

Sous la direction de Jean-Yves Daniel

André Brahic, Michel Hoffert, René Maury, André Schaaf, Marc Tardy

Avec la collaboration d'Armelle Baldeyrou-Bailly et de Gilles Merzeraud

2

Sciences

3^E ÉDITION

de la Terre

et de l'Univers

LA RÉFÉRENCE :

- Tout le cours de Géologie et de Sciences de l'Univers
- Plus de mille documents et figures
- De nombreux exercices tous corrigés

Vuibert

Table des matières

Avant-propos	XI
Avertissement	XIII

PREMIÈRE PARTIE LA TERRE, PLANÈTE DU SYSTÈME SOLAIRE

CHAPITRE 1

La place de la Terre dans l'Univers

1. Introduction	3
2. La naissance de la raison ou comment notre vision de la place de la Terre a émergé	4
♦ Les grandes étapes de l'Antiquité – 4 ♦ La mesure de la taille de la Terre, de la Lune et du Soleil – 6 ♦ Aristarque, Hipparque et Ptolémée – 6 ♦ La Renaissance – 6 ♦ Le xx^e siècle et la naissance de l'astrophysique – 8	
3. La répartition de la matière dans l'Univers	8
♦ Planètes, étoiles et galaxies – 8 ♦ La mesure des distances – 10 ♦ La mesure des âges – 13 ♦ La vie des étoiles – 13 ♦ La nucléosynthèse des éléments – 17 ♦ Le milieu interstellaire et les molécules interstellaires – 18 ♦ La Galaxie – 19 ♦ Les galaxies – 22 ♦ Les amas de galaxies – 23 ♦ La distribution de la matière visible et du rayonnement à grande échelle – 24 ♦ L'Univers à différentes longueurs d'onde – 26	
4. L'histoire de l'Univers	29
♦ Pourquoi le ciel est-il noir la nuit ? – 29 ♦ L'expansion de l'Univers et le principe cosmologique – 29 ♦ Masse lumineuse, masse cachée et énergie noire – 32 ♦ Le rayonnement fossile – 34 ♦ INTERACTIONS ET PARTICULES – 36 ♦ L'histoire thermique de l'Univers et les premiers instants – 39 ♦ La cosmologie moderne : les principaux faits d'observation et quelques problèmes – 42	
5. Le Soleil et ses relations avec la Terre	42
♦ L'intérieur du Soleil ou pourquoi le Soleil brille-t-il ? – 44 ♦ ÉQUILIBRE HYDROSTATIQUE DU SOLEIL – 45 ♦ Le théorème du viriel – 46 ♦ THÉORÈME DU VIRIEL ET APPLICATIONS – 47 ♦ L'intérieur du Soleil – 48 ♦ Les réactions thermonucléaires au centre du Soleil – 48 ♦ La composition chimique du Soleil – 49 ♦ Les neutrinos solaires – 49 ♦ RÉACTIONS THERMONUCLÉAIRES DE TRANSFORMATION DE L'HYDROGÈNE EN HÉLIUM – 50 ♦ L'atmosphère du Soleil – 51 ♦ La photosphère et les taches solaires – 51 ♦ La chromosphère – 52 ♦ La couronne – 52 ♦ Le vent solaire – 53 ♦ L'activité solaire – 54 ♦ Le cycle solaire – 54 ♦ La constante solaire – 55 ♦ Les relations Soleil-Terre – 55 ♦ L'irradiation et le bombardement cosmique – 56 ♦ Les relations Soleil-climat – 57 ♦ D'autres aspects de la relation Soleil-Terre – 58 ♦ Le futur du système solaire – 59 ♦ Le futur de l'humanité – 59 ♦ Le futur de la Terre et du Soleil – 61	
6. Le mouvement de la Terre dans l'espace	62
♦ Les preuves du mouvement de la Terre autour du Soleil et de la rotation terrestre – 63 ♦ LES PREUVES DU MOUVEMENT DE LA TERRE – 63 ♦ Les lois de Kepler et le mouvement des deux corps – 65 ♦ La vitesse d'évasion – 67 ♦ Les effets de marée – 67 ♦ Limite de Roche, orbite synchrone et sphère d'influence – 70 ♦ La limite de Roche – 70 ♦ La sphère d'influence – 70 ♦ LIMITE DE ROCHE – 70 ♦ RAYON DE L'ORBITE SYNCHRONE – 71 ♦ SPHÈRE D'INFLUENCE OU LIMITE DE STABILITÉ – 71 ♦ La rotation de la Terre – 72 ♦ Rotation de la Terre et climat – 72 ♦ Irrégularités à long terme de la rotation terrestre – 73 ♦ Le mouvement du pôle – 73 ♦ Le mouvement de la Terre dans l'espace – 73 ♦ L'obliquité de l'axe de rotation et les saisons – 74 ♦ Le champ de gravité terrestre et la forme de la Terre – 75 ♦ L'évolution à long terme : stabilité ou chaos ? – 76	

