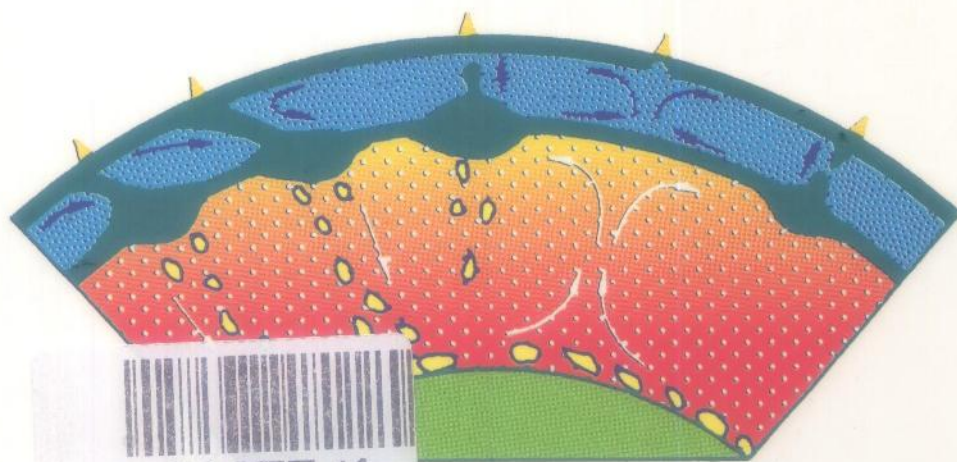


**Bernard Bonin**

2<sup>e</sup> CYCLE • CAPÈS • AGRÉGATION

# **Pétrologie endogène**



21657/1

**DUNOD**

3

GL76

# Pétrologie endogène

**Bernard Bonin**

Directeur du Laboratoire Pétrologie-Volcanologie  
et Professeur de pétrologie  
à l'Université Paris-Sud (Orsay)

21657

1  
2



*sous la direction de*

**Jean Aubouin**

Membre de l'Institut



21657/1

DUNOD

# Table des matières

<b>Préface</b>	9
<b>Introduction</b>	11
<b>Chapitre 1 - Les constituants de la Terre</b>	15
<b>1. Agencement et distribution des couches terrestres</b>	15
1.1 Abondance des éléments dans l'univers	15
1.2 Origine des planètes	18
1.3 Comparaisons des compositions du Soleil et de la Terre	19
1.4 Différenciation de la Terre	20
<b>2. Composition des différentes couches</b>	23
2.1 Météorites	23
2.1.1 Sidérites	25
2.1.2 Lithosidérites	26
2.1.3 Météorites pierreuses	26
2.1.4 Histoire des météorites	28
2.2 Roches terrestres	29
2.3 Modèle général et évolution précoce	30
<b>3. Croûte et manteau</b>	34
3.1 Compositions chimiques	34
3.2 Compositions minéralogiques	35
3.2.1 Croûte	36
3.2.2 Manteau	36
3.3 Comportement rhéologique	37
<b>4. Conclusion</b>	40
<b>Chapitre 2 - Les évolutions à l'état solide du manteau et de la croûte</b>	43
<b>1. Hétérogénéités du manteau</b>	47
1.1 Périodites et roches associées	47
1.1.1 Périodites en nodules dans les formations volcaniques	48
1.1.2 Périodites des zones océaniques	50

1.1.3	Péridotites de type alpin	52
1.1.4	Faciès minéralogiques du manteau	54
1.2	<i>Péridotites métasomatiques</i>	56
1.2.1	Nodules de péridotites métasomatiques	57
1.2.2	Faciès minéralogiques du manteau métasomatique	58
1.2.3	Compositions des fluides dans le manteau	59
1.2.4	Métasomatose par lessivage-précipitation	62
1.3	<i>Kimberlites et roches associées</i>	64
1.4	<i>Réservoirs du manteau</i>	66
2.	<b><i>Métamorphismes de la croûte</i></b>	69
2.1	<i>L'émergence du concept de métamorphisme</i>	70
2.1.1	Les types Barrow et Buchan en Écosse	70
2.1.2	Histoire du modèle classique du Bas-Limousin	74
2.2	<i>Paramètres thermodynamiques</i>	77
2.2.1	Température et flux de chaleur	77
2.2.2	Pression lithostatique et pression de fluides	78
2.2.3	Rôle des fluides	79
2.3	<i>La notion d'équilibre métamorphique</i>	80
2.3.1	Faciès métamorphiques d'Eskola	81
2.3.2	Représentation graphique des associations minérales	82
2.3.3	Remarques sur la nomenclature des roches métamorphiques	85
2.4	<i>Déséquilibre et réactions métamorphiques</i>	85
2.4.1	Mise en évidence texturale des réactions	85
2.4.2	Trajets pression-température-temps	88
2.5	<i>Types de métamorphisme</i>	90
2.5.1	Répartition des types de métamorphisme dans les Alpes	90
2.5.2	Métamorphismes locaux	95
2.5.3	Types de métamorphisme et séries de faciès	101
2.6	<i>Limites du métamorphisme</i>	102
2.6.1	Anchizone et faciès des zéolites	102
2.6.2	Granulites, écolites et croûte inférieure	103
3.	<b><i>Anatexie et fusion partielle</i></b>	107
3.1	<i>Fusion partielle induite</i>	107
3.1.1	Fusion dans une zone d'impact	107
3.1.2	Enclaves de roches fondues dans les formations volcaniques	108
3.2	<i>Fusion partielle dans le manteau</i>	110
3.2.1	Fusion des péridotites à sec	111
3.2.2	Formations de liquides en présence de fluides	115
3.2.3	Extraction et ascension des liquides	119

