

BOUGUER GRAVITY ANOMALY MAP OF CANADA

Descriptive Notes
 by
 A.K. Godacre, R.A.F. Griève, and J.F. Halpenny

INTRODUCTION

The regional mapping of the gravity field over Canada, started in the late 1940s, is now largely completed at a station spacing of 6 to 13 km, except for the mountainous areas in northern British Columbia, the Yukon Territory and parts of Ellesmere Island. The gravity data provide a useful source of information for studies of large-scale geological structures. Traditionally, gravity data in Canada have been presented in the form of contour maps at various scales but chiefly at scales of 1:500 000, 1:1 000 000 or 1:5 000 000. This Bouguer gravity map departs from this tradition in that it has been prepared at a scale of 1:10 000 000, which is a convenient desktop size and, more importantly, does not involve the process of contouring. Instead, a particular colour was assigned to each grid cell depending upon the average gravity value at the corresponding geographical location. The result is a map that depicts the gravitational features in much greater detail than conventional contour maps.
 Gravity data on land are generally presented in the form of Bouguer anomalies, as this is the most useful reduction to use when studying geological structures in regions several tens of kilometres or a few hundred kilometres in size. Because of the regional isostatic compensation, however, the general level of the Bouguer anomaly in a particular region tends to be strongly dependent on the average elevation of the region. Thus, it may be difficult to compare anomalies in regions of different elevations. To minimize this effect and allow easier comparison of gravity signatures in different regions it is necessary to apply further processing to the gravity data. One method is to apply an isostatic correction to the Bouguer anomaly field to produce an isostatic anomaly map (Godacre et al., 1987a). A second technique is to calculate the maximum value of the horizontal gradient of the Bouguer anomaly at every point (grid cell) on the Bouguer anomaly map to produce a horizontal gradient map (Godacre et al., 1987b).
 The gravity data used in the preparation of this colour gravity map of Canada consist of approximately 500 000 point gravity values publicly available from the National Gravity Data Base as of June, 1986. The gravity readings are referenced to the International Gravity Standardization Net 1971 (Morelli, 1974). The National Gravity Data Base also contains the elevation of each point of observation and, where applicable, the water depth. These elevations and water depths are needed to reduce the gravity data to sea level in the process of calculating free air, Bouguer and isostatic gravity anomalies. Theoretical gravity values, also needed in the calculation of gravity anomalies, are obtained using the Geodetic Reference System 1967 (International Association of Geodesy, 1971).
 The map utilizes a Lambert conformal projection with standard parallels at 49° and 77° north and the central meridian at 92° West. The geographic base is derived from that described by Haines and Newitt (1986). The gravity data were gridded at a 5 km interval. All gravity values contained in a particular cell (5 by 5 km) are averaged to obtain a representative value for that cell. To bridge gaps in the data grid, a search is made from each filled cell out to a distance of 40 km. If other cells with representative gravity values are found, a linear or quadratic interpolation scheme is used. Otherwise, empty regions spanning more than about 40 km are left uncoloured.
THE BOUGUER ANOMALY MAP
 The value of gravity at a particular point on the Earth's surface depends, among other things, on the elevation of the observation point. It is customary to reduce observed gravity readings (Godacre et al., 1987b) to a common elevation datum, usually sea level. This is done by applying the free air correction. For small departures from sea level, this correction is proportional to the elevation of the station above or below sea level. The difference between this corrected gravity reading and a theoretical gravity value calculated at the surface of a homogeneous, rotating spheroidal body is termed a free air anomaly. For surface gravity observations, the free air anomaly, $\Delta g_{\text{free air}}$, is given by:

$$\Delta g_{\text{free air}} = g(\text{observed}) - g(\text{theoretical}),$$
 where gravity values are expressed in milligals (mGal) and the elevation, h , is in metres.
 The free air anomalies are depicted in Map 2 of the Canadian Geophysical Atlas (Godacre et al., 1987c).
 The Bouguer correction takes into account the gravitational attraction of the mass between the point of observation and sea level, assuming this mass to be in the form of an infinite horizontal slab. As such, the correction is proportional to the elevation of the observation point. Over water-covered areas the water is replaced, mathematically, by rock of density 2670 kg/m³. The Bouguer anomaly map reflects lateral density variations below sea level and the gravity field that would be measured if all the rock on land was scraped down to sea level; the water in the oceans was replaced with rock and gravity meter is read on the resulting smooth surface.
 The Bouguer anomaly in milligals is given by:

