



Matthieu Roy-Barman  
& Catherine Jeandel

LICENCE 3 & MASTER  
SCIENCES DE LA TERRE  
SCIENCES DE  
L'ENVIRONNEMENT

# Géochimie marine

Circulation océanique, cycle du carbone  
et changement climatique

- Cours complet
- Exercices d'application corrigés
- Exercices d'approfondissement  
et leurs solutions



059529

Vuibert

SOCIÉTÉ GÉOLOGIQUE DE FRANCE

COLLECTION « INTERACTIONS »  
DIRIGÉE PAR PATRICK DE WEVER  
Muséum national d'histoire naturelle

GL 126

Matthieu Roy-Barman & Catherine Jeandel

059529

9

# Géochimie marine



Circulation océanique, cycle du carbone  
et changement climatique

Préface de Jean-François Minster



LICENCE 3 & MASTER  
SCIENCES DE LA TERRE  
SCIENCES DE L'ENVIRONNEMENT

Vuibert

SOCIÉTÉ GÉOLOGIQUE DE FRANCE

# Table des matières

Préface .....	1
Avant-propos .....	3
Unités .....	5
Introduction .....	9
<b>CHAPITRE 1. Quelques bases d'océanographie descriptive et physique .....</b>	<b>15</b>
1.1. Les dimensions de l'océan .....	15
1.2. Salinité, température et densité : les paramètres de base de l'océanographie .....	16
1.3. Structure verticale de l'océan .....	21
1.4. Les principales masses d'eau .....	23
1.5. Les courants océaniques .....	27
1.6. La circulation à grande échelle .....	44
Annexe. Le forçage atmosphérique .....	54
Exercices d'approfondissement .....	56
<b>CHAPITRE 2. L'eau de mer : bien plus que de l'eau salée .....</b>	<b>59</b>
2.1. Pourquoi l'eau de mer est-elle salée ? .....	60
2.2. Notion de traceurs conservatifs et non conservatifs .....	65
2.3. Le cycle des éléments nutritifs et le rôle de l'activité biologique .....	67
2.4. Les gaz dans l'eau de mer .....	72
2.5. Relations entre les différents traceurs .....	75
2.6. La chimie du carbone .....	79
2.7. Les conditions redox dans l'océan .....	83
2.8. Comportement des métaux en traces .....	86
Annexe. Composition chimique de l'eau de mer .....	91
Exercices d'approfondissement .....	94
<b>CHAPITRE 3. Les isotopes stables .....</b>	<b>97</b>
3.1. Qu'est-ce qu'un isotope ? .....	97
3.2. Les notations .....	99
3.3. Les différents types de fractionnements : l'exemple de l'oxygène .....	100
3.4. Les fractionnements des isotopes de l'oxygène .....	104

3.5. Les fractionnements des isotopes de l'hydrogène . . . . .	108
3.6. Les fractionnements des isotopes du carbone . . . . .	108
3.7. Les fractionnements des isotopes de l'azote . . . . .	112
3.8. Les fractionnements des isotopes du soufre . . . . .	113
3.9. Les fractionnements des isotopes du bore . . . . .	114
3.10. Mélange de traceurs isotopiques . . . . .	115
3.11. Évolution de la signature isotopique durant une réaction . . . . .	119
Annexe. Calcul de l'évolution des signatures isotopiques durant les phénomènes de fractionnement . . . . .	122
Exercices d'approfondissement . . . . .	124
<b>CHAPITRE 4. Les isotopes radioactifs et les isotopes radiogéniques . . . . .</b>	<b>127</b>
4.1. La radioactivité . . . . .	127
4.2. La loi de désintégration radioactive . . . . .	128
4.3. Les radioactivités à longues périodes . . . . .	133
4.4. Les chaînes de désintégration de l'uranium et du thorium . . . . .	140
4.5. Les isotopes cosmogéniques . . . . .	144
4.6. Les isotopes artificiels . . . . .	148
Annexe. Calcul de l'évolution des systèmes radioactifs . . . . .	152
Exercices d'approfondissement . . . . .	155
<b>CHAPITRE 5. Les modèles en boîte . . . . .</b>	<b>159</b>
5.1. Modèle à une boîte . . . . .	159
5.2. Comportement dynamique d'un réservoir . . . . .	163
5.3. Modèles en boîte et traceurs isotopiques . . . . .	166
5.4. Dynamique des réservoirs couplés . . . . .	171
5.5. Âge moyen, temps de résidence et âge réservoir d'un traceur . . . . .	173
Exercices d'approfondissement . . . . .	174
<b>CHAPITRE 6. Les modèles d'advection-diffusion . . . . .</b>	<b>179</b>
6.1. Une boîte infinitésimale . . . . .	179
6.2. Advection . . . . .	180
6.3. Diffusion moléculaire . . . . .	182
6.4. Diffusion turbulente . . . . .	186
6.5. L'équation de conservation complète . . . . .	188
6.6. Le cas du transport dans les sédiments . . . . .	195
Exercices d'approfondissement . . . . .	197

