

# Table des matières

<b>Préface</b> .....	1
Yanick RICARD	
<b>Chapitre 1. Modèles de la dynamique du manteau</b> .....	5
Gaël CHOBLET	
1.1. Vers les premiers modèles du manteau de la Terre .....	5
1.1.1. Avant les modèles. ....	5
1.1.2. Dérive des continents, convection thermique, tectonique des plaques .....	7
1.2. Le modèle physique : la convection thermique .....	9
1.2.1. Lois de conservation : masse, quantité de mouvement, énergie .....	10
1.2.2. Relations constitutives : Fourier, rhéologie, équation d'état . . .	12
1.2.3. Conditions aux limites, condition initiale .....	13
1.2.4. Adimensionnement, analyse dimensionnelle, nombres sans dimension. ....	14
1.2.5. De l'analyse de stabilité linéaire à la convection turbulente . . .	16
1.3. « Résoudre » des équations aux dérivées partielles .....	19
1.3.1. Méthodes spectrales .....	20
1.3.2. Méthodes de type différences finies ou volumes finis .....	21
1.3.3. Méthodes de type éléments finis .....	24
1.3.4. Divers aspects des méthodes contemporaines .....	24
1.4. D'une approche réductionniste à une approche « holiste » .....	27
1.4.1. Un chauffage mixte. ....	28
1.4.2. Sphéricité. ....	29

1.4.3. Rhéologie . . . . .	29
1.4.4. Composition . . . . .	34
1.4.5. Plusieurs phases . . . . .	35
1.5. Conclusion . . . . .	37
1.6. Bibliographie . . . . .	40

## **Chapitre 2. Modalités de séparation noyau/manteau : contraintes géochimiques et dynamiques . . . . .** 43

Julien MONTEUX et Maud BOYET

2.1. Introduction . . . . .	43
2.2. Modalités de séparation noyau/manteau de la Terre : indices géochimiques . . . . .	46
2.2.1. Modèle interne de composition de la Terre et des planètes telluriques . . . . .	47
2.2.2. Les éléments chimiques et leurs propriétés . . . . .	47
2.2.3. Les météorites : briques élémentaires de la Terre . . . . .	49
2.2.4. Contraintes à partir des éléments modérément sidérophiles . . . . .	53
2.2.5. L'excès de concentration en éléments hautement sidérophiles . . . . .	54
2.3. Séparation fer/silicates dans un océan magmatique . . . . .	56
2.3.1. Fragmentation au cours de l'impact . . . . .	57
2.3.2. Fragmentation dans l'océan magmatique . . . . .	57
2.3.3. Évolution thermo-chimique des gouttelettes de fer . . . . .	60
2.4. Séparation fer/silicates par diapirisme géant . . . . .	62
2.5. Assemblages de noyaux suite à un impact géant . . . . .	65
2.6. Conclusion et perspectives pour le champ magnétique . . . . .	67
2.7. Bibliographie . . . . .	69

## **Chapitre 3. Dynamique et évolution thermique du manteau terrestre primitif . . . . .** 75

Julien MONTEUX et Denis ANDRAULT

3.1. Introduction . . . . .	75
3.2. Sources d'énergie primitive . . . . .	76
3.2.1. Les éléments radioactifs à courte période . . . . .	77
3.2.2. Chauffage par impacts . . . . .	79
3.2.3. Dissipation visqueuse liée à la formation du noyau . . . . .	81
3.2.4. Impacts géants et formation de la Lune . . . . .	83

3.3. Courbes de fusion dans le manteau profond. . . . .	84
3.3.1. Le profil du solidus du manteau : la température d'apparition des premiers magmas . . . . .	85
3.3.2. Courbes de fusion d'autres silicates du manteau terrestre . . . . .	86
3.3.3. Diagramme de fusion eutectique du manteau : exemple de la frontière noyau/manteau . . . . .	88
3.3.4. Contraintes sur la température à la frontière noyau/manteau . . . . .	89
3.4. Le manteau au stade océan magmatique. . . . .	91
3.4.1. Un système en convection vigoureuse. . . . .	91
3.4.2. Modélisation d'un océan magmatique. . . . .	92
3.4.3. Profils adiabatiques. . . . .	93
3.4.4. Dynamique de refroidissement . . . . .	94
3.5. Des océans magmatiques à la dynamique mantellique actuelle . . . . .	96
3.5.1. Taux de fusion et modèles de viscosité . . . . .	97
3.5.2. Dynamique de refroidissement . . . . .	100
3.5.3. Couplage océan magmatique-manteau solide . . . . .	101
3.5.4. Conséquences géochimiques . . . . .	102
3.6. Influences externes . . . . .	103
3.6.1. Relation entre le manteau primitif et le noyau . . . . .	103
3.6.2. Influence de l'atmosphère primitive . . . . .	104
3.6.3. Influence de la Lune . . . . .	105
3.7. Conclusion . . . . .	106
3.8. Bibliographie. . . . .	107

