

Physique de la terre

La terre est un système naturel complexe. Elle est le siège de phénomènes physiques majoritairement difficiles à analyser.

La physique de la terre est une vaste discipline des sciences physiques. Elle a pour but l'étude des champs et des caractéristiques physiques des roches tant que corps poly cristallins et polyphasés. Elle se propose à l'aide d'hypothèses, de valider des modèles mathématiques issus de mesures sur le terrain. Elle nécessite l'analyse séparée des phénomènes physiques mis en jeu dans les mécanismes d'évolution du système terrestre.

La physique de la terre étudie l'état et les propriétés physiques des matériaux terrestres, les processus physiques en évolution à l'intérieur de la terre dans des conditions sensiblement différentes de celles que requiert l'expérience physique habituelle. Elle se base cependant sur les mêmes méthodes que celles connues de la physique théorique.

A cet effet, la physique de la terre s'intéresse à la forme et aux dimensions de la terre, au champ de pesanteur, à l'origine et aux variations spatio-temporelles du champ magnétique terrestre, la nature et les effets des séismes, aux déformations globales, et à la modélisation quantitative de la structure interne de la terre, à l'étude des couches externes de la croûte terrestre,...

Le physicien de la terre observe, mesure et modélise le comportement et les interactions des champs à travers l'espace et le temps. Il utilise des ensembles conceptuels formalisés mathématiquement, dans lesquels les paramètres physiques sont exprimés sous forme de variables. Il relie ces dernières par une ou plusieurs équations afin de prédire quantitativement le résultat du phénomène observé.

La conception de la physique de la terre se donne comme objectif de déterminer les causes premières des lois physiques et d'en expliquer les origines avec une approche positiviste. La simulation mathématique occupe alors une place importante dans cette discipline. En tant que science exacte, elle a permis le perfectionnement d'outils et de machines, ainsi que la rationalisation de leur utilisation.

Dans cet ouvrage structuré en dix sept chapitres, nous avons retenu l'étude de quelques phénomènes physiques terrestres en utilisant des modèles mathématiques appropriés basés sur la théorie des champs, la mécanique des milieux continus, la thermodynamique, la théorie du signal, et d'autres. Une importance particulière a été donnée au formalisme mathématique pour approcher l'étude physique de la terre.

Table des matières

Introduction	05
Chapitre I. Age et température de la terre	
I.1 Loi des transmutations des éléments radioactifs	07
I.2 Echelles absolue et relative de la chronologie géologique	09
I.3 Equation de la conductibilité thermique	11
I.4 Influence de l'émission solaire sur la température de la terre	12
I.5 Effets des transmutations radioactives sur le régime thermique de la terre.....	15
I.6 Idée sur la température à de grandes profondeurs	19
I.7 Effet de l'activité magmatique sur la température de la terre	21
I.8 Géothermie	24
I.9 Types de gisements géothermiques	25
I.10 Flux de chaleur calculé par les données de géothermie	26
I.11 Conduction thermique d'une roche calculée par les données de géothermie	26
Chapitre II. Forme de la terre	
II.1 Potentiel de la force d'attraction newtonienne, force centrifuge et force de Pesanteur	27
II.2 Potentiel d'une couche sphérique homogène et d'une sphère formée de couches concentriques homogènes	30
II.3 Surfaces équipotentiels	32
II.4 Décomposition du potentiel par les fonctions sphériques	33
II.5 Géoïde, sphéroïde normal, force gravitationnelle sur la surface d'un sphéroïde normal	36
II.6 Paramètres principaux d'un sphéroïde terrestre	38
II.7 Forme d'équilibre d'une masse liquide hétérogène en rotation	39
II.8 Comparaison entre la forme de la terre et la forme d'équilibre d'un liquide hétérogène en rotation	46
Chapitre III. Champ de pesanteur. Champ géomagnétique	
III.1 Force d'attraction, potentiel d'attraction	51
III.2 Potentiel gravitationnel et ses dérivées	55
III.3 Champ gravitationnel et structure de la terre	60
III.4 Magnétisme terrestre	65
III.4.1 Eléments du champ géomagnétique	65
III.4.2 Représentation analytique du champ géomagnétique	67
III.4.3 Classes magnétiques des matériaux	69
Chapitre IV. Bases de la théorie des champs électromagnétiques appliquée en électrométrie	
IV.1 Equations de Maxwell	71
IV.2 Conditions aux limites pour les vecteurs du champ électromagnétique	75
IV.3 Champs dans un milieu homogène	75
IV.4 Equation d'un champ monochromatique	76
IV.5 Principaux modèles du champ électromagnétique	77
IV.6 Champ électromagnétique stationnaire	78

