

JACQUES SCHOEFFLER

GRAVIMÉTRIE APPLIQUÉE

aux recherches structurales
et à la prospection
pétrolière et minière



4556

ÉDITIONS TECHNIP

JACQUES SCHOEFFLER

Ingénieur civil des Mines
Docteur ès sciences
Licencié en droit

Préface de

JEAN GOGUEL

Ingénieur Général des Mines
Vice-Président du Bureau
de Recherches Géologiques
et Minières

4556
G2 39

GRAVIMÉTRIE APPLIQUÉE

aux recherches structurales
et à la prospection
pétrolière et minière



4556

1975

ÉDITIONS TECHNIP 27, RUE GINOUX 75737 PARIS CEDEX 15

technip

TABLE DES MATIÈRES

Préface	V
Avant-propos	VII

CHAPITRE PRELIMINAIRE

INTRODUCTION GENERALE

P.1. CONSTITUTION DU GLOBE TERRESTRE	2
P.2. RAPPEL DISCRET DE NOTIONS PORTANT SUR LA THEORIE DU POTENTIEL	4
P.3. CINEMATIQUE - ACCELERATION DE CORIOLIS	10
BIBLIOGRAPHIE	10

CHAPITRE I

LE PROFOND MYSTERE DE LA GRAVITE

I.1. INTRODUCTION	13
I.2. HISTORIQUE	14
I.2.1. Les anciens	14

I.2.2. Kepler-Galilée	15
I.2.3. Newton-Einstein	15
I.2.4. Le XVIII ^e siècle	17
I.2.5. Le XIX ^e siècle	17
I.2.6. Le XX ^e siècle	18
I.2.7. Le gravimètre	19
I.3. LE GAL - LA CONSTANTE K	19
I.3.1. Le gal	19
I.3.2. La constante K	20
I.4. L'ATTRACTION LUNISOLAIRE	21
I.5. TECHNIQUE MODERNE ET INDUSTRIELLE DE MESURE DE LA GRAVITE	23
I.6. NOTIONS DE GEODESIE. LE GEOÏDE. LA PESANTEUR VULGAIRE ..	24
I.6.1. Le rayon de la Terre	24
I.6.2. Le géoïde	25
I.6.3. La pesanteur vulgaire	27
I.7. DENSITE DE LA TERRE	28
I.8. ATTRACTION GRAVITATIONNELLE ET RELATIVITE	28

I.9. TROUS NOIRS	30
I.10. CONCLUSION	30
BIBLIOGRAPHIE	31

CHAPITRE II

L' APPAREILLAGE

II.1. LES GRAVIMETRIES TERRESTRES	33
II.1.1. Principe	34
II.1.2. Gravimètre Lacoste (1934)	35
II.1.3. Gravimètre Worden	36
II.1.4. Dérive	38
II.1.5. Sensibilité	39
II.2. LES PREMIERES MESURES DE g EN MER	40
II.2.1. Les gravimètres marins ou aériens	40
II.2.2. Corrections liées au mode de transport	41
II.2.3. Conclusions	44
BIBLIOGRAPHIE	44

CHAPITRE III

LA MISE EN OEUVRE

III.1. PRINCIPE	47
III.2. LA MESURE AU GRAVIMÈTRE	47
III.2.1. L'étalonnage	49
III.2.2. Le calcul de la dérive	50
III.3. ETABLISSEMENT DU RESEAU DE BASES	51
III.3.1. Liaison de base	51
III.3.2. Maille	52
III.3.3. Réseau de mailles	53
A. Première remarque	53
B. Deuxième remarque	53
III.4. EVALUATION DE LA PRECISION DE LA MESURE	55
III.5. MESURES TOPOGRAPHIQUES	55
III.6. LA VALEUR FONDAMENTALE	55
III.7. L'EQUIPE SUR LE TERRAIN	56

III.7.1. Composition de l'équipe	56
III.7.2. Méthodes de travail	57
BIBLIOGRAPHIE	60

CHAPITRE IV

LES CORRECTIONS

IV.1. ANOMALIE DE BOUGUER	62
IV.1.1. Correction de Faye (air libre)	62
IV.1.2. Correction de Bouguer ou de tranche plate	64
IV.1.3. Correction de relief (R)	67
A. Tables de Hammer	69
B. Principe de calcul des tables de correction (Hammer)	71
C. Tables de Bible et de Douglas et Prahel	72
D. Corrections à grande distance	74
IV.1.4. Correction de latitude	77
IV.1.5. Correction lunisolaire	80
A. Importance de la correction.....	81
IV.1.6. Conclusion	83
IV.1.7. Corrections mineures	84
IV.2. CORRECTIONS DANS LE CAS DE MESURES EN MER	85
BIBLIOGRAPHIE	87