Sous forme de tableaux synoptiques, on trouvera :

- l'histoire de l'Univers, p. 12 ;
- les particules et interactions, p. 38 ;
- les divisions chronologiques de l'histoire de la Terre, p. 314 ;
- la classification périodique des éléments, cahier couleur, p. XXVI-XXVII.

7. La Terre au sein du système solaire	76
♦ Caractéristiques physiques des planètes – 77 ♦ Planètes telluriques et planètes géantes – 80 ♦ Les planètes telluriques – 80 ♦ Les planètes géantes – 82 ♦ Pluton et au-delà – 84 ♦ Les satellites – 85 ♦ Les petits corps du système solaire – 90 ♦ Les astéroïdes – 90 ♦ Les comètes – 91 ♦ Les anneaux des planètes – 92 ♦ Les météorites – 94 ♦ Le milieu interplanétaire et les poussières – 94	
Exercices	95
FICHE : RAPPELS DE MÉCANIQUE CLASSIQUE	96
FICHE : LA MISSION CASSINI-HUYGENS	100
FICHE : LA MISSION PLANCK	129
FICHE : LA MISSION HERSCHEL	135
FICHE : DÉFINITION D'UNE PLANÈTE	143

CHAPITRE 2

La formation du système solaire

1. Introduction	145
2. Création ou éternité ?	146
3. Quelques faits d'observation	150
♦ La régularité des orbites planétaires – 150 ♦ La rotation lente du Soleil – 151 ♦ La composition chimique du système solaire – 151 ♦ Les similitudes entre les systèmes de satellites et les systèmes de planètes – 152 ♦ L'âge de la Terre et du système solaire – 152 ♦ La cratérisation – 153 ♦ Les météorites – 153 ♦ Les astéroïdes – 154 ♦ Les comètes – 155 ♦ Les anneaux – 157 ♦ Quelques « fausses pistes » – 158 ♦ L'exploration du système solaire – 158 ♦ L'observation des sites de formation d'étoiles – 159	
4. Un scénario de la formation des planètes	163
♦ L'effondrement d'un nuage interstellaire – 163 ♦ D'un disque de gaz à un disque de planètes – 165 ♦ La formation des planètes terrestres – 167 ♦ La formation des planètes géantes – 168 ♦ Le rôle primordial du jeune Jupiter – 169 ♦ La formation des satellites et des anneaux – 170 ♦ Les grandes étapes de la formation du système solaire – 171	
5. Quelques problèmes	172
♦ Comment déclencher la formation d'une étoile ? – 172 ♦ Y a-t-il eu un effet de « boule de neige » ? – 173 ♦ La migration – 174 ♦ Les mécanismes de confinement – 174	
6. La formation de la Lune	175
♦ La théorie de la fission – 176 ♦ La théorie de la capture – 177 ♦ La théorie des planètes jumelles – 177 ♦ Un impact géant – 177	
Exercices	179

CHAPITRE 3

L'évolution de la Terre et des planètes

1. Les moteurs de l'évolution	181
2. Activité interne et flux de chaleur	183
♦ La sismologie – 186 ♦ Le magnétisme – 186 ♦ La mécanique céleste – 187	
3. Le volcanisme	190
4. La cratérisation	199
5. Érosion fluviale et éolienne	211
♦ Comment déclencher la formation d'une étoile ? – 172 ♦ Y a-t-il eu un effet de « boule de neige » ? – 173 ♦ La migration – 174 ♦ Les mécanismes de confinement – 174	
6. Formation et évolution des atmosphères, vapeurs des planètes	212
♦ Origine des atmosphères – 213 ♦ Rôle de l'altitude – 214 ♦ La magnétosphère – 217 ♦ L'eau et ses multiples interactions – 219 ♦ Le cycle de l'eau – 219 ♦ L'atmosphère et la vie – 219 ♦ Les saisons – 220 ♦ L'effet de serre – 221 ♦ Le climat et ses variations – 221 ♦ Le climat et les hommes – 223 ♦ La diversité des atmosphères – 224 ♦ L'atmosphère des planètes telluriques – 224 ♦ L'atmosphère des satellites – 226 ♦ L'atmosphère des planètes géantes – 226	