3.3 <i>Anatexie de la croûte</i>	122
3.3.1 Migmatites et fusion	122
3.3.2 Anatexie expérimentale	125
3.3.3 Ségrégation et ascension des liquides anatectiques	129
4. <i>Contextes géodynamiques</i>	131
5. <i>Conclusions</i>	135
<b>Chapitre 3 - Les phénomènes magmatiques</b>	<b>137</b>
1. <i>Un magma primaire : le basalte</i>	138
1.1 <i>Caractères physiques des magmas</i>	138
1.1.1 Température et propriétés thermiques	139
1.1.2 Structure des liquides silicatés	139
1.1.3 Viscosité	140
1.1.4 Densité	142
1.2 <i>Ascension et écoulement : dynamique des magmas</i>	143
1.2.1 Profondeurs des sources magmatiques	143
1.2.2 Ascension des magmas	145
1.2.3 Ecoulement des laves	147
1.3 <i>Refroidissement et cristallisation : cinétique des magmas</i>	147
1.3.1 Diffusion et convection	148
1.3.2 Nucléation et croissance cristallines	149
1.3.3 Textures des roches magmatiques	153
1.3.4 Lacs de lave et coulées	156
1.4 <i>Minéralogie et chimie des basaltes</i>	161
1.4.1 Minéraux constitutifs	161
1.4.2 Compositions chimiques	162
2. <i>Un magma différencié : le granite</i>	163
2.1 <i>Compositions et nomenclature</i>	165
2.2 <i>Origine et mobilité</i>	167
2.2.1 Résultats expérimentaux	167
2.2.2 Viscosité et mobilité des liquides granitiques	168
2.2.3 Ascension des magmas granitiques	169
2.3 <i>Nucléation et croissance cristallines</i>	171
2.4 <i>Comportement de l'eau</i>	173
2.4.1 Processus physiques	173
2.4.2 Processus chimiques	175
2.5 <i>Associations magmatiques</i>	176
3. <i>Volcanisme et produits associés</i>	177
3.1 <i>Dynamismes éruptifs</i>	177
3.1.1 Types d'éruptions	177
3.1.2 Retombées volcaniques et écoulements pyroclastiques	178
3.1.3 Coulées et extrusions	179
3.1.4 Gaz et fumerolles	180

3.2 <i>Séries volcaniques</i>	182
3.2.1 Un exemple : la Chaîne des Puys	182
3.2.2 Classification des roches volcaniques	184
3.2.3 Roches alcalines et subalcalines	186
<b>4. Mise en place des plutons</b>	191
4.1 <i>Les intrusions en feuillets</i>	191
4.1.1 Contexte tectonique	192
4.1.2 Paramètres caractéristiques	193
4.1.3 Différenciation et compaction dans le Sill de Palisades	196
4.2 <i>Les intrusions basiques litées</i>	199
4.2.1 Le complexe du Bushveld	199
4.2.2 Le complexe de Skaergaard	201
4.2.3 Le complexe alcalin stratifié du Peloso	203
4.2.4 Origines du litage	205
4.3 <i>Les intrusions intermédiaires et acides</i>	207
4.3.1 Subsidence souterraine et complexes annulaires	207
4.3.2 Diapirisme et gonflement des massifs intrusifs profonds	211
4.4 <i>La « plomberie » magmatique</i>	214
<b>5. Différenciation des magmas</b>	215
5.1 <i>Relations liquide - solide</i>	216
5.1.1 Fusion partielle et magmas primaires	216
5.1.2 Cristallisation fractionnée	218
5.1.3 Séparation des phases cristallines	223
5.2 <i>Relations liquide - liquide</i>	224
5.2.1 Effet de bordure et zonation des chambres magmatiques	224
5.2.2 Immiscibilité	226
5.2.3 Effet Soret	227
5.3 <i>Mélanges et systèmes ouverts</i>	229
5.3.1 Assimilation et contamination	229
5.3.2 Mélanges de magmas	231
5.4 <i>Relations liquide-solide-vapeur</i>	235
5.4.1 Géothermie de haute enthalpie	235
5.4.2 Teneurs en constituants volatils des phases solides	237
5.4.3 Effets de H <sub>2</sub> O	238
5.4.4 Effets de CO <sub>2</sub>	240
5.4.5 Fugacité d'oxygène	241
5.5 <i>Mécanisme de genèse de magmas zonés</i>	242
<b>6. Durées des phénomènes magmatiques</b>	243
6.1 <i>Durées d'évolution et de cristallisation des magmas</i>	243
6.1.1 Différenciation dans les chambres magmatiques	243
6.1.2 Refroidissement des roches magmatiques	244
6.2 <i>Durées des provinces magmatiques</i>	246
<b>7. Conclusions</b>	250

