

# Table des matières

<b>Préface</b> . . . . .	1
Michel GRÉGOIRE	
<b>Chapitre 1. Diagrammes de phases et composition minéralogique du manteau terrestre</b> . . . . .	5
Jean-Philippe PERRILLAT	
1.1. Introduction . . . . .	5
1.2. Les relations de phases : expériences et modèles . . . . .	6
1.2.1. L'approche expérimentale . . . . .	7
1.2.2. L'approche thermodynamique . . . . .	9
1.3. Les minéraux du manteau terrestre . . . . .	11
1.3.1. Les effets de la pression et de la température sur les structures cristallines . . . . .	11
1.3.2. Le système SiO <sub>2</sub> . . . . .	13
1.3.3. Le système MgO-FeO-SiO <sub>2</sub> . . . . .	14
1.3.4. Le système CaO-MgO-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> - SiO <sub>2</sub> -FeO (CMASF) . . . . .	19
1.4. Diagramme de phases des roches ultrabasiques, discontinuités sismiques et dynamiques du manteau . . . . .	21
1.5. Diagramme de phases des basaltes en subduction et devenir des plaques dans le manteau profond . . . . .	24
1.6. Zone D'' et transition bridgmanite–post-pérovskite . . . . .	27
1.7. Conclusion . . . . .	28
1.8. Bibliographie . . . . .	29

<b>Chapitre 2. La sismologie du manteau terrestre . . . . .</b>	<b>37</b>
Stéphanie DURAND, Benoît TAUZIN et Éric DEBAYLE	
2.1. Introduction. . . . .	37
2.2. L'architecture du manteau : discontinuités sismiques . . . . .	44
2.2.1. La sismologie à l'aide de réseaux de capteurs . . . . .	44
2.2.2. La zone de transition du manteau . . . . .	46
2.2.3. La couche D'' près de la frontière noyau-manteau . . . . .	54
2.3. La draperie : variations tridimensionnelles des vitesses sismiques . . . . .	59
2.3.1. Les inversions tomographiques. . . . .	59
2.3.2. Le système lithosphère-asthénosphère. . . . .	63
2.3.3. Le milieu du manteau . . . . .	65
2.3.4. Les LLSVP. . . . .	68
2.4. Écoulement du manteau et fusion partielle : anisotropie sismique et atténuation. . . . .	69
2.4.1. L'anisotropie azimutale et radiale . . . . .	69
2.4.2. L'atténuation dans le manteau terrestre . . . . .	73
2.5. Bibliographie. . . . .	78
<b>Chapitre 3. Le cycle profond de l'hydrogène . . . . .</b>	<b>93</b>
Nathalie BOLFAN-CASANOVA et Bertrand MOINE	
3.1. Introduction. . . . .	93
3.2. L'origine de l'eau terrestre. . . . .	94
3.2.1. Le message des météorites . . . . .	94
3.2.2. L'âge des océans : l'enregistrement rocheux. . . . .	97
3.3. La distribution de l'eau dans les différents réservoirs terrestres . . . . .	97
3.3.1. Les réservoirs superficiels. . . . .	97
3.3.2. Les réservoirs de la Terre profonde . . . . .	97
3.3.3. La capacité de stockage de l'eau dans le manteau. . . . .	110
3.3.4. L'effet de l'eau sur la fusion du manteau . . . . .	110
3.3.5. Les transferts d'eau entre réservoirs . . . . .	110
3.4. L'altération hydrothermale sur le plancher océanique. . . . .	111
3.4.1. Subduction et déshydratation de la plaque subduite. . . . .	112
3.4.2. La spéciation de l'hydrogène . . . . .	115
3.5. Bibliographie. . . . .	116

<b>Chapitre 4. Le rôle des espèces volatiles CO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O sur la fusion du manteau terrestre</b> . . . . .	125
Malcolm MASSUYEAU et Tahar HAMMOUDA	
4.1. Présence et stockage du carbone et de l'hydrogène dans le manteau supérieur . . . . .	126
4.2. Effets du CO <sub>2</sub> et du H <sub>2</sub> O sur les températures de fusion du manteau péridotitique terrestre. . . . .	128
4.2.1. Partage de H <sub>2</sub> O entre le liquide magmatique et les minéraux silicatés, et fusion du manteau en présence d'eau . . . . .	128
4.2.2. Faibles températures de fusion des carbonates. . . . .	133
4.2.3. Présence simultanée de CO <sub>2</sub> et de H <sub>2</sub> O au sein du manteau péridotitique. . . . .	134
4.3. Composition des magmas mantelliques en présence de CO <sub>2</sub> et de H <sub>2</sub> O . . . . .	135
4.3.1. Composition des liquides magmatiques en fonction des conditions P-T-X . . . . .	136
4.3.2. Compositions et quantité de liquide magmatique produit dans le manteau . . . . .	139
4.4. Impact du CO <sub>2</sub> et du H <sub>2</sub> O sur les signatures géophysiques du manteau . . . . .	143
4.5. Bibliographie. . . . .	145
<b>Chapitre 5. La fugacité d'oxygène du manteau</b> . . . . .	161
Alan B. WOODLAND	
5.1. Introduction. . . . .	161
5.2. Quelques équilibres avec des oxydes de fer. . . . .	161
5.3. La signification de la fugacité d'oxygène . . . . .	165
5.4. L'importance de la $f_{O_2}$ pour les processus dans l'intérieur de la Terre . . . . .	168
5.4.1. La stabilité des minéraux ferri-ferreux . . . . .	168
5.4.2. La stabilité des phases contenant du carbone. . . . .	169
5.4.3. La possibilité d'une phase métallique . . . . .	170
5.4.4. Le comportement des éléments en traces . . . . .	171
5.4.5. La composition des fluides C-O-H et la « fusion redox » . . . . .	172
5.4.6. Les conditions de fusion partielle dans le manteau supérieur . . . . .	176
5.5. La détermination de la $f_{O_2}$ d'une roche . . . . .	177
5.6. La $f_{O_2}$ du manteau supérieur (lithosphérique) . . . . .	183

