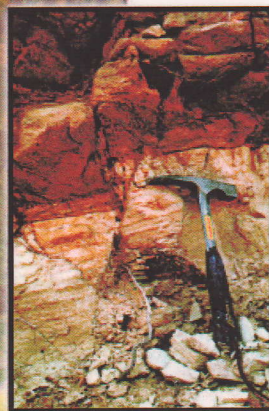


Physique de la Terre solide

Observations et Théories

Christophe LARROQUE

Jean VIRIEUX



Collection Géosciences

eo
ac
éditions des
archives
contemporaines

Table des matières

1 INTRODUCTION GÉNÉRALE	1
2 GRAVIMÉTRIE	7
2.1 LA FORCE D'ATTRACTION UNIVERSELLE	8
2.1.1 L'accélération gravitationnelle	9
2.1.2 Le calcul de la masse de la Terre	9
2.1.3 L'influence du mouvement de la Terre	10
2.2 LE CHAMP DE PESANTEUR TERRESTRE	12
2.2.1 L'effet de l'accélération centrifuge	12
2.2.2 Le champ de pesanteur	13
2.2.3 La forme de la Terre : le géoïde	14
2.3 DE LA MESURE DU CHAMP DE PESANTEUR À LA DÉTERMINATION DES ANOMALIES	17
2.3.1 Comment mesurer le champ de pesanteur ?	17
2.3.2 Les corrections et les anomalies gravimétriques	20
2.3.3 Les anomalies gravimétriques de petite étendue	23
2.3.4 Les anomalies gravimétriques de grande étendue : isostasie locale et régionale	24
2.4 LES GRANDES ZONES D'ANOMALIES GRAVIMÉTRIQUES	31
2.4.1 L'anomalie gravimétrique sur la Dorsale Atlantique	31
2.4.2 L'anomalie à l'air libre au-dessus d'une fosse océanique	33
2.4.3 L'anomalie de Bouguer sur la Chaîne Alpine	33
2.4.4 Un exemple d'utilisation géologique des données gravimétriques	35
2.5 LES MOUVEMENTS VERTICAUX DE LA SURFACE TERRESTRE	38
2.5.1 Le réajustement post-glaciaire de la Péninsule Finno-Scandinave	38
2.5.2 L'exhumation des roches de la croûte profonde	39
2.6 LE CHAMP DE PESANTEUR DE LA TERRE VU PAR SATELLITE	41
2.6.1 Le principe des mesures par satellite	41
2.6.2 La surface de la mer : une image des fonds marins	43
2.7 CONCLUSION	47

3 SISMOLOGIE	49
3.1 L'OBSERVATION DES FAILLES ACTIVES	52
3.1.1 L'observation géologique	52
3.1.2 L'observation sismologique	54
3.2 LA MÉCANIQUE DES MILIEUX CONTINUS	57
3.2.1 La notion de contrainte	57
3.2.2 La notion de déformation	58
3.2.3 La théorie de l'élasticité	59
3.2.4 La mécanique de la rupture	61
3.2.5 La mécanique vibratoire ou la mécanique des petites déformations	62
3.3 LA SOURCE SISMIQUE	64
3.3.1 Une description mécanique complexe	65
3.3.2 Un modèle descriptif simple	66
3.3.3 Le calcul du moment sismique du séisme de Nueva Ejica (Philippines, Juillet 1990)	68
3.3.4 L'énergie rayonnée par un séisme	69
3.4 LES ONDES SISMQUES	69
3.4.1 La mesure des caractéristiques des vibrations du sol	70
3.4.2 L'analyse d'un sismogramme	72
3.4.3 La vitesse de propagation des ondes sismiques	73
3.4.4 Le mouvement des particules	76
3.5 LA LOCALISATION ET L'AMPLEUR DES SÉISMES	76
3.5.1 Comment localiser un séisme?	78
3.5.2 L'intensité du mouvement du sol	80
3.5.3 L'échelle de magnitude	81
3.5.4 L'énergie sismique revisitée	83
3.5.5 La détermination des mécanismes au foyer par les ondes sismiques	85
3.6 LA SISMICITÉ DE LA FRANCE	92
3.6.1 Le territoire métropolitain	92
3.6.2 Les Antilles Françaises	93
3.6.3 L'île de la Réunion	93
3.6.4 Les séismes induits	94
3.7 L'ÉCHOGRAPHIE DE LA TERRE	94
3.7.1 Le comportement des ondes sismiques à l'intérieur du globe	95
3.7.2 Le trajet et la reconnaissance des ondes sismiques : la tomographie des temps d'arrivée	99
3.7.3 Le modèle de Terre sismologique	100
3.7.4 La détermination des discontinuités : un exemple	101
3.7.5 La tomographie des écarts de temps d'arrivée	104
3.7.6 L'étude de la subsurface par les méthodes sismiques	106
3.8 LA PROTECTION CONTRE LE RISQUE SISMIQUE	114
3.8.1 La prévision des tremblements de terre	114

