

**TOUT EN
FICHES**

MÉMO VISUEL DE
GÉOLOGIE

3^e ÉDITION

Yves Lagabrielle

Directeur de recherche CNRS à l'UMR 6118 Géosciences-Rennes, université de Rennes 1

René Maury

Professeur émérite à l'université de Bretagne occidentale, Brest

Maurice Renard

Professeur émérite à l'ISTEP, Faculté des sciences et ingénierie Pierre et Marie Curie,
Sorbonne Université, Paris

DUNOD

Illustration de couverture : © howamo-istock. com

Uniformisation des illustrations et mise en page des fiches : Bernadette Coléno

© Dunod, 2013, 2017, 2022

11 rue Paul Bert, 92240 Malakoff

ISBN 978-2-10-084994-9

Le Code de la propriété intellectuelle n'autorisant, aux termes de l'article L. 122-5, 2° et 3° a), d'une part, que les « copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective » et, d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, « toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite » (art. L. 122-4).

Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les articles L. 335-2 et suivants du Code de la propriété intellectuelle.

Table des matières

Avant-propos	XI
Comment utiliser cet ouvrage	XII

Partie 1 La Terre, une planète dans l'Univers

Fiche 1	Le système solaire	2
Fiche 2	Le Soleil	3
Fiche 3	Accrétion planétaire et différenciation des assises terrestres	4
Fiche 4	Les météorites	5
Fiche 5	Cratères d'impact et impactites	6
Fiche 6	La géologie de Mars	7
Fiche 7	La Terre à l'Hadéen	8
Fiche 8	Les magmatismes archéens	9
Fiche 9	Les cratons et la croissance continentale	10
Fiche 10	Les modèles de croissance des continents	11
Fiche 11	Évolution de la croûte continentale	12

Partie 2 Hydrosphère et atmosphère terrestres

Fiche 12	L'hydrosphère et les propriétés de l'eau	14
Fiche 13	L'enveloppe gazeuse : l'atmosphère terrestre	15
Fiche 14	Le bilan thermique de la Terre	16
Fiche 15	Les déséquilibres thermiques régionaux	17
Fiche 16	Circulations atmosphériques et zonation climatique terrestre	18
Fiche 17	Un dispositif climatique régional : la mousson	19
Fiche 18	Les saisons et leur durée	20
Fiche 19	Propriétés et composition de l'eau de mer, origine de la salinité	21
Fiche 20	Les circulations océaniques (1) : spirale d'Ekman et upwellings	22
Fiche 21	Les circulations océaniques (2) : courants de surface et tapis roulant	23
Fiche 22	<i>El Niño</i> : l'oscillation australe	24
Fiche 23	La répartition des températures dans l'océan	25

Table des matières

Fiche 24	La répartition des salinités dans l'océan	26
Fiche 25	Les gaz dissous dans l'eau de mer et la ZOM	27
Fiche 26	Circulation thermo-haline, circulation haline	28
Fiche 27	Les isotopes stables de l'oxygène : comportements dans les eaux et les glaces	29
Fiche 28	Les isotopes stables de l'oxygène dans les carbonates : un paléothermomètre ambigu	30
Fiche 29	Données isotopiques sur le climat et la paléocéanographie du Crétacé sup à l'actuel	31
Fiche 30	La théorie astronomique du climat (théorie de Milankovitch)	32
Fiche 31	La stratigraphie isotopique du Quaternaire : les stades isotopiques	33
Fiche 32	Fluctuations du rapport isotopique de l'oxygène et théorie de Milankovitch	34
Fiche 33	Les rapports isotopiques de l'oxygène dans les glaces des calottes polaires	35
Fiche 34	Les contrôles du climat terrestre	36
Fiche 35	Les fluctuations climatiques de second ordre	37
Fiche 36	Les fluctuations climatiques de 3 ^e ordre : la glaciation du Würm	38
Fiche 37	Les fluctuations climatiques de 3 ^e ordre : les événements hautes fréquences	39
Fiche 38	Les fluctuations climatiques de 4 ^e ordre : les événements rapides	40
Fiche 39	Évolution des températures moyennes terrestres depuis le Mésozoïque	41
Fiche 40	Prévisions sur l'évolution du climat terrestre	42
Fiche 41	Les géographies prédictives pour des taux de CO ₂ double ou quadruple de l'actuel	43