CHAPITRE V

LES ERREURS D'APPRECIATION
DANS LA MESURE DE ρ

V.1. LES ERREURS INSTRUMENTALES	89
V.1.1. Rappel de quelques définitions	90
A. Indicateurs	90
B. Précision	92
C. Moindres carrés	92
V.1.2. Erreurs métrologiques	92
A. Mesures de nivellement et planimétrie	93
B. Erreurs sur les liaisons de bases	93
C. Erreurs de lecture du gravimètre	94
D. Correction d'altitude	95
V.1.3. Correction de latitude	95
V.2. ERREURS DE CORRECTION SUR LA BOUGUER PORTANT SUR L'APPRECIATION DU RELIEF ET DE LA DENSITE	95
V.2.1. Abaque de correction de tranche plate, d et z variables	96
V.2.2. Carte topographique en isobathes et Bouguer	99
V.2.3. Considérations sur la variodensité	99
A. Seuil de correction	99
B. Indice de variodensité	100
C. Exemple	101
V.3. ERREURS D'INTERPOLATION DUES A LA PRESENTATION DES MESURES	102
V.3.1. Densité des mesures	102
V.3.2. Tracé objectif ou subjectif de la Bouguer	102
BIBLIOGRAPHIE	103

CHAPITRE VI
L'INTERPRETATION

VI.1. SCHEMA DE L'INTERPRETATION	113
VI.1.1. Densité	113
VI.1.2. Séparation des anomalies	113
VI.1.3. Interprétation locale	113
VI.1.4. Interprétation générale	113
VI.2. ANALYSE DE LA BOUGUER	114
VI.3. NOMENCLATURE DES DIFFERENTES TECHNIQUES D'INTERPRETATION	115
VI.4. EXEMPLES	118
VI.4.1. Les batholites granitiques et les bassins sédimentaires	118
VI.4.2. Interprétation directe	121
A. Le front nord des Pyrénées occidentales	121
B. Anomalie de Clermont	123
VI.5. INTERPRETATION LIEE DE LA GRAVIMETRIE ET DU MAGNETISME	125
VI.6. CONCLUSION	125
BIBLIOGRAPHIE	126

CHAPITRE VII
LA DENSITE DES ROCHES

VII.1. COMPOSITION DES ROCHES	130
VII.2. COMMENT MESURE-T-ON LA DENSITE DES ROCHES ?	131
VII.2.1. Les mesures aux affleurements	131
VII.2.2. Mesures indirectes à l'aide d'un gravimètre .	132
VII.2.3. Voie analytique	132
VII.2.4. Méthode de profil de Nettleton	133
VII.2.5. Les Triplets	134
VII.2.6. Etalonnage sur les vitesses sismiques et les logs électriques	136
VII.3. DENSITE DES ROCHES MESUREE GRACE AUX FORAGES	137
VII.3.1. Carottes	137
VII.3.2. Cuttings	137
VII.3.3. Log gamma-gamma	139
VII.3.4. Gravimètre de sondage	140
VII.4. QUELQUES VALEURS DE LA DENSITE DES ROCHES	141
VII.5. QUELQUES EXEMPLES	142
BIBLIOGRAPHIE	143

CHAPITRE VIII

LE LISSAGE GRAPHIQUE
ET LA REGIONALE ANALYTIQUE

VIII.1. PROFONDEUR D'UNE ANOMALIE	145
VIII.1.1. Anomalie résiduelle	146
VIII.1.2. Ambiguïté de l'interprétation	146
VIII.2. LISSAGE GRAPHIQUE	147
VIII.2.1. Mise en oeuvre	148
VIII.2.2. Dawn n° 156 Pohly (1954)	150
VIII.2.3. Champ de South Houston (dôme de sel)	152
VIII.2.4. Anticlinal de Wellington (Colorado)	154
VIII.2.5. Anticlinal de Cole Creek (Wyoming) 1968 ...	156
VIII.2.6. Champ de Parentis (France)	157
VIII.3. ANOMALIE REGIONALE ANALYTIQUE	159
VIII.3.1. Méthode Baranov	159
VIII.3.2. Résiduelle analytique	161
VIII.3.3. La gravimétrie est la science du possible .	161
VIII.3.4. Exemple de résiduelle analytique	162
BIBLIOGRAPHIE	166

CHAPITRE IX

LES REGIONALES ISOSTATIQUES
L'ISOSTASIE

IX.1. PESANTEUR ET GLOBE TERRESTRE	169
IX.2. THEORIE DE L'ISOSTASIE	169
IX.2.1. Airy	171
IX.2.2. Pratt	171
IX.2.3. Courbe de fréquence altitudinaire	173
IX.2.4. Exemples	173
A. Le bassin d'Aquitaine, La Bouguer	174
IX.3. ANOMALIE ISOSTATIQUE	178
IX.3.1. Corrections isostatiques	179
IX.3.2. Effet indirect	179
IX.3.3. Exemple : le bassin d'Aquitaine	180
A. Anomalie résiduelle isostatique	180
B. Remarque	185
C. Conclusion	185
IX.3.4. Exemple : l'arc rifain et les chaînes bétiques.	186
IX.4. COMPARAISON DE LA REGIONALE ISOSTATIQUE ET DE LA REGIONALE GRAPHIQUE	190
IX.5. CONCLUSIONS	191
BIBLIOGRAPHIE	191