IV.7	Modèle du champ électrostatique ; potentiel électrostatique	78
IV.8	Conditions aux limites pour le potentiel électrique	80
IV.9	Calcul du champ électrique de charges réparties	80
IV.10	Analogie entre les champs d'un courant continu et le champ électrostatique	81
IV.11	Champ magnétique des courants électriques continus. Loi de Biot-Savart	83
IV.12	Champ électromagnétique quasi-stationnaire	85
IV.12.1	Equations des champs monochromatiques quasi-stationnaires	85
IV.12.2	Ondes électromagnétiques planes dans un milieu homogène	86
IV.12.3	Potentiels électrodynamiques	88
IV.12.4	Champ quasi-stationnaire d'un dipôle dans un milieu homogène	89
IV.12.5	Ondes électromagnétiques sphériques	91

Chapitre V. Élément d'élasticité. Ondes élastiques

V.1	Contraintes dans un corps élastique	95
V.2	Théorie des déformations	106
V.3	Loi de Hooke	113
V.4	Constantes élastiques	118
V.5	Equations fondamentales de la théorie d'élasticité	120
V.6	Propagation des ondes élastiques	123
V.6.1	Propagation des ondes dans un milieu élastique non limité	123
V.6.1.1	Oscillations longitudinales et transversales	123
V.6.1.2	Equation d'onde pour les déplacements longitudinal et transversal	125
V.6.1.3	Solution dans le cas des ondes planes	128
V.6.1.4	Solution dans le cas d'ondes sphériques	130
V.6.1.5	Paquet d'ondes. Vitesse de groupe	132
V.6.2	Propagation des ondes élastiques à la frontière d'un demi-espace.....	134
V.6.2.1	Propagation de l'onde plane, dont le front est parallèle à l'un des axes de Coordonnées. Potentiel de l'onde transversale	134
V.6.2.2	Polarisation de l'onde secondaire en onde SV et SH	135
V.6.2.3	Conversion des ondes P en onde S et vice-versa	136
V.6.2.4	Propagation des ondes à deux dimensions	138
V.6.2.5	Ondes de surfaces	139

Chapitre VI. Phénomènes liés à la propagation des ondes sismiques

VI.1	Réflexion et réfraction	147
VI.2	Principe de Huygens	148
VI.3	Principe de Fermat	149
VI.4	Energie et intensité d'une onde	149
VI.5	Géométrie des trajets réfléchis	151
VI.5.1	Cas de couches horizontales	151
VI.5.2	Cas de couches inclinées	152
VI.5.3	Cas où la vitesse augmente avec la profondeur	154
VI.6	Atténuation des ondes élastiques	155
VI.6.1	Définition	155
VI.6.2	Causes principales de l'atténuation	156
VI.6.3	Coefficient d'atténuation. Décrément logarithmique et facteur de qualité	158

Chapitre VII. Etude de la structure interne de la terre par les ondes sismiques

VII.1 Croûte homogène. Hodochrones des ondes sismiques	161
VII.2 Structure de l'écorce terrestre	163
VII.3 Bases de la méthode sismique pour l'étude de la structure profonde du globe terrestre	164
VII.4 Renseignements fournis par les ondes sismiques sur la structure profonde du globe terrestre	170

Chapitre VIII. Densité et constantes élastiques de la terre

VIII.1 Conditions de variation de la densité de la terre avec la profondeur	179
VIII.2 Hypothèses principales sur la variation de la densité avec la profondeur	180
VIII.3 Pression et force de pesanteur dans la terre	186
VIII.4 Constantes d'élasticité de la terre	187

Chapitre IX Principaux paramètres des sources sismiques

IX.1 Magnitude d'un séisme	189
IX 1.1 Relation entre la magnitude et l'énergie d'un séisme	192
IX .1.2 Intensité d'un séisme.....	194
IX.1.3 Epicentre macrosismique, isoséistes et pleistoseistes	197
IX.1.4 Relation entre l'intensité et la magnitude	198
IX.1.5 Relation entre l'intensité, l'accélération et la vitesse de vibration du sol	200
IX.2 Foyer sismique	201

Chapitre X. Tsunami d'origine sismique

X.1 Origine du phénomène tsunami	221
X.2 Structure d'une vague	221
X.3 Hauteur et longueur d'onde d'un tsunami	221
X.4 Vitesse de déferlement d'un tsunami	222
X.5 Vitesse de déferlement d'une vague tsunami vers les grandes profondeurs	223
X.6 Energie d'un tsunami	225
X.7 Expressions de l'énergie d'un tsunami	225
X.8 Les échelles d'intensité d'un tsunami	226
X.9 L'échelle d'intensité de Sieberg	226
X.10 Echelles de magnitude d'un tsunami	226
X.10.1 L'échelle de magnitude d'Imaoura et Liba	226
X.10.2 Echelle de magnitude m de Lida-Cox et Pararas Carayannais	227
X.10.3 Echelle de magnitude d'Abe	227
X.10.4 Echelle de magnitude d'Abe modifiée	227
X.11 Paramètres adimensionnels de modélisation d'un tsunami	227
X.12 Classification des tsunamis	228
X.13 Impacts du tsunami	228
X.13.1 Impact géomorphologique	228
X.13.2 Impacts sur l'éco-système	228