$$\Delta g(\text{Bouguer}) = \Delta g(\text{free air}) + 0.419(d - h) - 0.419(d + h)$$
 where h is the elevation of the station in metres, d is the water depth in metres, ρ_w is the density of rock (2670 kg/m³), and ρ_w is the density of water (1000 kg/m³ fresh water; 1030 kg/m³ salt water).
 The Bouguer anomalies for Canada vary in magnitude from about -150 mGal (purple) in the Cordillera in British Columbia to about +250 mGal (grey-green) in the Labrador Sea. In general, the variation in the regional level of the Bouguer anomalies is caused by changes in crustal thickness ranging from about 10 to 15 km beneath the ocean to 30 to 45 km beneath the continent. However, beneath the Cordillera, where the crust is only about 30 to 35 km thick, the negative Bouguer anomaly is due primarily to relatively low-density upper mantle material (Godacre, 1972). The general inverse correlation between Bouguer anomaly and topographic elevation throughout Canada demonstrates that the major topographical features are in isostatic equilibrium.
 Other major features in the Bouguer map are the arcuate belts of positive anomaly, flanked by negative anomaly belts, which trend northwesterly past Lake Winnipeg along the southern and eastern margins of Hudson Bay and hence through northern Québec thereby delineating the boundary between the Churchill and Superior geotectonic provinces. These and other structural boundary anomalies have been of considerable use in unravelling the structure and history of the Canadian Shield (Gibb et al., 1983).
 Most of the localized anomaly features seen in the map, such as the intense (+100 mGal), circular positive anomaly south of Darley Bay (69°N, 124°W) on Amundsen Gulf (Stacey, 1971), are due to lithological variations in the upper portion of the crust, and where basement rocks are exposed, there is usually a good correlation between rock density, and hence rock type, and Bouguer anomaly.
REFERENCES
 Gibb, R.A., Thomas, M.D., Lapointe, P.L., and Mukhopadhyay, M.
 1983: Geophysics of proposed Proterozoic sutures in Canada; Precambrian Research, v. 19, p. 349-384.
 Godacre, A.K.
 1972: Generalized structure of the deep crust and upper mantle in Canada; Journal of Geophysical Research, v. 77, p. 3146-3161.
 Godacre, A.K., Griève, R.A.F., and Halpenny, J.F. (comp.)
 1987a: Isostatic gravity anomaly map of Canada; Geological Survey of Canada, Canadian Geophysical Atlas, Map 4, scale 1:10 000 000.
 1987b: Observed gravity values of Canada; Geological Survey of Canada, Canadian Geophysical Atlas, Map 1, scale 1:10 000 000.
 1987c: Free air gravity anomaly map of Canada; Geological Survey of Canada, Canadian Geophysical Atlas, Map 2, scale 1:10 000 000.
 Godacre, A.K., Griève, R.A.F., and Halpenny, J.F., and Sharplov, V.L. (comp.)
 1987d: Horizontal gradient of the Bouguer gravity anomaly map of Canada; Geological Survey of Canada, Canadian Geophysical Atlas, Map 5, scale 1:10 000 000.
 Haines, G.V., and Newitt, L.R.
 1986: Canadian Geomagnetic Reference Field 1985; Journal of Geomagnetism and Geoelectricity, v. 38, p. 895-921.
 International Association of Geodesy
 1971: Geodetic Reference System 1967; Bulletin Géodésique, Special Publication, International Association of Geodesy, Paris.
 Morelli, C. (comp.)
 1974: The International Gravity Standardization Net 1971; International Association of Geodesy, Special Publication No. 4, Paris.
 Stacey, R.A.
 1971: Interpretation of the gravity anomaly at Darley Bay N.W.T.; Canadian Journal of Earth Sciences, v. 8, p. 1037-1042.