TABLE DES MATIÈRES

3.8.2	La prévision du mouvement du sol	117
3.9	CONCLUSION	119
4	GÉOMAGNÉTISME	123
4.1	LE CHAMP MAGNÉTIQUE TERRESTRE ACTUEL	126
4.1.1	La mesure du champ magnétique terrestre	126
4.1.2	Le champ principal	128
4.1.3	Le champ externe, composante externe du champ magnétique terrestre	133
4.1.4	Les variations du champ principal	136
4.1.5	Le calme magnétique	136
4.2	DES NOTIONS D'ÉLECTROMAGNÉTISME	136
4.2.1	Le magnétisme	137
4.2.2	Les milieux aimantés	141
4.3	L'AIMANTATION DES MINÉRAUX ET DES ROCHES	142
4.3.1	Les divers types d'aimantation	143
4.3.2	La magnétisation des roches et des minéraux	146
4.3.3	La mesure des aimantations	149
4.3.4	Les autres mesures magnétiques sur les roches	151
4.4	L'ORIGINE DU CHAMP PRINCIPAL	153
4.4.1	Les mouvements de matière dans le noyau	153
4.4.2	La géodynamo	155
4.5	L'ACQUISITION DES DONNÉES MAGNÉTIQUES	158
4.5.1	Les observatoires magnétiques	158
4.5.2	Les profils magnétiques	162
4.6	L'INTERPRÉTATION DES DONNÉES MAGNÉTIQUES	164
4.6.1	Le champ de référence	164
4.6.2	Les corrections des données magnétiques	165
4.6.3	Les anomalies magnétiques	166
4.6.4	L'interprétation simple des anomalies magnétiques	167
4.7	L'ÉVOLUTION TEMPORELLE LENTE DU CHAMP MAGNÉTIQUE TERRESTRE	168
4.7.1	Les enregistrements récents	169
4.7.2	Le paléomagnétisme	171
4.7.3	Les excursions	178
4.8	L'ÉVOLUTION TEMPORELLE RAPIDE DU CHAMP MAGNÉTIQUE TERRESTRE	179
4.8.1	Les méthodes électriques	179
4.8.2	Les méthodes magnéto-telluriques	181
4.8.3	les méthodes électromagnétiques	181
4.9	CONCLUSION	183

TABLE DES MATIÈRES

5	GÉOTHERMIE	187
5.1	L'ORIGINE DE LA CHALEUR INTERNE DE LA TERRE	188
5.1.1	La désintégration des éléments radioactifs	188
5.1.2	La différenciation et le refroidissement de la planète	190
5.2	LA DÉFINITION ET LE TRANSPORT DE LA CHALEUR	191
5.2.1	Le rayonnement	192
5.2.2	La conduction	192
5.2.3	La convection	194
5.2.4	Les couches limites thermiques	200
5.3	LE GÉOTHERME	201
5.3.1	Les paramètres qui influent sur le géotherme	201
5.3.2	Les mesures de température et l'estimation du géotherme moyen	202
5.4	LE FLUX DE CHALEUR TERRESTRE	203
5.4.1	La distribution du flux de chaleur à la surface du globe	203
5.4.2	Le temps caractéristique et la profondeur de pénétration pour la conduction de la chaleur	207
5.5	COMMENT SE FORME UN VOLCAN?	208
5.5.1	La formation du magma	209
5.5.2	La migration du magma vers la surface	211
5.5.3	Le déclenchement d'une éruption volcanique	212
5.6	L'UTILISATION DE L'ÉNERGIE GÉOTHERMIQUE	214
5.6.1	Le principe de l'exploitation	215
5.6.2	Le flux de chaleur en France	216
5.6.3	Un exemple : l'exploitation géothermique de Coulommiers (bassin de Paris)	218
5.6.4	Un pays très chaud : l'Islande	220
5.7	CONCLUSION	221
6	GÉODYNAMIQUE INTERNE ET TECTONIQUE	223
6.1	LES DÉPLACEMENTS HORIZONTAUX INSTANTANÉS À LA SURFACE DU GLOBE	224
6.1.1	La mesure directe des déplacements relatifs des plaques	225
6.1.2	L'éloignement de l'Amérique et de l'Europe	226
6.1.3	Le coulisement le long de la faille de San Andreas	227
6.1.4	Les frontières de plaques	229
6.2	LA DESCRIPTION DU MOUVEMENT DES PLAQUES	235
6.2.1	Les mouvements le long des frontières de plaque	235
6.2.2	La rotation sur une sphère	237
6.2.3	La vitesse de rotation d'une plaque	238
6.2.4	Détermination du mouvement relatif de deux plaques	239
6.2.5	Le problème des points triples	242
6.3	LE MODÈLE CINÉMATIQUE GLOBAL ACTUEL	243

