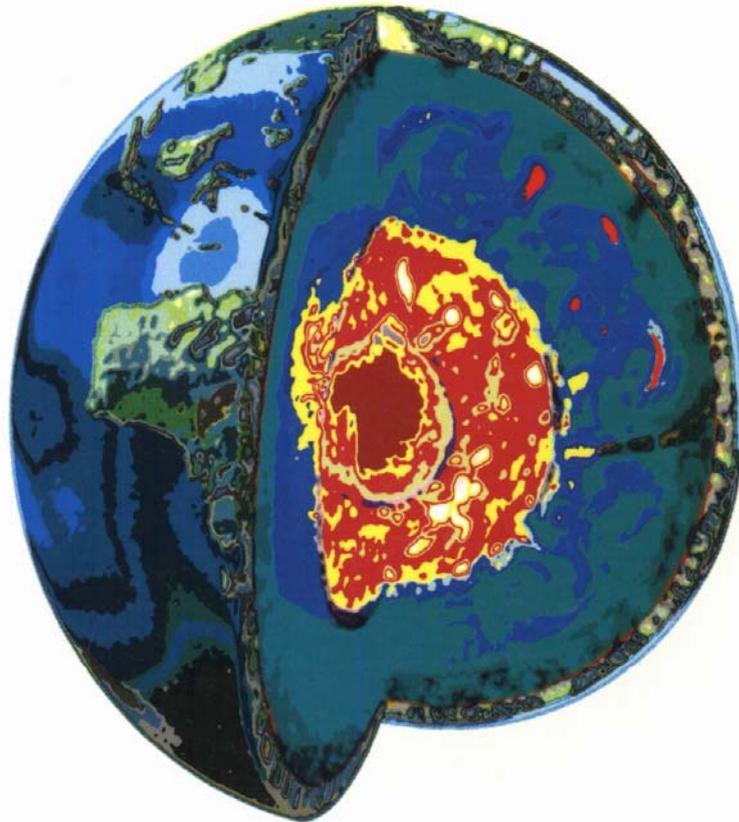


**Philippe Vidal**

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

# Géochimie



**DUNOD**

SCIENCES SUP  
Série Géosciences



Philippe Vidal

# GÉOCHIMIE

2<sup>e</sup> édition

La plupart des éléments chimiques sont engagés dans des cycles les conduisant alternativement de la surface à la profondeur : la **Géochimie**, science jeune devenue adulte en quelques décennies, a pour objet de reconnaître et de décrire ces cycles et d'établir des bilans de transfert de matière. Associée à la Cosmochimie, elle vise à identifier les processus qui, à partir d'une nébuleuse protosolaire homogène, ont conduit aux différenciations planétaires et intraplanétaires.

Ce livre décrit d'une part les outils méthodologiques et conceptuels à la disposition des géochimistes d'aujourd'hui et, d'autre part, leur application à quatre grands domaines d'étude :

- la formation et la différenciation des objets planétaires ;
- la composition et la dynamique du manteau terrestre ;
- la genèse et l'évolution de la croûte continentale ;
- les processus mettant en jeu les enveloppes superficielles.

**Ensemble d'ouvrages 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.**

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



9 782100 037391

ISBN 2 10 003739 0  
Code 043739

PHILIPPE VIDAL

Directeur adjoint de l'Institut national des sciences de l'univers (CNRS), professeur à l'université Blaise-Pascal de Clermont-Ferrand.