<b>CHAPITRE 7. Fonctionnement et limitations de l'activité biologique dans les eaux de surface . . . . .</b>	<b>199</b>
7.1. Cycles de vie dans l'océan . . . . .	199
7.2. Évolution de la production biologique dans les eaux de surface . . . . .	203
7.3. Estimation de la production primaire . . . . .	206
7.4. Répartition globale de la photosynthèse et couleur de la mer . . . . .	210
7.5. La limitation par le fer . . . . .	212
7.6. La limitation par la silice . . . . .	214
7.7. Une limitation par le CO <sub>2</sub> ? . . . . .	215
7.8. La limitation de la production à long terme . . . . .	216
7.9. Les effets de l'anthropisation . . . . .	217
Exercices d'approfondissement . . . . .	219
<b>CHAPITRE 8. Les échanges de CO<sub>2</sub> entre l'océan et l'atmosphère . . . . .</b>	<b>223</b>
8.1. Le cycle global du carbone . . . . .	223
8.2. La pression partielle en CO <sub>2</sub> dans l'eau de mer . . . . .	224
8.3. La capacité de stockage du CO <sub>2</sub> par l'océan . . . . .	230
8.4. Vitesse des transferts de gaz à l'interface air-mer . . . . .	232
8.5. Temps d'équilibrage des gaz entre la couche mélangée et l'atmosphère . . . . .	234
8.6. Observation de la perturbation anthropique dans les eaux de surface . . . . .	237
8.7. Quantification globale des échanges océan-atmosphère . . . . .	238
8.8. Propagation de la perturbation anthropique en profondeur . . . . .	239
Exercices d'approfondissement . . . . .	245
<b>CHAPITRE 9. Le petit monde des particules marines . . . . .</b>	<b>249</b>
9.1. Origine et nature des particules marines . . . . .	250
9.2. Prélever les particules marines . . . . .	253
9.3. La répartition des particules . . . . .	256
9.4. La chute des particules . . . . .	258
9.5. Évolution du flux de particules avec la profondeur . . . . .	261
9.6. Estimer les flux de particules . . . . .	263
9.7. Le rôle des marges . . . . .	270
9.8. La répartition des sédiments au fond de l'océan . . . . .	272
9.9. La diagenèse . . . . .	273
9.10. Les échelles de temps et les flux de sédiments . . . . .	278
Exercices d'approfondissement . . . . .	280

## VI GÉOCHIMIE MARINE

CHAPITRE 10. <b>La circulation thermohaline</b> .....	283
10.1. Le long cheminement des eaux profondes .....	283
10.2. La progression rapide des traceurs transitoires .....	288
10.3. Comparaison $^{14}\text{C}$ -traceurs transitoires .....	294
10.4. L'apport de $^{231}\text{Pa}$ - $^{230}\text{Th}$ .....	296
10.5. L'origine de l'AABW .....	299
10.6. La remontée des eaux profondes .....	302
10.7. Circulation thermohaline : le retour .....	303
Exercices d'approfondissement .....	304
CHAPITRE 11. <b>L'histoire de l'océan et l'évolution du climat</b> .....	309
11.1. L'origine de l'océan .....	309
11.2. Les premières traces de vie .....	311
11.3. L'apparition de l'oxygène .....	311
11.4. Le piégeage géologique du $\text{CO}_2$ .....	314
11.5. La fermeture de l'isthme de Panama .....	317
11.6. La dernière glaciation .....	318
11.7. El Niño amplifié par l'activité humaine ? .....	325
11.8. Le climat du futur et l'océan .....	327
11.9. Les conséquences prévues .....	329
Exercices d'approfondissement .....	334
Solutions des exercices d'approfondissement .....	339
Références bibliographiques .....	345
Glossaire .....	354
Index .....	359

Matthieu Roy-Barman & Catherine Jeandel

# Géochimie marine

Circulation océanique, cycle du carbone  
et changement climatique

Préface de Jean-François Minster

L'ouvrage présente l'ensemble des principes, des méthodes et des applications de la géochimie marine avec un **cours complet**, des **exercices d'application corrigés** et des **exercices d'approfondissement et leurs solutions**. Élaboré principalement pour les étudiants en troisième année de Licence et en Master des filières spécialisées (Sciences de la Terre et Sciences de l'environnement), ce manuel s'adresse également à tous les candidats qui préparent les concours de l'enseignement. De nombreuses ouvertures sur l'océanographie physique et biologique, la climatologie, la géologie, l'étude des pollutions et l'écologie sont proposées afin que l'étudiant acquière une vision globale du fonctionnement de l'océan.

## Sommaire

- |   |  |  |
|---|--|--|
| 1. Quelques bases d'océanographie descriptive et physique | 6. Les modèles d'advection-diffusion   | 10. La circulation thermohaline                    |
| 2. L'eau de mer : bien plus que de l'eau salée            | 7. Fonctionnement et limitations de l'activité biologique dans les eaux de surface | 11. L'histoire de l'océan et l'évolution du climat |
| 3. Les isotopes stables                                   | 8. Les échanges de CO <sub>2</sub> entre l'océan et l'atmosphère                   | Solutions des exercices d'approfondissement        |
| 4. Les isotopes radioactifs et les isotopes radiogéniques | 9. Le petit monde des particules marines   | Références bibliographiques                        |
| 5. Les modèles en boîte                                   |  | Glossaire  |
|   |  | Index  |

**Matthieu Roy-Barman** est professeur à l'université de Versailles Saint-Quentin-en-Yvelines et chercheur au Laboratoire des sciences du climat et de l'environnement (LSCE/IPSL laboratoire CNRS/CEA/UVSQ, Gif-sur-Yvette). **Catherine Jeandel** est directrice de recherche CNRS au Laboratoire d'études en géophysique et océanographie spatiales (LEGOS, laboratoire CNRS/CNES/IRD/ Université de Toulouse). **Jean-François Minster**, aujourd'hui directeur scientifique de Total, a impulsé le développement de la géochimie marine en France à la fin des années 80.

SOCIÉTÉ GÉOLOGIQUE DE FRANCE

ISBN 978-2-311-00354-3



9 782311 003543

WWW.VUIBERT.FR

