission Géophysique Suisse, Matér. Géol. Suisse, Sér. Géophys., CD.

KLINGELE, E. & OLIVIER, R. 1980: La nouvelle carte gravimétrique de la Suisse (Anomalies de Bouguer). Matér. Géol. Suisse, Sér. Géophys. n° 20, 93 p.

LCT, 1996: 2Mod User's manual, version 3.5. Houston, Texas.

LUGEON, M. & GAGNEBIN, E. 1941: Observations et vues nouvelles sur la géologie des Préalpes romandes, Mém. Soc. Vaud. Sci. Nat. 47, 7/1, 1–90.

MNT25: Modèle numérique de terrain de la Suisse et environs, Office Fédérale Topographique Suisse. Autorisation BA 4780.

MARCHANT, R. & BESSON, O. 1986: Étude gravimétrique des collines de Chiètres. Diplôme de géophysique, Institut de Géophysique, Univ. de Lausanne (inédit).

MONIN, G. 1999: Étude sismique de la région Lavey-Le Châtel (VD, Suisse). Diplôme de géophysique, Institut de Géophysique, Univ. de Lausanne (inédit).

OLIVIER, R. 1974: Élaboration d'un système de traitement gravimétrique géré par l'ordinateur. Étude gravimétrique du plateau romand de Versoix (GE) à Concise (VD), Matér. Géol. Suisse, Sér. Géophys. n° 17, 45 p.

OLIVIER, R. 1983: L'Atlas Gravimétrique du Plateau suisse, partie Ouest. Bull. Inst. Géophys. Univ. Lausanne, 5, 49 p.

OLIVIER, R. 1988: Étude gravimétrique Collonges-Evionnaz-St-Maurice. Rapport pour le programme GEOTHERMOVAL, (inédit).

OLIVIER, R., KLINGELÉ, E., et DUMONT, B. 2002: Atlas gravimétrique au 1/100'000 de la Suisse ou 22 cartes des Anomalies de Bouguer, Commission Suisse de Géophysique, Matér. Géol. Suisse, Série Géophysique, n° 37, (sous presse).

PARRIAUX, A. 1994: Propriétés des terrains meubles, Cours de Géologie appliquée à l'ingéniérie et à l'environnement, EPFL.

PEDERSEN, L.B. 1979: Constrained inversion of potential field data, Geophysical Prospecting, 27, 726–748.

PLOUFF, D. 1976: Gravity and magnetic fields of polygonal prisms and application to magnetic terrain corrections, Geophysics 41, 727–741.

PLOUFF, D. 1966: Digital terrain correction based on geographic coordinates. Paper presented at the 36th Meeting of the Society of Exploration Geophysicists.

PUGIN, A. 1988: Carte des isohypses de la base des sédiments quaternaires en Suisse Occidentale, avec quelques commentaires. Rapp. Géol. Serv. Hydrol. Géol. Nat. 3.

PUGIN, A., MARCHANT, R., BESSON, O. and STAMPFLI, G. 1997: Seismic modelling of the lines Martigny and Vetroz. In Deep structure of the Swiss Alps – In: Results from the NRP 20 (Ed. by PFIFFNER O. A., LEHNER P., HEITZMAN P. Z., MUELLER S., & STECK A.). Birkhäuser AG., Basel, pp. 271–276.

RASMUSSEN, R. & PEDERSEN, L.B. 1979: End corrections in Potential field Modelling, Geophysical Prospecting, 27, 749–760.

ROSSELLI, A., OLIVIER, R., DUMONT, B. et LOGEAN, PH. 1999: Les anomalies gravifiques de la Vallées du Rhône entre Villeneuve et Brig. Matér. Géol. Suisse, Sér. Géophys. 34.

ROSSELLI, A., OLIVIER, R. and VERONESE, L. 2000: Gravimetry Applied to the Hydrogeological Research in Large Alpine Valleys in Trentino Region. Studi Trentini di Scienze Naturali – Acta Geologica, 75, 53–64.

SPICHER, A. 1972: Carte Tectonique de la Suisse (échelle 1:500'000), Commission Géologique Suisse.

SPICHER, A. 1980: Carte Géologique de la Suisse (échelle 1:500'000), Commission Géologique Suisse.

STECK, A., EPARD, J.-L., ESCHER, A., GOUFFON, Y. et MASSON, H. 2000: Carte tectoniques des Alpes de Suisse occidentale (1:100'000). Carte géologique spéciale N°123, notice explicative. Office féd. Eaux Géol. Berne.

TALWANI, M. & LANDISMAN, M. 1959: Rapid gravity computation of two-dimensional bodies with application to the Mendocino submarine fracture zone, J. Geophys. Res. 64, 1, 49–59.

TALWANI, M. & EWING, M. 1960: Rapid computation of gravitational attraction of three-dimensional bodies of any shape, Geophysics 25, 203–225.

VERNET, J.-P., HORN, R., BADOUX, H. & SCOLARI, G. 1974: Etude structurale du Léman par sismique réflexion continue. Eclog. Geol. Helv. 67, 515–529.

WAGNER, J.-J. 1970: Élaboration d'une carte d'Anomalie de Bouguer. Etude de la vallée du Rhône de St-Maurice à Saxon (Suisse). Matér. Géol. Suisse, Sér. Géophys. n° 9, 91 p.

WAGNER, J.-J., GONG, G., SARTORI, M. & JORDI, St., in coll. with ROSSET, Ph., 1999: A catalogue of physical properties of rocks from Swiss Alps and nearby areas. Matér. Géol. Suisse, Sér. Géophys n° 32, 80 p.

Manuscrit reçu le 30 mai 2002
Révision acceptée le 15 avril 2003