Exercices	229
FICHE : À LA RECHERCHE D'AUTRES SYSTÈMES SOLAIRES ET DE LA VIE	230

DEUXIÈME PARTIE

LA TERRE, ARCHIVES GÉOLOGIQUES ET MÉMOIRE DU TEMPS

CHAPITRE 4

Les concepts de base de la géologie, science de l'histoire de la Terre

1. Introduction : l'opposition temps-éternité	243
2. Prise de conscience progressive de la longueur du temps	244
♦ L'âge biblique et une histoire de la Terre liée au temps cyclique – 244 ♦ La conquête progressive du temps long – 245	
3. La théorie de l'évolution et la flèche du temps	245
♦ L'évolution se fait lentement et les temps géologiques sont longs – 246 ♦ L'évolution est irréversible et donne une flèche au temps – 246 ♦ L'évolution n'a pas de but, n'est pas dirigée et est liée à l'histoire de la Terre – 246	
4. Causes actuelles-causes anciennes : « Le présent est la clé du passé »	247
♦ Uniformité des lois naturelles dans le temps et dans l'espace – 247 ♦ Uniformité des processus au cours du temps – 247 ♦ Uniformité de rythme ou gradualisme – 248 ♦ Remarque – 248 ♦ Une brève discussion sur le principe : « le présent est la clé du passé » – 248 ♦ De nombreuses roches, abondantes dans les séries géologiques, ne semblent plus se former actuellement, ou dans des proportions très différentes – 248 ♦ Le « présent » n'est pas représentatif des temps anciens – 248 ♦ Il n'est possible de reconnaître dans l'ancien que les milieux actuels ou des mécanismes physico-chimiques identifiés – 248 ♦ La comparaison entre actuel et ancien ne peut se faire que sur ce qui est conservé dans l'ancien – 249 ♦ Des modifications irréversibles caractérisent l'histoire de la Terre – 249 ♦ Des extinctions massives des espèces sont connues au cours des temps géologiques, comme celle de la fin de l'ère Paléozoïque, ou encore celle de la limite Crétacé-Cénozoïque – 249 ♦ En guise de conclusion au concept « causes anciennes-causes actuelles » – 249	
5. Âge absolu de la Terre et durée des événements géologiques	250
♦ Quelques méthodes d'estimation d'âge numérique – 250 ♦ Les datations radiométriques – 250	
6. L'organisation en strates des roches sédimentaires	251
♦ L'observation d'un affleurement plurimétrique de roches sédimentaires (carrière, coupe...) – 251 ♦ L'observation de carottages de sédiments récents, non encore consolidés – 252 ♦ Le concept de strate dans la littérature géologique – 252 ♦ Terminologie de description des affleurements sédimentaires – 253 ♦ Des strates particulières : niveaux condensés et niveaux fossilifères – 254 ♦ Les niveaux condensés – 254 ♦ Niveaux fossilifères – 255 ♦ Proposition d'une définition des strates – 256 ♦ Remarque : « strate » et « couche » – 256	
7. En guise de conclusion à l'analyse de ces concepts	257
Exercices	258

CHAPITRE 5

Les roches : des archives géologiques

1. Le cycle sédimentaire	261
♦ La notion de roche-mère – 261 ♦ Les étapes du cycle sédimentaire – 261 ♦ L'altération – 262 ♦ Érosion et transport – 266 ♦ Le transport – 267 ♦ Sédimentation et dépôts sédimentaires – 269 ♦ La diagenèse – 270 ♦ La nouvelle roche sédimentaire formée – 272 ♦ Le cycle des roches et le temps : la formation des continents – 273	
2. La pétrographie : caractérisation et identification des différentes roches	275
3. Le faciès : caractérisation du milieu de formation du sédiment	276
♦ Le lithofaciès – 276 ♦ Lamines et « structures sédimentaires » – 276 ♦ Les litages – 276 ♦ Le biofaciès – 277 ♦ Signification des faciès – 277 ♦ Le milieu de dépôt – 279 ♦ Les environnements sédimentaires – 279	
4. Les limites de strates et leur signification	279
♦ Limites liées à des modifications diagénétiques – 279 ♦ Limites par absence de dépôt ou « lacune sédimentaire » – 279 ♦ Limite par érosion – 279 ♦ Discussion sur la signification des limites de strates – 279	