CARTE DES ANOMALIES GRAVIMÉTRIQUES DE BOUGUER DU CANADA

Notes Descriptives
 par
 A.K. Godacre, R.A.F. Griève, et J.F. Halpenny

INTRODUCTION

L'élaboration des cartes régionales du champ gravimétrique du Canada, entreprise à la fin des années 40, est maintenant en grande partie terminée, une distance de 6 à 13 km séparant les stations, sauf pour les régions montagneuses du nord de la Colombie-Britannique, le Yukon et certaines régions de l'île d'Ellesmere. Les données gravimétriques fournissent une source de renseignements utiles à l'étude des structures géologiques à grande échelle. Au Canada, les données gravimétriques ont toujours été présentées sous forme de cartes en courbes de niveau établies à diverses échelles, habituellement de 1:500 000, 1:1 000 000 ou 1:5 000 000. Toutefois, la présente carte des anomalies gravimétriques de Bouguer diffère en ce qu'elle adopte une échelle de 1:10 000 000, d'où s'ensuivent de plus pratiques, et n'emploie pas les courbes de niveau. Elle attribue plutôt à chaque cellule de la grille une couleur en fonction de la valeur gravimétrique au centre du lieu géographique correspondant. Les structures gravimétriques sont ainsi illustrées avec beaucoup plus de précision que sur les cartes en courbes de niveau classiques.
 Les données gravimétriques continentales sont généralement présentées sous forme d'anomalies de Bouguer, soit la forme de réduction la plus utile lorsqu'il s'agit d'étudier les structures géologiques de régions couvrant plusieurs centaines, voire quelques centaines de kilomètres. Toutefois, étant donné la compensation isostatique régionale, le niveau général de l'anomalie de Bouguer dans une région donnée tend à dépendre de l'altitude moyenne de la région, phénomène qui risque de rendre difficile la comparaison des anomalies entre régions d'élevation différente. Afin de minimiser cet effet et de faciliter la comparaison des signatures gravimétriques entre des régions données, il convient de procéder à un traitement plus poussé des données gravimétriques recueillies. Une méthode consiste à appliquer le facteur de correction isostatique au champ d'anomalies de Bouguer, de façon à créer la carte des anomalies isostatiques (Godacre et coll., 1987a). Une autre méthode a recours au calcul, pour tous les points (cellules de la grille) illustrés sur la carte des anomalies de Bouguer, du gradient horizontal maximum correspondant à l'altitude d'obtenir une carte du gradient horizontal (Godacre et coll., 1987b).
 Cette carte gravimétrique en couleurs du Canada est élaborée à partir d'environnement 500 000 données contenues dans la Base nationale de données gravimétriques mise à la disposition du public en juin 1986. Les mesures gravimétriques sont basées sur le Réseau de normalisation international de la gravité de 1971 (Morelli et coll., 1974). La Base nationale de données gravimétriques contient des données sur l'élévation des points d'observation et, le cas échéant, sur la profondeur de l'eau. Ces données permettent de faire correspondre les valeurs gravimétriques au niveau de la mer et, par conséquent, de procéder au calcul des anomalies gravimétriques à l'air libre, de Bouguer, et isostatiques. Les valeurs gravimétriques théoriques, également nécessaires au calcul des anomalies gravimétriques, s'obtiennent en utilisant le système géodésique de référence 1967 (Association internationale de géodésie, 1971).
 La carte emploie la projection conforme de Lambert avec des parallèles standard à 49° et 77° N et un méridien central à 92° O. La base géographique est dérivée de celle décrite par Haines et Newitt (1986). Les données gravimétriques ont été reportées sur une grille à 5 km d'intervalle. La moyenne des valeurs gravimétriques contenues dans une cellule donnée (5 x 5 km) a ensuite été calculée afin d'obtenir une valeur représentative de la cellule. Dans le cas de cellules vides, c'est-à-dire ne contenant aucune station, une recherche est effectuée dans un rayon de 40 km. Si des cellules comportant une valeur gravimétrique significative sont rencontrées, les cellules vides intermédiaires sont ensuite remplies par interpolation linéaire ou quadratique. Sinon, les cellules vides sont laissées en blanc.
LA CARTE DES ANOMALIES DE BOUGUER
 La valeur gravimétrique à un point donné de la surface terrestre dépend, entre autres, de l'élévation du point d'observation. Les données gravimétriques observées sont réduites au niveau de la mer, calcul réalisé à l'aide de la correction à l'air libre, où, pour les écarts minimes par rapport au niveau de la mer, est proportionnelle à l'élévation de la station au-dessus ou au-dessous du niveau de la mer. On appelle « anomalie à l'air libre » la différence entre la valeur gravimétrique corrigée et une valeur gravimétrique théorique calculée à la surface d'une masse sphéroïdale homogène et en rotation. Pour les observations gravimétriques de surface, l'anomalie à l'air libre se calcule comme suit:

$$\Delta g_{\text{air libre}} = g(\text{observé}) - g(\text{théorique})$$
 ou les valeurs gravimétriques sont exprimées en milligals (mGal) et l'élévation, h , est en mètres.
 Les anomalies à l'air libre sont représentées sur la carte 2 de l'Atlas géophysique du Canada (Godacre et coll., 1987c).
 La correction de Bouguer tient compte de l'attraction gravitationnelle de la masse entre le point d'observation et le niveau de la mer, cette masse étant supposée se présenter sous forme de plaque horizontale infinie. Il en découle donc que la correction est proportionnelle à l'élévation de la station. Dans le cas de régions couvrant de vastes zones d'eau, cette dernière est remplacée, mathématiquement, par du roc dont la densité est calculée à 2670 kg/m³. La carte des anomalies de Bouguer illustre des variations latérales de densité sous le niveau de la mer, et montre comment un gravimètre enregistré le champ gravimétrique que se manifesterait au niveau de la mer si le roc au-dessus du niveau de la mer était enlevé et l'eau des océans était drainée et remplacée par du roc.
 L'anomalie de Bouguer, exprimée en milligals, se calcule comme suite:

$$\Delta g(\text{Bouguer}) = \Delta g_{\text{air libre}} + 0,419(d - h) - 0,419(d + h)$$
 où « + » représente l'élévation de la station, en mètres, « d » représente la profondeur de l'eau, en mètres, « ρ_w » représente la densité du roc (2670 kg/m³), et « ρ_w » représente la densité de l'eau (eau fraîche: 1000 kg/m³; eau salée: 1030 kg/m³).
 L'anomalie de Bouguer varie habituellement entre -150 mGal (violet) en mer dans les fjords de la Colombie-Britannique et 250 mGal (gris-vert) dans la mer du Labrador. En général, les variations régionales liées à l'anomalie de Bouguer sont attribuables aux variations de l'épaisseur de la croûte, qui atteint de 10 à 15 km sous les océans, et de 30 à 45 km sous les continents. Par contre, sous la Cordillère, où la croûte a seulement de 30 à 35 km d'épaisseur, l'anomalie négative de Bouguer est principalement due à la densité relativement faible de la matière qui compose le manteau supérieur (Godacre, 1972). La corrélation inverse générale entre l'anomalie de Bouguer et l'élévation topographique à travers le Canada témoigne du fait que les éléments topographiques d'importance sont à peu près en équilibre isostatique.
 La carte de Bouguer met en évidence d'autres éléments importants: les zones arciformes d'anomalie positive flanquées de zones d'anomalie négative, qui s'étendent vers le nord-est au-delà du lac Winnipeg, longent la côte sud et la côte est de la baie d'Hudson, traversent ensuite le nord du Québec et délimitent ainsi les provinces géotectoniques de Churchill et du lac Supérieur. Ces anomalies correspondent aux limites structurales, et d'autres, ont été très utiles dans l'établissement de la structure et de l'évolution du Bouguer canadien (Gibb et coll., 1983).
 La plupart des anomalies visibles sur la carte, comme par exemple l'anomalie positive (100 mGal) très intense et de forme circulaire observée au sud de la baie de Darley (64°N, 124°O), dans le golfe d'Amundsen (Stacey, 1971), résultent en grande partie des variations lithologiques survenant dans la partie supérieure de la croûte; en outre, dans les régions où les roches du socle affleurent, il existe généralement une bonne corrélation entre la densité, et donc la composition des roches, et l'anomalie de Bouguer.