Chapitre XI. Vibrations propres de la terre

XI.1 Généralités	229
XI.2 Modélisation des vibrations propres d'une terre sphérique	233
XI.3 Vibrations propres d'une terre sphérique latéralement homogène et transversalement isotrope	237

Chapitre XII. Fonctions spéciales

XII.1 Détermination de la fonction Gamma	343
XII.2 Propriétés de la fonction Gamma	246
XII.3 Détermination de la fonction de Bessel de première espèce	250
XII.4 Fonction de Bessel de deuxième espèce	253
XII.5 Equation différentielle conduisant à l'équation de Bessel. Fonction de Bessel de troisième espèce	254
XII.6 Fonction génératrice de la fonction Bessel	257
XII.7 Propriétés de la fonction de Bessel de première et troisième espèces	258
XII.8 Formules intégrales de la fonction de Bessel de première et troisième espèces	260
XII.9 Intégrale de Weber-Lipchitz	262
XII.10 Orthogonalité de la fonction de Bessel	264
XII.11 Application de la fonction de Bessel à la solution des problèmes de physique mathématique	267
XII.12 Détermination des polynômes de Legendre	274
XII.13 Equation différentielle pour les polynômes de Legendre	276
XII.14 Propriété d'orthogonalité des polynômes de Legendre	278
XII.15 Application des polynômes de Legendre à la résolution des problèmes limites	280
XII.16 Fonctions successives de Legendre	284
XII.17 Fonctions sphériques volumiques et surfaciques	284
XII.18 Equation différentielle pour les fonctions sphériques surfacielles	285
XII.19 Représentation de la fonction sphérique par le polynôme de Legendre	287
XII.20 Orthogonalité des fonctions sphériques	288
XII.21 Détermination des polynômes d'Hermite	289
XII.22 Equation différentielle pour les polynômes d'Hermite	290
XII.23 Orthogonalité des polynômes d'Hermite	291
XII.24 Séparation des variables en coordonnées cartésiennes dans la résolution de l'équation de Laplace	292
XII.25 Problème de Dirichlet pour $Z > 0$	293
XII.26 Séparation de variables en coordonnées cylindriques	294
XII.27 Prolongement vers le bas	295

Chapitre XIII. Champ scalaire et champ vectoriel

XIII.1 Notions générales	297
XIII.2 Opérations sur les champs vectoriels	299
XIII.3 Champ scalaire	302
XIII.4 Champ vectoriel	305
XIII.5 Principales formules intégrales	307
XIII.6 Opérations différentielles de second ordre	310
XIII.7 Utilisation des coordonnées orthogonales curvilignes en analyse vectorielle	312

Chapitre XIV. Détermination du champ par des sources données Prolongement analytique du champ

XIV.1 Champ potentiel	317
XIV.2 Champ rotationnel	322
XIV.3 Champ de type quelconque	325
XIV.4 Propriétés fondamentales du potentiel harmonique	326
XIV.5 Problème de Dirichlet et Neumann	329

Chapitre XV. Détermination des champs électriques et magnétiques statiques par la méthode de séparation de variables

XV.1 Système de coordonnées sphériques	337
XV.2 Système de coordonnées cylindriques	341

Chapitre XVI. Interprétation de la structure interne de la terre par les données de physique

Moderne

XVI.1 Notions générales	353
XVI.2 Données expérimentales sur les corps viscoélastiques	354
XVI.3 Théorie de relaxation des corps viscoélastiques	356
XVI.4 Structure des corps solides et des corps liquides	361
XVI.5 Quelques questions sur la structure de l'atome	366
XVI.6 Energie des corps solides	372
XVI.7 Physique des parties profondes de la terre	376

Chapitre XVII. Structures fractales en physique de la terre

XVII.1 Emission acoustique	381
XVII.2 Dimension fractale	384
XVII.3 Relation entre les paramètres b et D	386
XVII.4 Similitude dans la structure des régimes acoustiques et sismiques	390
XVII.5 Vitesse des ondes élastiques	391
XVII.6 Résistivité électrique	393
XVII.7 Polarisation spontanée	394

Bibliographie	397
Table des matières	399