CHAPITRE X

LES RESIDUELLES DE GRILLE
ET LES DERIVEES

X.1. LES GRILLES	194
X.1.1. Méthode	194
X.1.2. Remarque	196
A. Exemples	197
B. Résiduelle de grille sur Bouguer et isobathes.	200
X.2. LES DERIVEES	200
X.2.1. La dérivée seconde de g	207
A. Dérivée seconde T.A. Elkins (1951)	208
B. Valeur moyenne de $\bar{g}(r)$	209
C. Valeur des coefficients	210
D. Exemples	211
E. Remarques	214
X.2.2. Dérivée seconde Pham Van Ngoc (1965)	218
X.2.3. La dérivée première de g	218
A. Gradient vertical normal	218
B. Dérivée première Baranov	219
X.2.4. Gradient horizontal de g (Thyssen Bornemisza) ...	222
X.2.5. Conclusion	223
BIBLIOGRAPHIE	225

CHAPITRE XI
STRIPPING
ET PROLONGATION DU CHAMP

XI.1. STRIPPING	229
XI.1.1. Exemple théorique	230
XI.1.2. Exemple pratique	232
XI.1.3. Exemple d'un échec	233
XI.2. PROLONGATION DU CHAMP	237
XI.2.1. Champ prolongé, appuyé sur des données en provenance d'autres techniques	240
A. Champ prolongé vers le haut	240
B. Champ prolongé vers le bas	241
BIBLIOGRAPHIE	241

CHAPITRE XII
ANALYSE SPECTRALE
DU CHAMP DE LA PESANTEUR

XII.1. LE RYTHME	244
XII.2. CORRELATION-CONVOLUTION	245
XII.3. SERIE DE FOURIER	246

XII.4. THEOREME DE LA CONVOLUTION	249
XII.5. LE SIGNAL GRAVIMETRIQUE	252
XII.6. L'ECHANTILLONNAGE	252
XII.7. ANALYSE SPECTRALE	253
XII.7.1. Généralités.....	254
XII.7.2. Remarque.....	254
XII.8. RESIDUELLES ET FILTRAGE LINEAIRE	254
XII.9. CONCLUSION	256
BIBLIOGRAPHIE	257

CHAPITRE XIII

ESTIMATION DE LA PROFONDEUR
D'UNE ANOMALIE

XIII.1. PROFONDEUR MAXIMALE DE L'EFFET D'UNE TRANCHE PLATE ..	259
XIII.2. DERIVEE SECONDE HORIZONTALE D'UNE SPHERE OU D'UN CYLINDRE	260
XIII.3. ESTIMATION DE LA PROFONDEUR D'UNE ANOMALIE	262
XIII.4. EFFET DU PAS	263

XIII.5. PROFONDEUR MAXIMALE D'UNE ANOMALIE	264
XIII.6. REGLES SIMPLES POUR APPRECIER LA PROFONDEUR D'UNE ANOMALIE	265
XIII.6.1. Anomalie oblongue	265
XIII.6.2. Structure cylindrique	265
XIII.6.3. Structures quelconques	266
XIII.6.4. Remarque	267
BIBLIOGRAPHIE	267

CHAPITRE XIV

LE PROBLEME DIRECT
COMPARAISON AVEC DES MODELES

XIV.1. HISTORIQUE	269
XIV.2. EXEMPLES D'EFFETS GRAVIMETRIQUES CALCULES	271
XIV.2.1. Deux cylindres	271
XIV.2.2. Faille	272
XIV.2.3. Anomalie d'une sphère d'un cylindre	273
XIV.2.4. Effet d'une couche mince horizontale	274
XIV.2.5. Objets structuraux de forme quelconque	275
A. Corps anormalique défini par des isobathes.	275
B. Autres méthodes techniques d'ombrage.....	277
XIV.3. ITERATION PAR CONVERSATIONNEL	278

TABLE DES MATIERES

XXV

XIV.4. TECHNIQUE D'OMBRAGE 278

BIBLIOGRAPHIE 279

ANNEXE 1

GRAVIMETRIE ET RECHERCHES MINIERES

Estimation de la masse responsable d'une anomalie..... 284

Bibliographie..... 286

ANNEXE 2

TRAVAUX PUBLICS MICROGRAVIMETRIE

Bibliographie..... 288