Partie 3 Sédimentologie

Fiche 42	La « machine » sédimentaire terrestre	46
Fiche 43	Les processus d'altération –Diagramme de Goldschmidt	47
Fiche 44	Les argiles	48
Fiche 45	Altérations et climats	49
Fiche 46	Les profils d'altération : biostasie et rhexistasie	50
Fiche 47	Altérations et apports particuliers à l'océan	51
Fiche 48	Transport et sédimentation des particules	52
Fiche 49	Structures sédimentaires associées à un courant unidirectionnel	53
Fiche 50	Structures sédimentaires liées aux vagues Zonation hydrodynamique de la plate-forme	54
Fiche 51	Structures et figures sédimentaires (marées, courants et bioturbation)	55
Fiche 52	Classification granulométrique des roches sédimentaires	56
Fiche 53	Sédimentation et environnements fluviaux	57
Fiche 54	Le domaine fluvio-marin : estuaires et deltas	58
Fiche 55	Sédimentation chimique : minéraux et roches évaporitiques	59

Table des matières

Fiche 56	Les environnements océaniques et les différents types de plates-formes	60
Fiche 57	La précipitation des carbonates en milieu marin	61
Fiche 58	La minéralogie des carbonates sédimentaires	62
Fiche 59	Classification des roches carbonatées : classification de Folk	63
Fiche 60	Classification des roches carbonatées : classification de Dunham	64
Fiche 61	Les producteurs carbonatés néritiques :	
	les associations Heterozoan et Photozoan	65
Fiche 62	Récifs et sédimentation récifale	66
Fiche 63	Les modèles de faciès des plates-formes	67
Fiche 64	Un exemple actuel de rampe carbonatée : le sud du Golfe Persique	68
Fiche 65	Un exemple actuel de haut-fond carbonaté : le Grand Banc des Bahamas	69
Fiche 66	La sédimentation pélagique : lysocline et CCD	70
Fiche 67	Les producteurs de minéraux biogènes du domaine pélagique	71
Fiche 68	Répartition des différents types de sédiments dans l'océan actuel	72
Fiche 69	Le contrôle climatique de la sédimentation pélagique	73
Fiche 70	Sédimentation océanique, mobilité lithosphérique et fluctuations de la CCD	74
Fiche 71	Bilan de la sédimentation carbonatée marine	75
Fiche 72	La diagenèse	76
Fiche 73	Dolomies et dolomitisation	77
Fiche 74	L'environnement de la sédimentation gravitaire	78
Fiche 75	Les courants de turbidité	79
Fiche 76	Les séquences turbiditiques : Bouma et Lowe	80
Fiche 77	Le modèle du cône sous-marin	81
Fiche 78	Les faciès gravitaires de Mutti	82

Partie 4 Stratigraphie

Fiche 79	Principes de la stratigraphie : notions de biozone et chronozone	84
Fiche 80	La radiochronologie	85
Fiche 81	La chimiostratigraphie	86
Fiche 82	Le rapport isotopique du carbone	87
Fiche 83	La cyclostratigraphie	88
Fiche 84	La stratigraphie séquentielle	89
Fiche 85	Les fluctuations eustatiques : La courbe de Vail	90
Fiche 86	L'échelle stratigraphique internationale (1)	91
Fiche 87	L'échelle stratigraphique internationale (2)	92
Fiche 88	Les grandes crises du monde vivant : la crise Crétacé/Tertiaire	93
Fiche 89	Quelques fossiles stratigraphiques du Primaire	94
Fiche 90	Quelques fossiles stratigraphiques du Méso-Cénozoïque	95