## **Chapitre 4. Points chauds, grandes provinces magmatiques et dynamique globale du manteau . . . . . 115**

Cinzia G. FARNETANI

4.1. Introduction. . . . .	115
4.2. Points chauds actifs aujourd'hui . . . . .	119
4.3. Géochimie des laves des points chauds : les informations des systèmes isotopiques. . . . .	121
4.4. Imagerie sismique et identifications de l'origine des points chauds . . . . .	127
4.5. Panaches dans le manteau convectif . . . . .	130
4.6. Grandes provinces magmatiques (LIP) . . . . .	132
4.6.1. Les traps continentaux du Phanérozoïque. . . . .	132
4.6.2. Les plateaux océaniques du Phanérozoïque . . . . .	136
4.6.3. LIP plus anciennes et essaims de dykes rayonnants. . . . .	138

4.7. Effets environnementaux des grandes provinces magmatiques du Phanérozoïque . . . . .	141
4.7.1. Facteurs déclenchant le réchauffement et le refroidissement de la planète . . . . .	142
4.7.2. Événements anoxiques océaniques et acidification des océans . . . . .	144
4.7.3. Appauvrissement de la couche d’ozone dû aux émissions d’halogènes et libération de métaux toxiques . . . . .	144
4.8. Observations finales. . . . .	145
4.9. Bibliographie. . . . .	146

## **Chapitre 5. Flux de chaleur et refroidissement séculaire du manteau . . . . .**

157

Stéphane LABROSSE

5.1. Introduction. . . . .	157
5.2. Géophysique des fonds marins et flux thermique océanique . . . . .	158
5.2.1. Modèle de semi-espace infini . . . . .	159
5.2.2. Observations : âge du plancher océanique et flux thermique . . . . .	160
5.2.3. Profondeur du plancher océanique . . . . .	164
5.2.4. Perte totale de chaleur océanique. . . . .	166
5.2.5. Lien avec la dynamique du manteau. . . . .	170
5.3. Flux thermique continental. . . . .	175
5.4. Sources de chaleur et évolution séculaire . . . . .	178
5.5. Conclusion . . . . .	183
5.6. Bibliographie. . . . .	184

## **Chapitre 6. Les gaz rares comme traceurs géochimiques de la dynamique du manteau terrestre . . . . .**

189

Manuel Alexis MOREIRA

6.1. Introduction. . . . .	189
6.2. Les gaz rares dans le manteau . . . . .	190
6.2.1. Généralités sur les gaz rares. . . . .	190
6.2.2. Analyse des gaz nobles. . . . .	196
6.3. L’évolution du système manteau-atmosphère. . . . .	210
6.4. Dynamique actuelle et passée du manteau terrestre . . . . .	216
6.4.1. Une asthénosphère homogène par convection et/ou une fusion efficace ? . . . . .	216

---

6.4.2. Contraintes apportées par les gaz rares sur la dynamique de l'océan de magma . . . . .	218
6.5. Questions ouvertes sur l'origine et l'évolution des gaz nobles terrestres . . . . .	221
6.5.1. La concentration de l'hélium dans les basaltes d'îles . . . . .	221
6.5.2. L'origine du néon terrestre (et de l'hélium et de l'hydrogène) . .	222
6.5.3. Le xénon manquant . . . . .	223
6.6. Bibliographie . . . . .	224
<b>Liste des auteurs . . . . .</b>	<b>239</b>
<b>Index . . . . .</b>	<b>241</b>
<b>Sommaire de <i>Structure et dynamique de l'intérieur de la Terre 2</i> .</b>	<b>245</b>