

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 ♦ <i>Le théorème du viriel</i> – 46 ♦ THÉORÈME DU VIRIEL ET APPLICATIONS – 47 ♦ <i>L'intérieur du Soleil</i> – 48 ♦ <i>Les réactions thermonucléaires au centre du Soleil</i> – 48 ♦ <i>La composition chimique du Soleil</i> – 49 ♦ <i>Les neutrinos solaires</i> – 49 ♦ RÉACTIONS THERMONUCLÉAIRES DE TRANSFORMATION DE L'HYDROGÈNE EN HÉLIUM – 50 ♦ L'atmosphère du Soleil – 51 ♦ <i>La photosphère et les taches solaires</i> – 51 ♦ <i>La chromosphère</i> – 52 ♦ <i>La couronne</i> – 52 ♦ <i>Le vent solaire</i> – 53 ♦ L'activité solaire – 54 ♦ <i>Le cycle solaire</i> – 54 ♦ <i>La constante solaire</i> – 55 ♦ Les relations Soleil-Terre – 55 ♦ <i>L'irradiation et le bombardement cosmique</i> – 56 ♦ <i>Les relations Soleil-climat</i> – 57 ♦ <i>D'autres aspects de la relation Soleil-Terre</i> – 58 ♦ Le futur du système solaire – 59 ♦ <i>Le futur de l'humanité</i> – 59 ♦ <i>Le futur de la Terre et du Soleil</i> – 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 ♦ <i>La limite de Roche</i> – 70 ♦ <i>La sphère d'influence</i> – 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 ♦ <i>Rotation de la Terre et climat</i> – 72 ♦ <i>Irrégularités à long terme de la rotation terrestre</i> – 73 ♦ <i>Le mouvement du pôle</i> – 73 ♦ <i>Le mouvement de la Terre dans l'espace</i> – 73 ♦ <i>L'obliquité de l'axe de rotation et les saisons</i> – 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 ♦ <i>Les planètes telluriques</i> – 80 ♦ <i>Les planètes géantes</i> – 82 ♦ <i>Pluton et au-delà</i> – 84 ♦ Les satellites – 85 ♦ Les petits corps du système solaire – 90 ♦ <i>Les astéroïdes</i> – 90 ♦ <i>Les comètes</i> – 91 ♦ <i>Les anneaux des planètes</i> – 92 ♦ <i>Les météorites</i> – 94 ♦ <i>Le milieu interplanétaire et les poussières</i> – 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 ♦ <i>Le cycle de l'eau</i> – 219 ♦ <i>L'atmosphère et la vie</i> – 219 ♦ <i>Les saisons</i> – 220 ♦ <i>L'effet de serre</i> – 221 ♦ <i>Le climat et ses variations</i> – 221 ♦ <i>Le climat et les hommes</i> – 223 ♦ La diversité des atmosphères – 224 ♦ <i>L'atmosphère des planètes telluriques</i> – 224 ♦ <i>L'atmosphère des satellites</i> – 226 ♦ <i>L'atmosphère des planètes géantes</i> – 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 ♦ <i>De nombreuses roches, abondantes dans les séries géologiques, ne semblent plus se former actuellement, ou dans des proportions très différentes</i> – 248 ♦ <i>Le « présent » n'est pas représentatif des temps anciens</i> – 248 ♦ <i>Il n'est possible de reconnaître dans l'ancien que les milieux actuels ou des mécanismes physico-chimiques identifiés</i> – 248 ♦ <i>La comparaison entre actuel et ancien ne peut se faire que sur ce qui est conservé dans l'ancien</i> – 249 ♦ <i>Des modifications irréversibles caractérisent l'histoire de la Terre</i> – 249 ♦ <i>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</i> – 249 ♦ <i>En guise de conclusion au concept « causes anciennes-causes actuelles »</i> – 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 ♦ <i>Les niveaux condensés</i> – 254 ♦ <i>Niveaux fossilifères</i> – 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 ♦ <i>Lamines et « structures sédimentaires »</i> – 276 ♦ <i>Les litages</i> – 276 ♦ Le biofaciès – 277 ♦ Signification des faciès – 277 ♦ <i>Le milieu de dépôt</i> – 279 ♦ <i>Les environnements sédimentaires</i> – 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. Chimiostatigraphie	322
♦ La validité des mesures – 323 ♦ Quelques applications de la chimiostatigraphie – 323	
6. Magnétostratigraphie	324
♦ Le géomagnétisme actuel – 324 ♦ Aimantation d'une roche – 324 ♦ <i>Aimantation thermorémanente (ATR)</i> – 324 ♦ <i>Aimantation rémanente détritrique (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

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 prospectives – 436	

2. L'effet de serre : mécanismes et perturbations	436
♦ Le bilan radiatif – 436 ♦ <i>L'albédo de la Terre</i> – 436 ♦ <i>L'absorption atmosphérique</i> – 437 ♦ <i>Le bilan au sol</i> – 437 ♦ <i>L'énergie émise par la Terre</i> – 437 ♦ <i>Le bilan énergétique de l'atmosphère</i> – 438 ♦ <i>L'effet de serre : quelques précisions</i> – 438 ♦ <i>Le rôle de l'eau dans le bilan du rayonnement</i> – 438 ♦ <i>L'absorption</i> – 438 ♦ <i>Les nuages</i> – 438 ♦ <i>Les variations locales des énergies absorbées et rayonnées</i> – 439 ♦ <i>Les glaces de mer</i> – 439 ♦ <i>L'influence de la vapeur d'eau et des nuages</i> – 439 ♦ <i>Le dioxyde de carbone atmosphérique et le cycle du carbone</i> – 439 ♦ <i>Le cycle naturel</i> – 440 ♦ <i>Les perturbations anthropiques</i> – 441 ♦ <i>Le bilan des perturbations anthropiques</i> – 442 ♦ <i>Un premier puits : l'océan</i> – 442 ♦ <i>Un deuxième puits : la biosphère continentale</i> – 443 ♦ <i>Les autres gaz à effet de serre</i> – 445 ♦ <i>Le méthane</i> – 445 ♦ <i>Les CFC</i> – 445 ♦ <i>Les aérosols</i> – 445	
3. Scénarios pour demain : des modèles, des observations, des incertitudes	445
♦ <i>La réponse des régions polaires</i> – 445 ♦ <i>La réponse des océans</i> – 446 ♦ <i>La réponse de la biosphère marine</i> – 446 ♦ <i>La réponse de la biosphère continentale</i> – 446 ♦ <i>La réponse des hommes</i> – 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
♦ <i>Aperçu historique</i> – 451 ♦ <i>Approche géodésique de la forme de la Terre</i> – 452 ♦ <i>Masse et densité moyenne de la Terre</i> – 452 ♦ <i>Géologie et ellipsoïde de référence</i> – 452	
2. Les enveloppes du globe terrestre	456
♦ <i>Aperçu historique</i> – 456 ♦ <i>L'auscultation sismique de la Terre</i> – 457 ♦ <i>Généralités</i> – 457 ♦ <i>Étude instrumentale des séismes</i> – 459 ♦ <i>Notion de mécanisme au foyer d'un séisme</i> – 464 ♦ <i>Déformation et sismicité – Notion de cycle sismique</i> – 466 ♦ <i>Sismicité et aléa sismique</i> – 467 ♦ <i>Les ondes de volume et les discontinuités internes de la Terre solide</i> – 468 ♦ <i>L'apport des ondes de surface à la connaissance de la croûte terrestre</i> – 469 ♦ <i>Conclusion : le modèle sismologique de la Terre</i> – 469 ♦ <i>Composition et dynamique de l'intérieur de la Terre</i> – 472 ♦ <i>Introduction</i> – 472 ♦ <i>La constitution des enveloppes terrestres</i> – 472 ♦ <i>Le champ magnétique terrestre et la dynamique du noyau</i> – 474 ♦ <i>La dynamique du manteau</i> – 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