Table des matières

Fiche 91	L'évolution de l'Homme (1)	96
Fiche 92	L'évolution de l'Homme (2)	97
Fiche 93	L'origine de la vie	98

Partie 5 Structure de la Terre et géodynamique globale

Fiche 94	L'attraction universelle et la masse de la Terre	100
Fiche 95	Les formes de la Terre	101
Fiche 96	Représenter le globe : les projections	102
Fiche 97	Densité et composition chimique des enveloppes de la Terre	103
Fiche 98	Séismes et ondes sismiques	104
Fiche 99	Enregistrement et localisation des séismes	105
Fiche 100	Trajet et vitesse des rais sismiques	106
Fiche 101	Propagation des ondes sismiques dans le globe terrestre	107
Fiche 102	Les apports de la sismologie, un modèle de Terre sphérique	108
Fiche 103	La lithosphère et la zone à moindre vitesse	109
Fiche 104	Lithosphère et asthénosphère	110
Fiche 105	Dynamique de la lithosphère	111
Fiche 106	Le cycle de la lithosphère océanique	112
Fiche 107	La croûte terrestre : continents et océans	113
Fiche 108	Le champ magnétique terrestre	114
Fiche 109	Le noyau terrestre La fossilisation du champ magnétique	115
Fiche 110	Le paléomagnétisme et la mobilité continentale	116
Fiche 111	Les inversions du champ magnétique terrestre, les anomalies magnétiques	117
Fiche 112	Anomalies magnétiques : l'âge de la lithosphère océanique	118
Fiche 113	Carte de l'âge des fonds océaniques	119
Fiche 114	Le champ de pesanteur terrestre : la gravimétrie	120
Fiche 115	L'isostasie	121
Fiche 116	Le champ de pesanteur terrestre, le géoïde	122
Fiche 117	Le flux thermique et la convection du manteau	123
Fiche 118	Les modèles de convection du manteau	124
Fiche 119	Les panaches mantelliques et les points chauds	125
Fiche 120	Les panaches et la convection du manteau inférieur	126
Fiche 121	La magnitude des séismes	127
Fiche 122	Les mécanismes au foyer des séismes	128
Fiche 123	Les séismes et la géodynamique	129
Fiche 124	La sismicité mondiale : limites des plaques lithosphériques	130
Fiche 125	Les modèles de plaques lithosphériques	131
Fiche 126	Principe de la tectonique des plaques	132

Table des matières

Fiche 127	Cinématique des plaques : exemples	133
Fiche 128	Les mouvements absolus des plaques	134
Fiche 129	Les satellites et la géodynamique	135
Fiche 130	Tectonique globale et production de nouvelle lithosphère océanique	136

Partie 6 La déformation de la lithosphère

Fiche 131	Comportement des roches durant la déformation : la rhéologie	138
Fiche 132	Contraintes et déformation	139
Fiche 133	Tectonique souple : les plis	140
Fiche 134	Les plissements : signification dynamique	141
Fiche 135	Tectonique cassante : les failles	142
Fiche 136	Schistosité et foliation	143
Fiche 137	La microtectonique : les indicateurs cinématiques	144
Fiche 138	Plis et failles : la croissance des prismes tectoniques	145
Fiche 139	Rhéologie de la lithosphère continentale	146
Fiche 140	Les nappes de charriage	147
Fiche 141	Les rifts continentaux	148
Fiche 142	Les chaînes de montagne	149
Fiche 143	L'obduction : la nappe de Semail (Oman)	150
Fiche 144	La Cordillère des Andes	151
Fiche 145	Des Alpes à l'Himalaya	152
Fiche 146	Les Alpes occidentales	153
Fiche 147	Les Alpes : histoire d'un océan	154
Fiche 148	Les Pyrénées	155
Fiche 149	La chaîne varisque en Europe	156
Fiche 150	Le modelé des paysages	157
Fiche 151	Lithologie et climat : facteurs de modelé des paysages	158
Fiche 152	Tectonique et paysages : les plis	159
Fiche 153	Tectonique et paysages : les failles actives	160
Fiche 154	Tectonique et sédimentation : flyschs et molasses	161
Fiche 155	Les bassins sédimentaires	162