REFERENCES

Gibb, R.A., Thomas, M.D., Lapointe, P.L., and Mukhopadhyay, M.
 1983: Geophysics of proposed Proterozoic sutures in Canada; Precambrian Research, v. 19, p. 349-384.
 Godacre, A.K.
 1972: Generalized structure of the deep crust and upper mantle in Canada; Journal of Geophysical Research, v. 77, p. 3146-3161.
 Godacre, A.K., Griève, R.A.F., and Halpenny, J.F. (comp.)
 1987a: Isostatic gravity anomaly map of Canada; Geological Survey of Canada, Canadian Geophysical Atlas, Map 4, scale 1:10 000 000.
 1987b: Observed gravity values of Canada; Geological Survey of Canada, Canadian Geophysical Atlas, Map 1, scale 1:10 000 000.
 1987c: Free air gravity anomaly map of Canada; Geological Survey of Canada, Canadian Geophysical Atlas, Map 2, scale 1:10 000 000.
 Godacre, A.K., Griève, R.A.F., and Halpenny, J.F., and Sharplov, V.L. (comp.)
 1987d: Horizontal gradient of the Bouguer gravity anomaly map of Canada; Geological Survey of Canada, Canadian Geophysical Atlas, Map 5, scale 1:10 000 000.
 Haines, G.V., and Newitt, L.R.
 1986: Canadian Geomagnetic Reference Field 1985; Journal of Geomagnetism and Geoelectricity, v. 38, p. 895-921.
 International Association of Geodesy
 1971: Geodetic Reference System 1967; Bulletin Géodésique, Special Publication, International Association of Geodesy, Paris.
 Morelli, C. (comp.)
 1974: The International Gravity Standardization Net 1971; International Association of Geodesy, Special Publication No. 4, Paris.
 Stacey, R.A.
 1971: Interpretation of the gravity anomaly at Darley Bay N.W.T.; Canadian Journal of Earth Sciences, v. 8, p. 1037-1042.

Notation bibliographique conseillée:

A.K. Godacre, R.A.F. Griève et J.F. Halpenny
 1987: Carte des anomalies gravimétriques de Bouguer du Canada
 Geological Survey of Canada
 Atlas géophysique du Canada, Carte 3, échelle 1:10 000 000