♦ <i>Le couple lithosphère-asthénosphère</i> – 493 ♦ <i>Lithosphère océanique et lithosphère continentale</i> – 494 ♦ <i>La lithosphère océanique</i> – 494 ♦ <i>La lithosphère continentale</i> – 499 ♦ <i>Contribution des points chauds à l'épaississement local des croûtes océaniques et continentales</i> – 506 ♦ <i>Les plaques lithosphériques et leur mobilité</i> – 506 ♦ <i>Notion de plaques lithosphériques</i> – 506 ♦ <i>La mobilité verticale de la lithosphère</i> – 508 ♦ <i>La mobilité horizontale de la lithosphère</i> – 515	
2. Les conséquences des mouvements horizontaux des plaques lithosphériques	525
♦ <i>Rappel de quelques notions simples de mécanique</i> – 525 ♦ <i>Forces et contraintes</i> – 525 ♦ <i>La déformation</i> – 527 ♦ <i>Comportement mécanique des roches et déformation</i> – 528 ♦ <i>Aperçu sur la rhéologie des matériaux lithosphériques</i> – 528 ♦ <i>Analyse de la déformation des roches</i> – 530 ♦ <i>La divergence et l'évolution des grandes structures liées</i> – 554 ♦ <i>La formation des rifts continentaux ou « rifting »</i> – 554 ♦ <i>La déchirure continentale et l'apparition de la croûte océanique</i> – 561 ♦ <i>Les marges continentales passives</i> – 563 ♦ <i>Structure des dorsales et expansion océanique</i> – 566 ♦ <i>La convergence et l'évolution des grandes structures liées</i> – 574 ♦ <i>La subduction</i> – 574 ♦ <i>L'obduction</i> – 585 ♦ <i>La collision</i> – 587 ♦ <i>L'extension post-orogénique</i> – 597	
Exercices	600
FICHE : SUBSIDENCE ET BASSINS SÉDIMENTAIRES	602
FICHE : LE MÉTAMORPHISME : UN ENREGISTREMENT DE LA DYNAMIQUE DE LA LITHOSPHÈRE	604

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 pyrène – 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	

La diversification et l'évolution de la biosphère

1. Burgess Pass ou l'« explosion cambrienne »	687
♦ Le gisement de Burgess Pass – 687 ♦ <i>Sa découverte</i> – 687 ♦ <i>Son étude récente</i> – 688 ♦ <i>Son contenu fossilifère</i> – 688 ♦ Les enseignements – 688 ♦ <i>L'exemple de Marrella</i> – 688 ♦ <i>Diversité et disparité</i> – 691 ♦ <i>Permissivité et décimation</i> – 691 ♦ <i>Du buisson à l'arbre en espalier</i> – 691 ♦ <i>La notion de contingence</i> – 691 ♦ <i>Unité et diversité de l'explosion cambrienne</i> – 692 ♦ <i>Quelques hypothèses sur les causes de la radiation cambrienne</i> – 692 ♦ <i>L'apparition de la coquille</i> – 692	
2. La théorie de l'évolution	693