Partie 7 La géodynamique des océans

Fiche 156	Les outils de l'exploration océanique	164
Fiche 157	Morphologie des fonds océaniques : marges continentales et dorsales	165
Fiche 158	Genèse des marges passives	166
Fiche 159	Les marges passives volcaniques et non volcaniques	167

Table des matières

Fiche 160	Les marges actives	168
Fiche 161	La subduction océanique : processus tectoniques	169
Fiche 162	Subduction et bassins arrière-arcs	170
Fiche 163	L'accrétion océanique : les dorsales	171
Fiche 164	Les dorsales rapides	172
Fiche 165	Les dorsales lentes	173
Fiche 166	La segmentation des dorsales et les failles transformantes	174
Fiche 167	Les océans Atlantique et Indien	175
Fiche 168	L'océan Pacifique	176
Fiche 169	Histoire de l'océan mondial depuis 180 Ma	177
Fiche 170	Tectonique globale et eustatisme	178

Partie 8 Roches et minéraux endogènes

Fiche 171	Rayons ioniques et structures minérales	180
Fiche 172	Éléments compatibles et incompatibles	181
Fiche 173	Classification structurale des silicates	182
Fiche 174	Les principaux silicates	183
Fiche 175	Les minéraux non silicatés	184
Fiche 176	Les facteurs du métamorphisme	185
Fiche 177	Les minéraux, marqueurs du métamorphisme	186
Fiche 178	Faciès et gradients métamorphiques	187
Fiche 179	Les chemins P-T-t des roches métamorphiques*	188
Fiche 180	Le métamorphisme alpin de haute pression-basse température	189
Fiche 181	La classification courante des roches magmatiques	190
Fiche 182	La nomenclature chimique des roches volcaniques	191
Fiche 183	Les textures des roches volcaniques	192
Fiche 184	Les textures des roches plutoniques	193
Fiche 185	Les roches du manteau	194
Fiche 186	Les basaltes	195
Fiche 187	Les andésites	196
Fiche 188	Les granitoïdes	197
Fiche 189	Rhyolites, trachytes et phonolites	198

Partie 9 Les magmas : mise en place et origine

Fiche 190	Les magmas et leurs propriétés	200
Fiche 191	Les coulées basaltiques subaériennes	201
Fiche 192	Le volcanisme sous-marin profond	202

Table des matières

Fiche 193	Les éruptions hydromagmatiques	203
Fiche 194	Les explosions subaériennes verticales	204
Fiche 195	Les coulées pyroclastiques	205
Fiche 196	Les grands types de volcans	206
Fiche 197	Les volcans boucliers	207
Fiche 198	Les grandes caldeiras et les ignimbrites	208
Fiche 199	Les volcans du Massif Central	209
Fiche 200	Un grand volcan composite : le Cantal	210
Fiche 201	La Chaîne des Puys et son histoire	211
Fiche 202	Le volcanisme de l'Islande	212
Fiche 203	Le volcanisme d'Hawaï	213
Fiche 204	Intrusions et extrusions volcaniques	214
Fiche 205	La mise en place des granitoïdes	215
Fiche 206	La composition chimique du manteau	216
Fiche 207	La fusion partielle du manteau	217
Fiche 208	La signature géochimique des basaltes : les éléments en traces	218
Fiche 209	La signature géochimique des basaltes : les isotopes de Sr, Nd et Pb	219
Fiche 210	Structure et fonctionnement d'un réservoir magmatique	220
Fiche 211	Principe de la cristallisation fractionnée	221
Fiche 212	Les modalités de la cristallisation fractionnée	222
Fiche 213	Les mélanges magmatiques	223
Fiche 214	La contamination crustale	224
Fiche 215	L'hydrothermalisme océanique	225
Fiche 216	Les grandes provinces magmatiques	226
Fiche 217	Le volcanisme des marges passives	227
Fiche 218	Les sources des magmas des points chauds	228
Fiche 219	Du volcan à l'atoll en Polynésie	229
Fiche 220	La diversité des basaltes océaniques	230
Fiche 221	Les arcs volcaniques	231
Fiche 222	Les spécificités des magmas d'arc	232
Fiche 223	Les origines des magmas d'arc	233
Fiche 224	L'arc des Petites Antilles	234
Fiche 225	Le magmatisme post-subduction	235
Fiche 226	Le magmatisme lié aux fenêtres asthénosphériques	236
Fiche 227	La fusion de la croûte océanique	237
Fiche 228	Le recyclage profond de la lithosphère océanique	238
Fiche 229	La fusion de la croûte continentale	239
Fiche 230	L'eau dans le manteau : ses origines et ses rôles	240