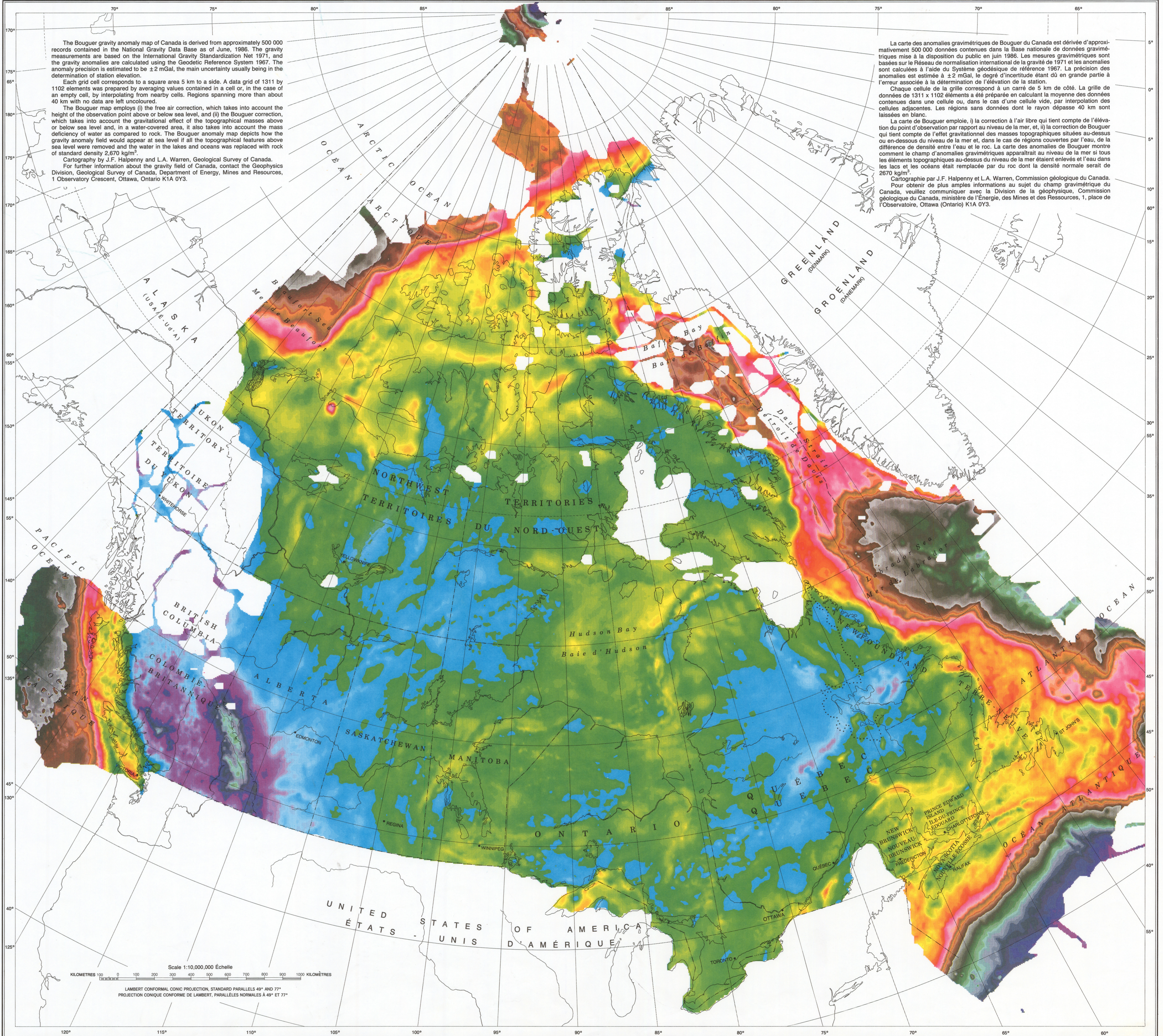
Notation bibliographique conseillée:

A.K. Godacre, R.A.F. Griève et J.F. Halpenny
 1987: Carte des anomalies gravimétriques de Bouguer du Canada
 Geological Survey of Canada
 Atlas géophysique du Canada, Carte 3, échelle 1:10 000 000

Recommended citation:

A.K. Godacre, R.A.F. Griève and J.F. Halpenny
 1987: Bouguer Gravity Anomaly Map of Canada
 Geological Survey of Canada
 Canadian Geophysical Atlas, Map 3, scale 1:10 000 000

CANADIAN GEOPHYSICAL ATLAS - MAP 3



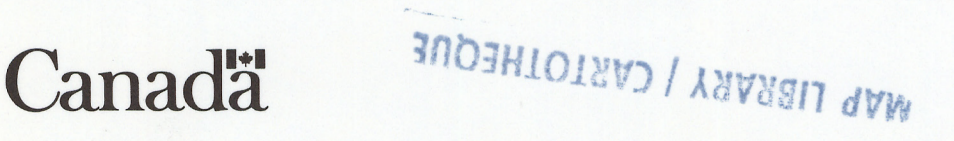
The Bouguer gravity anomaly map of Canada is derived from approximately 500 000 records contained in the National Gravity Data Base as of June, 1986. The gravity measurements are based on the International Gravity Standardization Net 1971, and the gravity anomalies are calculated using the Geodetic Reference System 1967. The anomaly precision is estimated to be ± 2 mGal, the main uncertainty usually being in the determination of station elevation.
 Each grid cell corresponds to a square area 5 km to a side. A data grid of 1311 by 1102 elements was prepared by averaging values contained in a cell or, in the case of an empty cell, by interpolating from nearby cells. Regions spanning more than about 40 km with no data are left uncoloured.
 The Bouguer map employs (i) the free air correction, which takes into account the height of the observation point above or below sea level, and (ii) the Bouguer correction, which takes into account the gravitational effect of the topographical masses above or below sea level and, in a water-covered area, it also takes into account the mass deficiency of water as compared to rock. The Bouguer anomaly map depicts how the gravity anomaly field would appear at sea level if all the topographical features above sea level were removed and the water in the lakes and oceans was replaced with rock of standard density 2,670 kg/m³.
 Cartography by J.F. Halpenny and L.A. Warren, Geological Survey of Canada.
 For further information about the gravity field of Canada, contact the Geophysics Division, Geological Survey of Canada, Department of Energy, Mines and Resources, 1 Observatory Crescent, Ottawa, Ontario K1A 0Y3.