MATHÉMATIQUES

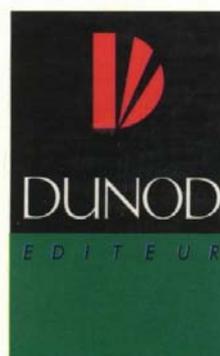
PHYSIQUE

CHIMIE

PHYSIQUE APPLIQUÉE

INFORMATIQUE

SCIENCES DE LA NATURE  
ET DE LA VIE



# Table des matières

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Préface</b>   | <b>9</b>  |
| <b>Avant-Propos</b>  | <b>11</b> |
| <b>Chapitre 1 • Éléments, isotopes, radioactivité</b>          | <b>13</b> |
| 1. Éléments, isotopes  | 13        |
| 2. Radioactivité   | 15        |
| 2.1 <i>Lois de la radioactivité</i>                            | 15        |
| 2.2 <i>Types de radioactivité</i>                              | 16        |
| 2.3 <i>Familles radioactives</i>                               | 16        |
| <b>Chapitre 2 • Lois de répartition des éléments en traces</b> | <b>17</b> |
| 1. Éléments majeurs et en traces, règles de substitution       | 17        |
| 2. Affinités   | 18        |
| 3. Terres Rares (TR)   | 19        |
| 4. Géochimie descriptive                                       | 20        |
| 4.1 <i>Diagrammes géotectoniques discriminants</i>             | 20        |
| 4.2 <i>Diagrammes de TR étendus</i>                            | 21        |
| 5. Modélisation des processus                                  | 23        |
| 5.1 <i>Problème direct, méthodes inverses</i>                  | 23        |
| 5.2 <i>Coefficients de partage</i>                             | 24        |
| 5.3 <i>Fusion partielle</i>                                    | 25        |
| 5.4 <i>Cristallisation fractionnée</i>                         | 28        |
| 5.5 <i>Fractionnements magmatiques</i>                         | 29        |
| 5.6 <i>Mélanges</i>  | 31        |
| <b>Chapitre 3 • Isotopes stables</b>                           | <b>35</b> |
| Introduction   | 35        |
| 1. Notations   | 35        |
| 2. Processus de fractionnement isotopique                      | 36        |
| 2.1 <i>Réactions d'échange isotopique</i>                      | 36        |
| 2.2 <i>Effets cinétiques</i>                                   | 37        |
| 2.3 <i>Changements d'état</i>                                  | 37        |

|  |           |
|--|-----------|
| 3. Oxygène et hydrogène  | 37        |
| 3.1 <i>Cycle exogène</i>   | 38        |
| 3.2 <i>Cycle endogène</i>  | 41        |
| 4. Bore  | 44        |
| 5. Carbone   | 45        |
| 6. Azote   | 46        |
| 7. Soufre  | 47        |
| <b>Chapitre 4 • Isotopes radiogéniques</b>                           | <b>49</b> |
| 1. Principe des datations radiométriques                             | 49        |
| 1.1 <i>Équation de l'âge, systèmes clos, systèmes ouverts</i>        | 49        |
| 1.2 <i>Lois de la diffusion</i>                                      | 50        |
| 2. Méthode rubidium-strontium  | 52        |
| 2.1 <i>Distribution de Rb et Sr, radioactivité du Rb</i>             | 52        |
| 2.2 <i>Diagramme d'évolution isotopique</i>                          | 53        |
| 2.3 <i>Méthode des isochrones</i>                                    | 54        |
| 2.4 <i>Géochimie isotopique du strontium</i>                         | 57        |
| 3. Méthode samarium-néodyme  | 60        |
| 3.1 <i>Introduction</i>  | 60        |
| 3.2 <i>Radioactivité du samarium, notations</i>                      | 60        |
| 3.3 <i>Diagramme isochrone</i>                                       | 62        |
| 3.4 <i>Géochimie isotopique du néodyme</i>                           | 62        |
| 4. Méthodes lanthane-cérium et lutétium-hafnium                      | 64        |
| 5. Méthode rhénium-osmium  | 65        |
| 6. Méthodes uranium-thorium-plomb                                    | 66        |
| 6.1 <i>Constantes radioactives</i>                                   | 66        |
| 6.2 <i>Âges <math>^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}</math> et U-Pb</i> | 66        |
| 6.3 <i>Diagrammes isochrones</i>                                     | 67        |
| 6.4 <i>Diagramme Concordia</i>                                       | 68        |
| 6.5 <i>Évolution du Pb terrestre, méthode Pb-Pb ou Pb commun</i>     | 72        |
| 7. Méthodes potassium-argon, argon-argon                             | 79        |
| 7.1 <i>Radioactivité du potassium</i>                                | 79        |
| 7.2 <i>Âges conventionnels et isochrones</i>                         | 79        |
| 7.3 <i>Champ d'application et interprétation des données</i>         | 80        |
| 7.4 <i>Méthode argon-argon</i>                                       | 81        |
| 8. Géochronologie des socles, métamorphisme, thermochronologie       | 83        |
| 8.1 <i>Métamorphismes de contact et général</i>                      | 83        |
| 8.2 <i>Thermochronologie</i>   | 86        |
| 9. Méthodes de datation des événements récents                       | 87        |
| 9.1 <i>Traces de fission</i>   | 88        |
| 9.2 <i>Déséquilibres radioactifs</i>                                 | 89        |
| 9.3 <i>Isotopes cosmogéniques</i>                                    | 92        |

