

Table des matières

Introduction	1
Pascal PHILIPPOT	
Chapitre 1. Évolution thermique de la Terre.	5
Stéphane LABROSSE	
1.1. Brève note historique	5
1.2. Le bilan de chaleur actuel	7
1.3. La Terre hadéenne	10
1.4. Observations directes de l'évolution thermique	11
1.5. Modèles paramétrés d'évolution	13
1.5.1. Transfert de chaleur par convection	13
1.5.2. Modèles classiques de refroidissement et catastrophe thermique.	16
1.5.3. Effet d'un exposant β différent	18
1.5.4. Effets des continents	19
1.5.5. Effets de la structure en couche de la Terre.	22
1.5.6. Évolution thermique du noyau	23
1.5.7. Effets d'un manteau stratifié	26
1.6. Conclusion	31
1.7. Bibliographie.	33
Chapitre 2. Dynamique du manteau, de la lithosphère et de la croûte à l'Archéen	39
Patrice REY et Nicolas COLTICE	
2.1. Introduction.	39
2.2. Changement de composition de la croûte continentale supérieure : tectonique des plaques ou dénudation ?	42

2.2.1. Perspective crustale sur la croissance continentale	42
2.2.2. La perspective du manteau sur la croissance continentale	45
2.3. Tectonique archéenne	48
2.3.1. Au-delà des observations : la géodynamique numérique	51
2.4. Conclusions	65
2.5. Bibliographie	67

Chapitre 3. Champ magnétique précambrien et reconstructions paléogéographiques 79

Julie CARLUT et Mélina MACOUCIN

3.1. Généralités introductives sur le champ magnétique de la Terre	79
3.1.1. Le champ magnétique à l'Édiacarien	81
3.1.2. Le Protérozoïque : en remontant le temps jusqu'à l'Archéen (de 635 à 2500 Ma)	86
3.1.3. À l'Archéen (et avant)	88
3.1.4. La vie sous un champ instable et faible	89
3.2. Utiliser l'enregistrement du champ magnétique terrestre pour construire les modèles de paléogéographie	90
3.2.1. Apports de la connaissance des paléogéographies	90
3.2.2. Reconstruire les paléopositions des ensembles cratoniques et les paléogéographies : le paléomagnétisme	92
3.3. Les modèles paléogéographiques du Précambrien	95
3.3.1. Supercratons/supercontinents	95
3.3.2. Archéen et Paléoprotérozoïque	97
3.3.3. Du Paléoprotérozoïque au Mésoprotérozoïque : le supercontinent Nuna	98
3.3.4. Du Mésoprotérozoïque au Néoprotérozoïque : le supercontinent Rodinia	98
3.3.5. La fin du Précambrien : vers la formation du Gondwana	100
3.4. Bibliographie	101

Chapitre 4. Le magmatisme de l'Archéen 109

Jean-François MOYEN

4.1. Introduction	109
4.2. Les laves des ceintures de roches vertes	112
4.2.1. Les laves basiques et ultrabasiques	114
4.2.2. Les laves basiques et intermédiaires à affinité « d'arc »	119
4.2.3. Les laves et roches pyroclastiques acides	120

4.3. Les granitoïdes	120
4.3.1. Les granitoïdes issus de la fusion de lithologies crustales	123
4.3.2. Les granitoïdes associés à une lignée de différenciation : une origine dans le manteau.	129
4.4. Les gneiss gris	130
4.5. Considérations géodynamiques	133
4.5.1. Les magmas de la Terre actuelle et leur signification géodynamique	133
4.5.2. Les magmas archéens et la dynamique de la Terre ancienne	135
4.5.3. À propos de « subduction »	135
4.5.4. L'évolution temporelle des magmas archéens	137
4.6. Bibliographie.	141

Chapitre 5. La température et la composition chimique

des océans au Précambrien	151
--	------------

Johanna MARIN-CARBONE et Christophe THOMAZO

5.1. Introduction.	151
5.2. Des océans très anciens.	152
5.2.1. De l'eau liquide sur Terre dès l'Hadéen.	152
5.2.2. L'origine de l'eau	156
5.3. La température océanique au cours du Précambrien.	158
5.3.1. Le paradoxe du Soleil jeune.	158
5.3.2. L'importance des cherts dans les reconstructions de paléo-températures	161
5.4. Caractéristiques et évolutions chimiques des océans primitifs	168
5.4.1. La salinité des océans	169
5.4.2. L'alcalinité des océans	170
5.4.3. Le pH des océans	172
5.4.4. Une histoire sentant le soufre : de ferrugineux à euxinique, l'évolution redox des océans	173
5.4.5. L'évolution des concentrations des éléments métalliques	176
5.5. Conclusions et perspectives	177
5.6. Bibliographie.	179

Chapitre 6. Oxygénation de l'atmosphère 189

Pascal PHILIPPOT et Pierre SANS-JOFRE

6.1. Introduction.	189
6.2. Les grandes étapes de l'oxygénation	191
6.3. L'origine du dioxygène libre.	192
6.4. Facteurs contrôlant les taux d'oxygène dans l'atmosphère	193