Table des matières

Partie 10 Aléas et ressources énergétiques

Fiche 231	Aléas sismiques et tsunamis	242
Fiche 232	Les risques volcaniques	243
Fiche 233	Évènements climatiques extrêmes	244
Fiche 234	Le pétrole	245
Fiche 235	Le charbon	246
Fiche 236	La géothermie	247
Index		248
Crédits photographiques		252

Avant-propos

Cet ouvrage a pour ambition d'offrir à un large public d'étudiants et d'enseignants-chercheurs un aperçu des connaissances relatives à notre planète Terre : son origine, son histoire, les matériaux qui la composent et les mouvements qui animent ses enveloppes profondes et superficielles. Il a été préparé par des chercheurs-enseignants, anciens membres du jury de l'agrégation de sciences de la vie et de la Terre, ayant la volonté de produire un ouvrage équilibré dans lequel les disciplines de la géologie sont traitées à égalité.

D'un seul coup d'œil, fiche après fiche, le lecteur trouvera l'essentiel des données fondamentales nécessaires à sa progression dans la découverte des disciplines qui composent les Sciences de la Terre : géophysique, tectonique, pétrologie-géochimie, sédimentologie, stratigraphie, paléontologie, géomorphologie, paléoclimatologie...

Chaque fiche propose les schémas fondamentaux qui illustrent de façon simple les données, les concepts et les hypothèses les plus récents. Des photographies ponctuent les fiches d'éléments concrets indispensables pour une science de terrain. De nombreux dessins, entièrement réalisés par les auteurs, constituent des documents de synthèse originaux. Afin d'assurer la cohérence de l'ouvrage, l'ensemble des illustrations a été harmonisé par Alexandre Lethiers et par Bernadette Coléno qui a également assuré la mise en page des fiches.

Ce Mémo Visuel de Géologie s'adresse d'abord aux étudiants de Licence (L1 à L3), mais sera également utile aux étudiants en Master. Il accompagnera les candidats aux concours de recrutement de l'enseignement secondaire et les élèves des classes préparatoires BCPST. Il sera utile également à un public d'enseignants et de chercheurs désireux d'accéder à un panorama complet des géosciences et plus simplement à tous les amateurs de géologie.

Les auteurs remercient vivement les collègues qui leur ont fourni des documents photographiques et iconographiques, et notamment :

Arnaud Agranier, Michel Ballèvre, Jacques-Marie Bardintzeff, Jean-Alix Barrat, Claire Bassoulet, Arnaud Blais, Sylvain Blais, Françoise Boudier, Martial Caroff, François Chauvet, Gilles Chazot, Delphine Desmares, Laurent Emmanuel, Camille Clerc, Carole Cordier, Vincent Courtillot, Anne Delplanque, Anne Deschamps, Laurent Geoffroy, Stéphane Guillot, Marc-André Gutscher, Thierry Juteau, Serge Lallemand, Laurence Le Callonnec, Nicolas Le Moigne, Anne-Marie Marabal, Fabrice Minoletti, Pierre Nehlig, Christian Nicolle, Carlos Pallares, Michel Pichavant, Gaëlle Prouteau, Marc de Rafélis, Sidonie Révillon, Jean-François Ritz, Isabelle Rouget, Brigitte Senut, Bruno Vrielynck, Valérie Zeitoun.