5. La superposition des strates : la stratigraphie et les séquences	281
♦ Les principes de « base » de la stratigraphie – 281 ♦ <i>Principe de superposition</i> – 281 ♦ <i>Principe de continuité latérale</i> – 281 ♦ <i>Principe d'identité paléontologique</i> – 282 ♦ Le concept de séquence et d'analyse séquentielle – 282 ♦ <i>La loi de corrélation des faciès ou « loi de Walther » (1894)</i> – 282 ♦ <i>La séquence de Bouma et la séquence turbiditique (caractère local et instantané)</i> – 284 ♦ <i>Séquences virtuelles</i> – 285 ♦ <i>Conclusions à la présentation de la notion de séquence</i> – 285	
6. Les séries sédimentaires : une information fragmentaire de l'histoire géologique	285
♦ Une préservation peu abondante – 285 ♦ Une déformation du message sédimentaire par pédogenèse, diagenèse et métamorphisme – 286 ♦ Une fossilisation sélective – 286 ♦ Une identification souvent malaisée – 286 ♦ Une estimation de l'âge d'une strate et de sa durée de formation – 286	
Exercices	287
FICHE : LES MINÉRAUX ARGILEUX ET LES ARGILES	290
FICHE : CLASSIFICATION ET DÉNOMINATION DES ROCHES SÉDIMENTAIRES LES PLUS COMMUNES	296
CHAPITRE 6	
La mesure du temps et l'histoire de la Terre	
1. Lithostratigraphie	303
♦ Principes – 303 ♦ L'unité de base cartographique de la lithostratigraphie : la « formation » – 305 ♦ Les limites et les avantages de la lithostratigraphie – 305 ♦ Remarque : stratigraphie sismique et diagraphies – 306	
2. Biostratigraphie et échelle biostratigraphique	307
♦ Concepts : corrélation et subdivision – 307 ♦ Les fossiles et la datation biostratigraphique – 307 ♦ La biozone – 308 ♦ Les échelles biochronologiques – 309	
3. Limites stratigraphiques et cartes géologiques	309
♦ Extinctions et subdivisions biostratigraphiques – 309 ♦ Les principales extinctions en masse – 309 ♦ Les ères, subdivisions majeures des temps géologiques – 311 ♦ L'étage – 311 ♦ <i>Bref historique</i> – 311 ♦ <i>Définitions</i> – 312 ♦ <i>Discussion</i> – 312 ♦ <i>La notion de « sections et points stratotypes globaux » (SPSG)</i> – 312 ♦ Les systèmes (ou périodes) – 313 ♦ L'échelle chronostratigraphique mondiale – 313 ♦ La notion d'éon et les temps précambriens – 313 ♦ <i>L'Archéen</i> – 315 ♦ <i>Le Protérozoïque</i> – 315 ♦ La stratigraphie du « Quaternaire » – 315 ♦ La carte géologique en terrains sédimentaires : une représentation du temps – 315 ♦	
4. Datation radiométrique	316
♦ Les « horloges sédimentologiques » – 316 ♦ <i>L'exemple des Varves</i> – 316 ♦ Les « horloges paléontologiques » – 317 ♦ <i>La dendrochronologie</i> – 317 ♦ <i>Conclusions relatives à ces méthodes basées sur des observations d'objets naturels</i> – 317 ♦ La thermoluminescence (TL) – 317 ♦ <i>Définition</i> – 317 ♦ <i>Application</i> – 318 ♦ <i>Limites, domaine d'application et marge d'erreur</i> – 318 ♦ <i>Domaine d'application</i> – 318 ♦ Géochronologie et radiochronologie – 318 ♦ <i>Principes</i> – 318 ♦ <i>Buts</i> – 319 ♦ <i>Les modes de détermination des âges</i> – 319 ♦ <i>La datation au ¹⁴C</i> – 321 ♦ <i>Conclusions aux méthodes de « datations absolues »</i> – 322	
5. Chimiostratigraphie	322
♦ La validité des mesures – 323 ♦ Quelques applications de la chimiostratigraphie – 323	
6. Magnétostratigraphie	324
♦ Le géomagnétisme actuel – 324 ♦ Aimantation d'une roche – 324 ♦ <i>Aimantation thermorémanente (ATR)</i> – 324 ♦ <i>Aimantation rémanente détritique (ARD)</i> – 324 ♦ <i>Aimantation rémanente chimique ou cristalline (ARC)</i> – 324 ♦ <i>Aimantation rémanente visqueuse (ARV)</i> – 324 ♦ <i>Aimantation rémanente isotherme (ARI)</i> – 324 ♦ Les variations séculaires du champ magnétique terrestre – 324 ♦ L'échelle magnétostratigraphique – 325	
7. En guise de conclusion	326
Exercices	327
FICHE : LA STRATIGRAPHIE SÉQUENTIELLE	329
Exercices	348