5.6.1. Les dorsales océaniques . . . . .	183
5.6.2. Les zones de subduction . . . . .	185
5.6.3. La lithosphère sous-continentale et non cratonique (SCLM) . . . . .	187
5.6.4. Les massifs orogéniques . . . . .	188
5.6.5. La lithosphère cratonique . . . . .	189
5.6.6. Le message des éclogites . . . . .	190
5.7. Les conditions redox dans le manteau plus profond . . . . .	193
5.8. Un dernier mot . . . . .	195
5.9. Bibliographie . . . . .	196

## **Chapitre 6. Élasticité et composition du manteau terrestre . . . . . 207**

Tiziana BOFFA-BALLARAN

6.1. Élasticité . . . . .	208
6.1.1. Effet de la symétrie du cristal sur l'élasticité . . . . .	212
6.1.2. État de contrainte particulier : la pression hydrostatique . . . . .	213
6.1.3. Approximation de Voigt et Reuss . . . . .	216
6.1.4. Modules isothermes et adiabatiques . . . . .	217
6.2. Ondes élastiques . . . . .	218
6.3. Matériaux polycristallins . . . . .	221
6.4. Techniques expérimentales . . . . .	223
6.4.1. Instruments pour les études à haute pression et à haute température . . . . .	224
6.4.2. Expériences en compression statique . . . . .	224
6.4.3. Méthodes par ultrasons (acoustique) . . . . .	225
6.4.4. Diffusion de la lumière . . . . .	226
6.5. Modèles de l'intérieur de la Terre . . . . .	228
6.6. Bibliographie . . . . .	232

## **Chapitre 7. La rhéologie du manteau terrestre . . . . . 239**

Sylvie DEMOUCHEY et Patrick CORDIER

7.1. Introduction . . . . .	239
7.2. Mécanismes de déformation ductile . . . . .	241
7.2.1. Défauts ponctuels . . . . .	242
7.2.2. Défauts linéaires : les dislocations . . . . .	244
7.2.3. Joints de grains . . . . .	248
7.3. Observables . . . . .	250
7.4. Approches méthodologiques . . . . .	252

7.4.1. Terrain . . . . .	252
7.4.2. Expériences en laboratoire. . . . .	253
7.4.3. Observation de la déformation au microscope . . . . .	255
7.4.4. Modélisation numérique multi-échelle . . . . .	255
7.5. Déformation dans le manteau supérieur . . . . .	256
7.6. Déformation dans la zone de transition . . . . .	260
7.7. Déformation dans le manteau inférieur . . . . .	262
7.8. Conclusion . . . . .	264
7.9. Bibliographie. . . . .	264

## **Chapitre 8. Mesures en laboratoire de la conductivité électrique et applications aux intérieurs planétaires . . . . . 269**

Geeth MANTHILAKE

8.1. Contexte théorique . . . . .	269
8.2. Mesures de la conductivité électrique au laboratoire . . . . .	271
8.2.1. Méthode à deux pointes (bornes). . . . .	271
8.2.2. Méthode à quatre pointes . . . . .	271
8.2.3. Technique de spectroscopie d'impédance. . . . .	272
8.2.4. Mesures de la conductivité électrique à haute pression et à haute température . . . . .	274
8.3. Mesures en laboratoire de la conductivité électrique . . . . .	275
8.3.1. Conduction ionique. . . . .	276
8.3.2. Conduction par transfert d'électron (polaron) . . . . .	276
8.3.3. Conduction par transfert de proton. . . . .	276
8.4. Conductivité électrique d'un milieu composite. . . . .	277
8.5. Facteurs affectant la conductivité électrique des matériaux planétaires . . . . .	278
8.5.1. Effet de la pression et de la température. . . . .	278
8.5.2. Effet de la composition chimique . . . . .	279
8.5.3. Effet de la fugacité d'oxygène . . . . .	281
8.5.4. Influence de l'orientation cristallographique des minéraux . . . . .	281
8.5.5. Influence des joints de grains . . . . .	282
8.5.6. Effet de la déshydratation . . . . .	282
8.5.7. Effet de la fusion . . . . .	283
8.6. Modélisation des données de conductivité électrique pour les applications planétaires . . . . .	285
8.6.1. Détection des hétérogénéités chimiques dans le manteau . . . . .	285
8.6.2. Conductivité électrique comme géothermomètre . . . . .	287
8.6.3. Un outil pour contraindre la teneur en eau dans le manteau . . . . .	287
8.6.4. Applications pour la fusion dans les intérieurs planétaires . . . . .	290

8.6.5. Circulation des fluides dans les zones de subduction . . . . .	291
8.6.6. Conductivité électrique dans les métaux : applications aux propriétés de transport thermique . . . . .	292
8.7. Bibliographie . . . . .	292
<b>Liste des auteurs.</b> . . . . .	<b>299</b>
<b>Index.</b> . . . . .	<b>301</b>
<b>Sommaire de <i>Structure et dynamique de l'intérieur de la Terre 1</i>.</b> .	<b>307</b>