6.5. Les prémices de l'oxygénation	194
6.5.1. Registre biologique	195
6.5.2. Registre géologique.	196
6.5.3. Les anomalies isotopiques du soufre (MIF-S)	201
6.6. La grande oxydation (GOE, 2,45 à 2,2 Ga)	205
6.7. Le <i>Boring Billion</i> : 1,8 à 0,8 Ga.	208
6.8. L'oxygénation de l'atmosphère au Néoprotérozoïque (NOE – 800 à 600 Ma).	209
6.8.1. Des conditions paléogéographiques et tectoniques très particulières.	209
6.8.2. Le Cryogénien : la « Terre boule de neige »	210
6.8.3. Le NOE et le rôle clé de la sulfato-réduction microbienne.	212
6.8.4. L'émergence du monde animal au Néoprotérozoïque.	216
6.9. Bibliographie.	220

Chapitre 7. Les grands cycles biogéochimiques 231

Magali ADER, Vincent BUSIGNY et Christophe THOMAZO

7.1. Introduction.	231
7.2. Le cycle biogéochimique du carbone.	233
7.2.1. Les principaux réservoirs et flux de carbone	233
7.2.2. Le $\delta^{13}\text{C}_{\text{carb}}$ des roches sédimentaires carbonatées : archive du $\delta^{13}\text{C}$ du carbone inorganique dissous dans les océans	234
7.2.3. Le $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ des roches sédimentaires : archives des métabolismes de synthèse de matière organique	241
7.2.4. Conclusion sur le cycle du carbone	242
7.3. Le cycle biogéochimique du soufre.	242
7.3.1. Généralités : sources, puits et flux	243
7.3.2. L'enregistrement sédimentaire du cycle du soufre	245
7.3.3. Variabilité des compositions isotopiques du soufre au cours des temps géologiques	248
7.3.4. Conclusions sur le cycle du soufre	250
7.4. Le cycle biogéochimique du fer.	251
7.4.1. Distribution et spéciation du fer dans les principaux réservoirs terrestres	251
7.4.2. Rôle du fer dans la biosphère	252
7.4.3. Un élément central des cycles biogéochimiques précambriens	252
7.4.4. Enregistrement du cycle biogéochimique du fer des océans précambriens	255
7.4.5. Variations séculaires des compositions isotopiques du fer	255
7.4.6. Bilan sur l'évolution du cycle du fer au Précambrien.	259

7.5. Conclusion sur le fonctionnement et les interrelations des cycles du C, S et Fe au Précambrien	260
7.6. Bibliographie	260

Chapitre 8. Débuts du vivant et enregistrement fossile 267

Sylvain BERNARD

8.1. Introduction	267
8.2. La question des origines	268
8.2.1. Les scénarios des débuts du vivant	269
8.2.2. Les limites de la chimie prébiotique	272
8.3. Le registre fossile ancien	275
8.3.1. Les microfossiles de l'Apex	275
8.3.2. Le registre fossile d'Isua et d'Akilia	278
8.3.3. Les stromatolites archéens	280
8.3.4. Sur le concept de biosignature	282
8.4. <i>So what now ?</i>	285
8.4.1. La fossilisation expérimentale	286
8.4.2. Une autre Terre primitive	289
8.5. Bibliographie	293

Chapitre 9. Gisements minéralisés : Au, U, Fe-Mn 309

Michel LOPEZ

9.1. Introduction	309
9.2. Place de la Terre primitive et de transition dans le cycle métallogénique de la planète	311
9.3. De la soupe primordiale aux premiers gisements	312
9.4. La « cuisine » géochimique de la planète pendant le Précambrien, exemple de l'or, de l'uranium et du fer-manganèse	316
9.4.1. Le cycle géochimique et biochimique de l'or	316
9.4.2. Le cycle géochimique de l'uranium	320
9.4.3. Le cycle géochimique du fer et du manganèse	323
9.5. La Terre de l'or au Méso- et Néoarchéen	325
9.6. L'uranium « compagnon de route » de l'or au Méso- et Néoarchéen	330
9.6.1. 4,55-3,1 Ga : formation du réservoir primitif d'uranium dans des minéraux accessoires réfractaires	331
9.6.2. 3,1-2,2 Ga : formation des premiers granites peralumineux à uraninite riche en Th et enrichissement bactérien et gravitaire dans des paléoplacers géants	332

9.6.3. 2,2-0,45 Ga : premiers pièges redox et gîtes métasomatiques crustaux	333
9.6.4. 0,45 Ga-actuel : piégeage de l'uranium dans les grès et sur les fronts redox	334
9.7. La Terre du fer et du manganèse au Néoarchéen-Protérozoïque	338
9.7.1. Importance des ressources en fer et manganèse	338
9.7.2. Minéralogie des minerais de fer rubané et de manganèse et nature des sédiments précurseurs	340
9.7.3. Arguments pour une source hydrothermale du fer, du manganèse et de la silice.	341
9.7.4. Le rôle fondamental du développement de la vie dans les mécanismes d'oxydation du fer et du manganèse à l'origine des BIF	343
9.7.5. Classification et modèles de dépôts des gîtes de fer rubané et de manganèse précambriens	345
9.8. Conclusions.	356
9.9. Bibliographie.	358
Liste des auteurs.	371
Index	373