TROISIÈME PARTIE

LA TERRE ET SES CLIMATS : DYNAMIQUE DES ENVELOPPES FLUIDES

CHAPITRE 7

Les climats actuels

1. La source et les vecteurs d'énergie	353
• L'énergie solaire – 353 ♦ Le spectre électromagnétique – 353 ♦ La constante solaire – 354 ♦ Les variations énergétiques saisonnières – 354 ♦ Les taches solaires et les variations de luminosité – 355 ♦ L'eau – 356 ♦ Les changements d'état de l'eau – 356 ♦ Les échanges d'énergie : chaleur et travail – 357 ♦ Les phénomènes d'absorption – 357 ♦ Les chaleurs massique et latentes de changement d'état – 358 ♦ La vaporisation – 358 ♦ La solubilisation des gaz – 359 ♦ HISTOIRES D'EAU – 360 ♦ L'atmosphère – 361 ♦ Les constituants majeurs – 361 ♦ Les constituants mineurs naturels – 362 ♦ Les constituants anthropiques – 362 ♦ L'ozone troposphérique – 363 ♦ L'ozone stratosphérique – 364 ♦ La stratification de l'atmosphère – 367 ♦ Les aérosols – 368	
2. La dynamique des climats	368
• La circulation atmosphérique – 368 ♦ La pression atmosphérique – 369 ♦ Les forces de Coriolis et de frottement – 370 ♦ CORIOLIS ET LES BAIGNOIRES – 371 ♦ Les vents géostrophiques, les convergences et les divergences – 371 ♦ La circulation globale de l'atmosphère – 372 ♦ Les météores – 377 ♦ La circulation océanique – 380 ♦ La circulation de surface – 382 ♦ La circulation profonde – 384 ♦ Les upwellings équatoriaux – 385 ♦ Les upwellings et les downwellings côtiers – 386 ♦ Les mécanismes et les interactions – 387 ♦ L'effet de serre – 387 ♦ Le stockage et les transferts d'énergie – 390 ♦ El Niño – 391	
3. Les systèmes climatiques	393
• La classification des climats – 393 ♦ La classification fondée sur celle de Köppen – 393 ♦ La répartition mondiale – 394 ♦ La météorologie – 394 ♦ Les moyens d'observation et l'acquisition des données – 394 ♦ Les paramètres mesurés – 395 ♦ Le traitement des données et les prévisions – 396 ♦ L'organisation mondiale de surveillance – 396 ♦ Les systèmes régionaux et locaux – 396 ♦ Les moussons – 396 ♦ Les vents – 397 ♦ Les pollutions – 398	
Exercices	400

CHAPITRE 8

Les climats anciens

1. Les témoignages	403
• Les archives de la Terre – 403 ♦ Les archives continentales – 403 ♦ Les archives glaciaires – 405 ♦ Les archives marines – 405 ♦ Les isotopes stables – 406 ♦ Les isotopes de l'oxygène et de l'hydrogène – 406 ♦ Les isotopes du carbone – 408 ♦ Les gaz rares – 409 ♦ Les archives historiques – 409 ♦ L'optimum climatique de l'Holocène – 409 ♦ L'optimum climatique du Moyen Âge – 409 ♦ Le petit âge glaciaire – 409 ♦ Le dernier siècle – 410	
2. Les mécanismes responsables des variations climatiques	410
• Les mécanismes astronomiques – 411 ♦ La théorie de Croll-Milankovitch – 411 ♦ La stabilité du système au cours des temps géologiques – 412 ♦ Les mécanismes géochimiques – 413 ♦ Les mécanismes impliquant la biosphère – 413 ♦ Les mécanismes impliquant la géosphère – 417 ♦ Les mécanismes liés à la dynamique terrestre – 417 ♦ La dérive des continents – 417 ♦ La géométrie des océans – 418	
3. Les variations du climat au cours de l'histoire de la Terre	420
• Les climats précambriens – 420 ♦ Le paradoxe de l'Archéen et la chimie de l'atmosphère – 420 ♦ La glaciation huronienne et l'expansion des stromatolithes – 420 ♦ Le Paléozoïque et le Mésozoïque – 420 ♦ La glaciation permienne et la forêt carbonifère – 420 ♦ La période chaude du Mésozoïque – 421 ♦ Le Cénozoïque – 422 ♦ Le maximum thermique de l'Éocène – 422 ♦ Les refroidissements progressifs de l'Éocène au Miocène – 422 ♦ Les glaciations plioquaternaires – 424 ♦ Le Würm – 425 ♦ Le dernier maximum glaciaire (DMG) – 427 ♦ Du DMG à l'Holocène – 428	
Exercices	432