|  |                |
|--|----------------|
| <b>Chapitre 5 • Du Big Bang à la Terre</b>                         | <b>95</b>      |
| Introduction : âge de l'Univers et âge des éléments                | 95             |
| 1. Nucléosynthèse  | 96             |
| 2. Formation du système solaire                                    | 98             |
| 2.1 <i>Radioactivités éteintes</i>                                 | 98             |
| 2.2 <i>Anomalies isotopiques</i>                                   | 99             |
| 2.3 <i>Séquence de condensation et formation des planètes</i>      | 101            |
| 3. Terre et Lune   | 103            |
| 3.1 <i>Composition et origine de la Lune</i>                       | 104            |
| 3.2 <i>Composition de la Terre</i>                                 | 109            |
| <br><b>Chapitre 6 • Noyau et manteau</b>                           | <br><b>109</b> |
| 1. Noyau   | 109            |
| 1.1 <i>Composition</i>   | 109            |
| 1.2 <i>Formation</i>   | 109            |
| 2. Le manteau  | 110            |
| 2.1 <i>Le manteau sous-océanique</i>                               | 110            |
| 2.2 <i>Le manteau sous-continentale</i>                            | 119            |
| <br><b>Chapitre 7 • Genèse et évolution des continents</b>         | <br><b>123</b> |
| Introduction   | 123            |
| 1. Origine de la croûte continentale                               | 124            |
| 1.1 <i>Manteau primitif, manteau appauvri, croûte continentale</i> | 124            |
| 1.2 <i>Les magmas liés aux zones de subduction</i>                 | 125            |
| 1.3 <i>Le volcanisme intraplaque continental</i>                   | 128            |
| 2. Composition de la croûte continentale                           | 128            |
| 2.1 <i>La croûte continentale supérieure</i>                       | 128            |
| 2.2 <i>La croûte continentale inférieure</i>                       | 129            |
| 2.3 <i>Composition globale de la croûte continentale</i>           | 132            |
| 3. Les plus vieux témoins crustaux et l'ère hadéenne               | 132            |
| 4. Croissance crustale au Précambrien ancien : le Groenland        | 134            |
| 5. Variations séculaires et modèles de croissance                  | 137            |
| 5.1 <i>Variations séculaires</i>                                   | 137            |
| 5.2 <i>Modèles de croissance crustale</i>                          | 139            |
| 5.3 <i>Relations croûte-manteau</i>                                | 143            |
| <br><b>Chapitre 8 • Enveloppes superficielles</b>                  | <br><b>145</b> |
| Introduction   | 145            |
| 1. L'atmosphère  | 145            |
| 1.1 <i>Constituants principaux</i>                                 | 146            |
| 1.2 <i>Traces</i>  | 147            |
| 1.3 <i>Origine et modèles de dégazage</i>                          | 149            |

|  |     |
|--|-----|
| <b>2. Hydrosphère</b>  | 153 |
| 2.1 <i>Temps de résidence</i>                                  | 153 |
| 2.2 <i>Isotopes du strontium</i>                               | 155 |
| 2.3 <i>Isotopes du néodyme et Terres Rares</i>                 | 157 |
| 2.4 <i>Déséquilibres radioactifs</i>                           | 159 |
| 2.5 <i>Isotopes cosmogéniques</i>                              | 160 |
| <b>3. La Géochimie et l'homme : le réacteur naturel d'Oklo</b> | 161 |

## **Annexes**

|  |     |
|--|-----|
| <b>Annexe I</b> Classification périodique  | 165 |
| <b>Annexe II</b> Masses atomiques  | 166 |
| <b>Annexe III</b> Rayons ioniques  | 168 |
| <b>Annexe IV</b> Familles radioactives   | 171 |
| <b>Annexe V</b> Compositions des chondrites carbonées CI,<br>du manteau primitif, des MORB,<br>de la croûte continentale, des océans | 172 |
| <b>Annexe VI</b> Techniques analytiques  | 175 |
| 1. <i>Qualités d'un appareillage, précision, standards</i>   | 175 |
| 2. <i>Principales techniques analytiques</i>   | 178 |

|                      |            |
|----------------------|------------|
| <b>Bibliographie</b> | <b>183</b> |
|----------------------|------------|

|              |            |
|--------------|------------|
| <b>Index</b> | <b>189</b> |
|--------------|------------|