TABLE DES MATIÈRES

6.3.1	La détermination de la position des pôles et des vecteurs de rotation	244
6.3.2	La cinématique des dorsales océaniques et des zones de subduction	245
6.3.3	Le modèle NUVEL-1	246
6.4	LES GRANDS PHÉNOMÈNES GÉODYNAMIQUES	249
6.4.1	Les concepts de lithosphère et d'asthénosphère	250
6.4.2	Le rifting de la lithosphère continentale	255
6.4.3	L'évolution de la lithosphère océanique	264
6.4.4	L'initiation et le développement de la subduction	271
6.4.5	La construction et la destruction des chaînes de montagne	280
6.4.6	Le volcanisme intraplaque : l'hypothèse des points chauds	287
6.4.7	La déformation en limite de plaque et les mouvements verticaux et horizontaux de la lithosphère	291
6.5	LA CONVECTION ASTHÉNOPHÈRE - MÉSOPHÈRE	293
6.5.1	La viscosité des roches du manteau	294
6.5.2	L'origine thermique de la convection	294
6.5.3	La structure de la convection	295
6.6	LA TECTONIQUE DES PLAQUES : POURQUOI ÇA MARCHE	302
6.6.1	Le bilan de matière global	302
6.6.2	Les forces agissant sur les plaques	303
6.6.3	Propulsion par convection ou traction par la fosse ?	305
6.7	LA CINÉMATIQUE FINIE	308
6.7.1	Les indicateurs de mouvements	309
6.7.2	La reconstitution de l'ouverture de l'Océan Atlantique	311
6.7.3	La fermeture de la Téthys et la formation des chaînes d'Asie	314
6.7.4	La direction d'expansion dans le Nord-Est Pacifique	315
6.7.5	Les mouvements absolus des plaques	316
6.8	CONCLUSION	317
7	CONCLUSION GÉNÉRALE	321
	ANNEXE MATHÉMATIQUE	325
A.1	L'analyse vectorielle	325
A.1.1	Le calcul du produit scalaire	325
A.1.2	Le calcul du produit vectoriel	326
A.2	Les systèmes de coordonnées	326
A.2.1	Les coordonnées cartésiennes	326
A.2.2	Les coordonnées cylindriques	327
A.2.3	Les coordonnées sphériques	328
A.3	L'analyse numérique	329
A.3.1	Le calcul des intégrales d'une fonction	329
A.3.2	Le calcul des dérivées d'une fonction	330

TABLE DES MATIÈRES

A.4 Les unités de mesure usuelles en physique et en géophysique	332
LECTURE CONSEILLÉE	337
TABLE DES FIGURES	339
Liste des tableaux	347
INDEX	349
GLOSSAIRE	357

Physique de la Terre solide

Observations et Théories

Christophe LARROQUE et Jean VIRIEUX

La planète Terre est active ; les séismes et les volcans nous le rappellent quotidiennement pour son enveloppe solide. Elle émet un champ magnétique propre, comme l'orientation de l'aiguille aimantée de la boussole l'atteste. L'augmentation de la température avec la profondeur témoigne de la production de chaleur à l'intérieur du globe. Et comme tout objet ayant une masse, la Terre émet un champ de pesanteur.

L'étude physique de l'objet complexe qu'est la Terre solide est une entreprise fascinante qui nécessite l'analyse séparée des phénomènes physiques mis en jeu durant son évolution. Seule, l'étude des couplages entre les manifestations gravimétriques, thermiques, mécaniques et magnétiques apporte des réponses globales, s'inscrivant dans le cadre unificateur de la théorie des plaques.

Ainsi l'ouvrage est structuré en cinq grandes parties calquées sur les différentes spécialités de la géophysique interne que sont la gravimétrie, la sismologie, le géomagnétisme, la géothermie. Ces notions sont exploitées dans un cinquième chapitre qui aborde la tectonique sous un angle physique. L'illustration est abondante, le formalisme mathématique reste simple et est abordable dès le premier cycle universitaire.

Les étudiants et les enseignants en Sciences Physiques et en Sciences de la Terre, ainsi que les candidats aux concours de recrutement de l'enseignement secondaire disposent, avec Physique de la Terre solide, d'une présentation détaillée sans être simplifiée des diverses notions indispensables à la compréhension de la structure, de la dynamique et de la formation de notre planète.

Christophe Larroque est géologue, Maître de conférences à l'université de Reims - Champagne Ardenne et Chercheur à l'UMR 6526 «Géosciences Azur» du CNRS. Sa spécialité est la tectonique récente et active, il étudie les déformations d'origine sismiques sur le terrain et par les images satellitaires dans le but de caractériser l'aléa sismique de différentes régions, notamment le Sud-Est de la France et l'Asie Centrale.

Jean Virieux, ancien élève de l'Ecole Normale Supérieure, est professeur à l'université de Nice-Sophia Antipolis depuis 1991 où il enseigne la géophysique au sein du département des sciences de la Terre. Il a développé des outils de modélisation numérique permettant de mieux comprendre la mécanique de la rupture sismique et la propagation des ondes dans des milieux hétérogènes sous diverses conditions. Ces outils permettent, par exemple, la reconstruction des milieux traversés à diverses échelles.

Prix : 39 euros
ISBN : 2-84703-002-6



9 782847 030020


éditions des
archives
contemporaines