CHAPITRE 9

Les climats du futur

1. Les tendances actuelles du climat et ses implications	435
• Les observations – 435 ♦ Le réchauffement annuel – 435 ♦ L'élévation du niveau de la mer – 435 ♦ La pollution de l'atmosphère – 435 ♦ Les perspectives – 436	

2. L'effet de serre : mécanismes et perturbations	436
♦ Le bilan radiatif – 436 ♦ L'albédo de la Terre – 436 ♦ L'absorption atmosphérique – 437 ♦ Le bilan au sol – 437 ♦ L'énergie émise par la Terre – 437 ♦ Le bilan énergétique de l'atmosphère – 438 ♦ L'effet de serre : quelques précisions – 438 ♦ Le rôle de l'eau dans le bilan du rayonnement – 438 ♦ L'absorption – 438 ♦ Les nuages – 438 ♦ Les variations locales des énergies absorbées et rayonnées – 439 ♦ Les glaces de mer – 439 ♦ L'influence de la vapeur d'eau et des nuages – 439 ♦ Le dioxyde de carbone atmosphérique et le cycle du carbone – 439 ♦ Le cycle naturel – 440 ♦ Les perturbations anthropiques – 441 ♦ Le bilan des perturbations anthropiques – 442 ♦ Un premier puits : l'océan – 442 ♦ Un deuxième puits : la biosphère continentale – 443 ♦ Les autres gaz à effet de serre – 445 ♦ Le méthane – 445 ♦ Les CFC – 445 ♦ Les aérosols – 445	
3. Scénarios pour demain : des modèles, des observations, des incertitudes	445
♦ La réponse des régions polaires – 445 ♦ La réponse des océans – 446 ♦ La réponse de la biosphère marine – 446 ♦ La réponse de la biosphère continentale – 446 ♦ La réponse des hommes – 447	
Exercices	448

QUATRIÈME PARTIE

LA TERRE SOLIDE ET SA DYNAMIQUE

CHAPITRE 10

Forme, structure et dynamique globales de la Terre

1. La forme de la Terre	451
♦ Aperçu historique – 451 ♦ Approche géodésique de la forme de la Terre – 452 ♦ Masse et densité moyenne de la Terre – 452 ♦ Géoïde et ellipsoïde de référence – 452	
2. Les enveloppes du globe terrestre	456
♦ Aperçu historique – 456 ♦ L'auscultation sismique de la Terre – 457 ♦ Généralités – 457 ♦ Étude instrumentale des séismes – 459 ♦ Notion de mécanisme au foyer d'un séisme – 464 ♦ Déformation et sismicité – Notion de cycle sismique – 466 ♦ Sismicité et aléa sismique – 467 ♦ Les ondes de volume et les discontinuités internes de la Terre solide – 468 ♦ L'apport des ondes de surface à la connaissance de la croûte terrestre – 469 ♦ Conclusion : le modèle sismologique de la Terre – 469 ♦ Composition et dynamique de l'intérieur de la Terre – 472 ♦ Introduction – 472 ♦ La constitution des enveloppes terrestres – 472 ♦ Le champ magnétique terrestre et la dynamique du noyau – 474 ♦ La dynamique du manteau – 478	
Exercices	486
FICHE : CONNAÎTRE LA TEMPÉRATURE À L'INTÉRIEUR DE LA TERRE, OU COMMENT ÉTABLIR UN GÉOTHERME	
	488
FICHE : RAZ DE MARÉE OU TSUNAMI	
	489