Comment utiliser cet ouvrage

Partie 1 La Terre, une planète dans l'Univers



Collision de deux galaxies. Les galaxies des Antennes (NGC 4038 / 4039), à 62 millions d'années-lumière de la Terre, sont entrées en collision il y a plus de 100 Ma, et celle-ci se poursuit actuellement. Les énormes nuages bleus et rouges correspondent à des gaz interstellaires chauffés, et les zones blanches et dorées à des amas stellaires, dont certains sont en cours de formation (NASA, ESA, STScI, J. DePasquale et R. Whitmore).

10 parties

Les grandes disciplines des Sciences de la Terre

236 fiches

Les notions essentielles du cours pour réviser rapidement

Plus de

1 000 schémas et photos en couleur pour illustrer chaque notion importante

Et aussi...

- De nombreuses cartes de situations, globales ou régionales
- Un index complet

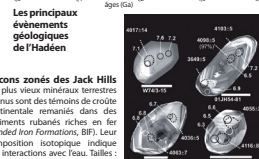
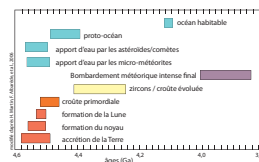
fiche 7

La Terre à l'Hadaéen

Les témoins directs de l'Hadaéen (> 4 Ga) sont très rares : orthogneiss d'Acasta, Canada (4,03 Ga) et zircons des Jack Hills, Australie (âge maximal U-Pb 4,40 Ga). Les autres renseignements sur cette période proviennent d'études isotopiques (^{18}O - ^{16}O , ^{26}Al - ^{27}Al , ^{142}Nd - ^{143}Nd) sur les roches terrestres anciennes comparées aux météorites et aux roches lunaires.

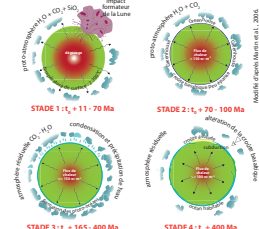


Orthogneiss d'Acasta (métagranodiorite de type TTG)



Les quatre principales étapes de l'évolution de la Terre à l'Hadaéen. L'âge conventionnel de sa formation (t_1) est fixé à 4,568 Ga ; il est postérieur à ceux de la plupart des chondrites.

- Stade 1.** L'accrétion et le bombardement (impact formateur de la Lune) s'accompagnent d'un flux de chaleur très élevé. Le dégazage intense et l'apport externe d'eau (météorites) conduisent à l'apparition d'une **proto-atmosphère**, alors que le manteau est liquide (**océan magmatique**) et que le **noyau** se forme.
- Stade 2.** Le flux de chaleur demeure très élevé et la proto-atmosphère très épaisse provoque un effet de serre (**greenhouse**). L'océan magmatique se refroidit et une **croûte basaltique** apparaît.
- Stade 3.** La condensation de l'eau conduit à la formation des **proto-océans**. Les premiers éléments de **croûte continentale** apparaissent (zircons).
- Stade 4.** Apparition de phénomènes similaires aux modernes : **formation de croûte continentale**, **subduction**, **altération de la croûte basaltique**. L'océan devient habitable, mais l'intense **bombardement météoritique tardif** fera disparaître vers 4 Ga la plupart des témoins de ces processus.



Partie

1

La Terre, une planète dans l'Univers



Collision de deux galaxies. Les galaxies des Antennes (NGC 4 038 /4 039), à 62 millions d'années-lumière de la Terre, sont entrées en collision il y a plus de 100 Ma, et celle-ci se poursuit actuellement. Les énormes nuages bleus et rouges correspondent à des gaz interstellaires chauds, et les zones blanches et dorées à des amas stellaires, dont certains sont en cours de formation

(© NASA, ESA, STScI, J. DePasquale et B. Whitmore).