La carte des anomalies gravimétriques de Bouguer du Canada est dérivée d'environnement 500 000 données contenues dans la Base nationale de données gravimétriques mise à la disposition du public en juin 1986. Les mesures gravimétriques sont basées sur le Réseau de normalisation international de la gravité de 1971 et les anomalies sont calculées à l'aide du Système géodésique de référence 1967. La précision des anomalies est estimée à ± 2 mGal, le degré d'incertitude étant dû en grande partie à l'erreur associée à la détermination de l'élévation de la station.
 Chaque cellule de la grille correspond à un carré de 5 km de côté. La grille de données de 1311 x 1102 éléments a été préparée en calculant la moyenne des données contenues dans une cellule ou, dans le cas d'une cellule vide, par interpolation des cellules adjacentes. Les régions sans données dont le rayon dépasse 40 km sont laissées en blanc.
 La carte de Bouguer emploie, i) la correction à l'air libre qui tient compte de l'élévation du point d'observation par rapport au niveau de la mer, et, ii) la correction de Bouguer qui tient compte de l'effet gravitationnel des masses topographiques situées au-dessus ou en-dessous du niveau de la mer, et, dans le cas de régions couvertes par l'eau, de la différence de densité entre l'eau et le roc. La carte des anomalies de Bouguer montre comment le champ d'anomalies gravimétriques apparaîtrait au niveau de la mer si tous les éléments topographiques au-dessus du niveau de la mer étaient enlevés et l'eau dans les lacs et les océans était remplacée par du roc dont la densité normale serait de 2670 kg/m³.
 Cartographie par J.F. Halpenny et L.A. Warren, Commission géologique du Canada.
 Pour obtenir de plus amples informations au sujet du champ gravimétrique du Canada, veuillez communiquer avec la Division de la géophysique, Commission géologique du Canada, ministère de l'Énergie, des Mines et des Ressources, 1, place de l'Observatoire, Ottawa (Ontario) K1A 0Y3.

Copies of this map may be obtained from the Geological Survey of Canada:
 601 Booth Street, Ottawa, Ontario K1A 0E8
 3903-33rd Street, N.W., Calgary, Alberta T2L 2A7
 Compiled by Geophysical Data Centre, Geological Survey of Canada
 Published 1987. Printed by the Survey and Mapping Branch

On peut obtenir des exemplaires de cette carte en s'adressant à la Commission géologique du Canada aux adresses suivantes:
 601 rue Booth, Ottawa, Ontario K1A 0E8
 3903-33ème rue, N.O., Calgary, Alberta T2L 2A7
 Complète par le Centre des données géophysiques, Commission géologique du Canada
 Imprimé par la Direction des levés et de la cartographie. Publié en 1987

CANADIAN GEOPHYSICAL ATLAS - MAP 3
 BOUGUER GRAVITY ANOMALY MAP OF CANADA
 ATLAS GÉOPHYSIQUE DU CANADA - CARTE 3
 CARTES DES ANOMALIES GRAVIMÉTRIQUES DE BOUGUER DU CANADA
 GSC/CEC OTTAWA
 006 01991884



This document was produced by scanning the original publication.
 Ce document est le produit d'une numérisation par balayage de la publication originale.

Canadian geophysical atlas