CHAPITRE 11

La lithosphère et sa dynamique

1. Lithosphère et plaques lithosphériques	493
♦ Le couple lithosphère-asthénosphère – 493 ♦ Lithosphère océanique et lithosphère continentale – 494 ♦ La lithosphère océanique – 494 ♦ La lithosphère continentale – 499 ♦ Contribution des points chauds à l'épaississement local des croûtes océaniques et continentales – 506 ♦ Les plaques lithosphériques et leur mobilité – 506 ♦ Notion de plaques lithosphériques – 506 ♦ La mobilité verticale de la lithosphère – 508 ♦ La mobilité horizontale de la lithosphère – 515	
2. Les conséquences des mouvements horizontaux des plaques lithosphériques	525
♦ Rappel de quelques notions simples de mécanique – 525 ♦ Forces et contraintes – 525 ♦ La déformation – 527 ♦ Comportement mécanique des roches et déformation – 528 ♦ Aperçu sur la rhéologie des matériaux lithosphériques – 528 ♦ Analyse de la déformation des roches – 530 ♦ La divergence et l'évolution des grandes structures liées – 554 ♦ La formation des rifts continentaux ou « rifting » – 554 ♦ La déchirure continentale et l'apparition de la croûte océanique – 561 ♦ Les marges continentales passives – 563 ♦ Structure des dorsales et expansion océanique – 566 ♦ La convergence et l'évolution des grandes structures liées – 574 ♦ La subduction – 574 ♦ L'obduction – 585 ♦ La collision – 587 ♦ L'extension post-orogénique – 597	
Exercices	600
FICHE : SUBSIDENCE ET BASSINS SÉDIMENTAIRES	
	602
FICHE : LE MÉTAMORPHISME : UN ENREGISTREMENT DE LA DYNAMIQUE DE LA LITHOSPHÈRE	
	604

CHAPITRE 12

Le magmatisme, marqueur de la dynamique de la Terre

1. Introduction	617
2. La diversité des magmas actuels	618
♦ Définition – 618 ♦ Composition chimique – 619 ♦ Généralités – 619 ♦ Éléments majeurs et classification d'ensemble – 620 ♦ Éléments en traces – 622 ♦ Isotopes radiogéniques (Sr, Nd et Pb) – 625	
3. La fusion du manteau et l'évolution des magmas basaltiques	627
♦ L'hétérogénéité du manteau – 627 ♦ Les modalités de la fusion – 628 ♦ Les grandes étapes de l'histoire des magmas basaltiques – 629	
4. Le magmatisme des dorsales océaniques	631
♦ Introduction – 631 ♦ Les basaltes océaniques (MORB) – 631 ♦ Les réservoirs magmatiques des dorsales – 632 ♦ Observations récentes – 633 ♦ Modèles de fonctionnement – 633	
5. Le magmatisme lié aux panaches	634
♦ Introduction – 634 ♦ Les principaux types de points chauds océaniques – 635 ♦ Exemple de l'Islande – 635 ♦ Exemple de la Polynésie française – 636 ♦ Les points chauds continentaux et leurs origines multiples – 639 ♦ Les grandes provinces magmatiques : trapps, rifts et plateaux océaniques – 644	
6. Le magmatisme des zones de subduction et de collision	646
♦ Introduction – 646 ♦ Les séries calco-alcalines – 647 ♦ La genèse des magmas calco-alcalins – 649 ♦ La contribution des sédiments : l'exemple des Petites Antilles – 649 ♦ Contraintes géochimiques et expérimentales – 651 ♦ Modèle génétique – 654 ♦ De la subduction océanique à la collision et à la subduction continentale – 654 ♦ La fin de la subduction océanique – 654 ♦ La collision et la fusion de la croûte continentale – 656 ♦ Le recyclage de la lithosphère océanique dans les zones de subduction – 657	
7. Les cycles tectono-magmatiques et l'évolution de la lithosphère	658
♦ Le cycle de la lithosphère océanique – 658 ♦ Les spécificités des magmatismes archéens – 659 ♦ La formation et la croissance de la lithosphère continentale – 660 ♦ Le cycle de Wilson – 662	
Exercices	665