♦ Les mécanismes de l'évolution – 693 ♦ <i>Prolégomènes</i> – 693 ♦ <i>L'hérédité et la variabilité génétique</i> – 695 ♦ <i>L'adaptation</i> – 698 ♦ LES STRATÉGIES ADAPTATIVES – 699 ♦ <i>La sélection naturelle</i> – 700 ♦ L'évolution des espèces – 701 ♦ <i>L'espèce, la spéciation et l'extinction</i> – 701 ♦ <i>Les archives paléontologiques</i> – 703 ♦ <i>L'approche biométrique</i> – 703 ♦ <i>Les modèles paléontologiques de l'évolution des espèces</i> – 704 ♦ <i>La coévolution</i> – 706 ♦ <i>L'hypothèse de la Reine Rouge</i> – 707 ♦ <i>Du sophisme de la notion de progrès à la mesure de la complexité</i> – 708 ♦ L'évolution de la biosphère – 709 ♦ <i>De la systématique à la phylogénie</i> – 709 ♦ <i>La systématique évolutive</i> – 712 ♦ <i>La systématique phénétique</i> – 712 ♦ <i>La systématique cladistique</i> – 713 ♦ <i>La biogéographie : dispersion et vicariance</i> – 716 ♦ <i>L'évolution morphologique et sa quantification</i> – 717 ♦ <i>Les hétérochronies du développement</i> – 720	
3. Quelques grandes étapes dans l'histoire de la biosphère	723
♦ La conquête du milieu continental – 723 ♦ <i>Les végétaux</i> – 723 ♦ <i>Le monde animal</i> – 724 ♦ <i>Les acquisitions morpho-anatomiques</i> – 726 ♦ La conquête du milieu aérien – 726 ♦ <i>Le vol et ses contraintes physiques</i> – 726 ♦ <i>La solution de l'aile</i> – 727 ♦ <i>Les perfectionnements de l'aile</i> – 728 ♦ <i>Les autres acquisitions</i> – 729 ♦ La conquête du milieu pélagique par les foraminifères planctoniques au Jurassique moyen (–175 Ma) – 730 ♦ <i>L'écologie et la distribution spatiotemporelle</i> – 730 ♦ <i>Les stratégies évolutives</i> – 731 ♦ L'histoire des vertébrés terrestres – 732 ♦ <i>La modification du pharynx</i> – 733 ♦ <i>L'invention de la mâchoire</i> – 733 ♦ <i>L'invention de l'amnios</i> – 736 ♦ <i>L'oxygénation des tissus</i> – 736 ♦ <i>La radiation des amniotes</i> – 737 ♦ <i>Les vertébrés ou l'histoire d'une émancipation</i> – 737 ♦ Les crises de la biosphère – 738 ♦ <i>Les extinctions en masse</i> – 738 ♦ <i>La reconquête</i> – 739 ♦ <i>L'exemple de la crise hirnantienne ou fini-ordovicienne</i> – 740 ♦ <i>Les modalités des extinctions</i> – 742 ♦ <i>Les causes des extinctions</i> – 742	
4. Des ancêtres des grands singes à <i>Homo sapiens</i>	744
♦ L'homme, un représentant de l'ordre des primates – 744 ♦ <i>L'origine des primates</i> – 745 ♦ <i>Les chaînons tertiaires</i> – 745 ♦ <i>Les grands singes de l'Ancien monde</i> – 746 ♦ Les australopithèques – 746 ♦ <i>Leur origine</i> – 747 ♦ <i>Leur diversité</i> – 748 ♦ Le genre <i>Homo</i> – 750 ♦ <i>Homo habilis, l'Africain</i> – 750 ♦ <i>Homo erectus et la sortie d'Afrique</i> – 751 ♦ <i>Homo sapiens</i> – 752 ♦ <i>L'homme actuel</i> – 755 ♦ Les spécificités de l'évolution humaine – 755 ♦ <i>L'apparition de la bipédie</i> – 755 ♦ <i>L'évolution du crâne, de la mâchoire et des dents</i> – 757 ♦ <i>L'expansion cérébrale</i> – 758 ♦ <i>L'apparition du langage</i> – 759 ♦ <i>L'industrie lithique</i> – 760 ♦ <i>La dimension sociale et culturelle</i> – 761 ♦ <i>L'approche moléculaire : de l'arbre des hominoïdes à la discutable « Ève africaine »</i> – 762	
Exercices	764
Solutions des exercices	765
Bibliographie	781
Index	785