<b>Chapitre 4 - Les interactions entre magmatisme et environnement</b>	251
<b>1. Effets de la mise en place des corps magmatiques</b>	251
<b>1.1 Hydrothermalisme associé</b>	251
1.1.1 Influence sur le champ de contraintes	252
1.1.2 Convection géothermique	254
<b>1.2 Métasomatose dans la croûte</b>	255
1.2.1 Skarns et greisens	255
1.2.2 Transferts de matière	257
1.2.3 Origines des fluides hydrothermaux	258
<b>1.3 Gîtes minéraux hydrothermaux</b>	260
1.3.1 Dissolution et transport des éléments métalliques	260
1.3.2 Dépôt des minerais métalliques	262
<b>2. Magmatisme et géodynamique</b>	263
<b>2.1 Zones océaniques</b>	263
2.1.1 Croûte océanique et ophiolites	263
2.1.2 Îles océaniques	267
2.1.3 Arcs insulaires	270
<b>2.2 Aires continentales</b>	272
2.2.1 Trapps volcaniques	272
2.2.2 Magmatisme anorogénique	273
2.2.3 Rifts intra-continentaux	276
<b>2.3 Subduction et collision</b>	278
2.3.1 Zonalité des séries calco-alcalines	279
2.3.2 Leucogranites d'anatexie et hypercollision	284
2.3.3 Granitoïdes hyperalumineux	288
<b>2.4 Évolution dans le temps</b>	290
2.4.1 Magmatisme archéen	290
2.4.2 Cycle de Wilson magmatique	291
<b>3. Conclusion : croissance et recyclage de la croûte</b>	294
3.1 Taux d'éruption volcanique et de production des magmas	294
3.2 Croissance et recyclage des continents	295
<b>Conclusion</b>	297
<b>1. Méthodes et moyens de la pétrologie</b>	297
<b>2. Liens de la pétrologie avec les autres sciences</b>	299
<b>3. Conclusion</b>	300
<b>Bibliographie</b>	301
<b>Tableaux</b>	305

SCIENCES SUP

Série Géosciences



Bernard Bonin

## PÉTROLOGIE ENDOGÈNE

La pétrologie endogène s'intéresse aux roches prenant leur origine dans les phénomènes profonds, magmatisme et métamorphisme, et vise à établir les lois réglant leur formation, leur évolution, leur mise en place et leurs relations avec la dynamique globale de la planète.

Après une introduction exposant comment la Terre a acquis sa composition chimique, cet ouvrage donne une vue globale de cette science et fait le point notamment sur trois thèmes :

- l'évolution à l'état solide des roches en profondeur et leur passage à l'état fondu,
- les caractères, l'ascension et le devenir des magmas en surface et en profondeur,
- les interactions des roches avec leur environnement et leur répartition en fonction des sites géodynamiques.

**Ensemble d'ouvrages de conception nouvelle où les meilleurs spécialistes font le point sur leur discipline, la série Géosciences, destinée aux étudiants de deuxième cycle comme au public scientifique, présente les sciences de la Terre selon une perspective qui fait la part exacte des acquis traditionnels et des développements les plus récents.**

BERNARD BONIN

est directeur du  
Laboratoire de  
Pétrographie-Volcanologie  
et professeur de pétrologie  
à l'Université Paris-Sud  
(Orsay).

*Ouvrage publié avec le  
concours du Ministère de  
l'Enseignement Supérieur,  
de la Recherche et de la  
Technologie (DISTNB).*

MATHÉMATIQUES

PHYSIQUE

CHIMIE

PHYSIQUE APPLIQUÉE

INFORMATIQUE

SCIENCES DE LA NATURE  
ET DE LA VIE



ISBN 2 10 004215 7  
Code 044215

  
DUNOD