CINQUIÈME PARTIE

LA TERRE, PLANÈTE DU VIVANT

CHAPITRE 13

L'apparition de la biosphère

1. La spécificité de la biosphère	669
♦ Ses caractéristiques actuelles – 669 ♦ Qu'est-ce que la vie ?! – 669 ♦ Les éléments chimiques du vivant – 670 ♦ Les molécules organiques – 671 ♦ Les groupements fonctionnels et l'isomérisation – 673 ♦ L'environnement primitif de la biosphère – 673 ♦ L'hydrosphère – 673 ♦ L'atmosphère – 674 ♦ Les sources d'énergies – 674 ♦ Quelques aspects du scénario prébiotique – 675 ♦ La survie des premières molécules – 675 ♦ La disponibilité du phosphore et ses contraintes – 675 ♦ Le paradoxe de l'oeuf et de la poule – 675 ♦ La compartimentation – 676 ♦ La chiralité des biomolécules – 676	
2. De la « soupe primitive » à la chimie de surface	676
♦ Modèles et expériences – 677 ♦ La panspermie – 677 ♦ L'hypothèse chimique d'Oparine-Haldane – 677 ♦ L'expérience de Miller – 677 ♦ Un exemple de synthèse prébiotique – 678 ♦ La chimie prébiotique : bilan actuel – 679 ♦ Les limites de la synthèse – 679 ♦ Les difficultés de la polymérisation – 680 ♦ Le problème énergétique – 680 ♦ Quelques hypothèses actuelles – 681 ♦ Des molécules organiques d'origine extraterrestre – 681 ♦ Un monde d'argile – 681 ♦ Le scénario de la pyrite – 682 ♦ L'ARN et la vie primitive – 682	
3. La vie précambrienne	682
♦ Les premières traces de vie – 683 ♦ Le témoignage du carbone – 683 ♦ Les premières traces de vie : « les monères » – 683 ♦ Les stromatolites – 683 ♦ Les « virus géants » – 684 ♦ L'apparition des eucaryotes et des métazoaires – 684 ♦ Les eucaryotes et l'endosymbiose – 684 ♦ L'apparition de la sexualité – 684 ♦ Les métazoaires – 685 ♦ Le gisement fossilifère d'Édiacara – 686	

Sciences

3^E ÉDITION

de la Terre et de l'Univers

Sous la direction
de Jean-Yves Daniel

André Brahic, Michel Hoffert,
René Maury, André Schaaf,
Marc Tardy

Avec la collaboration
d'Armelle Baldeyrou-Bailly
et de Gilles Merzeraud

Après avoir situé notre globe dans l'histoire et l'immensité de l'Univers, les auteurs – enseignants-chercheurs renommés dans leur spécialité – en étudient toutes les dimensions : du noyau jusqu'à la croûte, du fond des océans jusqu'à la stratosphère et du fossile jusqu'à l'homme dans son environnement actuel.

**Cet ouvrage s'inscrit comme la référence pour les étudiants
et les candidats aux concours de l'enseignement**

Première partie : La Terre, planète du système solaire

1. La place de la Terre dans l'Univers. Fiches : *Rappels de mécanique classique – La mission Cassini-Huygens – La mission Planck – La mission Herschel – Définition d'une planète* – 2. La formation du système solaire – 3. L'évolution de la Terre et des planètes. Fiche : *À la recherche d'autres systèmes solaires et de la vie*

Deuxième partie : La Terre, archives géologiques et mémoire du temps

4. Les concepts de base de la géologie, science de l'histoire de la Terre – 5. Les roches : des archives géologiques. Fiches : *Les minéraux argileux et les argiles – Classification et dénomination des roches sédimentaires les plus communes* – 6. La mesure du temps et l'histoire de la Terre. Fiche : *La stratigraphie séquentielle*

Troisième partie : La Terre et ses climats : dynamique des enveloppes fluides

7. Les climats actuels – 8. Les climats anciens – 9. Les climats du futur

Quatrième partie : La Terre solide et sa dynamique

10. Forme, structure et dynamique globales de la Terre. Fiches : *Connaître la température à l'intérieur de la Terre, ou comment établir un géotherme – Raz de marée ou tsunami* – 11. La lithosphère et sa dynamique. Fiches : *Subsidence et bassins sédimentaires – Le métamorphisme : un enregistrement de la dynamique de la lithosphère* – 12. Le magmatisme, marqueur de la dynamique de la Terre

Cinquième partie : La Terre, planète du vivant

13. L'apparition de la biosphère – 14. La diversification et l'évolution de la biosphère

www.Vuibert.fr

ISBN : 978-2-311-00967-5



9 782311 009675

